



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

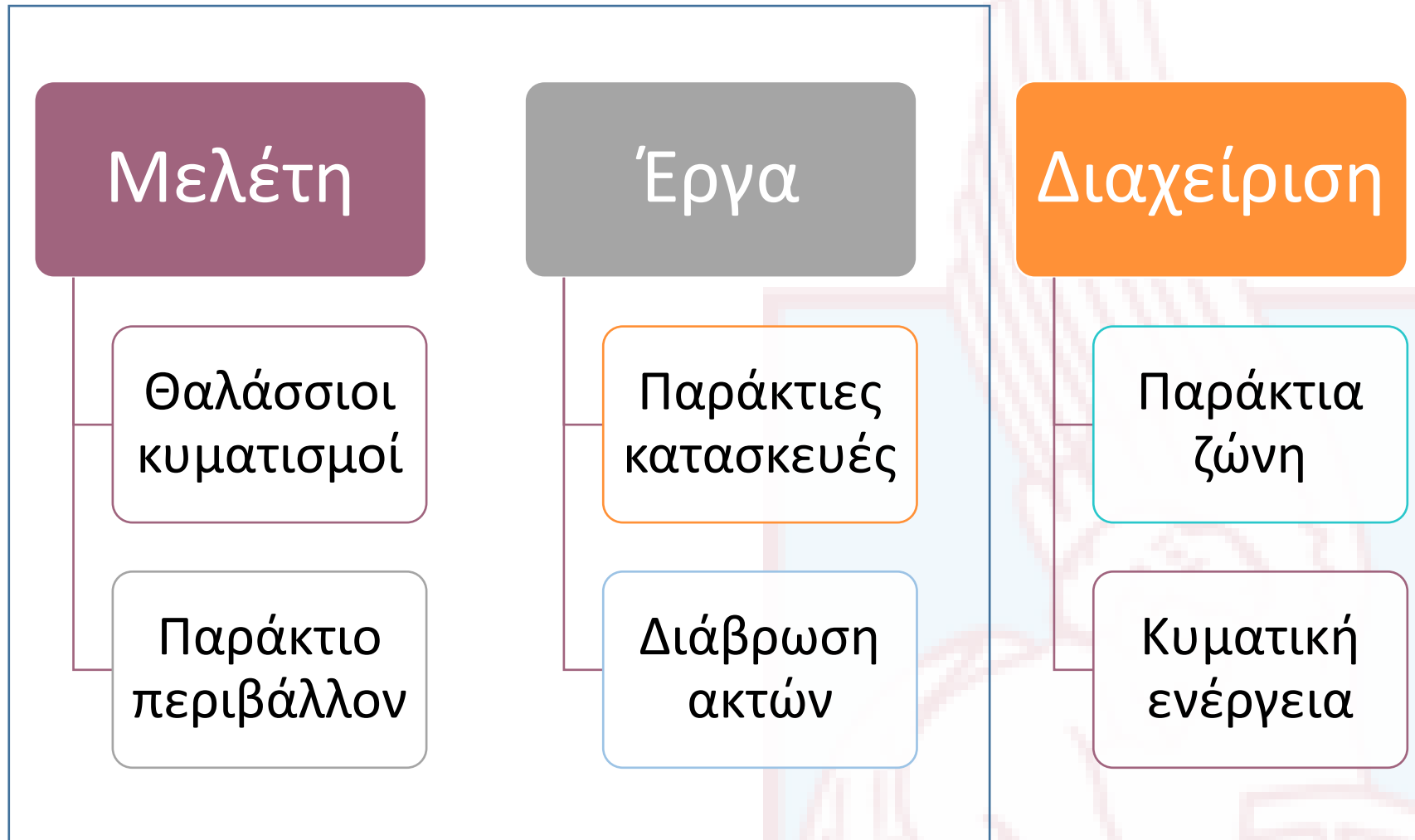
ΜΠ535 Παράκτια Μηχανική 3-10-2022

Εισαγωγή στο μάθημα

ΓΡΥΛΛΑΚΗΣ ΜΑΝΩΛΗΣ

egrillakis@tuc.gr

Παράκτια μηχανική

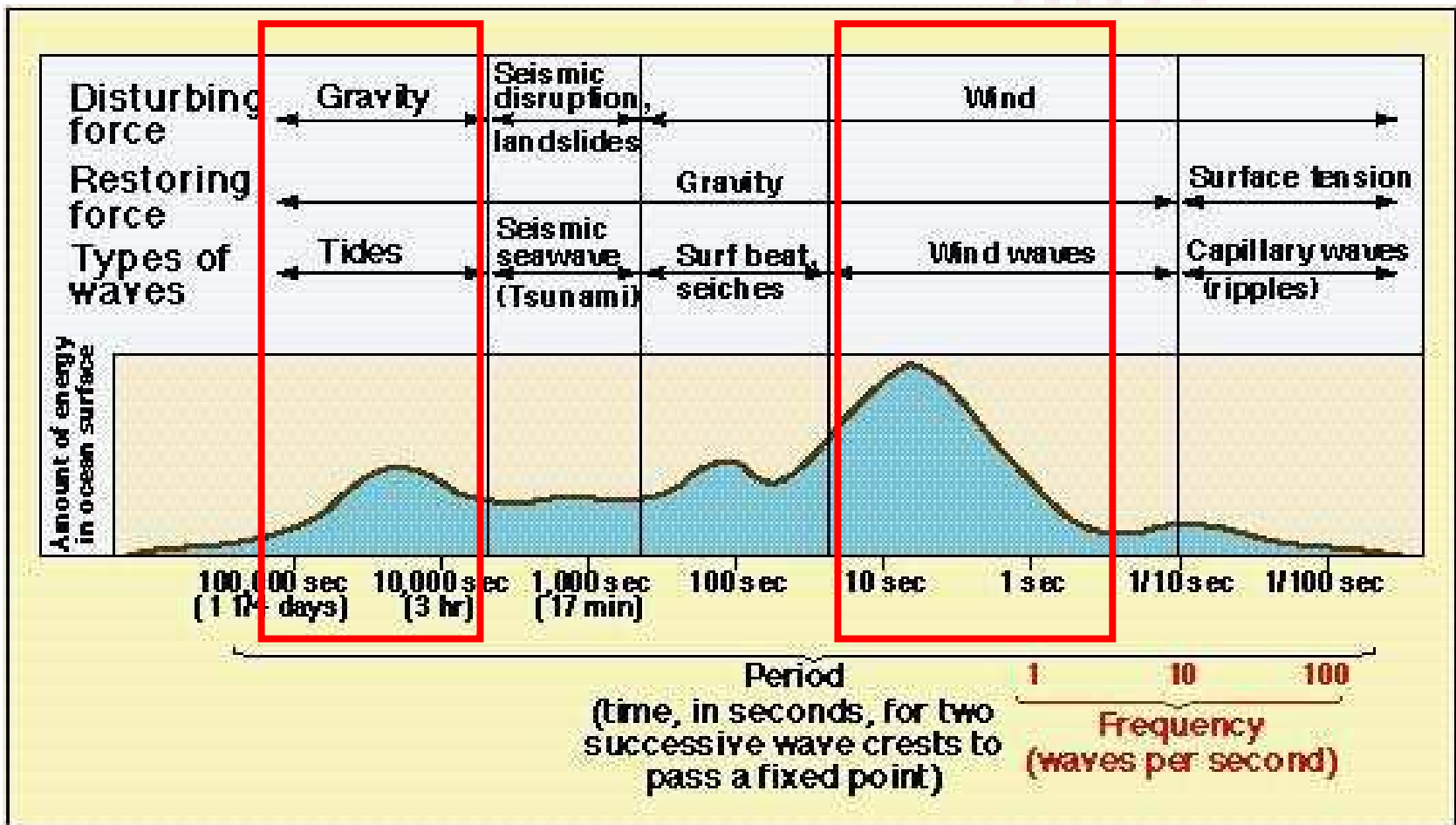


Δομή του Μαθήματος

1

Βασικά στοιχεία κυματομηχανικής:

- Θαλάσσιοι κυματισμοί
- Γραμμική θεωρία κυματισμών
- Μετασχηματισμός θαλάσσιων κυματισμών
- Πρόγνωση ανεμογενών κυματισμών
- Στατιστική ανάλυση κυμάτων

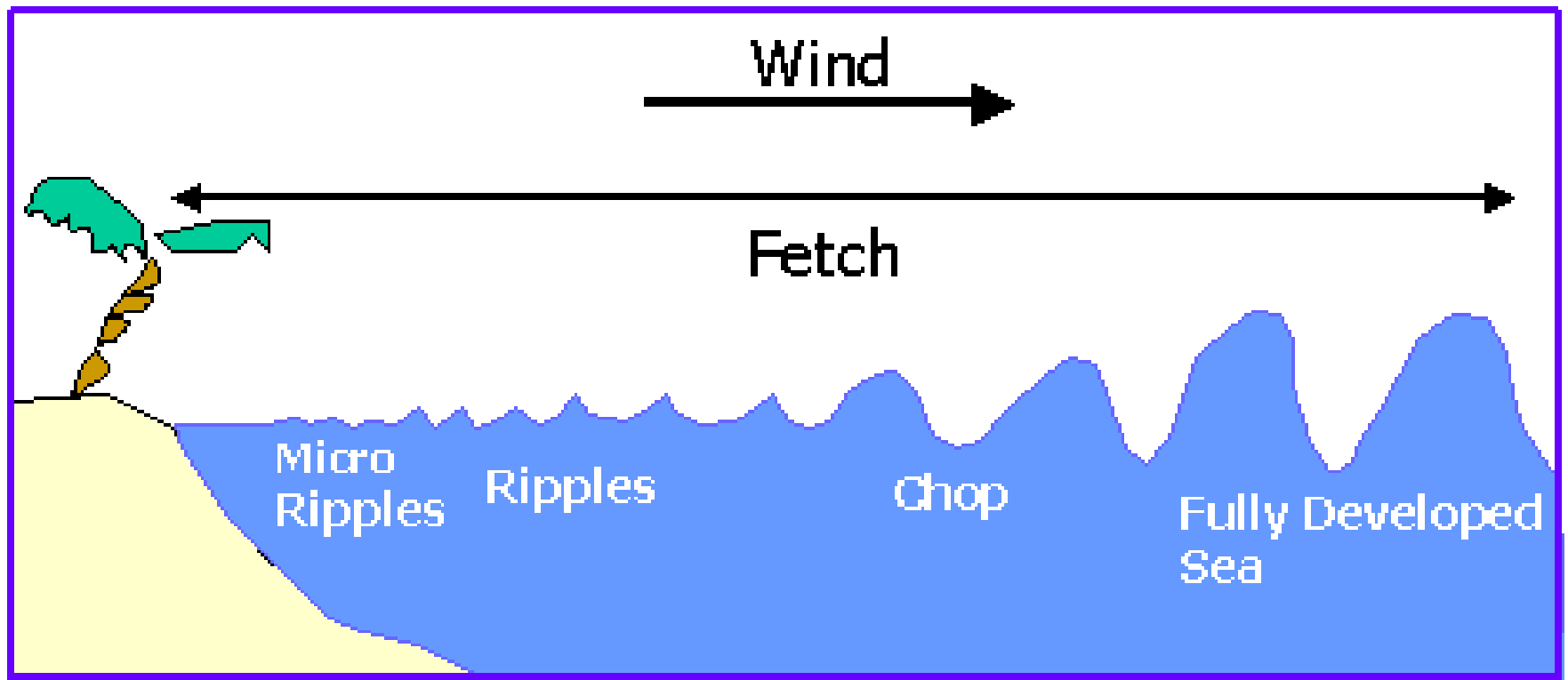










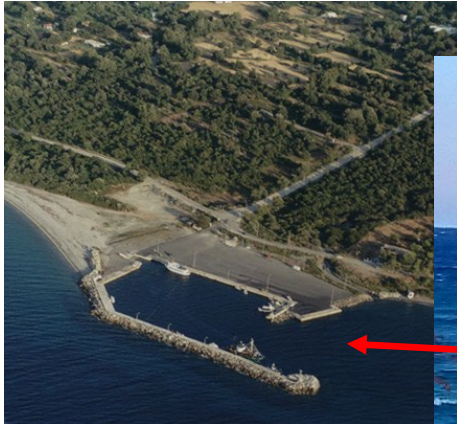


Δομή του Μαθήματος

2

Κυκλοφορία, ανάμιξη & μεταφορά αιωρημάτων & ιζημάτων

- Παράκτια ρεύματα
- Παράκτια ιζήματα
- Κάθετη στην ακτή ιζηματομεταφορά
- Παράλληλη στη ακτή ιζηματομεταφορά
- Διάβρωση ακτών



προσάμμωση



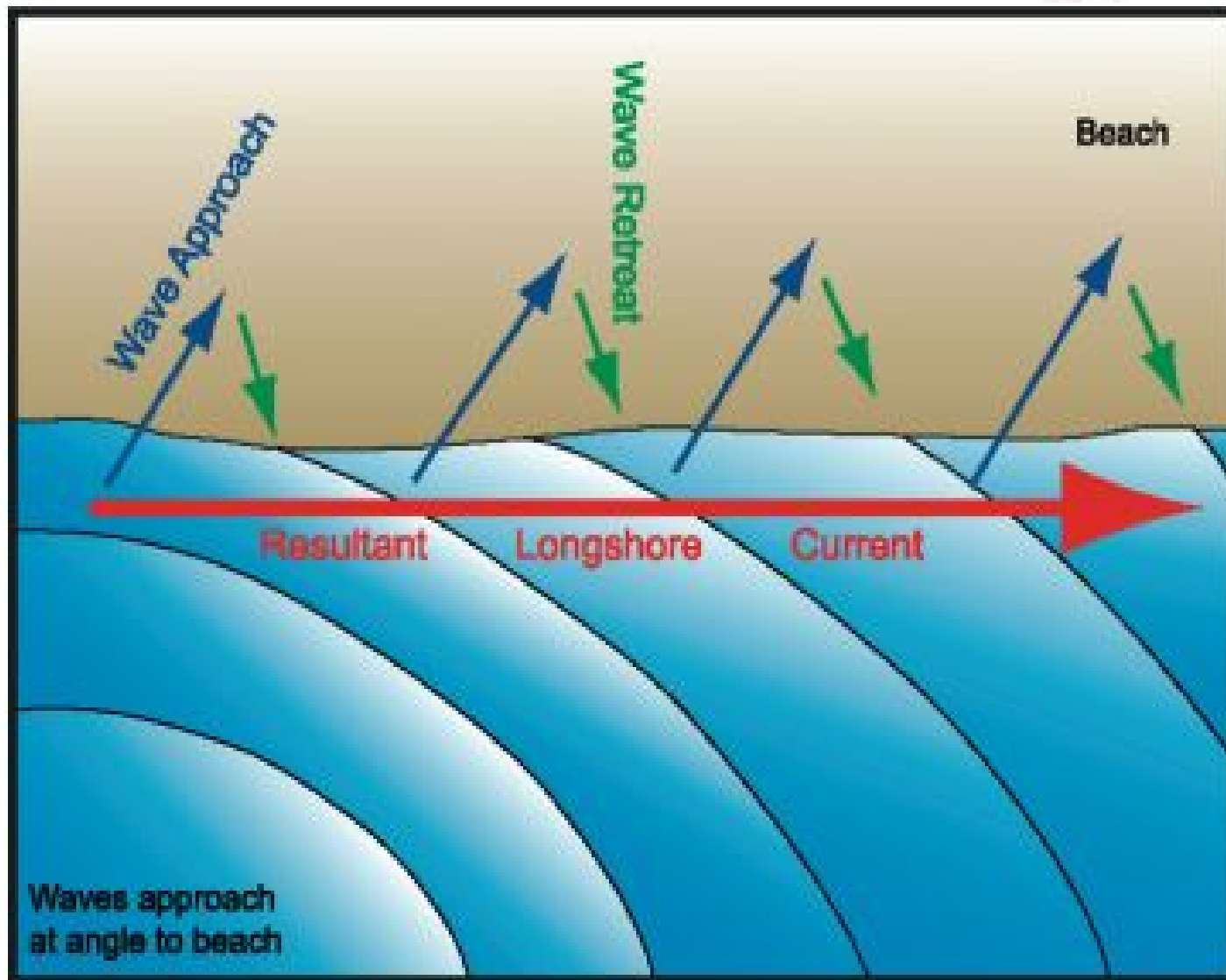
Θέρμα Σαμοθράκης

Εισαγωγή

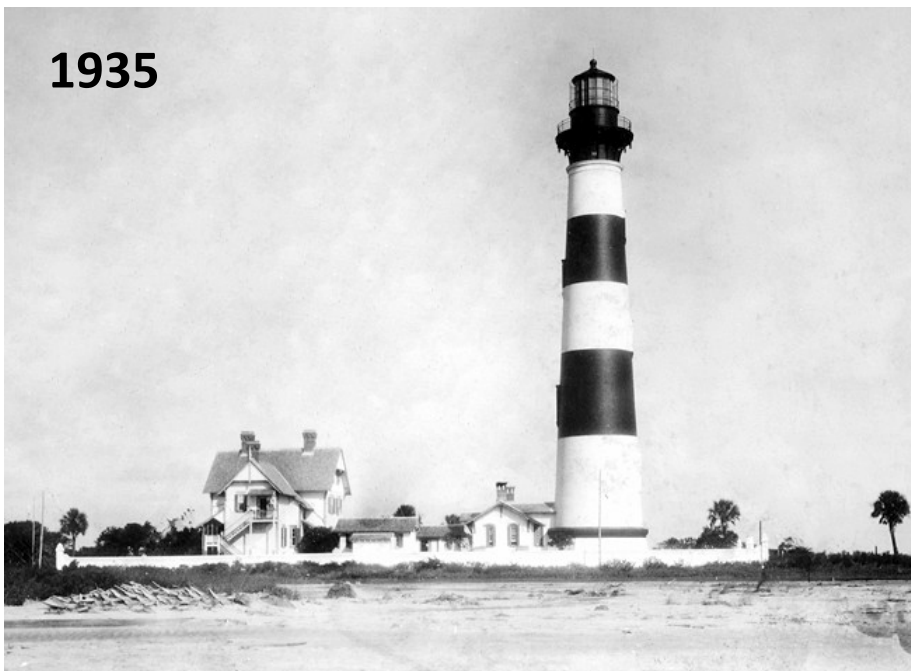


Διάβρωση - προσάμμωση





1935



Morris Island, S. Carolina, USA

πρόσφατα



Δομή του Μαθήματος

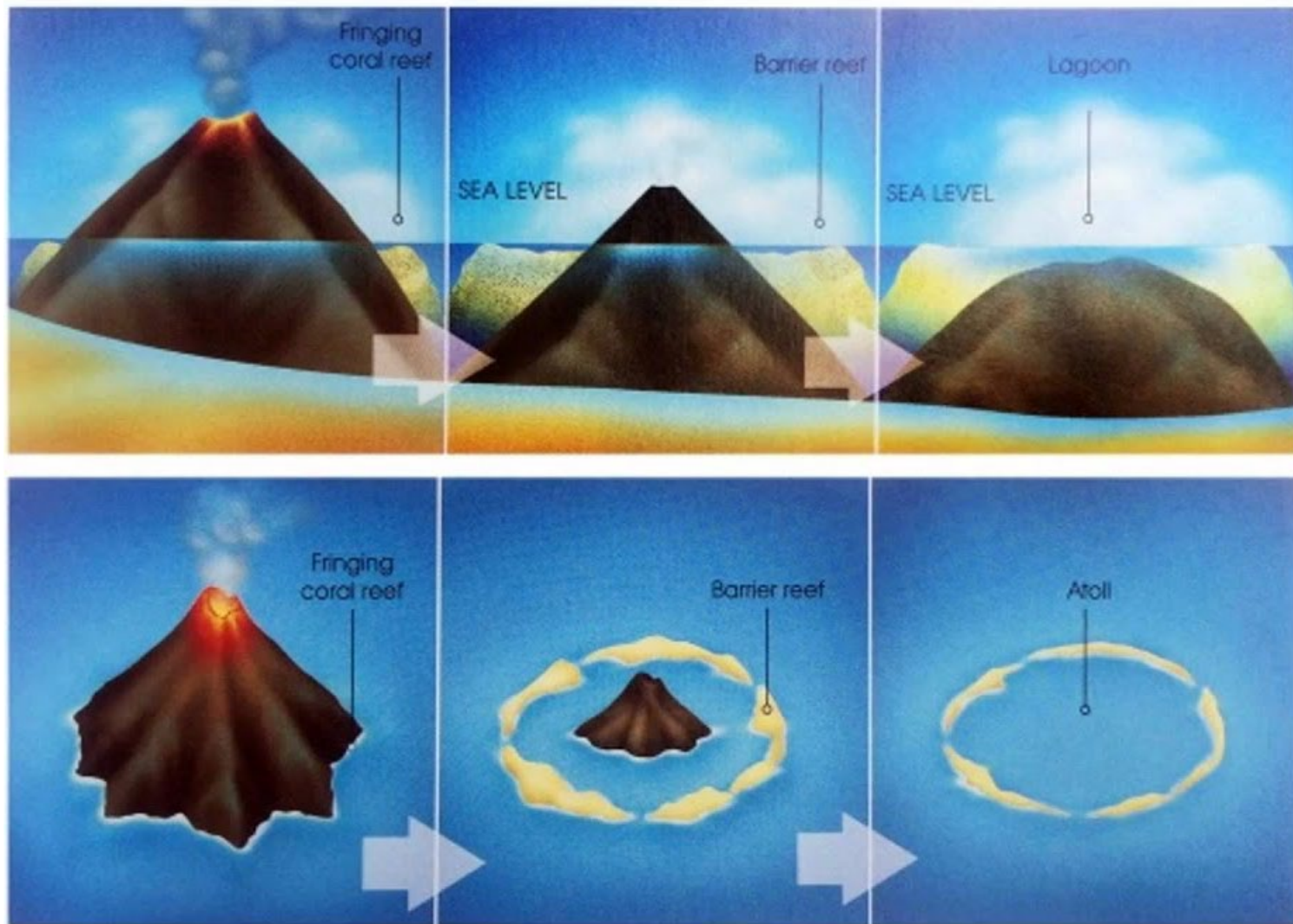
3

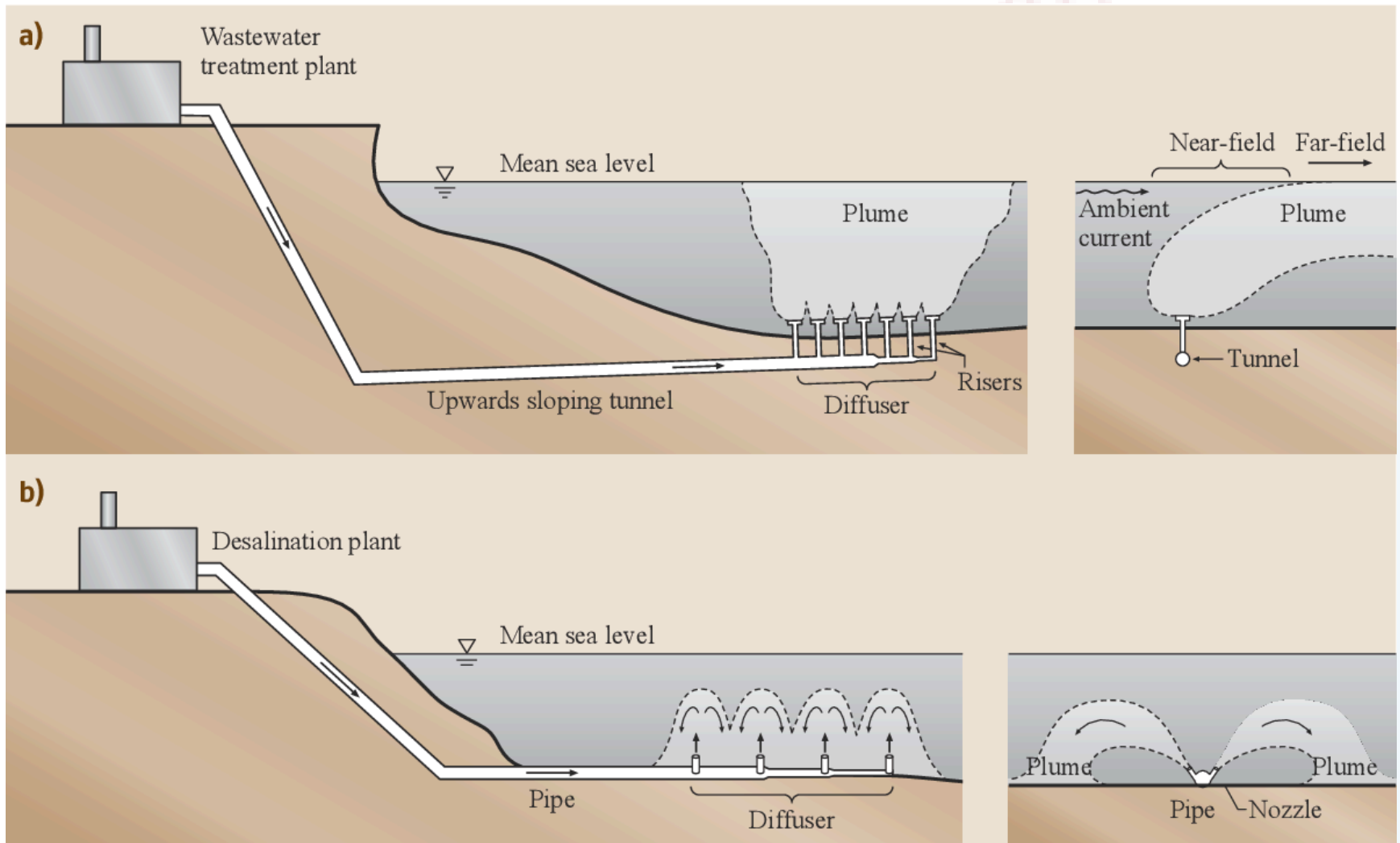
Μορφολογία ακτών, παράκτια στερεομεταφορά και τεχνικά έργα

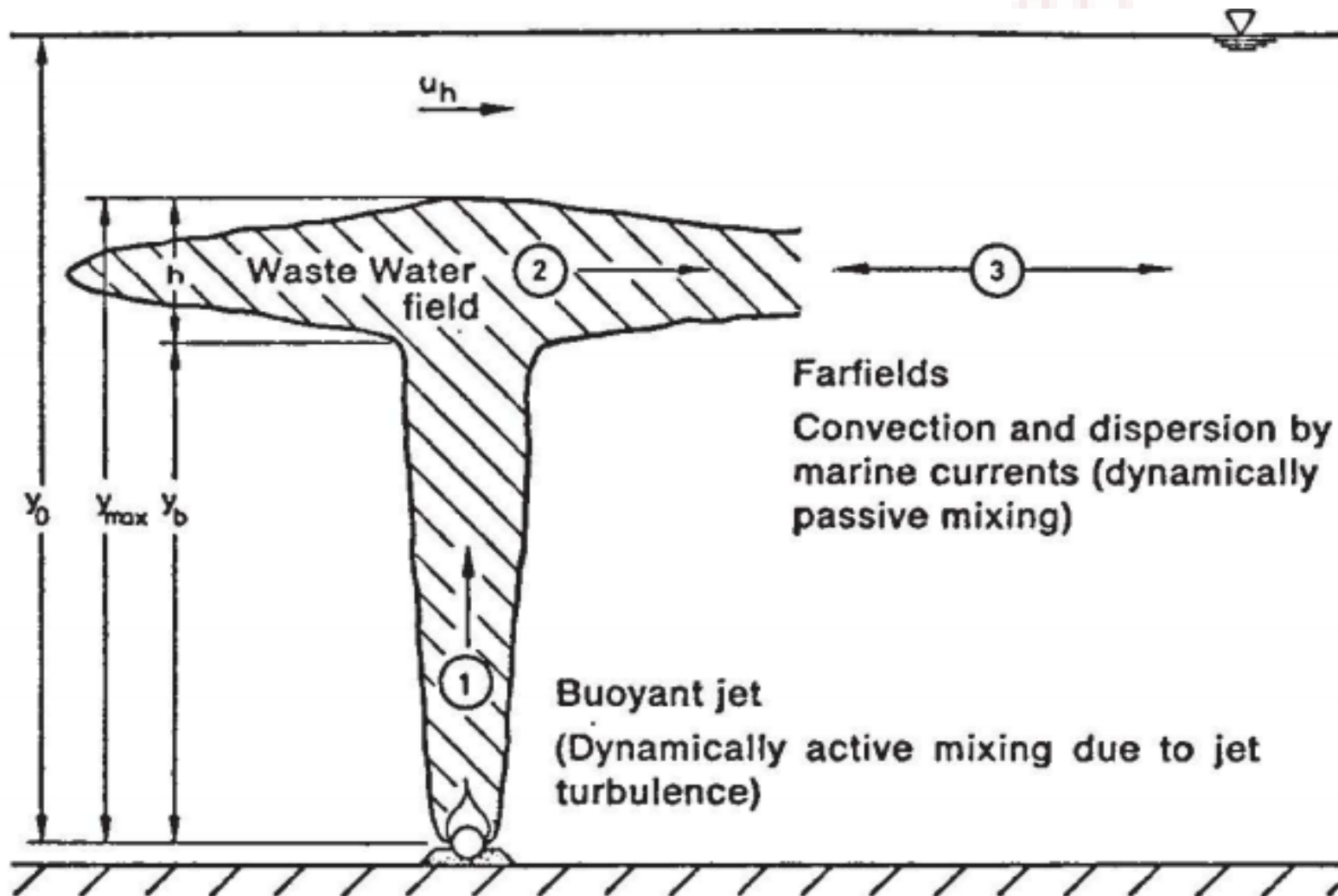
- Ταξινόμηση - Μορφολογία ακτών
- Ισοζύγιο ιζημάτων - Ανάμιξη αιωρημάτων και διαλυμάτων
- Στοιχεία υδροστατικής και υδροδυναμικής σε υπεράκτιες κατασκευές

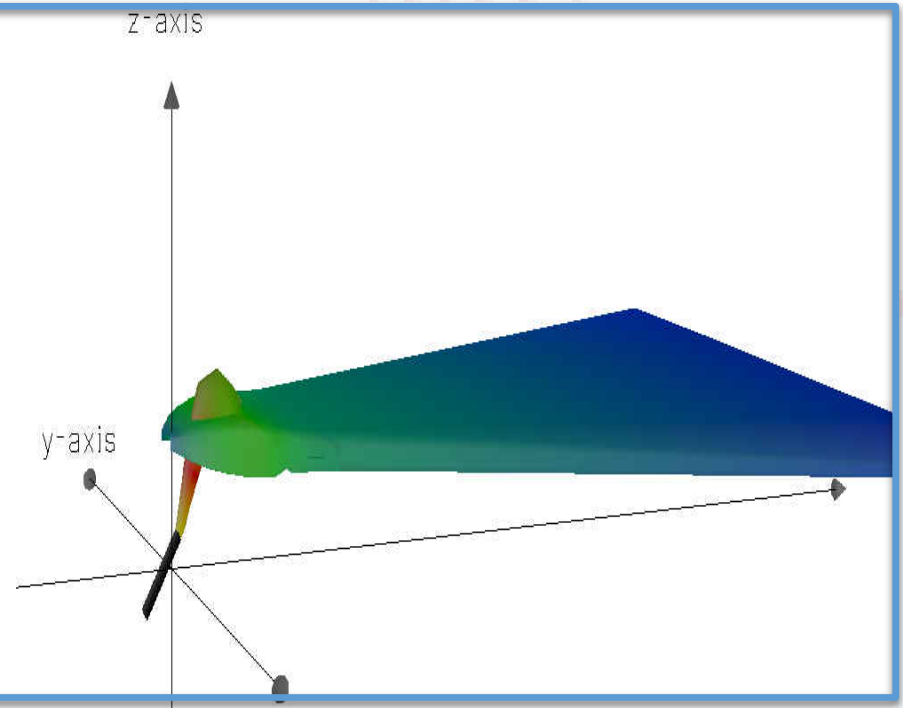
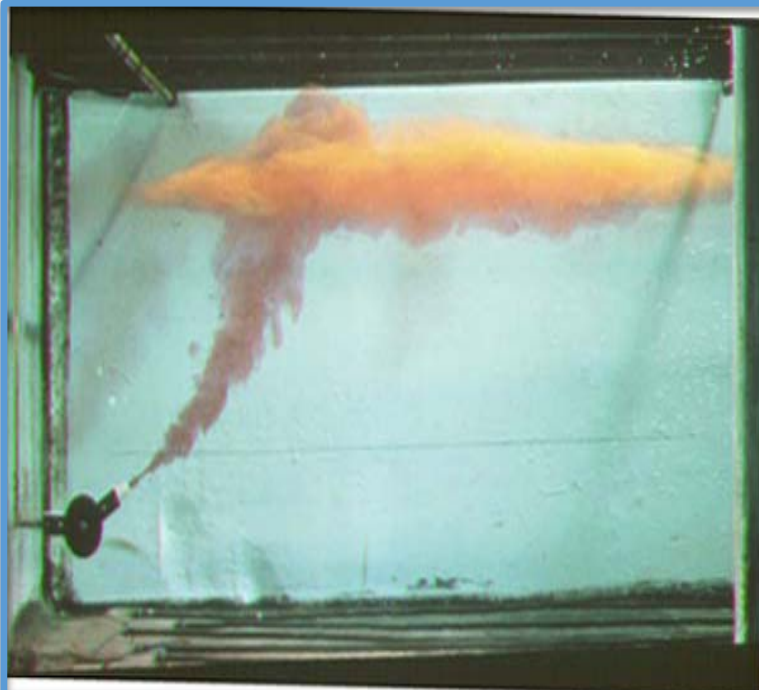




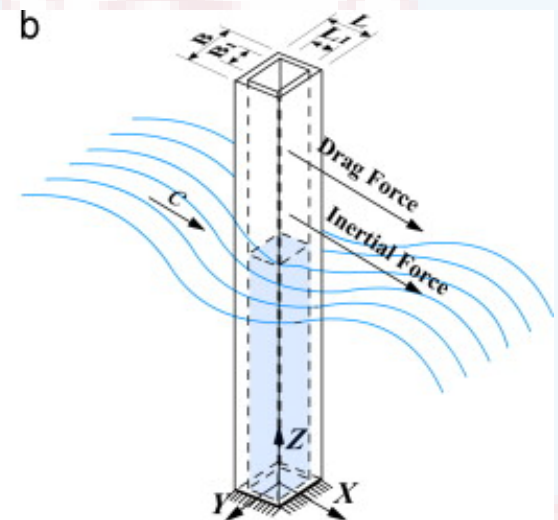
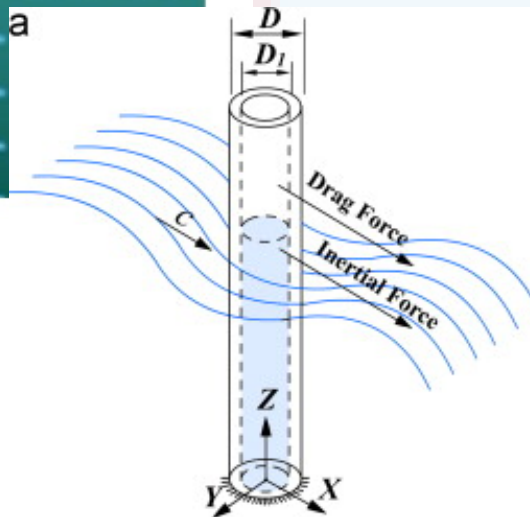
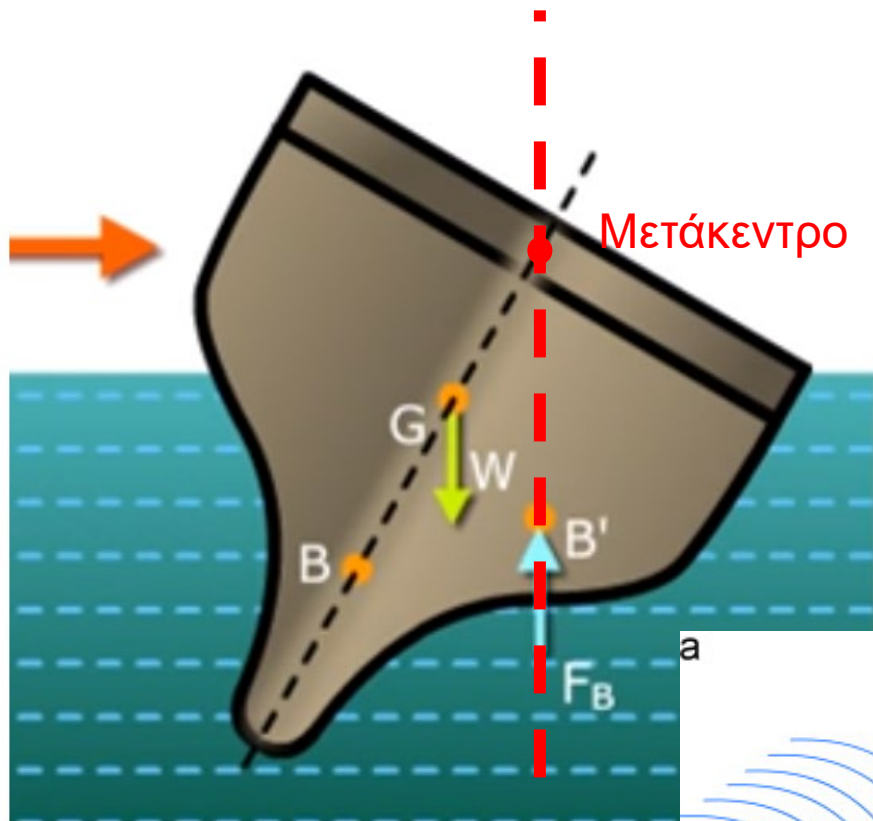








Επίδραση κυμάτων σε υπεράκτιες κατασκευές



Δομή του Μαθήματος

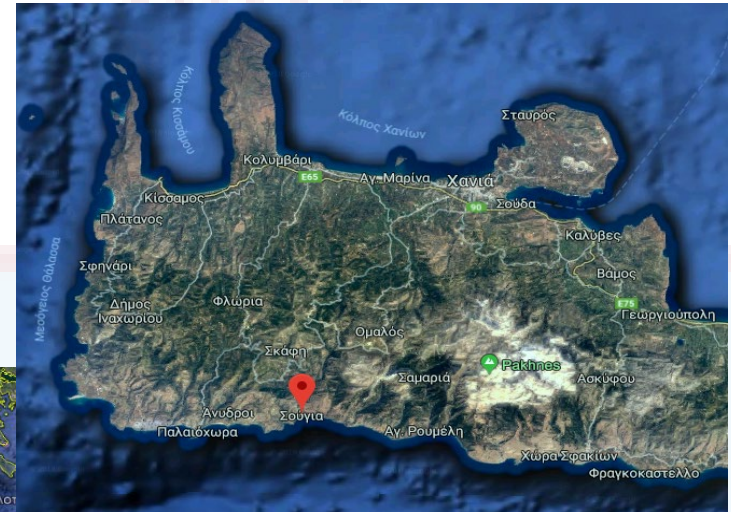
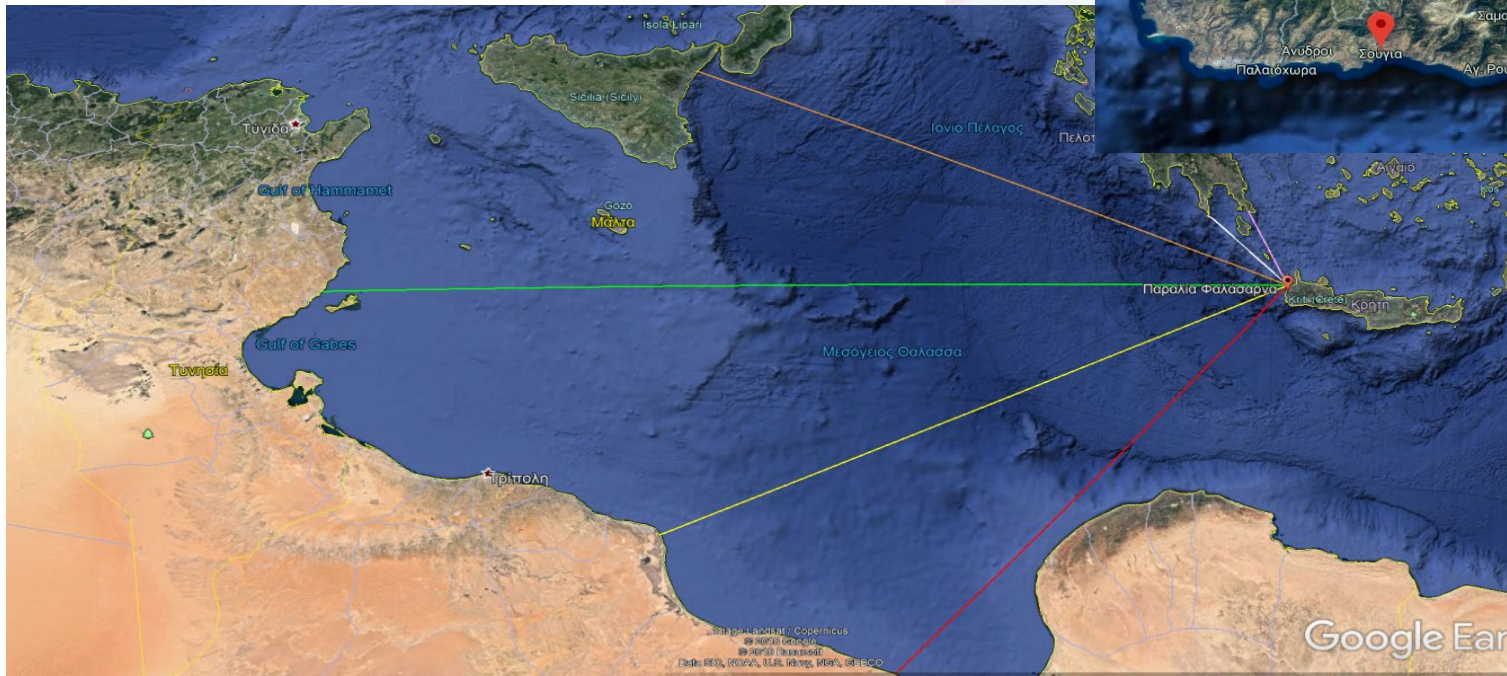
4

ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ – ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΕΙΣ

Project

Ακτομηχανική διερεύνηση παραλίας

- Υπολογισμός μέση ταχύτητας ανέμου
- Υπολογισμός αναπτύγματος πελάγους
- Υπολογισμός χαρακτηριστικού κύματος
- Υπολογισμός στερεομεταφοράς



MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2019

NAME: chaniace CITY: STATE:
ELEV: 10 m LAT: 35° 30' 28" N LONG: 24° 00' 22" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

	MEAN					HEAT	COOL		AVG			
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DEG	DEG	RAIN	WIND	HIGH	TIME	DOM
						DAYS	DAYS		SPEED			DIR
1	10.2	11.7	11:50	8.6	3:50	8.2	0.0	23.2	5.6	35.4	17:20	WSW
2	11.1	12.4	16:10	7.6	19:40	7.2	0.0	38.0	11.4	53.1	1:50	NNE
3	11.6	16.4	13:10	7.7	0:10	6.8	0.0	5.6	7.9	49.9	13:40	W
4	8.7	12.3	12:50	6.4	5:40	9.7	0.0	10.8	4.8	40.2	1:20	WSW
5	5.9	8.0	15:00	3.6	19:10	12.4	0.0	11.2	5.0	38.6	7:40	WSW
6	8.3	12.4	12:30	3.8	4:40	10.0	0.0	1.8	4.8	30.6	1:20	WSW
7	7.4	11.5	12:50	4.6	22:20	10.9	0.0	13.4	4.0	32.2	23:40	WSW
8	4.9	8.5	16:20	0.9	22:00	13.4	0.0	8.4	8.2	48.3	6:00	NNE
9	10.1	14.6	14:20	1.8	0:10	8.2	0.0	3.0	5.6	48.3	23:40	WSW
10	13.2	16.8	11:40	10.8	23:20	5.2	0.0	4.6	10.9	57.9	6:50	WSW
11	12.4	18.2	12:00	7.7	5:50	5.9	0.0	0.0	2.6	27.4	15:20	SSW
12	11.2	18.6	15:00	5.5	7:10	7.1	0.0	3.2	3.7	45.1	18:10	SSW
13	11.0	12.8	14:30	8.7	3:50	7.3	0.0	28.8	7.4	45.1	7:20	NNE
14	10.9	14.3	12:40	8.7	8:00	7.4	0.0	5.2	4.3	25.7	13:20	WSW
15	9.3	13.2	5:10	5.7	22:00	9.0	0.0	17.6	13.0	59.5	6:30	NNE
16	8.3	10.8	16:10	5.3	5:40	10.1	0.0	4.2	14.2	66.0	3:40	NNE
17	11.6	15.4	13:50	7.9	22:30	6.8	0.0	0.0	6.0	27.4	14:00	WSW
18	10.4	16.5	14:10	5.0	7:50	7.9	0.0	0.0	4.8	29.0	13:00	SW
19	9.4	15.1	15:30	5.5	3:40	8.9	0.0	0.0	3.7	16.1	14:20	SSW
20	10.7	15.1	12:00	6.4	0:10	7.7	0.0	3.8	2.1	12.9	4:30	SSW
21	11.2	16.0	15:20	6.9	5:30	7.1	0.0	2.2	2.7	19.3	13:00	WSW
22	10.7	17.0	16:20	5.4	6:30	7.7	0.0	0.0	3.5	16.1	10:20	SSW
23	12.4	18.7	14:10	6.8	6:00	5.9	0.0	0.0	4.2	35.4	15:20	SW
24	11.8	15.9	15:20	9.1	6:50	6.5	0.0	12.4	6.3	40.2	14:10	WSW
25	14.2	18.2	11:00	9.8	00:00	4.2	0.0	10.0	11.4	57.9	9:00	SSW
26	12.0	15.3	15:00	9.5	0:20	6.3	0.0	2.2	7.4	35.4	2:00	WSW
27	11.8	15.2	12:20	9.7	2:00	6.5	0.0	1.2	6.0	25.7	17:10	WSW
28	12.9	17.4	14:20	9.8	2:20	5.4	0.0	0.0	5.1	41.8	11:30	WSW
29	13.1	18.6	15:40	7.4	5:00	5.2	0.0	1.4	4.0	54.7	21:50	SSW
30	12.0	14.6	16:00	10.1	5:50	6.3	0.0	3.4	4.8	27.4	11:00	WSW
31	12.7	15.8	15:00	10.3	6:40	5.7	0.0	8.0	8.4	40.2	8:40	W
	10.7	18.7	23	0.9	8	237.0	0.0	223.6	6.3	66.0	16	WSW


```
for i=2011:2018
    for j=1:12
        urlstr=['http://meteosearch.meteo.gr/data/chaniacenter/', num2str(i),'-',...
num2str(j,'%02.f'),'*.txt'];
        filstr=[num2str(pwd),'\chaniacenter\',num2str(i),'-', num2str(j,'%02.f'),'*.txt'];
        urlwrite(urlstr,filstr)
    end
end
```

Από – έως – ολόκληρα χρόνια

12 μήνες

link

Εδώ θα αποθηκευτούν τα δεδομένα

Αποθήκευση



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ΒΗΜΑ 1) ΠΑΣΤΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΩΝ ΕΔΩ:								ΒΗΜΑ 2) ΔΩΣΤΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΕΔΩ: 							SSW
2																
3									Η μέση διάρκεια πνοής του SSW ανέμου είναι :							
4														1.98	ΗΜΕΡΕΣ	
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																



DO NOT TOUCH

1	SSW	1	1
2	SSW	1	2
3	WSW		1
4	SSW	1	1
5	SSW	1	2
6	SE		1
7	SSW	1	1
8	SSW	1	2
9	W		1
10	SSW	1	1
11	SSW	1	2
12	SSW	1	3
13	SSW	1	4
14	SW		1

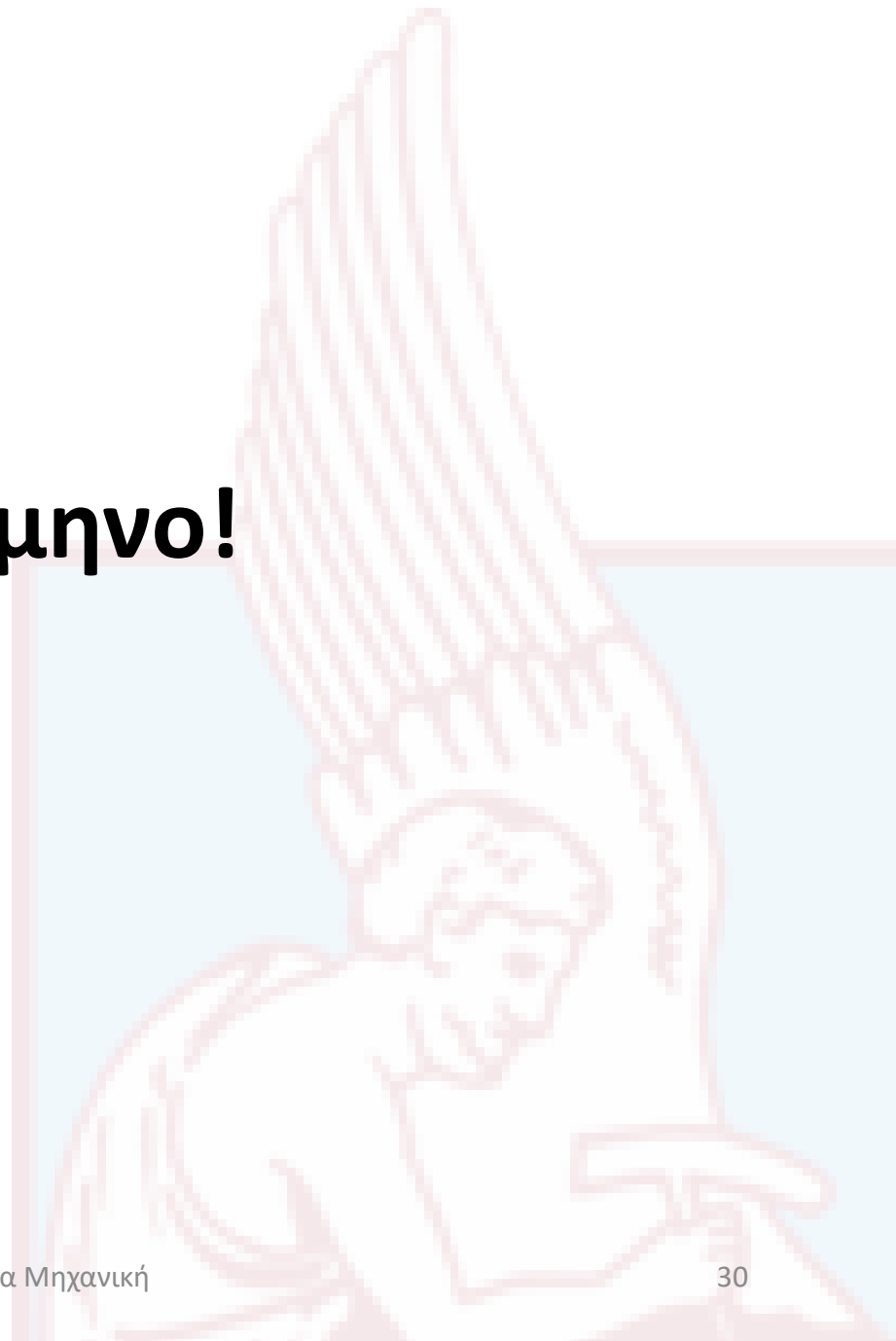
<https://webapp.navionics.com/>



Project

- **Υποχρεωτικό**
- Ομάδες 3-4 ατόμων
- Αναφορά + Παρουσίαση των αποτελεσμάτων
(παράδοση αναφοράς και παρουσίαση από όλα τα μέλη της ομάδας στο τέλος του εξαμήνου)
- 20% στη βαθμολογία
- New rule: Η αντιγραφή θα τιμωρείται με αποκλεισμό από τις εξετάσεις του μαθήματος.

Καλό εξάμηνο!





Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 Παράκτια Μηχανική 1^η Εβδομάδα

Θαλάσσιοι κυματισμοί
Γραμμική θεωρία κυματισμών

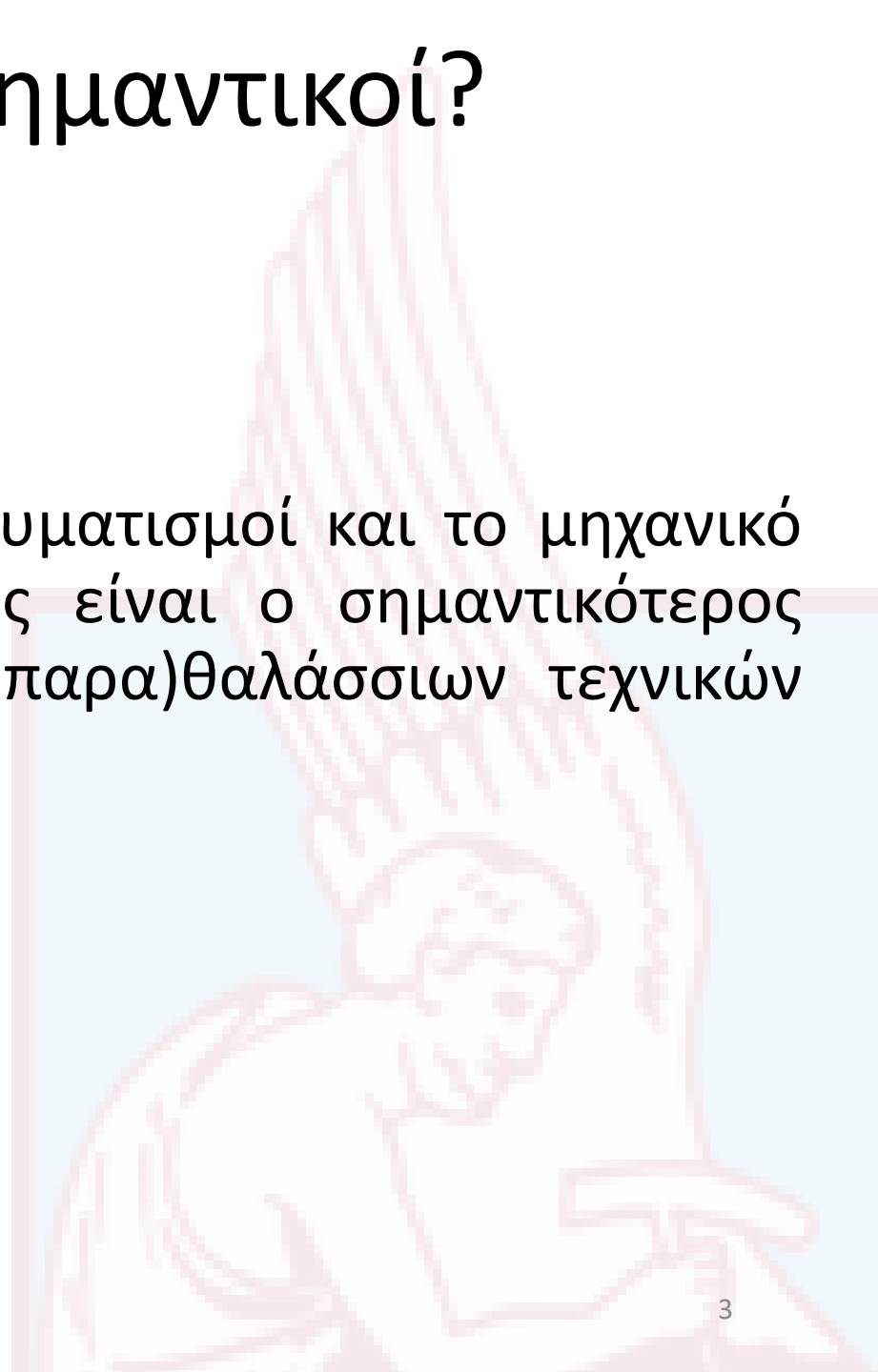
Κυματισμοί

Ταξινόμηση - Θεωρία



Γιατί είναι σημαντικοί?

Οι επιφανειακοί θαλάσσιοι κυματισμοί και το μηχανικό ενεργειακό περιεχόμενό τους είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φόρτισης των (παρα)θαλάσσιων τεχνικών έργων.



Γιατί είναι σημαντικοί?



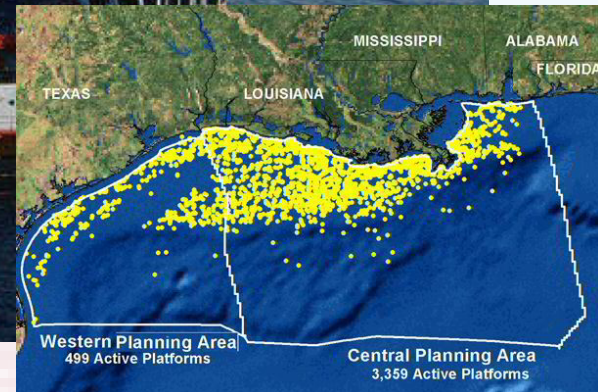
Γιατί είναι σημαντικοί?



Γιατί είναι σημαντικοί?



Γιατί είναι σημαντικοί?



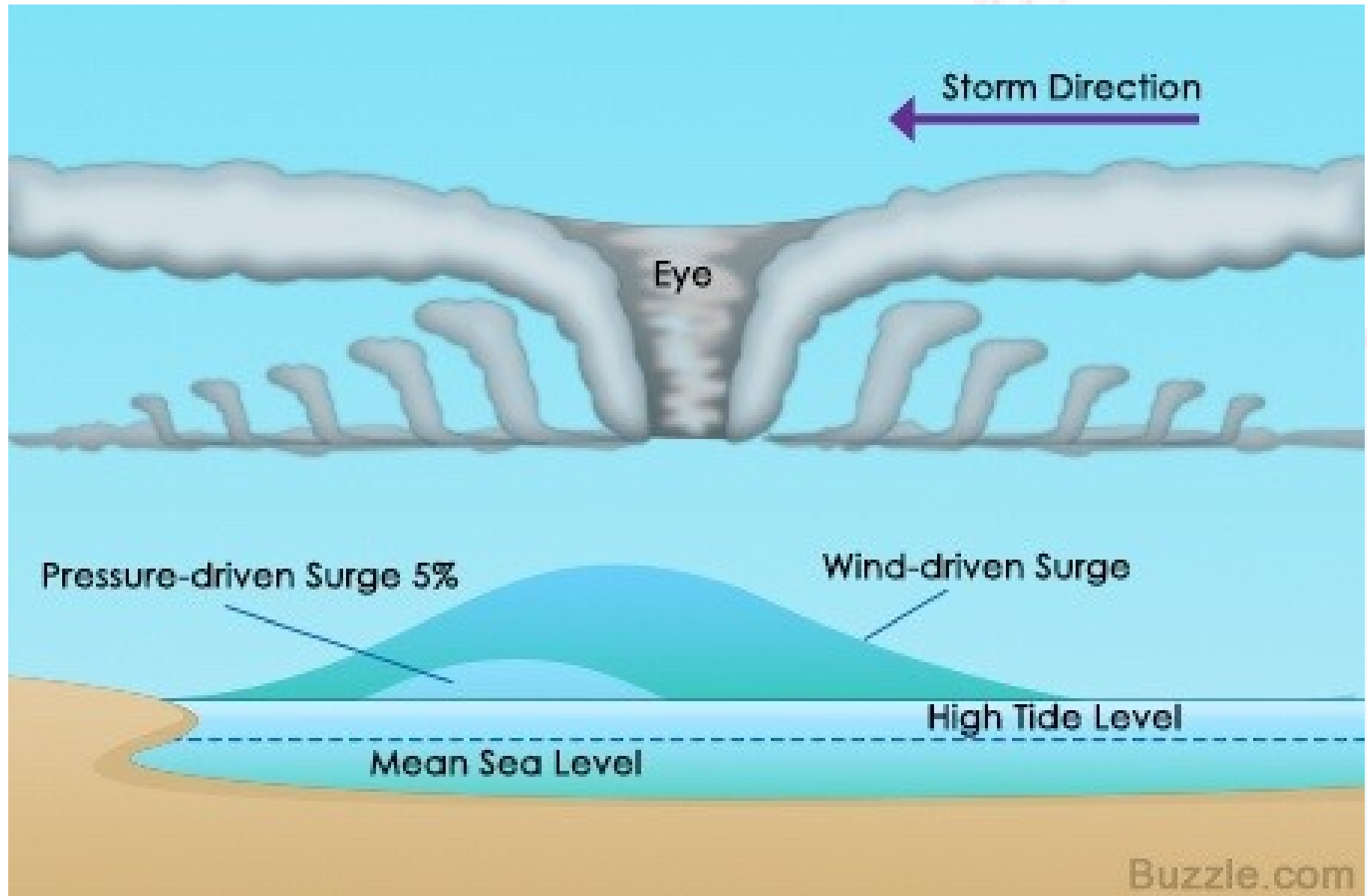
Γιατί είναι σημαντικοί?



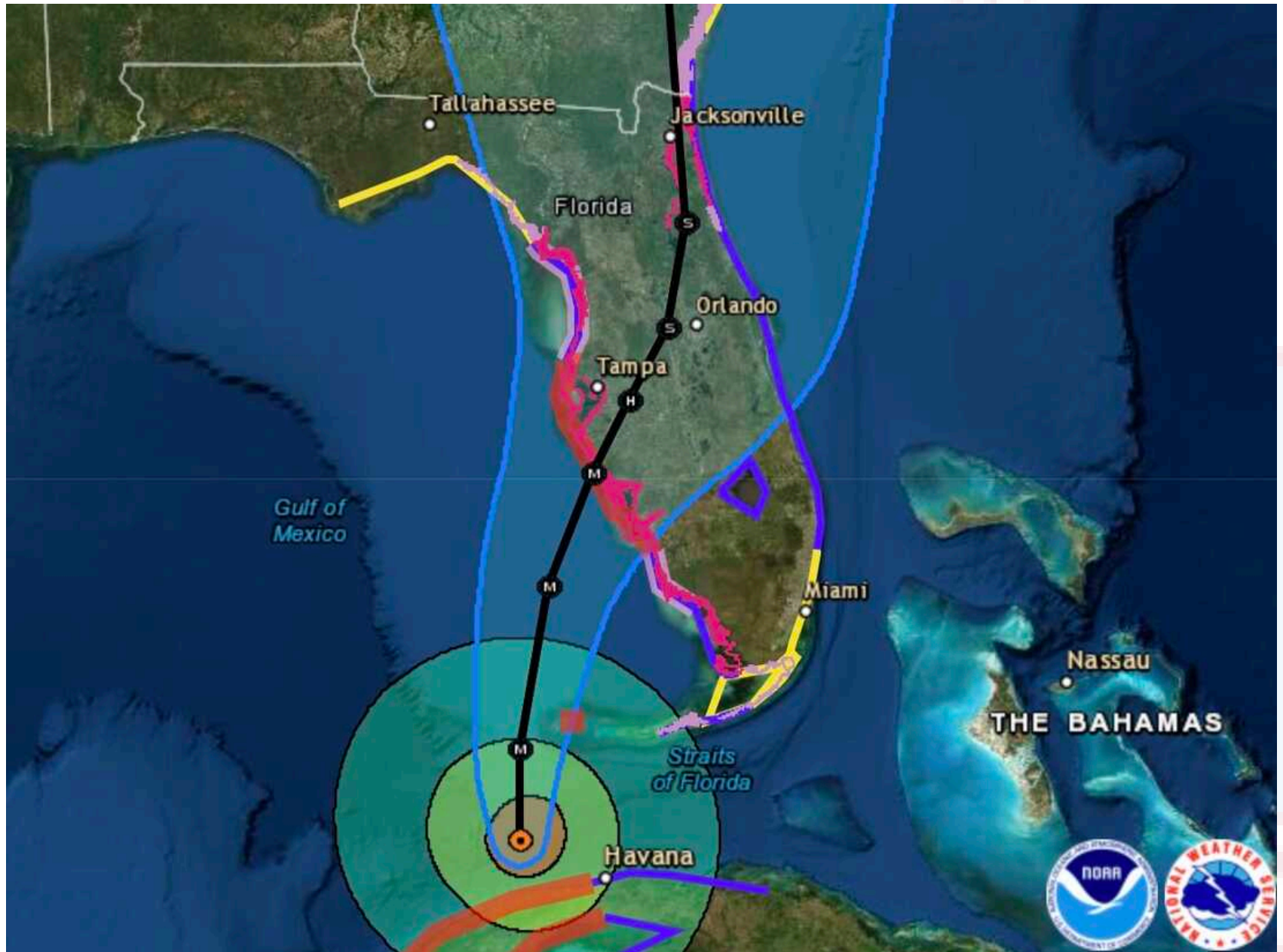
Τύποι και χαρακτηριστικά κυματισμών

Φαινόμενο	Προέλευση	Περίοδος κυματισμού
Φουσκοθαλασσιές (surge)	Ατμοσφαιρική πίεση και δράση ανέμου	1 – 30 μέρες
Παλίρροιες (tides)	Βαρυτικές δυνάμεις λόγω περιστροφής της Γης γύρω από τον ήλιο και της Σελήνης γύρω από τη Γη	Περίπου μεταξύ 12 – 24 h
Θαλάσσιοι σεισμογενείς κυματισμοί (tsunamis)	Υποθαλάσσιοι σεισμοί, υποθαλάσσιες κατολισθήσεις και υποθαλάσσια ηφαίστεια	5 – 60 mins
Κυματανάπαλη (seiches) (μεταβολές θαλάσσιας στάθμης σε γεωφυσικές λεκάνες και λιμενολεκάνες)	Συντονισμός συνιστωσών κυματισμών μεγάλης περιόδου	1 – 30 mins
Αποθάλασσες (swells)	Κυματισμοί παραγόμενοι από καταιγίδα σε μεγάλη απόσταση από την ακτή	< 40 sec
Ανεμογενείς κυματισμοί (wind generated waves)	Διατμητικές τάσεις ανέμου στην θαλάσσια επιφάνεια	< 40 sec

Φουσκοθαλασσιές (surge)



Φουσκοθαλασσιές (surge)



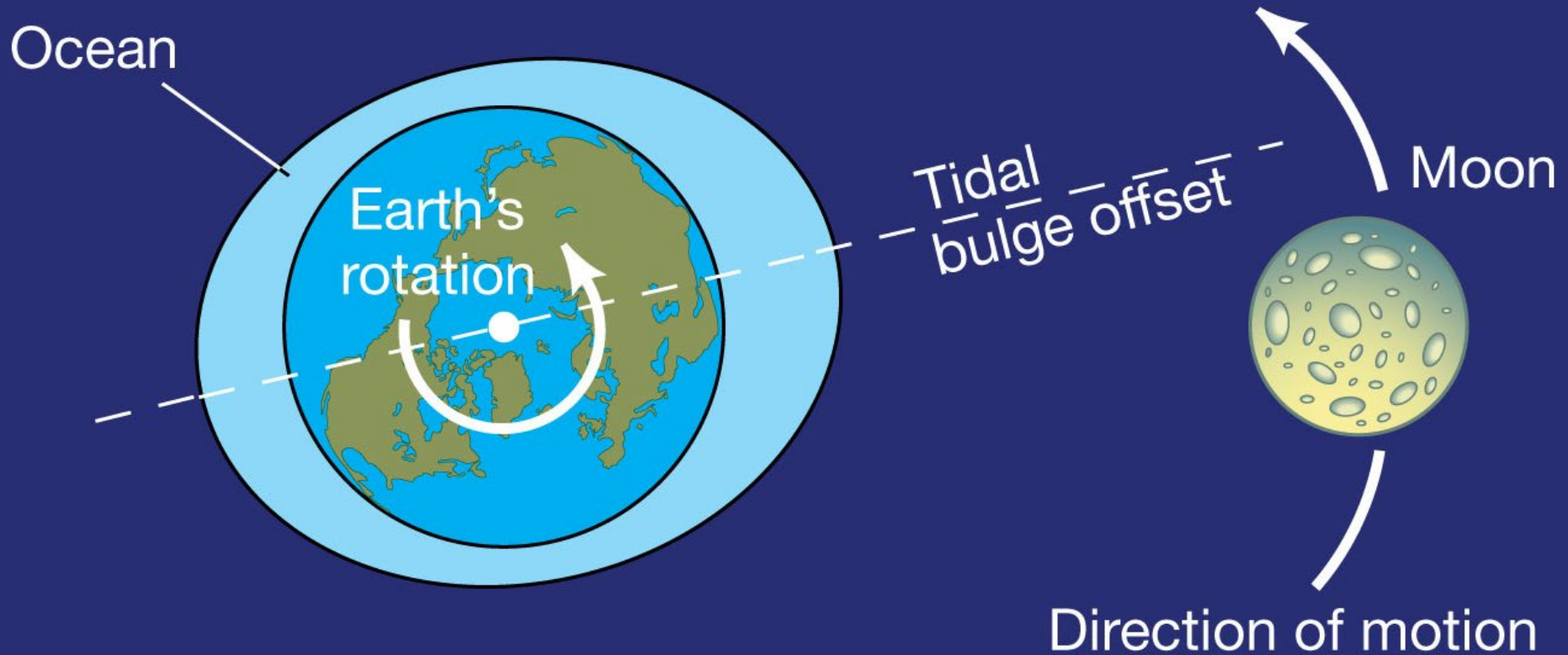
Φουσκοθαλασσιές (surge)



Φουσκοθαλασσιές (surge)



Παλίρροιες (tides)



Παλίρροιες (tides)

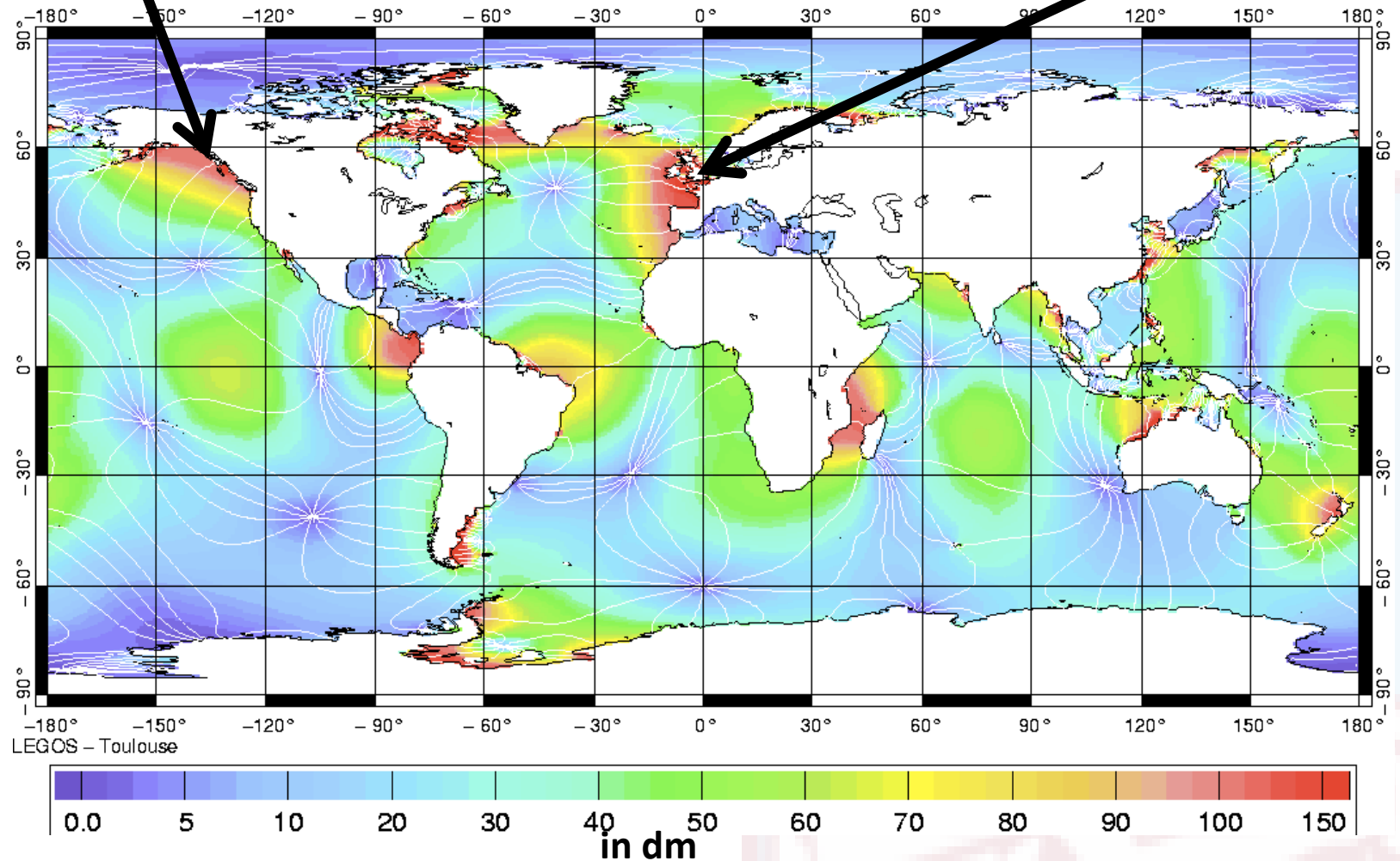
The Bay's tides

measure over 16 m

The Severn Estuary tides

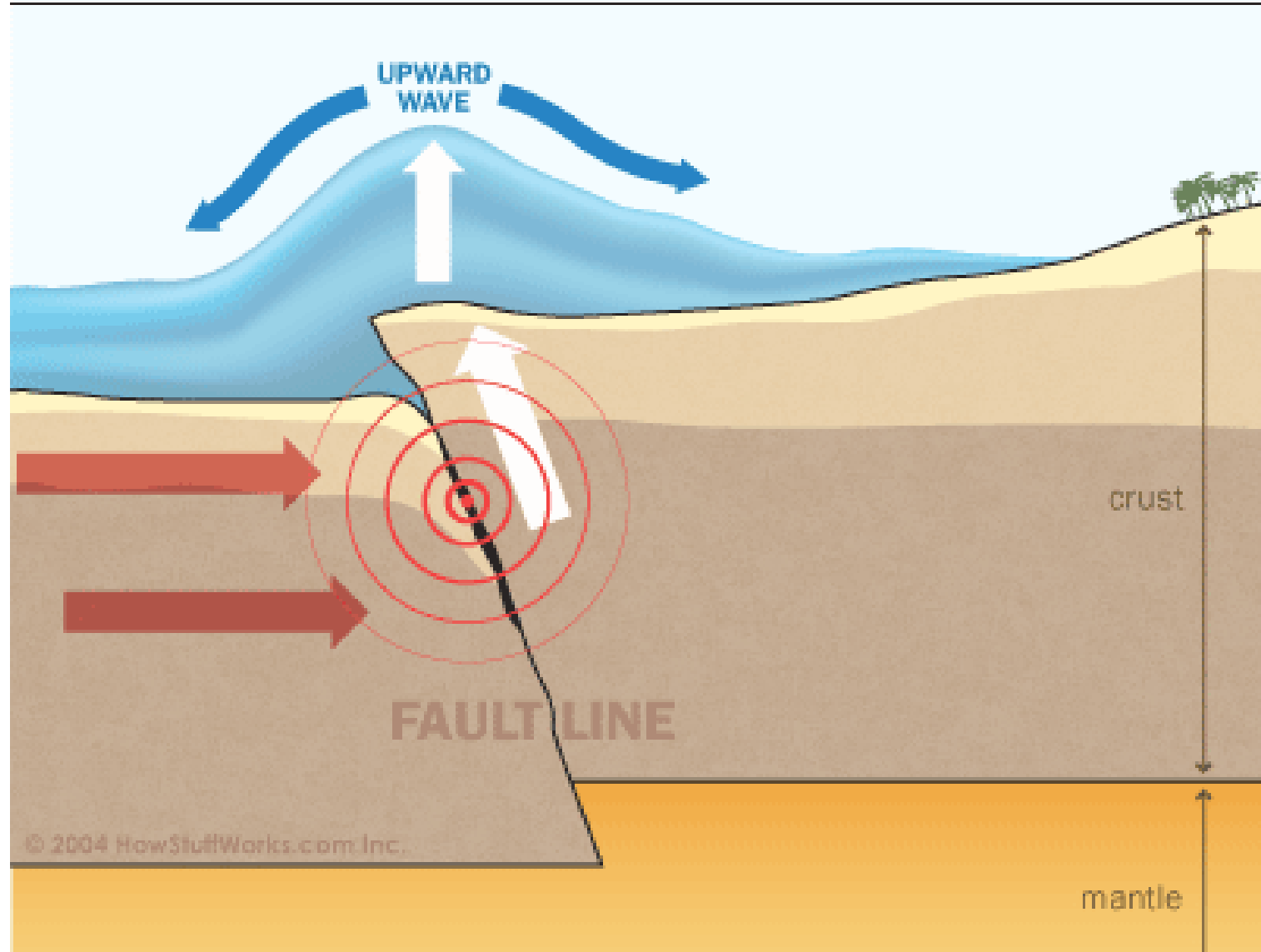
measure over 15 m

FES99 – M2 TIDAL WAVE

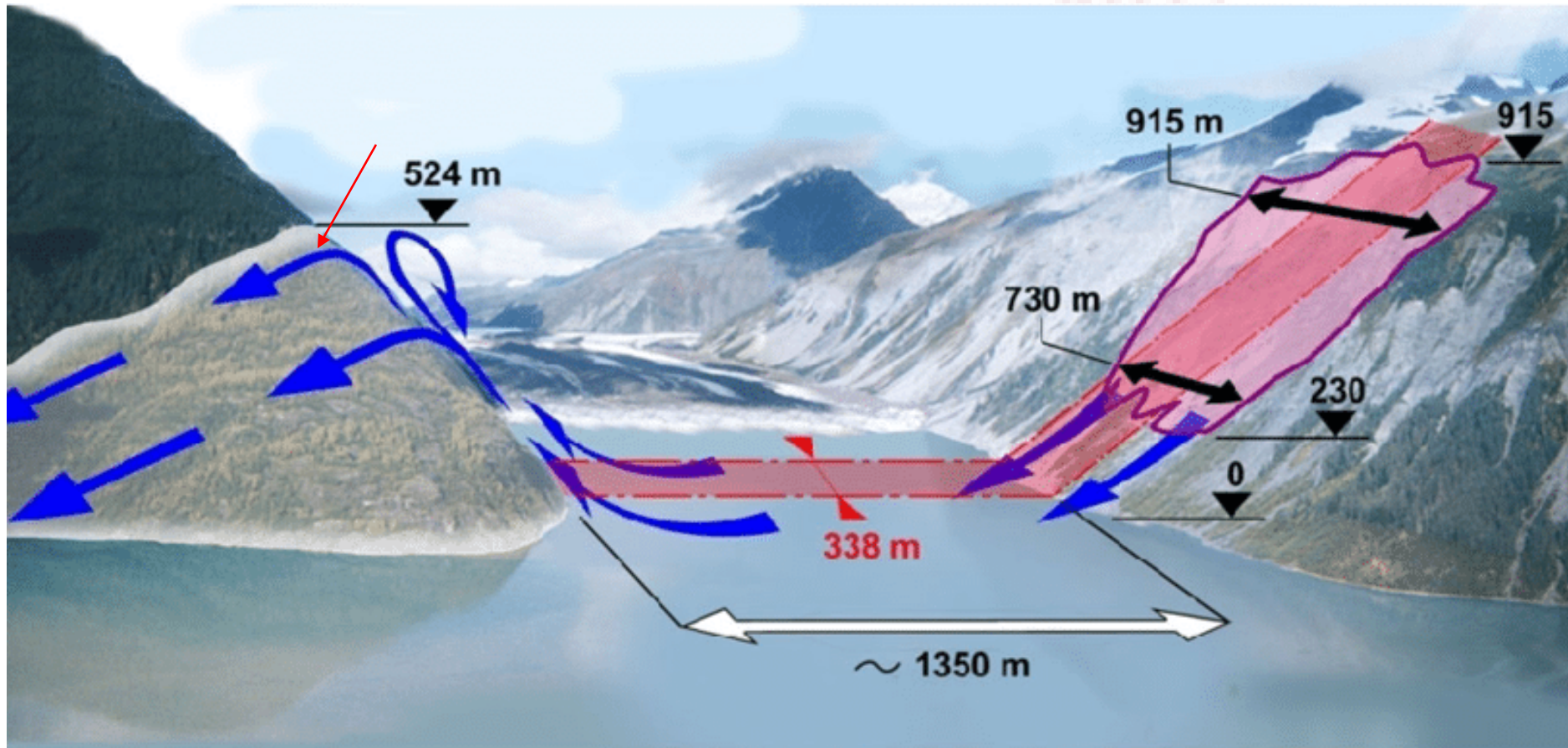


Σεισμογενή (tsunamis)

How Tsunamis Work: Tsunamigenesis



Σεισμογενή (tsunamis)



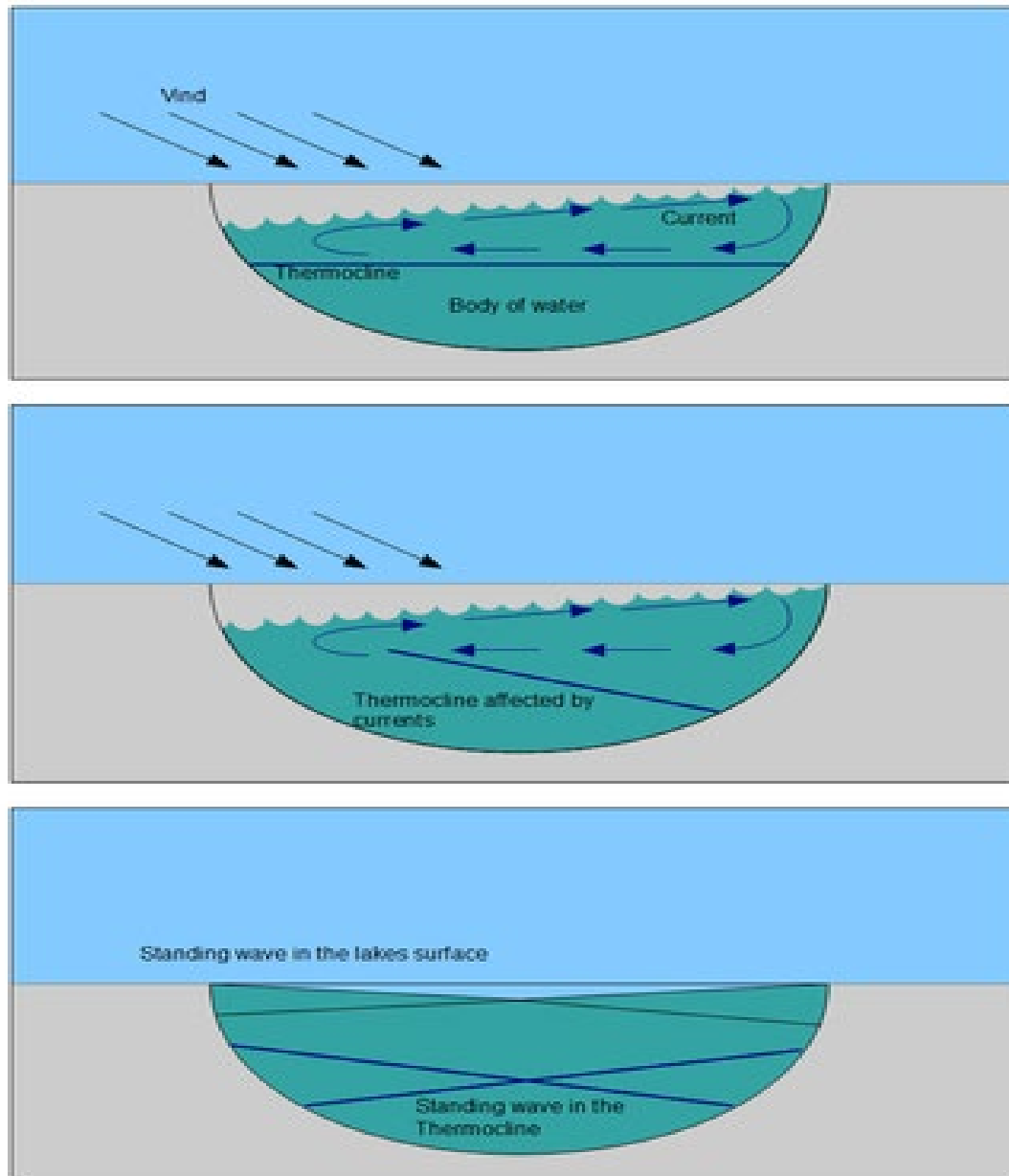
1958 tsunami event in Alaska

Σεισμογενή (tsunamis)



1958 tsunami event in Alaska

Κυματάνάπαλση (seiches)



Αποθάλλασες (swell waves)



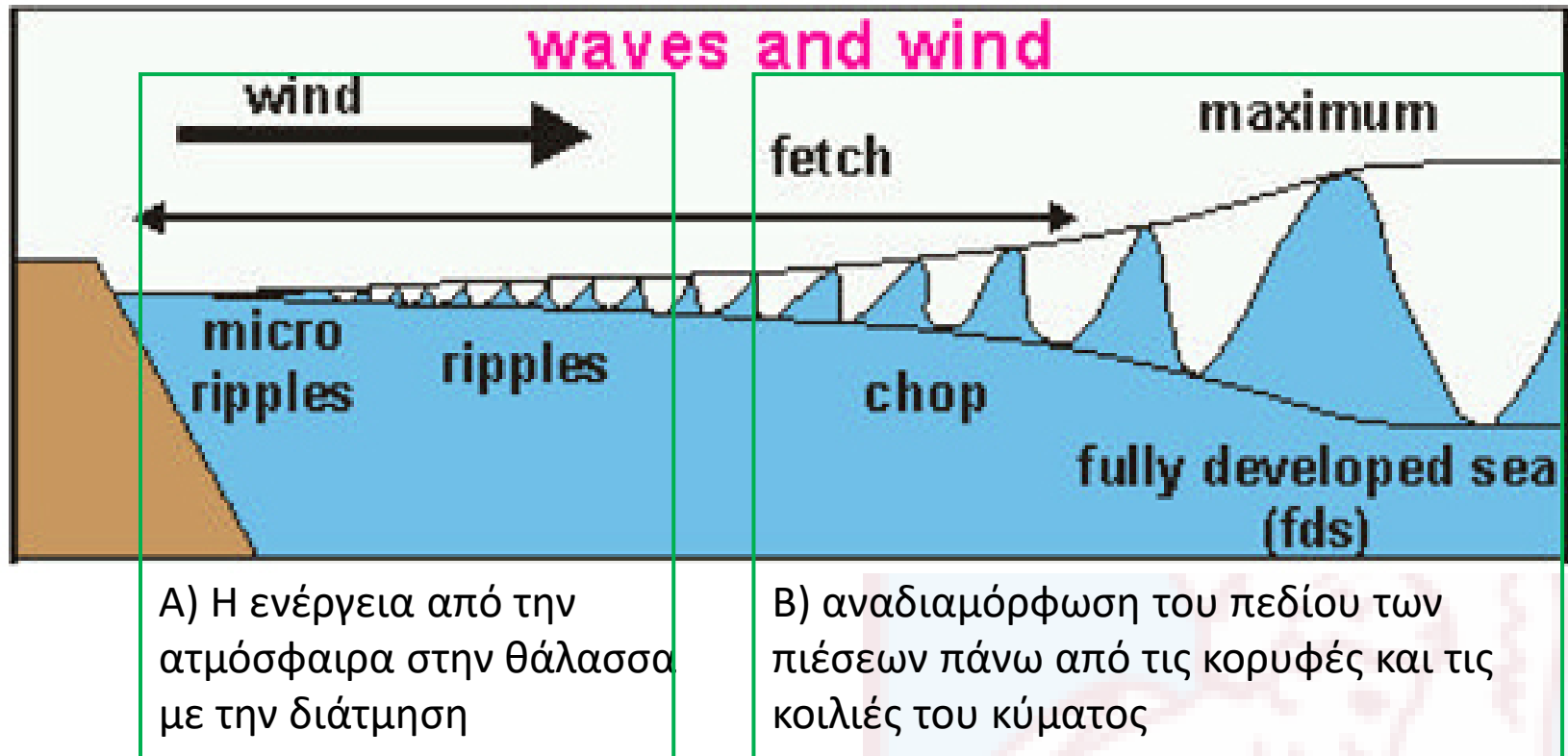
Αποθάλλασες (swell waves)



Ανεμογενείς Κυματισμοί



Ανεμογενείς Κυματισμοί



Η κυματογένεση ξεκινά με γραμμική αύξηση του κύματος και συνεχίζει με εκθετικό ρυθμό.

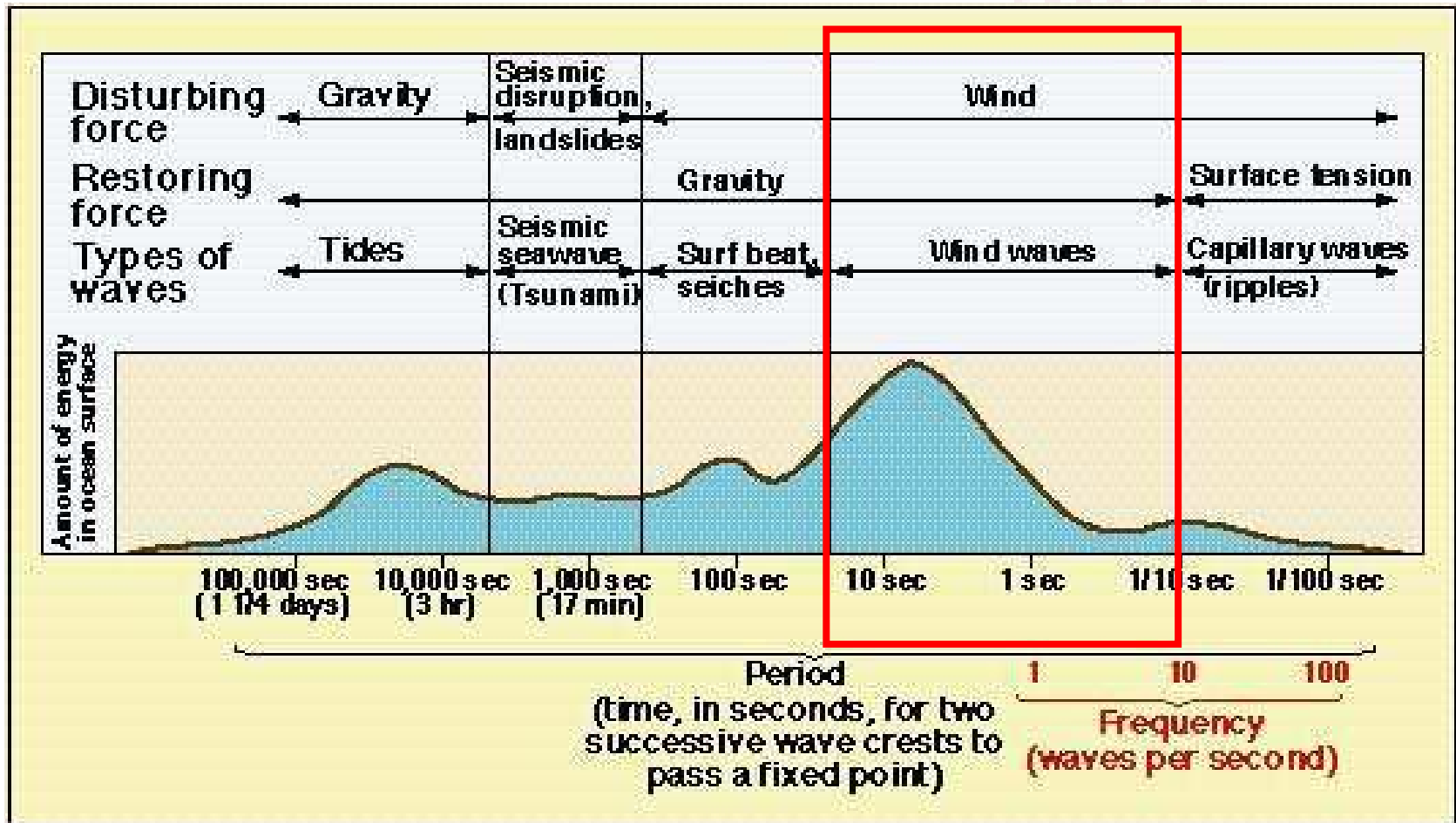
Ταξινόμηση Κυματισμών

Φαινόμενα πρώτης κατηγορίας (φουσκοθαλασσιές, παλίρροιες) → μεταβολές μέσης στάθμης θάλασσας

Κύματα τελευταίας κατηγορίας → μικρής περιόδου κύματα (ανεμογενή κύματα)

- Γενεσιουργό αίτιο δράση ανέμου
- Περίοδος ≤ 40 s
- Ανάπτυξη ανεμογενών κυματισμών σε ταχύτητες ανέμου $> 1\text{m/s}$, μετατροπή αιολικής σε κυματική ενέργεια

Φάσμα της κυματικής ενέργειας συναρτήσει της περιόδου



Γραμμική θεωρία κυματισμών - Linear wave theory ή Airy wave theory ή γραμμική θεωρία κυματισμών απειροστού πλάτους

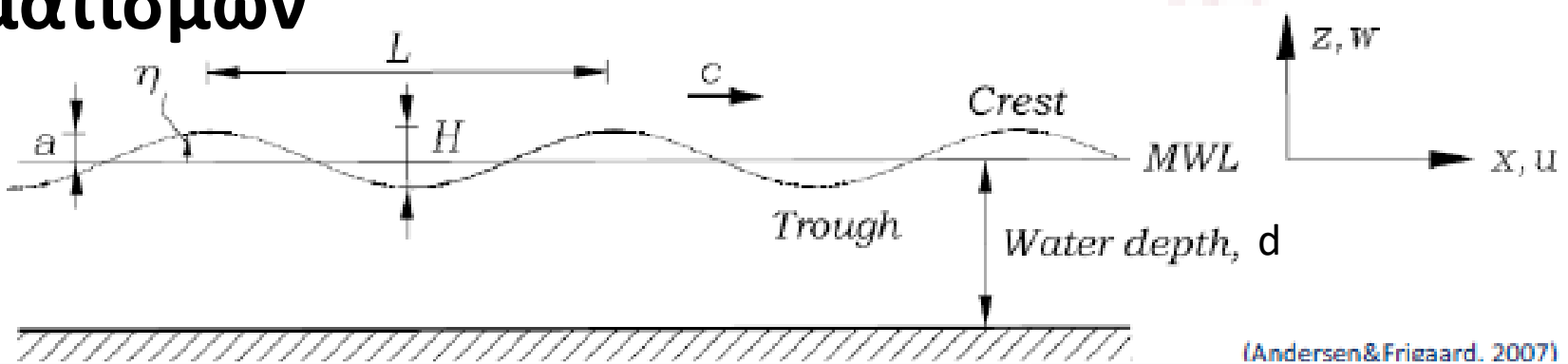
- Αποτελεί την πιο απλή κυματική θεωρία και η οποία αναπτύχθηκε από τον Airy (1845).
- Είναι εύκολη στην εφαρμογή και δίνει λογικές προσεγγίσεις των κυματικών χαρακτηριστικών για μεγάλο εύρος κυματικών παραμέτρων.
- Πολλά προβλήματα παράκτιας μηχανικής μπορούν να αντιμετωπιστούν με ευκολία και σχετική ακρίβεια με τη χρήση της συγκεκριμένης θεωρίας.
- Βασική παραδοχή της είναι ότι το ύψος κύματος είναι πολύ μικρότερο του βάθους (νερού) και του μήκους κύματος

Παραδοχές και συνθήκες γραμμικής θεωρίας

- Το υγρό είναι ομοιογενές και ασυμπίεστο - η πυκνότητα ρ παραμένει σταθερή
- Η επιφανειακή τάση θεωρείται αμελητέα
- Η επίδραση Coriolis λόγω περιστροφής της Γης θεωρείται αμελητέα
- Η πίεση στην ελεύθερη επιφάνεια είναι ομοιόμορφη και σταθερή
- Το υγρό είναι ιδανικό (το ιξώδες είναι αμελητέο)
- Η ροή είναι αστρόβιλη (~~$\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial z} = 0$~~)
- Ο βυθός αποτελεί ένα οριζόντιο, σταθερό και αδιαπέραστο όριο
=> η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας στο βυθό είναι μηδενική
- Το ύψος του κύματος είναι μικρό και η κυματομορφή παραμένει αμετάβλητη στο χώρο και το χρόνο
- Τα κύματα είναι δισδιάστατα ή «απειροστού πλάτους» (2D, long crested waves)

Η γραμμική θεωρία κυμάτων μπορεί να προσεγγίσει σε καλό βαθμό και τα σεισμογενή τσουνάμια, όσο αυτά βρίσκονται σε μεγάλα θαλάσσια βάθη.

Συμβολισμοί και ορισμοί παραμέτρων γραμμικών κυματισμών



(Andersen&Frizaard. 2007)

H	ύψος κύματος (απόσταση κοίλου και κορυφής)	ω	γωνιακή συχνότητα ($\omega = 2\pi/T$)
a	πλάτος κύματος (μισό ύψος) (amplitude)	k	“αριθμός” κύματος ($k = 2\pi/L$)
η	ανύψωση στάθμης της θάλασσας, $\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$	d	το βάθος του υγρού από τη μέση στάθμη
L	μήκος κύματος (απόσταση μεταξύ δύο κορυφών)	$S = \frac{H}{L}$	η κλίση του κύματος
T	περίοδος κύματος (η χρονική διάρκεια στην οποία εμφανίζονται δύο διαδοχικές κορυφές από το ίδιο σημείο)	u	οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας των μορίων του νερού
$C = \frac{L}{T}$	φασική ταχύτητα κυματισμού (ταχύτητα διάδοσης)	w	κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας των μορίων του νερού

Γενικές σχέσεις επίλυσης των κυματικών παραμέτρων

- Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad (I)$$

- Εξίσωση διασποράς (κύματα με διαφορετική περίοδο ταξιδεύουν με διαφορετική ταχύτητα)

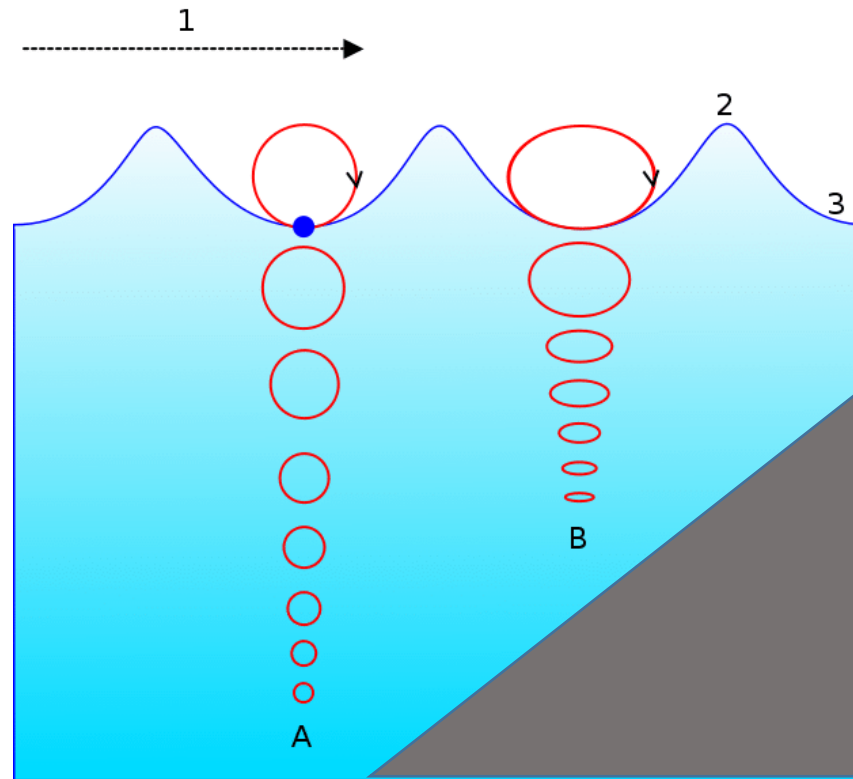
$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)} \quad (II)$$

- Μήκος κύματος

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (III)$$

- όπου d το βάθος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας

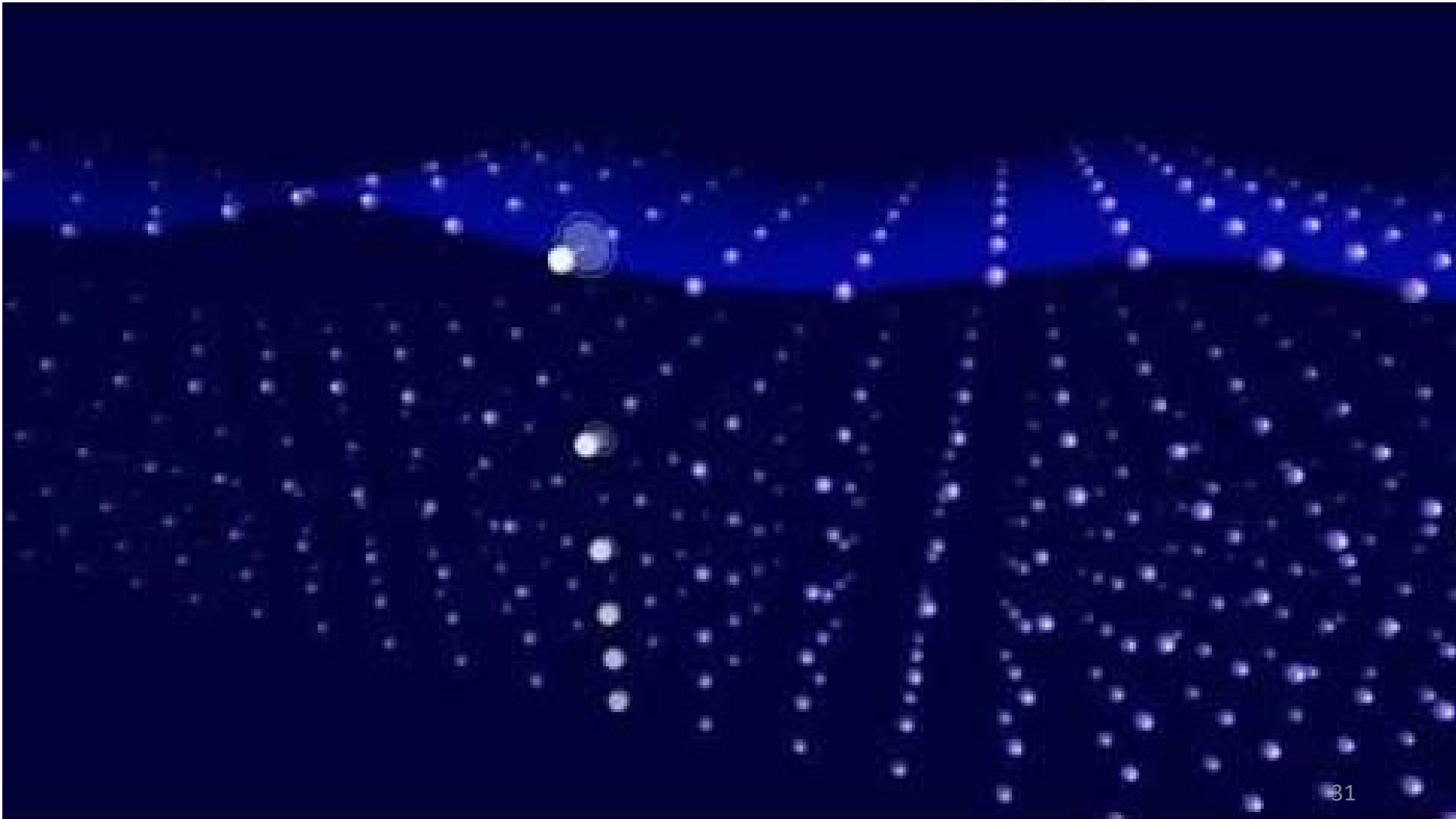
Κίνηση μορίων νερού



Αν και τα κύματα μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις, το ίδιο το νερό δείχνει μικρή οριζόντια κίνηση. Είναι η ενέργεια του κύματος που μεταδίδεται, όχι το νερό ως μάζα.

Η κυκλική κίνηση συμβαίνει επειδή τα κύματα του νερού περιέχουν συνιστώσες ταχύτητας τόσο κατά το διαμήκη όσο και τον κάθετο άξονα, οδηγώντας σε κυκλική κίνηση.

Κίνηση μορίων νερού



Συνιστώσες της ταχύτητας

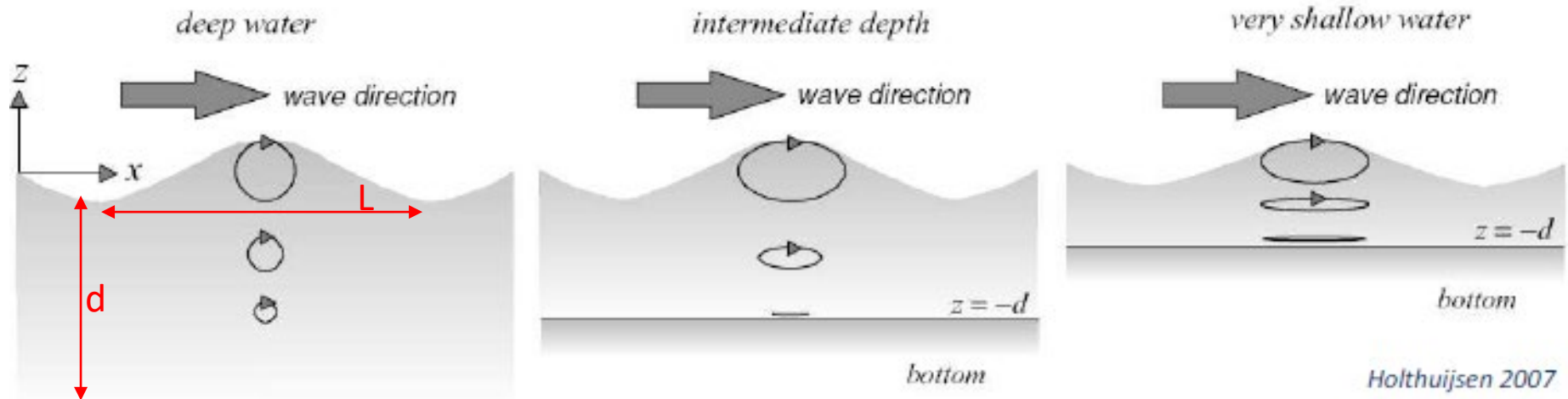
- Οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας των μορίων του νερού
(μέγιστη σε κοιλίες και κορυφές μηδενική στο μηδέν της στάθμης)

$$u = \frac{\pi H \cosh(k(d+z))}{T \sinh(kd)} \cos(kx + \omega t), \quad \theta = kx - \omega t \quad (IV)$$

- Κάθετη συνιστώσα ταχύτητας των μορίων του νερού
(μέγιστη στο μηδέν της στάθμης μηδενική σε κοιλίες και κορυφές)

$$w = \frac{\pi H \sinh(k(d+z))}{T \sinh(kd)} \sin(kx + \omega t), \quad \theta = kx - \omega t \quad (V)$$

Εξισώσεις βαθιών και ρηχών νερών



$$\frac{d}{L} \geq 0.5$$

$$0.5 > \frac{d}{L} \geq 0.05$$

$$\frac{d}{L} \leq 0.05$$

- «Βαθιά» νερά: **βάθος να είναι τουλάχιστον το μισό του μήκους κύματος**
- Στα βαθιά νερά τα σωματίδια του νερού διαγράφουν κυκλικές τροχιές, ενώ σταδιακά οι τροχιές με τη μείωση του βάθους μετατρέπονται σε ελλειπτικές στα ενδιάμεσα νερά. Στα ρηχά νερά οι ελλειπτικές τροχιές γίνονται όλο και πιο πεπλατυσμένες έως ότου έρθουν σε επαφή με τον πυθμένα, όπου πλέον έχουν μετατραπεί σε μια παλινδρόμηση

Τι συμβαίνει με τις παραμέτρους του κύματος καθώς αυτό πλησιάζει την ακτή = μικρότερα βάθη?

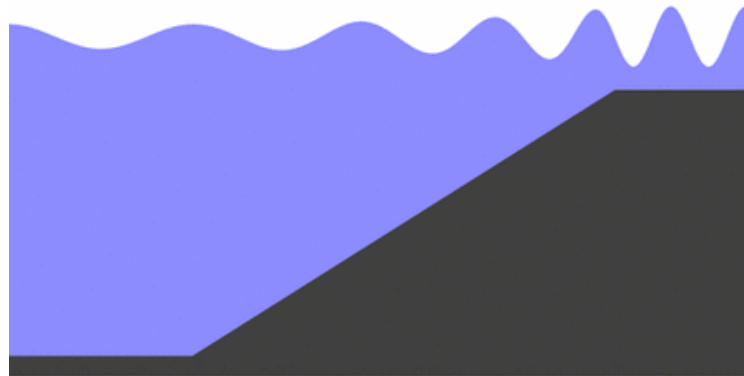
- 1) Κατά την προσέγγιση ενός κύματος στην ακτή από τα βαθιά στα ρηχά νερά, το μήκος του κύματος μειώνεται.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$$

- 2) Αφού μειώνεται το μήκος, μειώνεται και η ταχύτητα:

$$C = \frac{L}{T} \text{ ή Ταχύτητα κύματος} = \frac{\text{Μήκος κύματος}}{\text{Περίοδος}}$$

- 3) Όμως για να «διατηρηθεί» η ενέργεια που μεταφέρεται από το κύμα, η μείωση στην ταχύτητα «εξισορροπείται» από την αύξηση στο ύψος του κύματος:



Εξισώσεις βαθιών και ρηχών νερών

Βαθιά νερά, $\frac{d}{L} > 0.5$

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (VIa)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (VIb)$$

$$u = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \cos(kx - \omega t) \quad (VIc)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} e^{kz} \sin(kx - \omega t) \quad (VI d)$$

Ρηχά νερά, $\frac{d}{L} < 0.05$

$$C = \sqrt{gd} \quad (VIIa)$$

$$L = CT = T\sqrt{gd} \quad (VIIb)$$

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{1}{kd} \cos(kx - \omega t) \quad (VIIc)$$

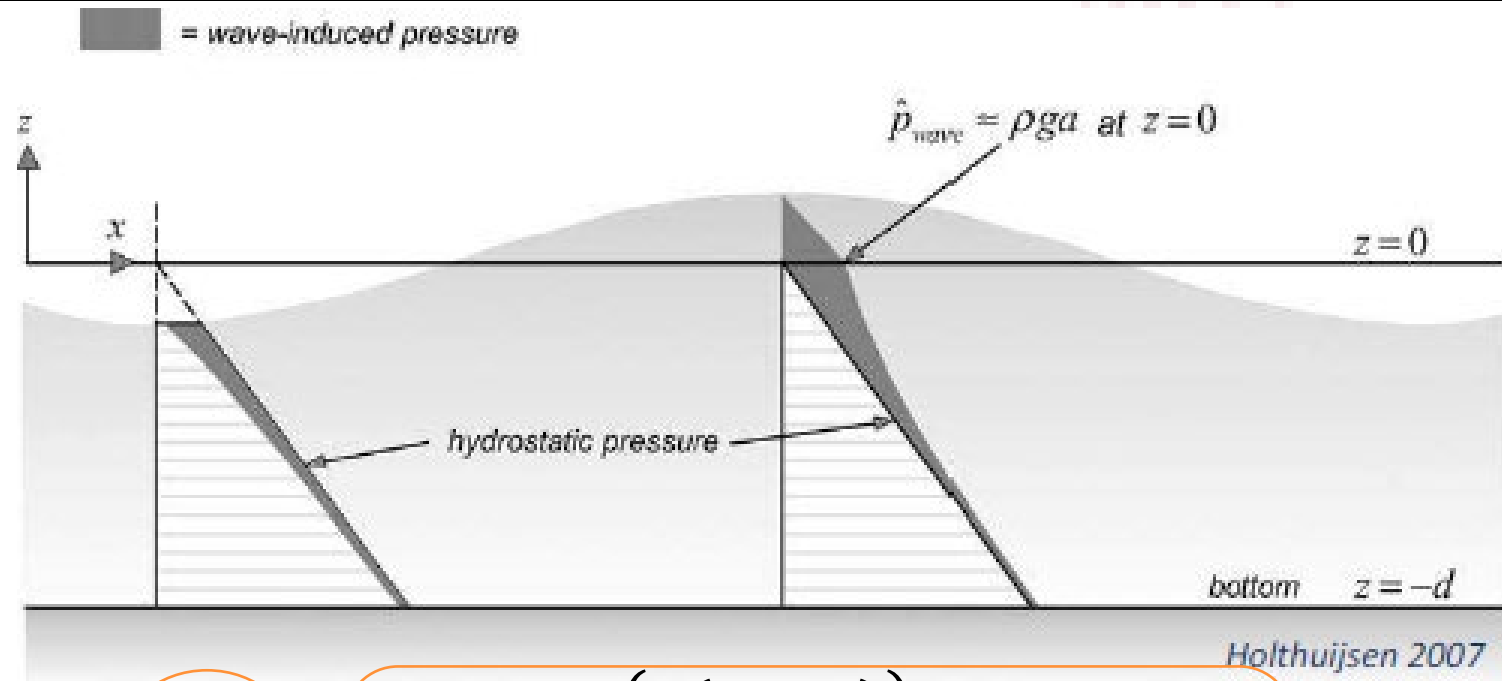
$$w = \frac{\pi H}{T} \left(1 + \frac{z}{d}\right) \sin(kx - \omega t) \quad (VIId)$$

Αλλά τι συμβαίνει στα ενδιάμεσα νερά?

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) = \frac{d}{L} \tanh kd$$

Γνωρίζοντας το μήκος κύματος στα βαθιά, μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος στα ενδιάμεσα νερά

Κατανομή της πίεσης συναρτήσει του βάθους

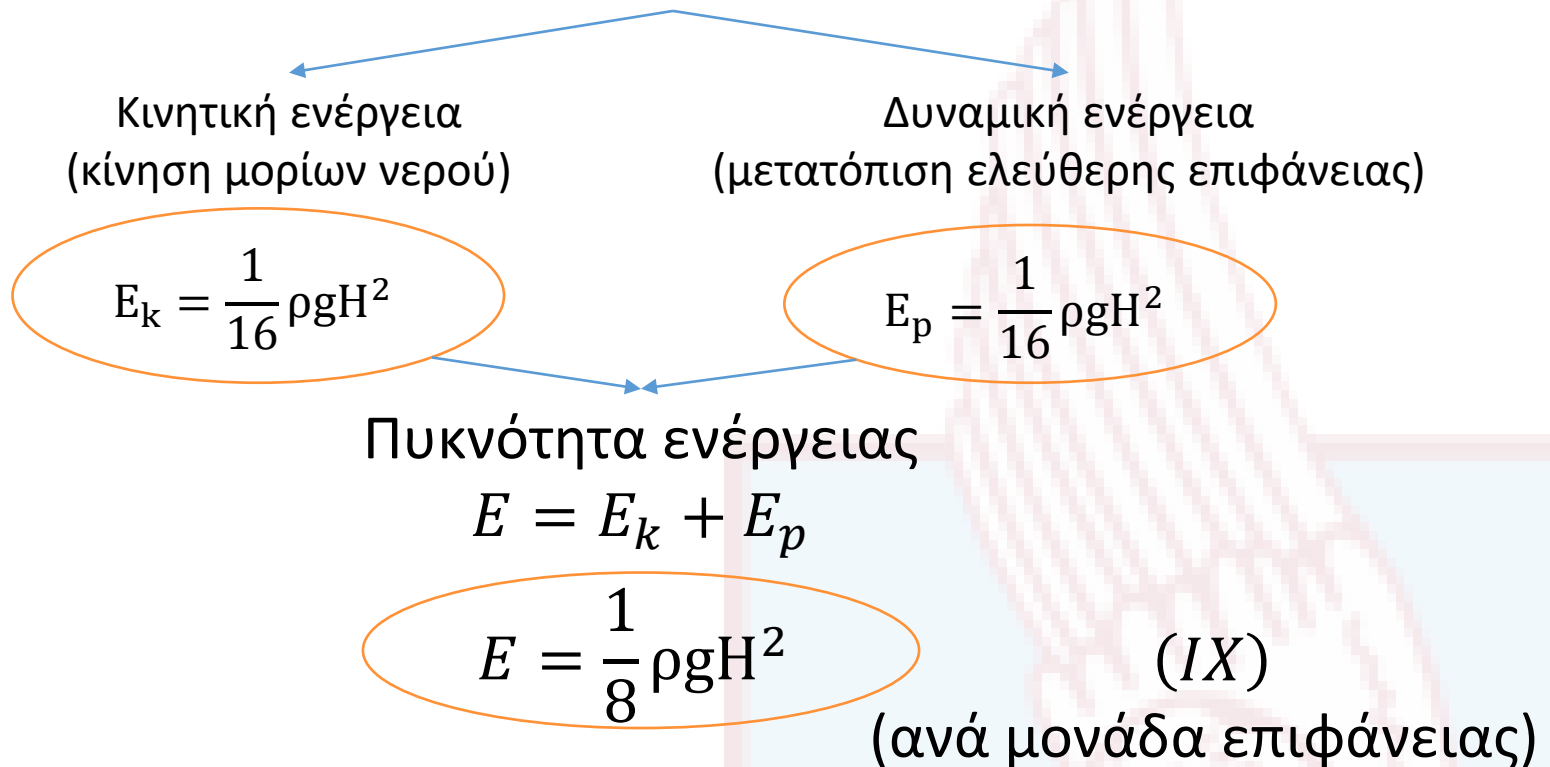


$$p = -g\rho z + \frac{\rho g H \cosh(k(d+z))}{2 \cosh(kd)} \cos(kx - \omega t) \quad (\text{VIII})$$

Υδροστατική συνιστώσα
(ανεξάρτητη από το κύμα)

Υδροδυναμική συνιστώσα
Είναι σε φάση με την ανύψωση της στάθμης
Μειώνεται με το βάθος

Μηχανική ενέργεια και ισχύς κύματος



Ισχύς κύματος $\rightarrow P = \frac{En}{T}$ (X), όπου $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$

(βαθιά νερά) $0.5 < n < 1$ (ρηχά νερά)

Βιβλιογραφία

- Dean R.G. & Dalrymple R.A., *Water Wave Mechanics for Scientists and Engineers*, 1991, World Scientific Publishing
- Holthuijsen L.H., *Waves in Oceanic and Coastal Waters*, 2007, Cambridge University Press
- Kamphuis J.W., *Introduction to Coastal Engineering and Management*, 2000, World Scientific Publishing
- Sorensen R.M., *Basic Coastal Engineering* (3rd Edition), 2006, Springer
- U.S.A.C.E., *Coastal Engineering Manual*, 2002



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 Παράκτια Μηχανική

2^η Εβδομάδα

Μετασχηματισμός θαλάσσιων κυματισμών

Γενικά

Βασικά χαρακτηριστικά

- μετασχηματίζονται

Διάδοση κυματισμών

- από βαθιά σε ρηχά

Ταχύτητα και μήκος

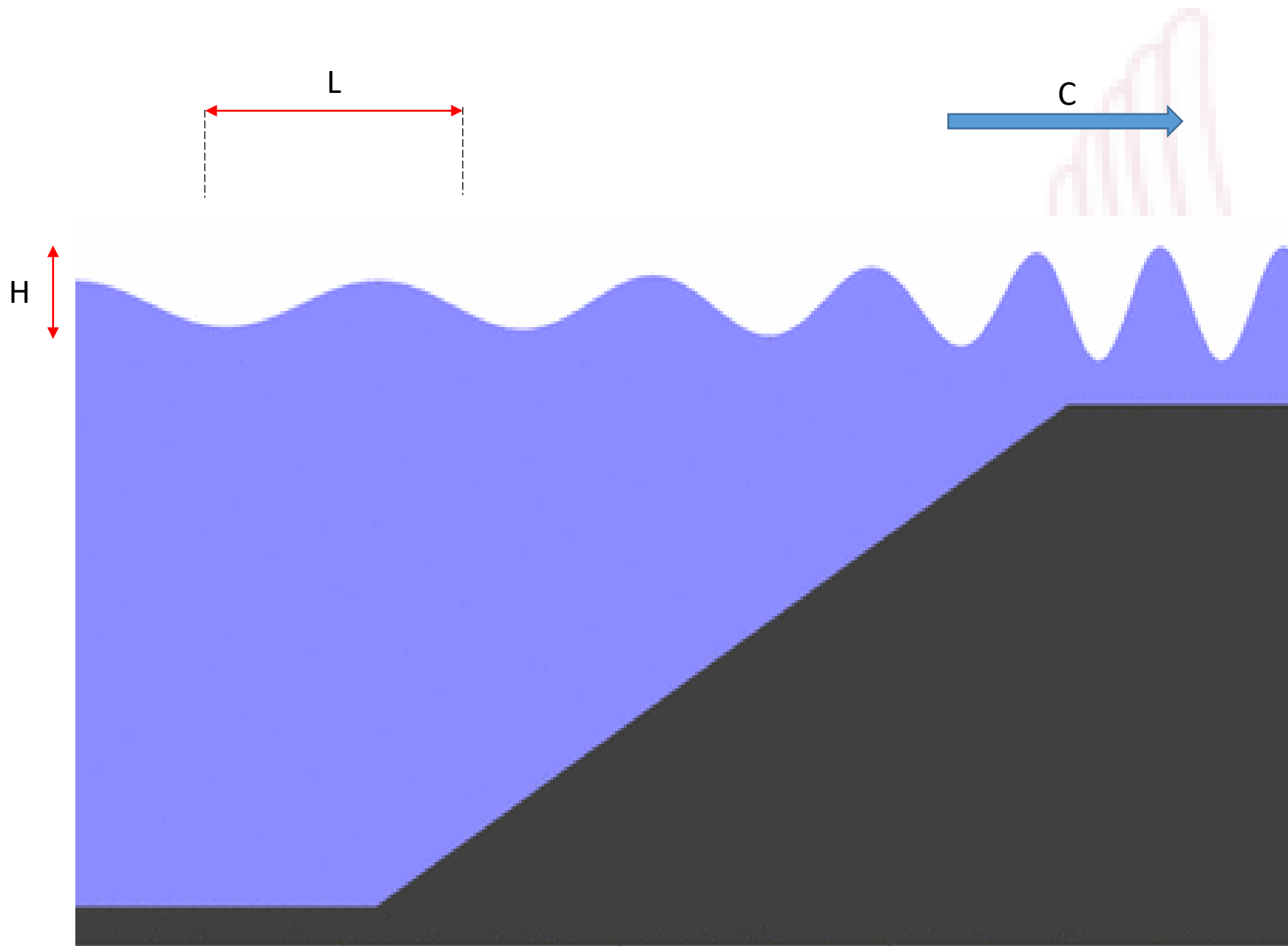
- μειώνονται

Ύψος

- αυξάνει

Περίοδος

- σταθερή



Βασικές διεργασίες μετασχηματισμού

(α)
Ρήχωση

(β)
Διάθλαση

(γ)
Περίθλαση

Μεταβολές του ανάγλυφου
του πυθμένα –
διαμόρφωση ακτής

Βασικότερες διεργασίες.

(-)
(δ) Θραύση

(-)
(ε) Απόσβεση
ενέργειας λόγω
τριβής

Καταστροφείς
ενέργειας

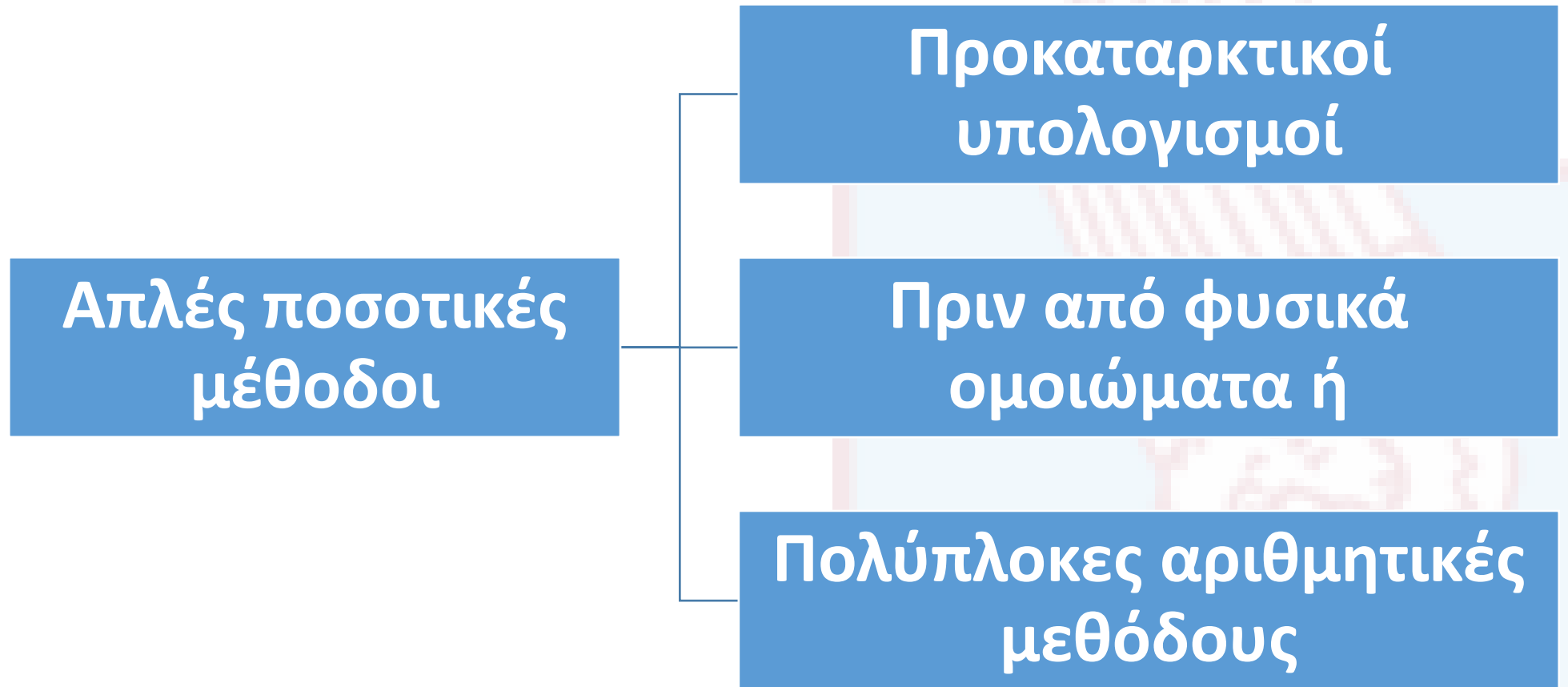
(+)
(ζ) Επιπλέον
ανάπτυξη
λόγω ανέμου

(+ ή -)
(η) Αλληλεπίδραση
κύματος-ρεύματος

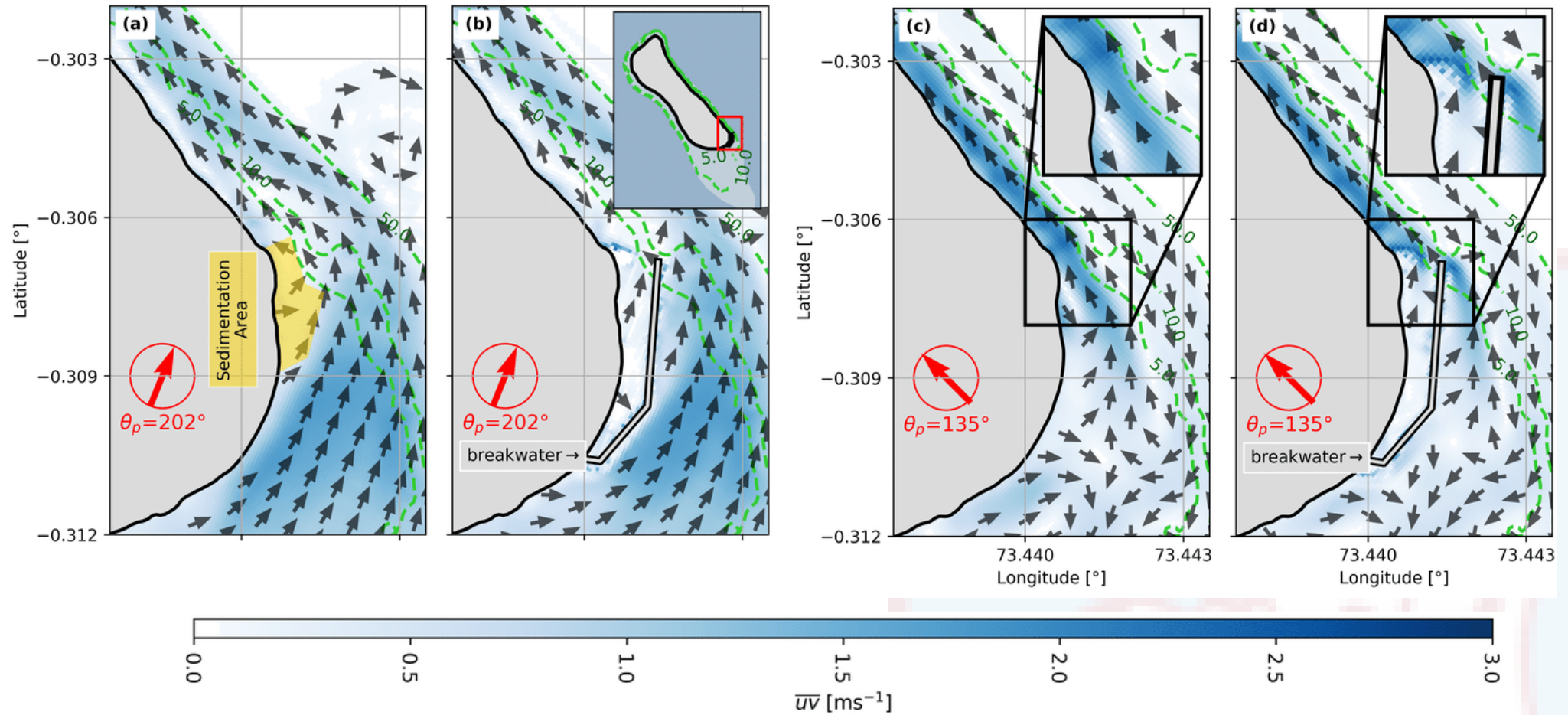
(+ ή -)
(θ) Αλληλεπίδραση
κύματος-κύματος

Πιο σύνθετα
φαινόμενα

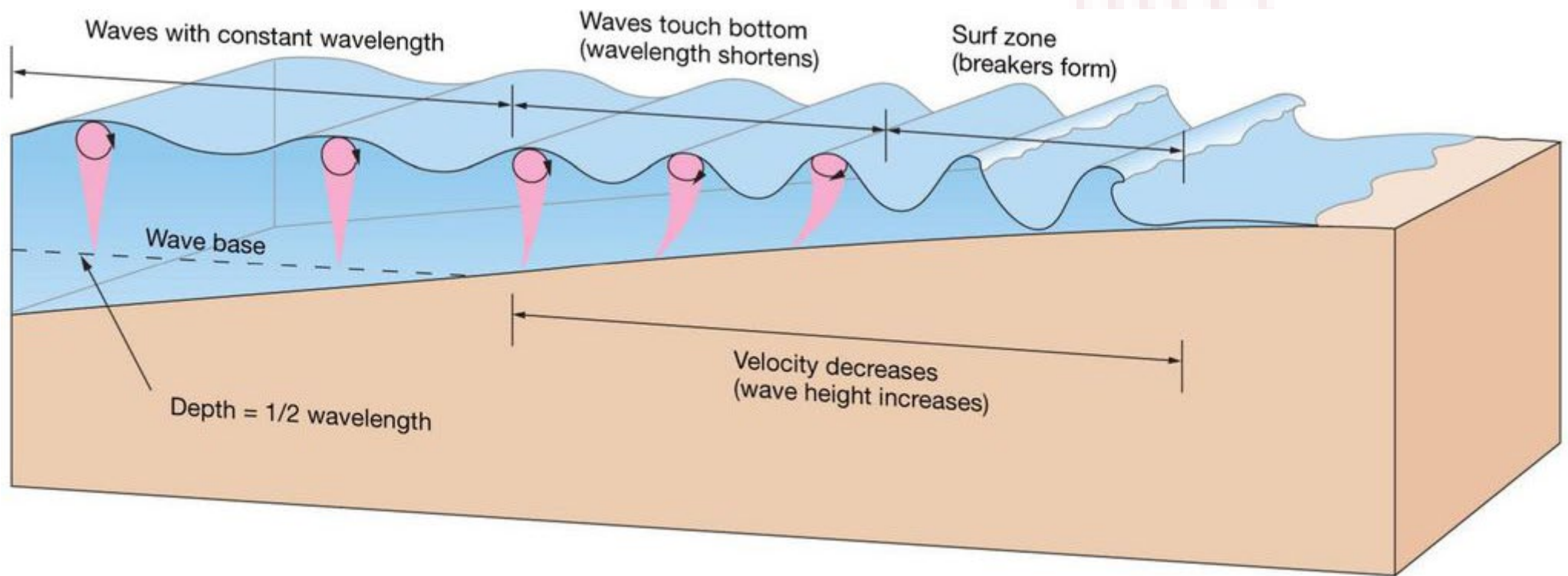
Ρήχωση, Διάθλαση, Περίθλαση και Θραύση







Ρήχωση (wave shoaling)



Copyright © 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.

Η διεργασία κατά την οποία κυματισμοί που μεταδίδονται πάνω σε έναν επικλινή πυθμένα, σε διεύθυνση κάθετη στις ισοβαθείς, υπόκεινται σε αλλαγές στο ύψος H και στο μήκος L , με την περίοδο να παραμένει σταθερή.

Ρήχωση (wave shoaling)

Όσο το βάθος ↓ Ύψος κύματος ↑

Προϋποθέσεις για ποσοτική περιγραφή:

- (α) Παράλληλες ισοβαθείς
- (β) Ήπια κλίση πυθμένα
- (γ) Κυματική ενέργεια διαδίδεται κάθετα
- (δ) Απουσία ρευμάτων
- (ε) Κυματισμοί δεν θραύονται
- (ζ) Περίοδος T σταθερή

Εξίσωση Ρήχωσης

$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{n_1 E_1}{T} = \frac{n_2 E_2}{T} \Rightarrow \frac{n_1 \rho g H_1^2 L_1}{8T} = \frac{n_2 \rho g H_2^2 L_2}{8T}$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}} = k_s$$

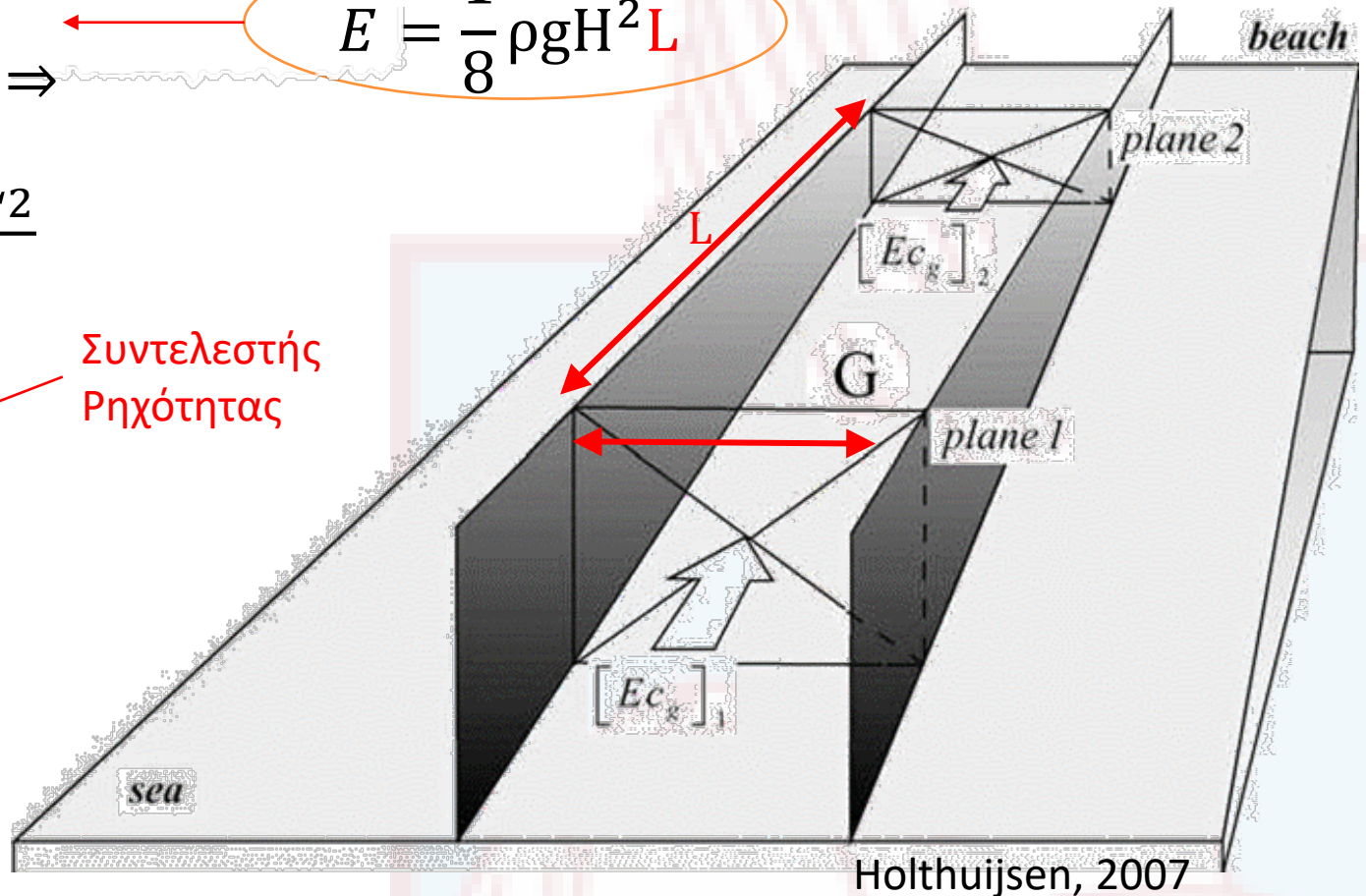
ή

$$\frac{H_i}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n_i L_i}} = k_s$$

Συντελεστής
Ρηχότητας

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

Μηχανικό ενεργειακό
περιεχόμενο στήλης νερού
με πλάτος 1m και μήκος L



Το πλάτος παραμένει σταθερό

Από τη προηγούμενη διάλεξη:

Μηχανική ενέργεια και ισχύς κύματος

Κινητική ενέργεια
(κίνηση μορίων νερού)

$$E_k = \frac{1}{16} \rho g H^2$$

Δυναμική ενέργεια
(μετατόπιση ελεύθερης επιφάνειας)

$$E_p = \frac{1}{16} \rho g H^2$$

Πυκνότητα ενέργειας

$$E = E_k + E_p$$

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$$

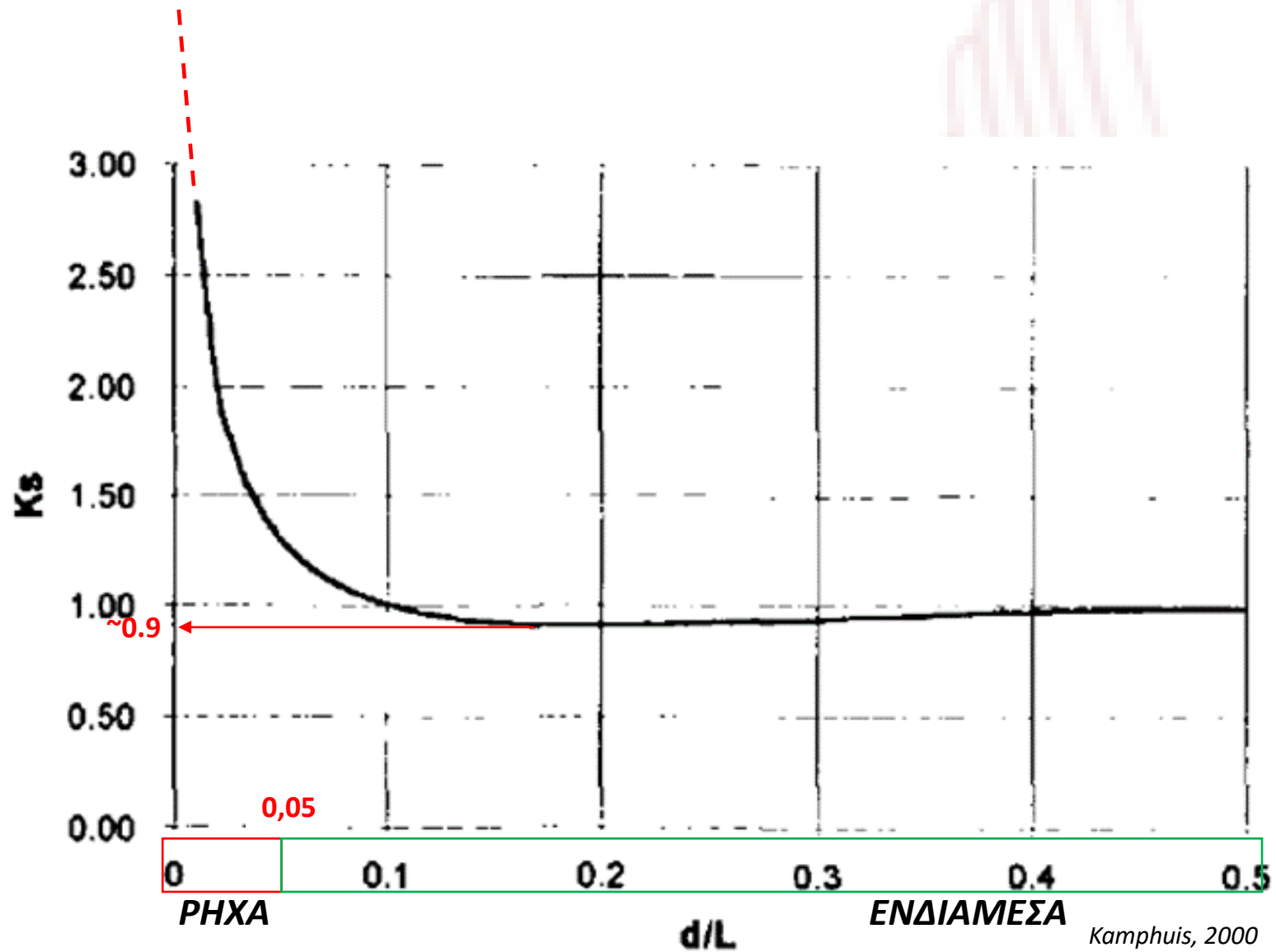
(IX)

(ανά μονάδα επιφάνειας)

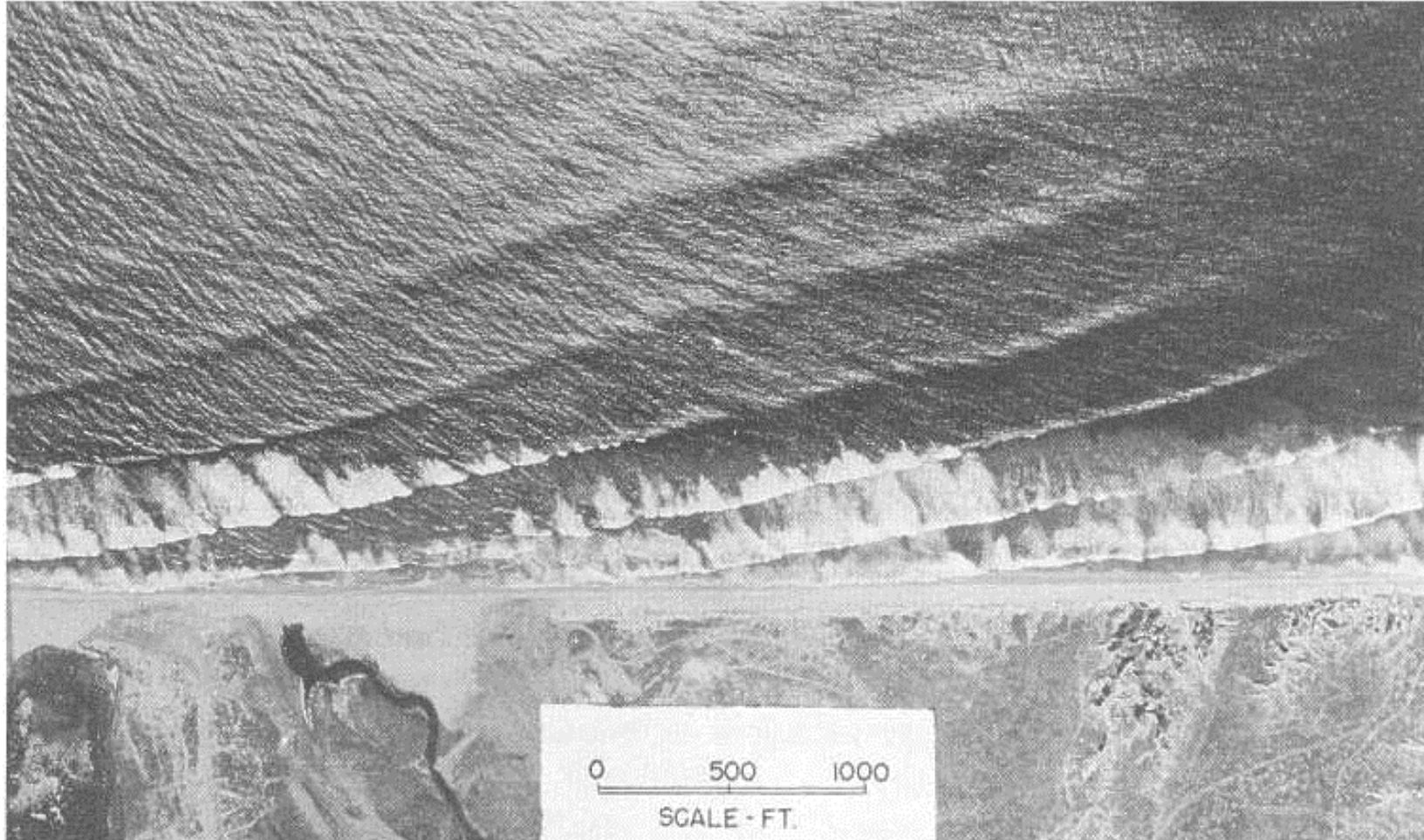
$$\text{Ισχύς κύματος} \rightarrow P = \frac{En}{T} \quad (X), \text{ όπου } n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$$

(βαθιά νερά) $0.5 < n < 1$ (ρηχά νερά)

Συντελεστής Ρηχότητας

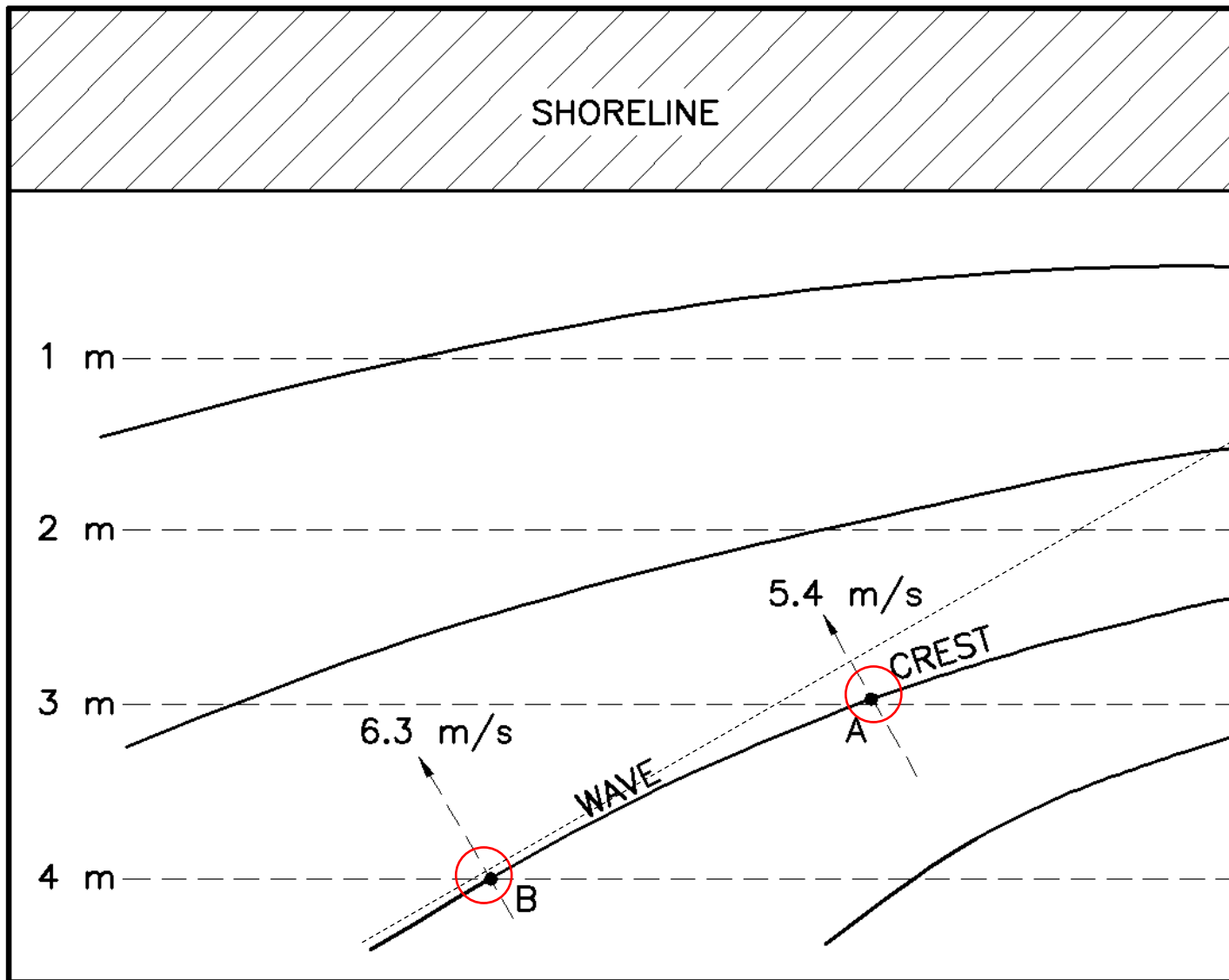


Διάθλαση (wave refraction)



Όταν κυματισμοί 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.

Διάθλαση (wave refraction)



Ρηχά νερά

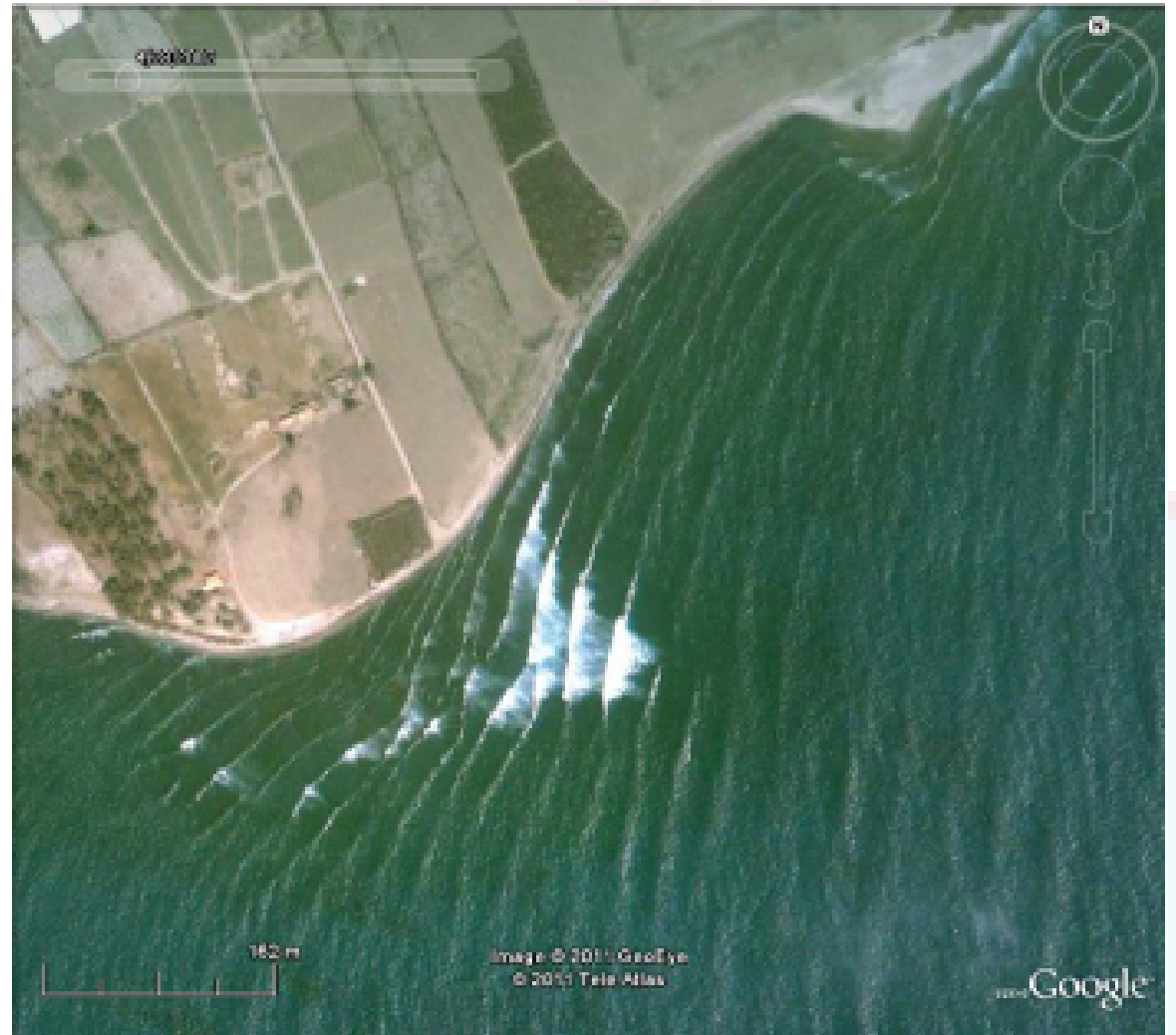
$$C_A = \sqrt{gd_A}$$
$$C_B = \sqrt{gd_B}$$

Όμως $d_A < d_B$

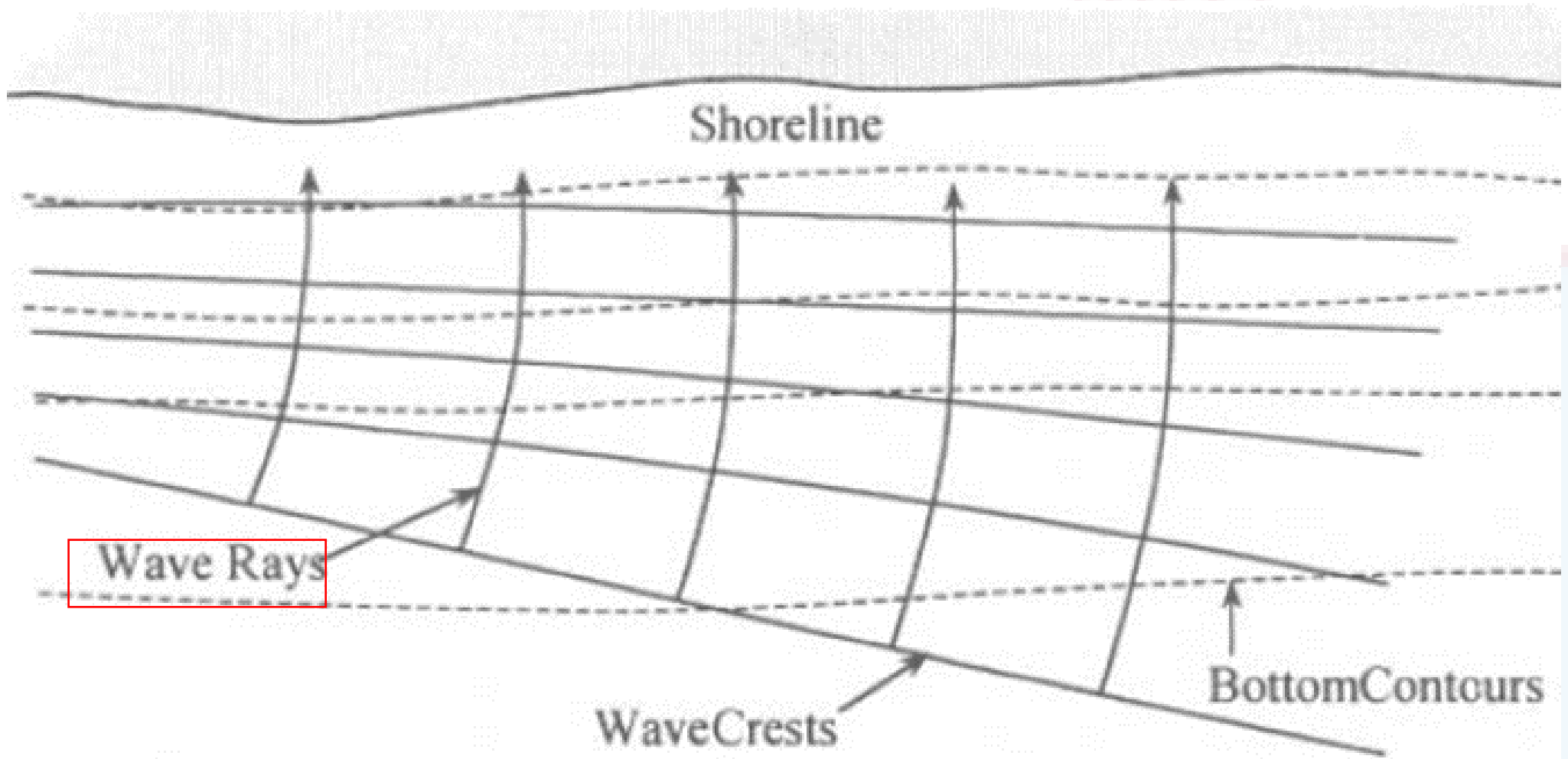


$$U_A < U_B$$

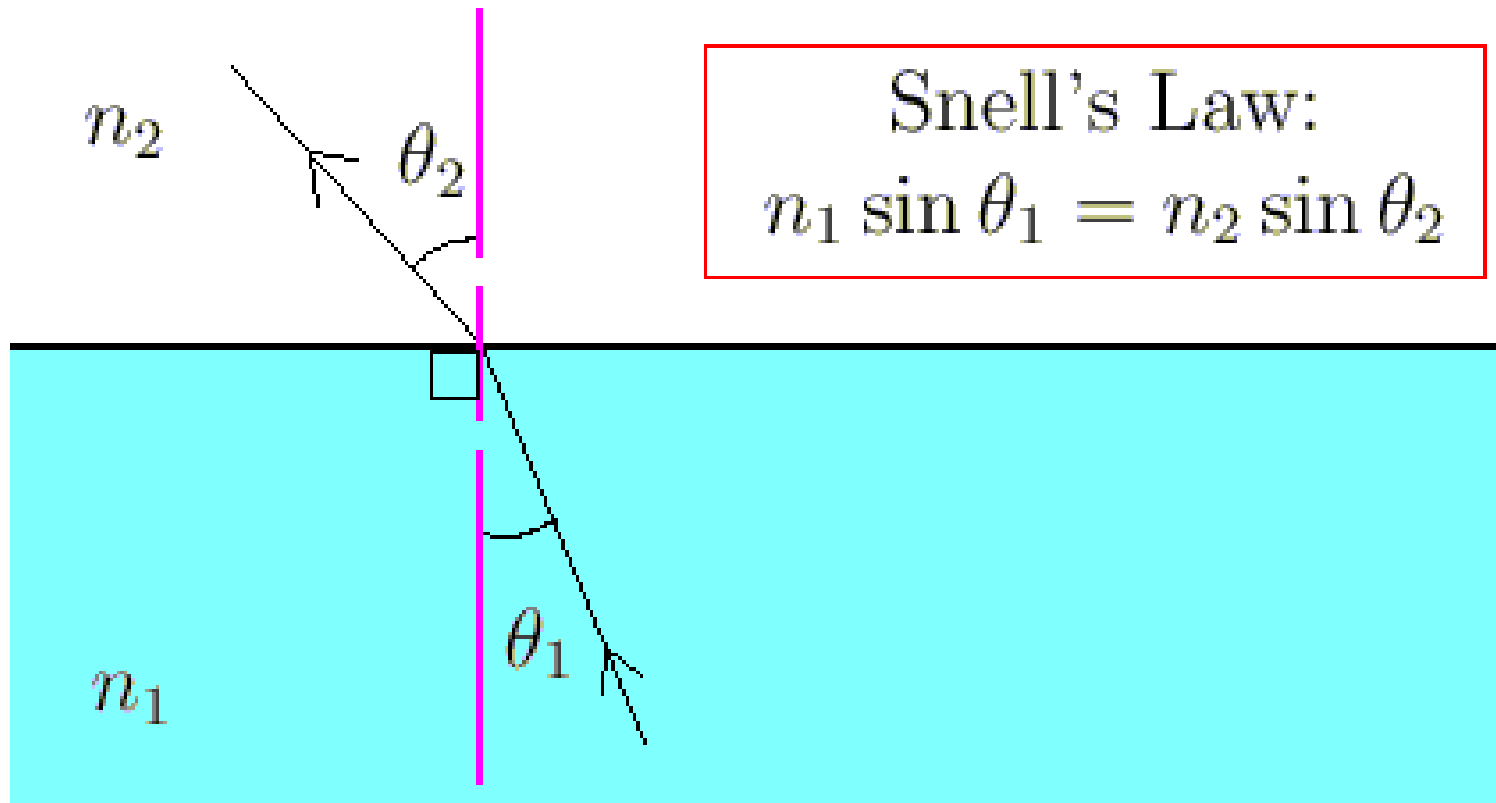
Διάθλαση (wave refraction)



Αποτέλεσμα της διάθλασης



Ο νόμος του Snell για τη διάθλαση



«Όταν το φως μετακινείται από ένα μέσο σε άλλο, κάμπτεται ή διαθλάται».

Ο νόμος της διάθλασης μας δίνει έναν τρόπο να προβλέψουμε το μέγεθος της στροφής.

Γράφημα διάθλασης κύματος κατά Snell

$$\sin \varphi_1 = \frac{L_1}{x} \rightarrow x = \frac{L_1}{\sin \varphi_1}$$

Επίσης $x = \frac{L_2}{\sin \varphi_2}$

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

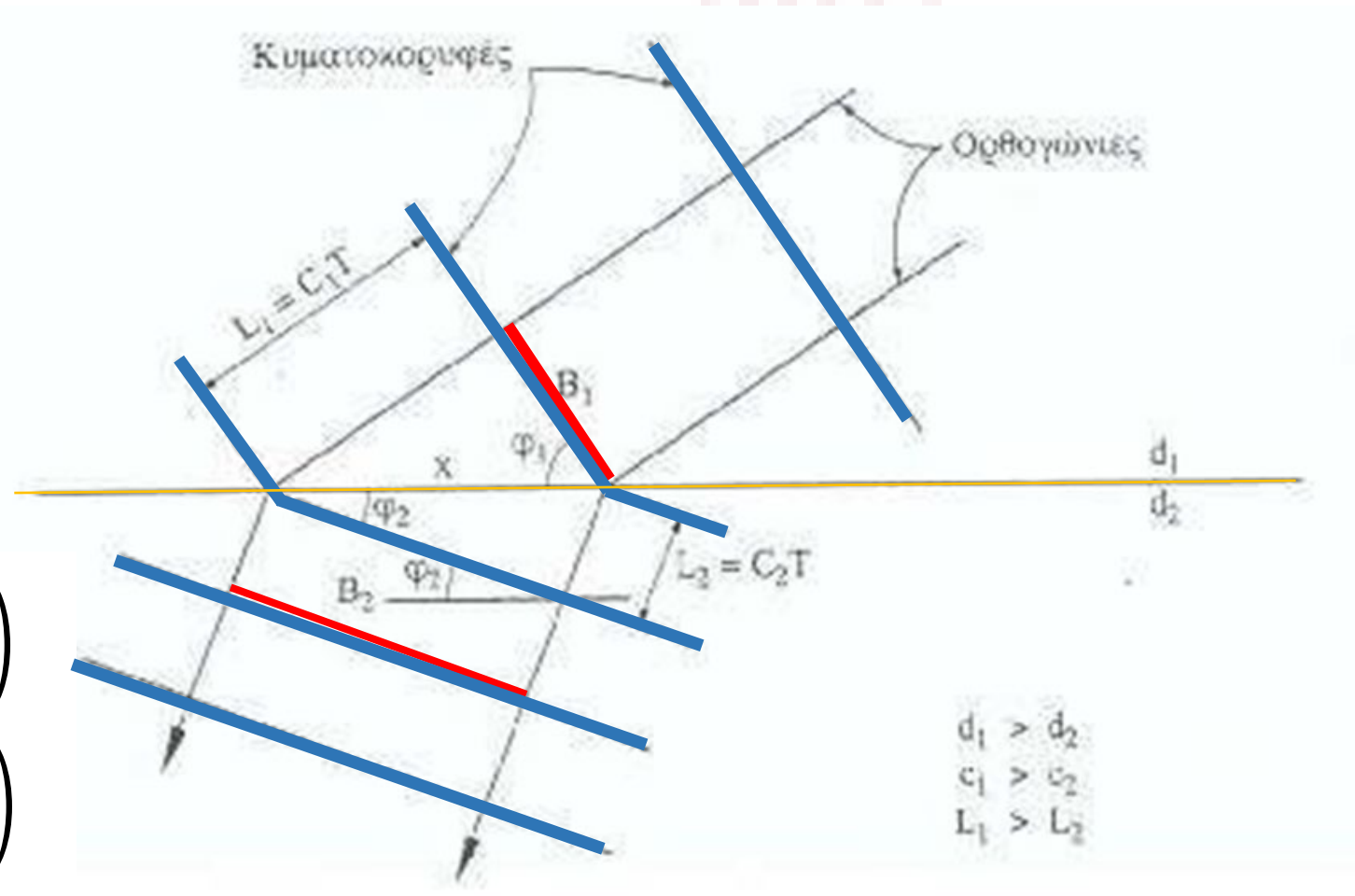
$$\varphi_2 = \arcsin \left(\frac{L_2}{L_1} \sin \varphi_1 \right)$$

$$\varphi_2 = \arcsin \left(\frac{C_2}{C_1} \sin \varphi_1 \right)$$

επίσης

$$B_2 = B_1 \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1}$$

ΒΑΘΙΑ



PHXA

Κουτίτας, 1994

Διατήρηση Ισχύος Κυματισμού

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \mathbf{LB}$$

Μηχανικό ενεργειακό
περιεχόμενο στήλης
νερού με πλάτος 1m και
μήκος L

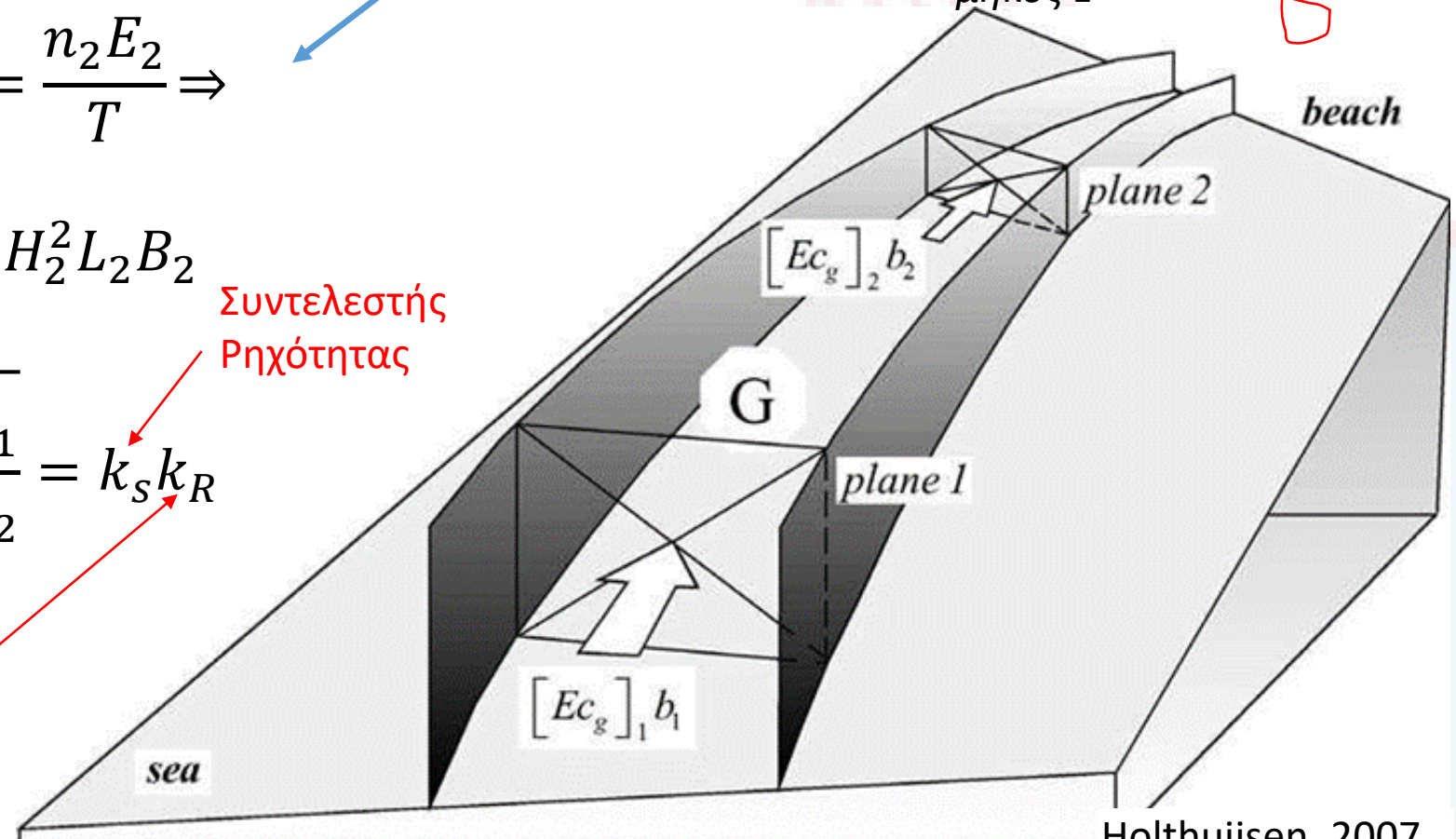
$$P_1 = P_2 \Rightarrow \frac{n_1 E_1}{T} = \frac{n_2 E_2}{T} \Rightarrow$$

$$n_1 H_1^2 L_1 B_1 = n_2 H_2^2 L_2 B_2$$

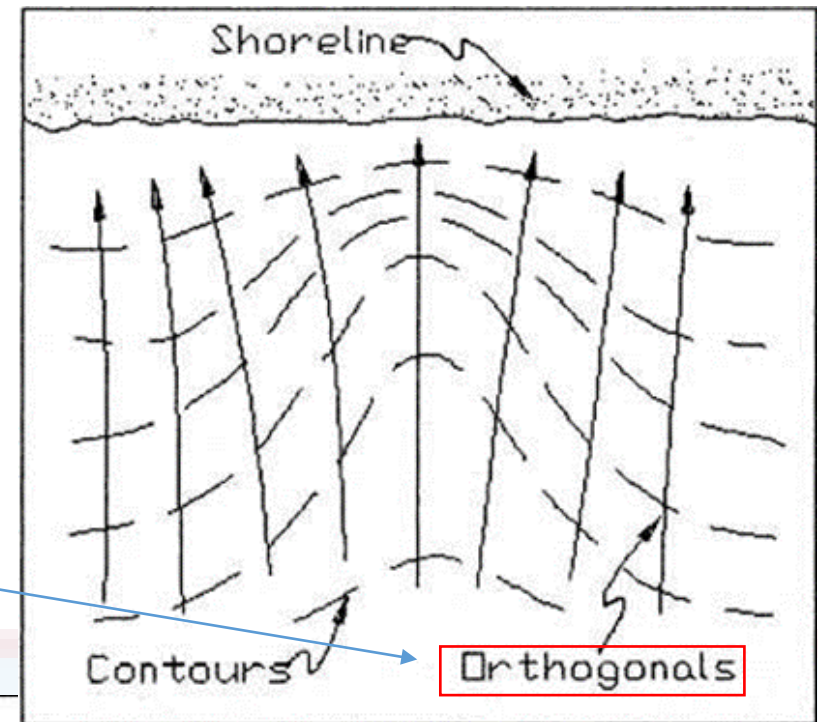
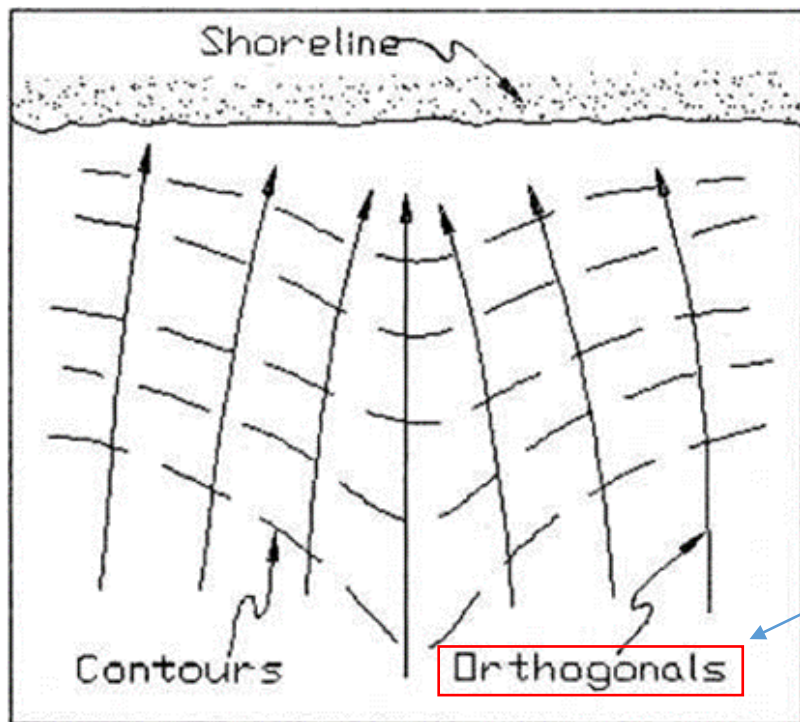
Συντελεστής
Ρηχότητας

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\frac{n_1 L_1}{n_2 L_2}} \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} = k_s k_R$$

Συντελεστής
διάθλασης

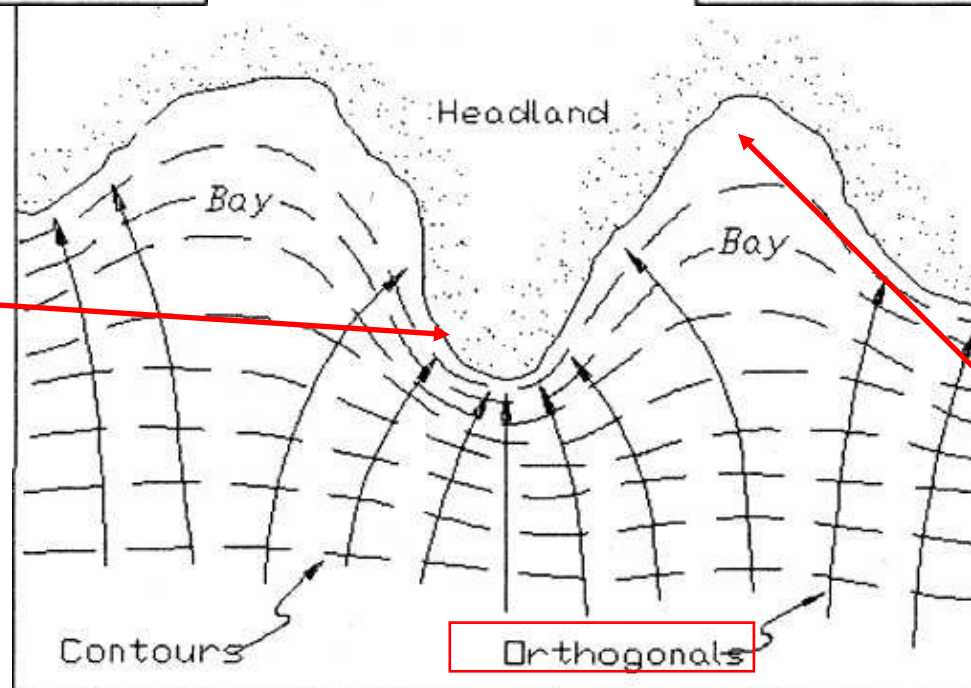


Holthuijsen, 2007



Ακτίνες διάδοσης
ή ορθογώνιες

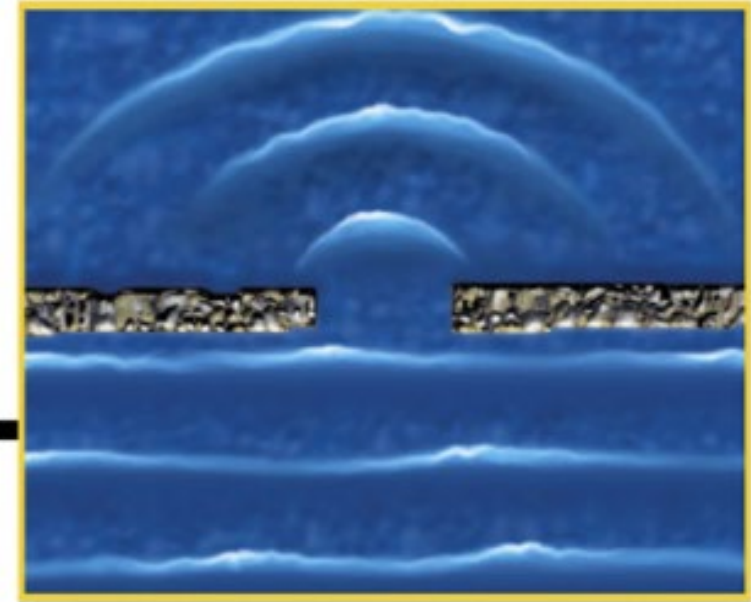
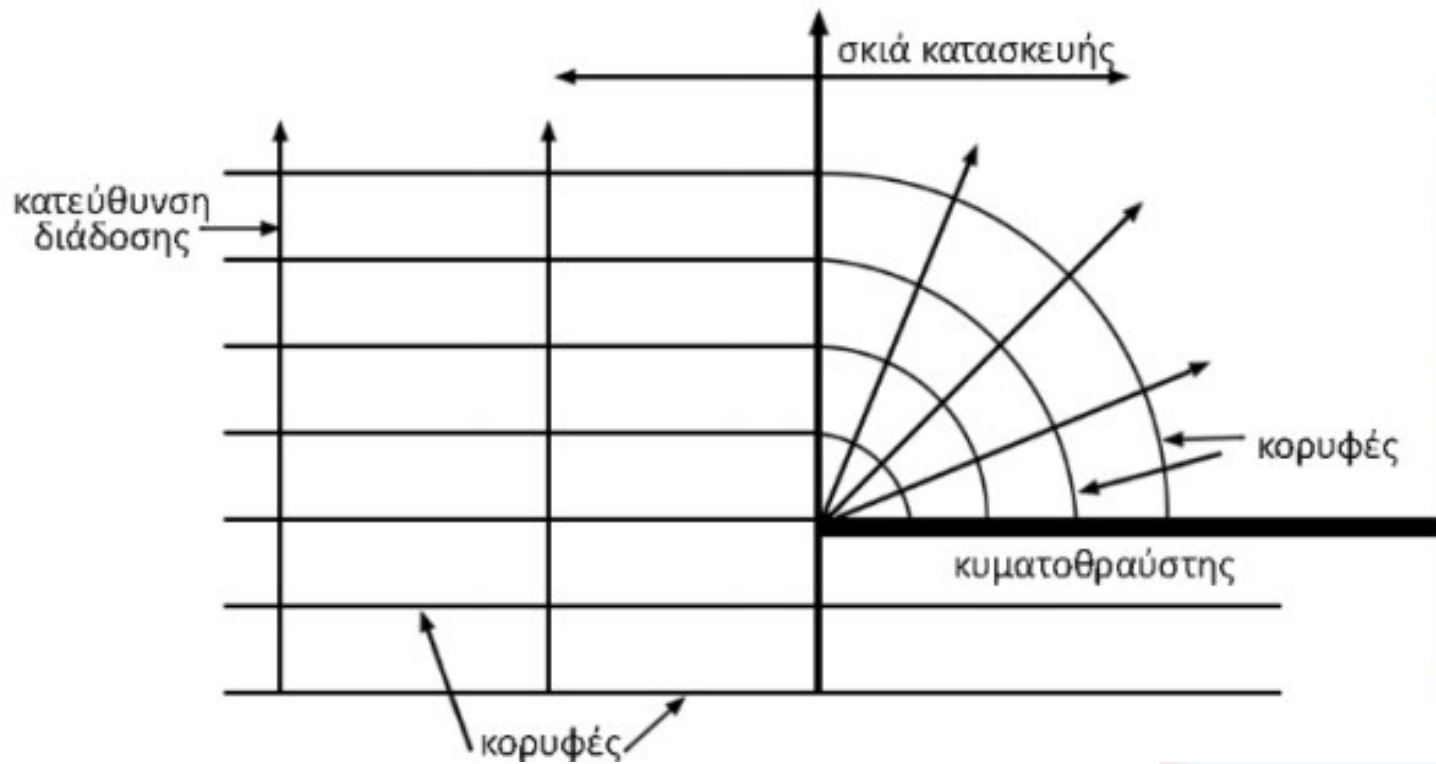
Αύξηση ενεργειακής
πυκνότητας



Μείωση ενεργειακής
πυκνότητας

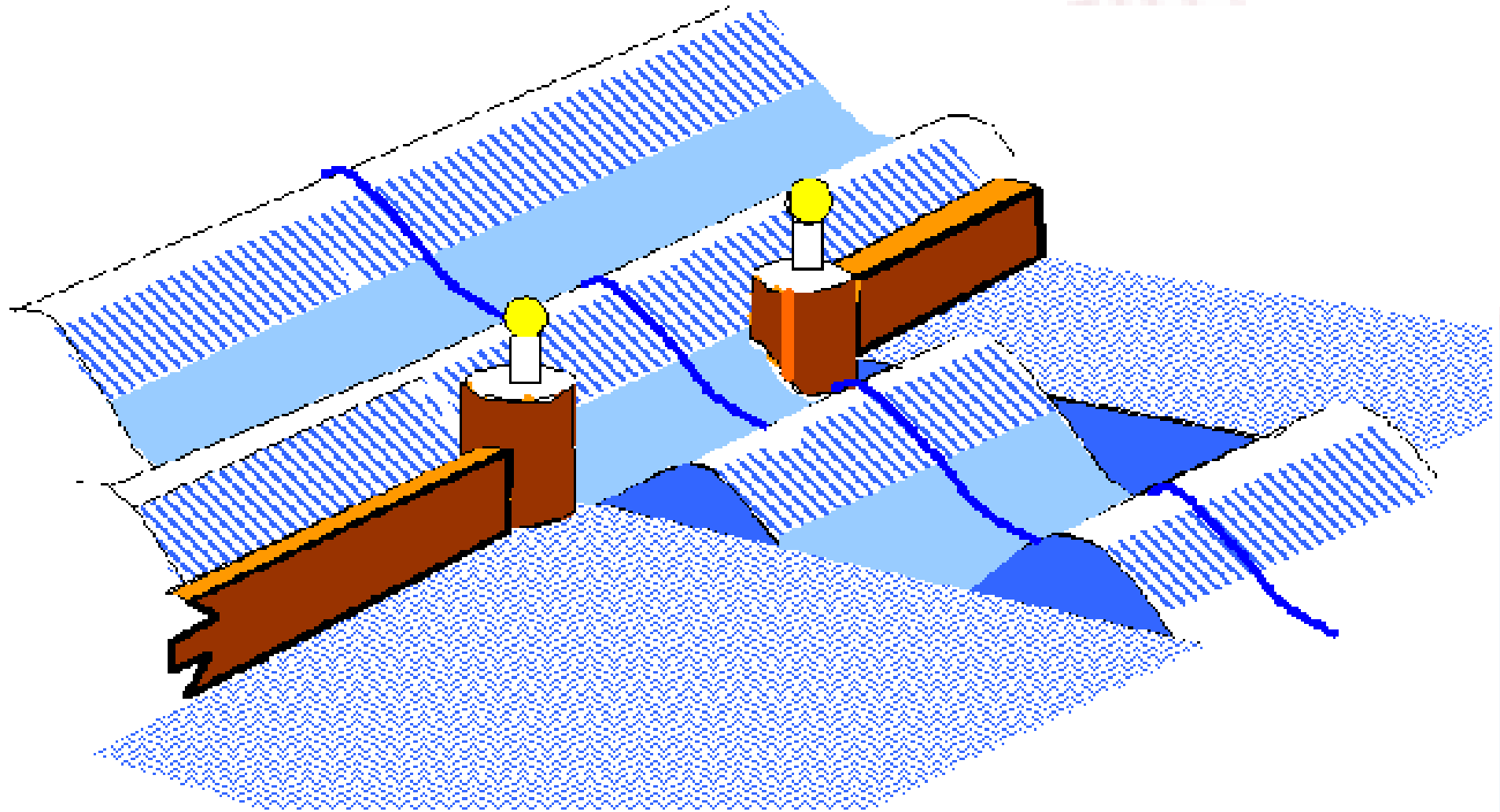
CEM, 2002

Περίθλαση (wave diffraction)

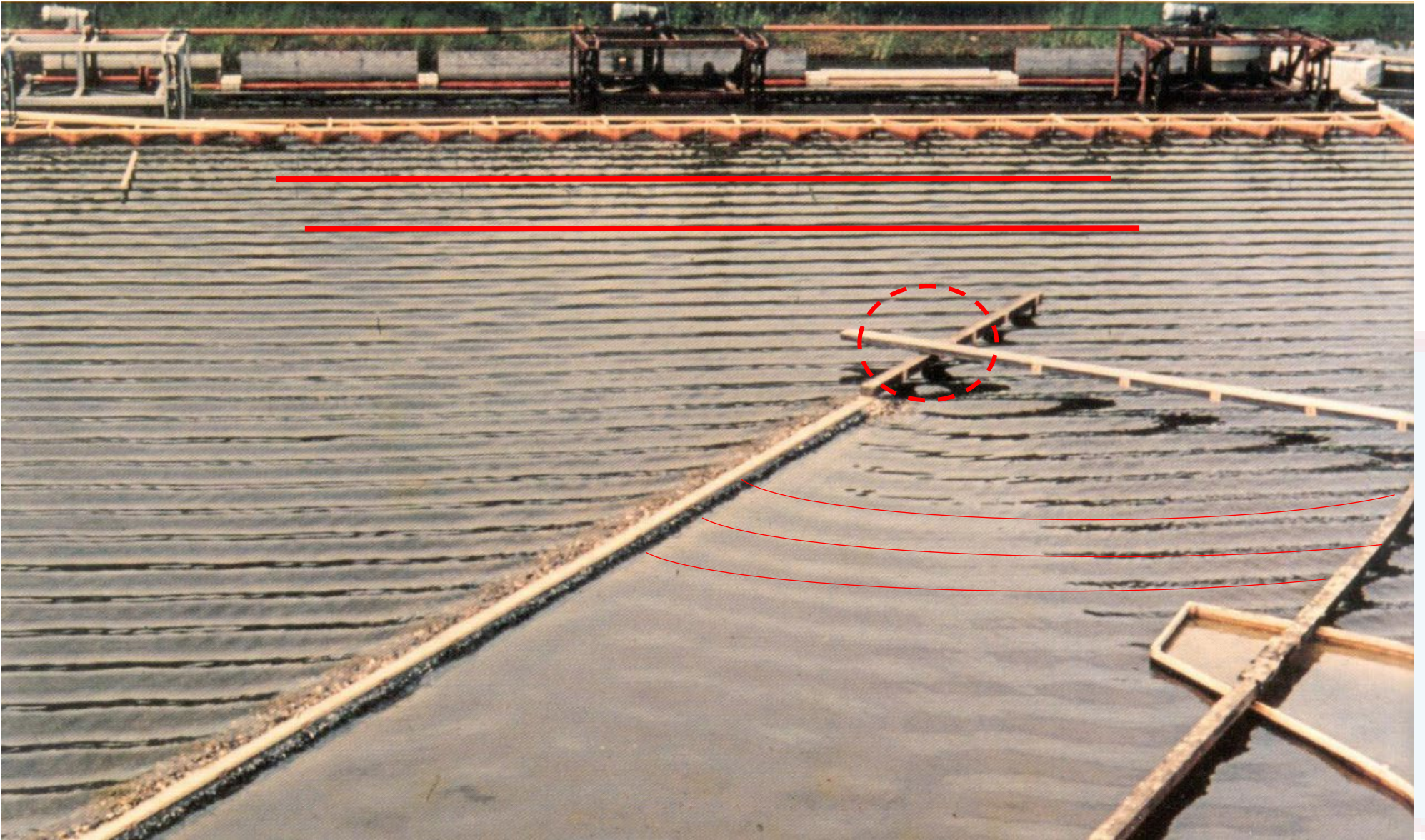


Φαινόμενο κατά το οποίο όταν κυματισμοί συναντήσουν ένα εμπόδιο, μεταδίδονται στην πίσω πλευρά του, υπό μορφή ομόκεντρων κυκλικών τόξων συνεχώς ελαττούμενου ύψους.

Περίθλαση (wave diffraction)



Περίθλαση (wave diffraction)

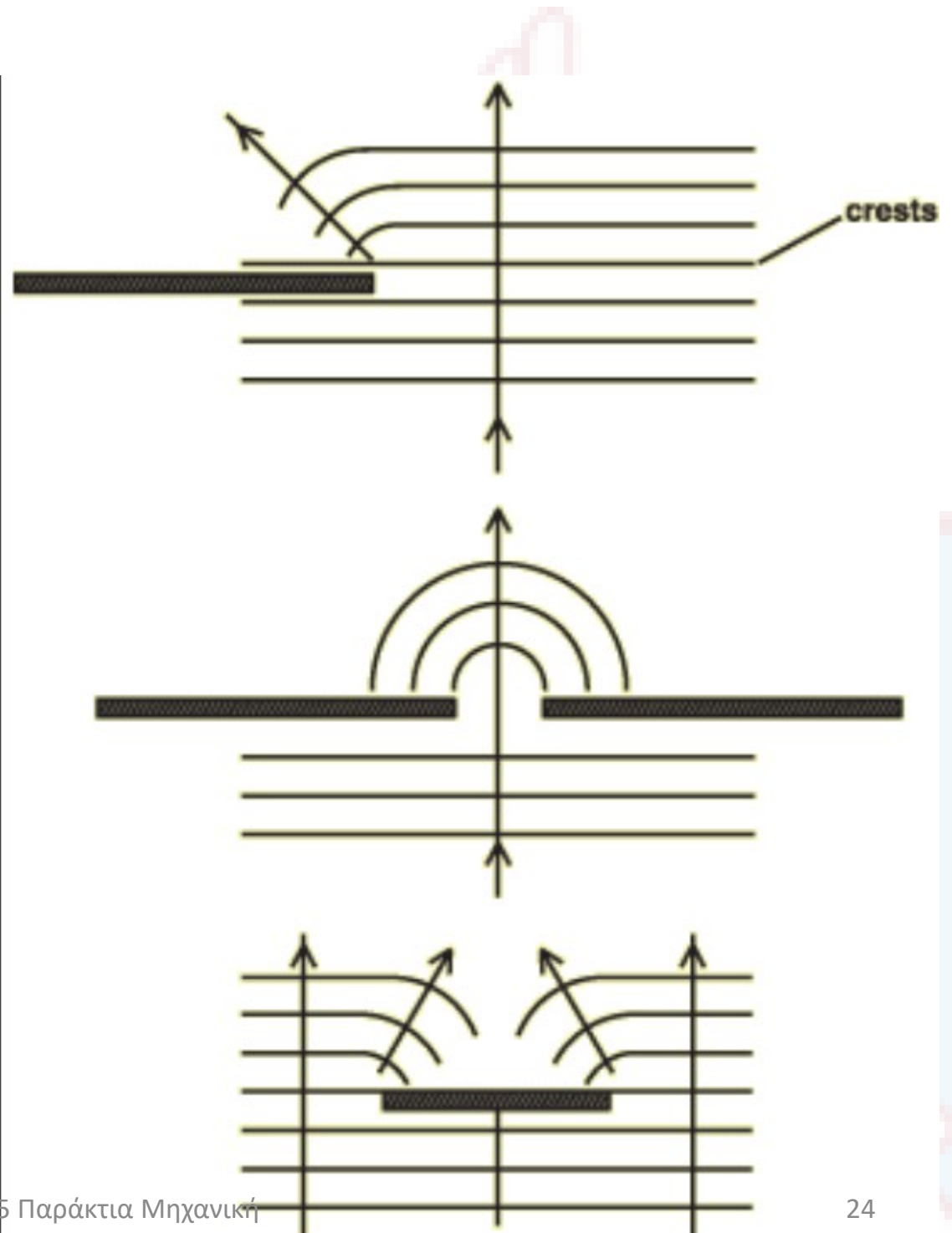


Είδη περίθλασης

Περίθλαση από ένα άκρο
ημι-άπειρου εμποδίου

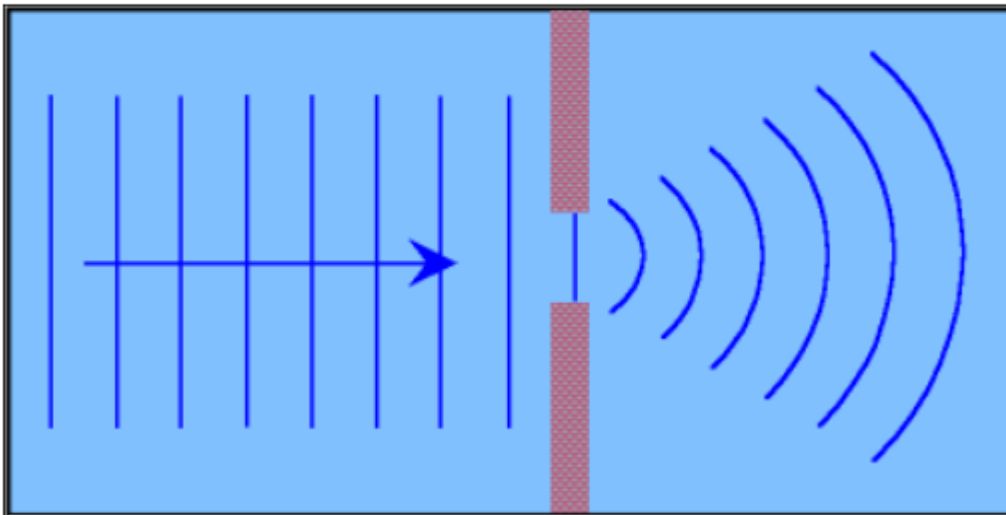
Περίθλαση από άκρα
δύο ημιάπειρων
εμποδίων (π.χ. είσοδος
λιμενολεκάνης)

Περίθλαση από τα άκρα
πεπερασμένου
εμποδίου

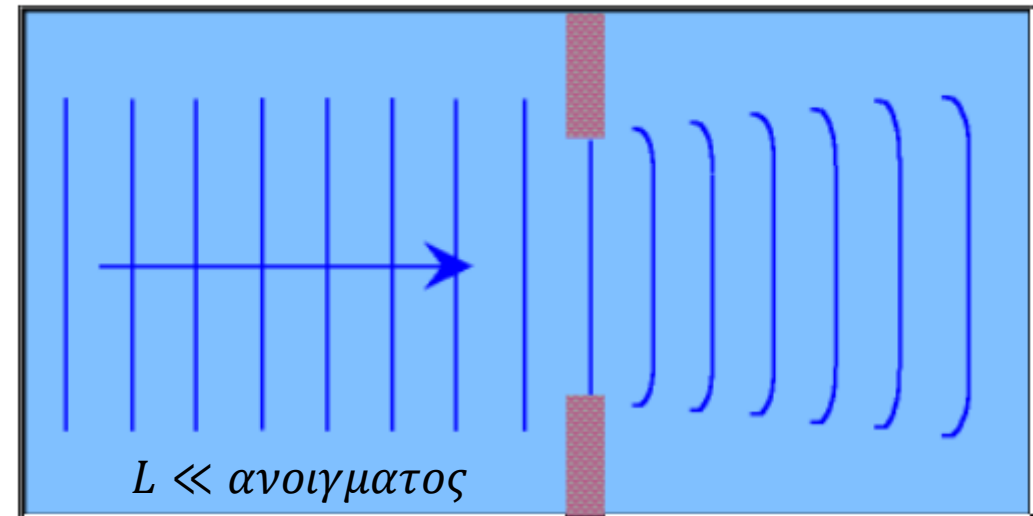


Περίθλαση

Έντονη Περίθλαση



Σχεδόν Μηδενική Περίθλαση



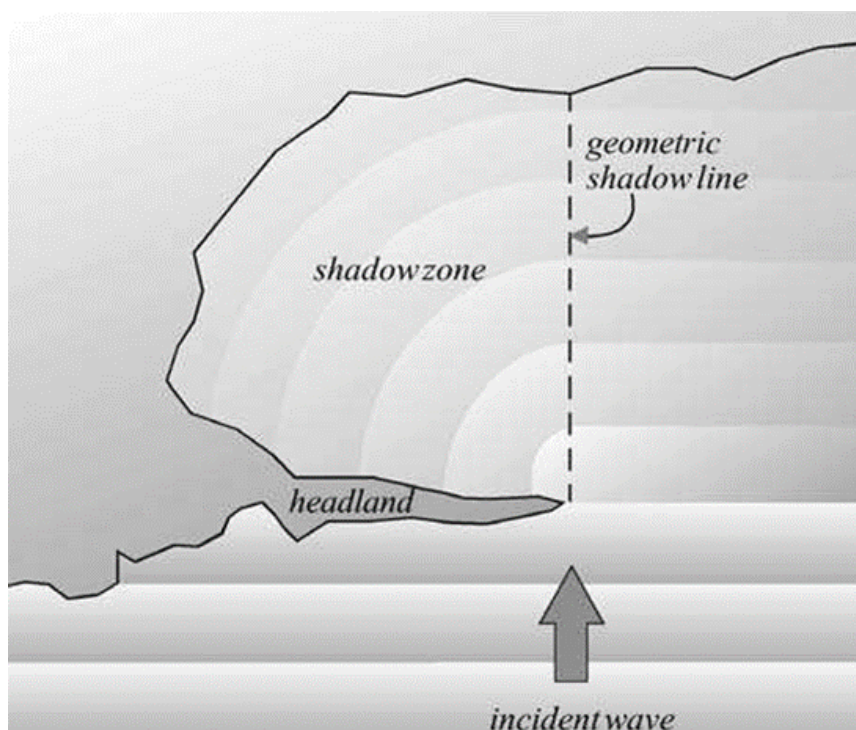
Για σταθερό άνοιγμα,

$L \uparrow$

Περίθλαση $\uparrow$

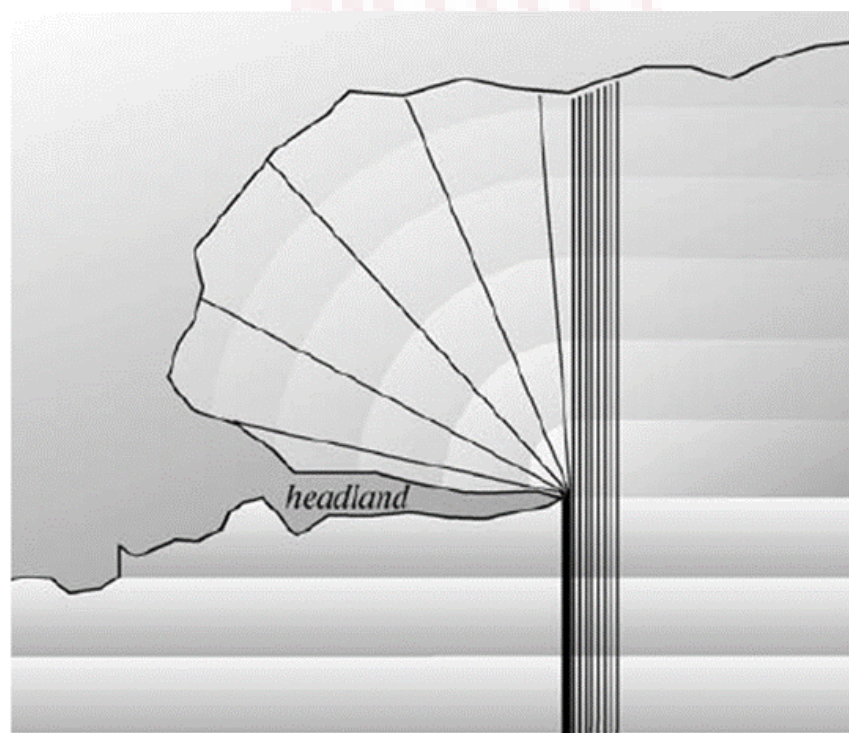
Περίθλαση γύρω από ακρωτήριο

Κυκλική διάδοση κυματοκορυφών
στη ζώνη σκίασης



Holthuijsen, 2007

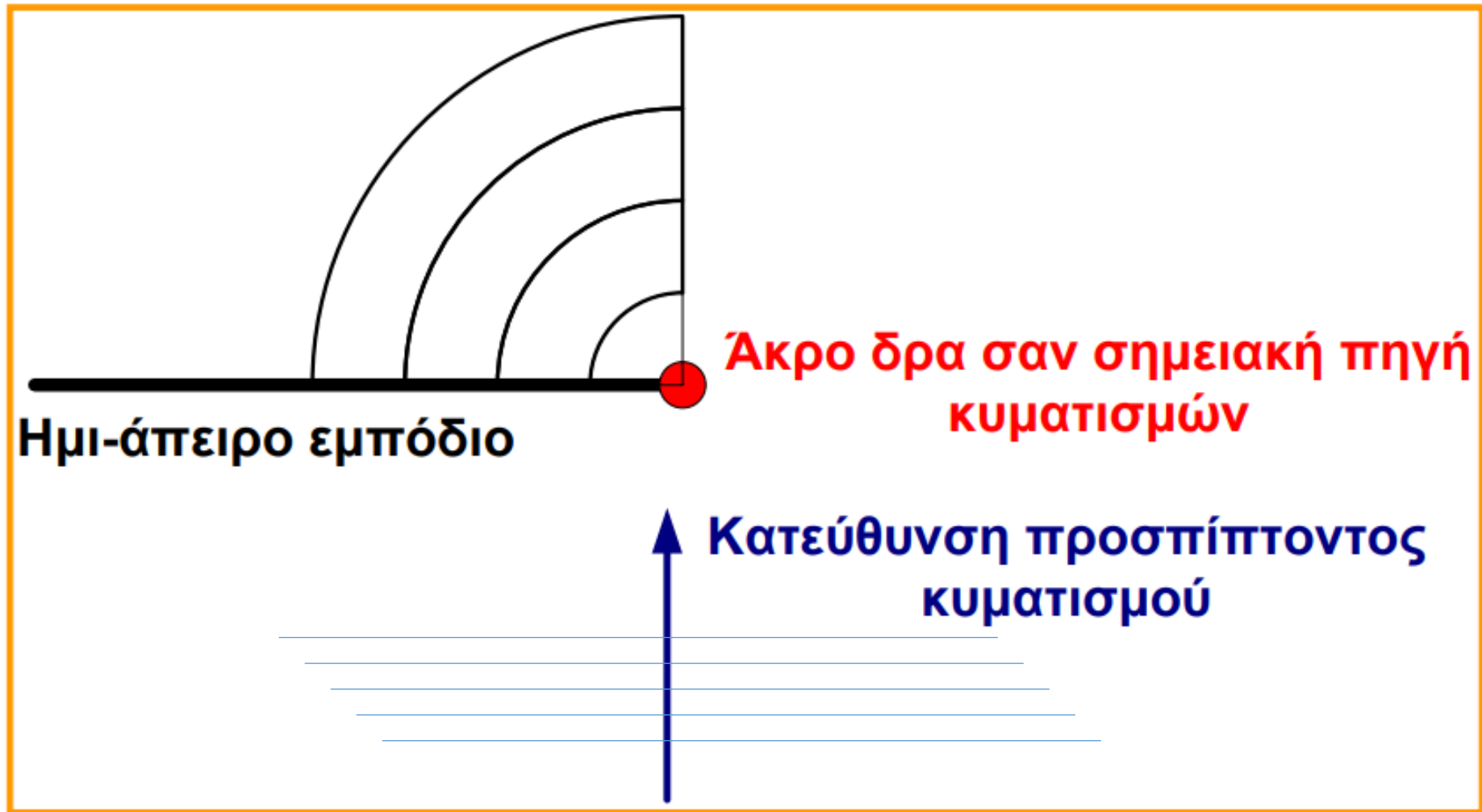
Ακτίνες διάδοσης στη ζώνη
σκίασης



Holthuijsen, 2007

Holthuijsen, 2007

Περίθλαση γύρω από ακρωτήριο



Κυκλική διαμόρφωση κυματοκορυφών στην σκιά της κατασκευής σαν να αποτελούσε η άκρη της κατασκευής σημειακή πηγή κυματισμών

Περίθλαση γύρω από ακρωτήριο



Περίθλαση σε κλειστή λεκάνη

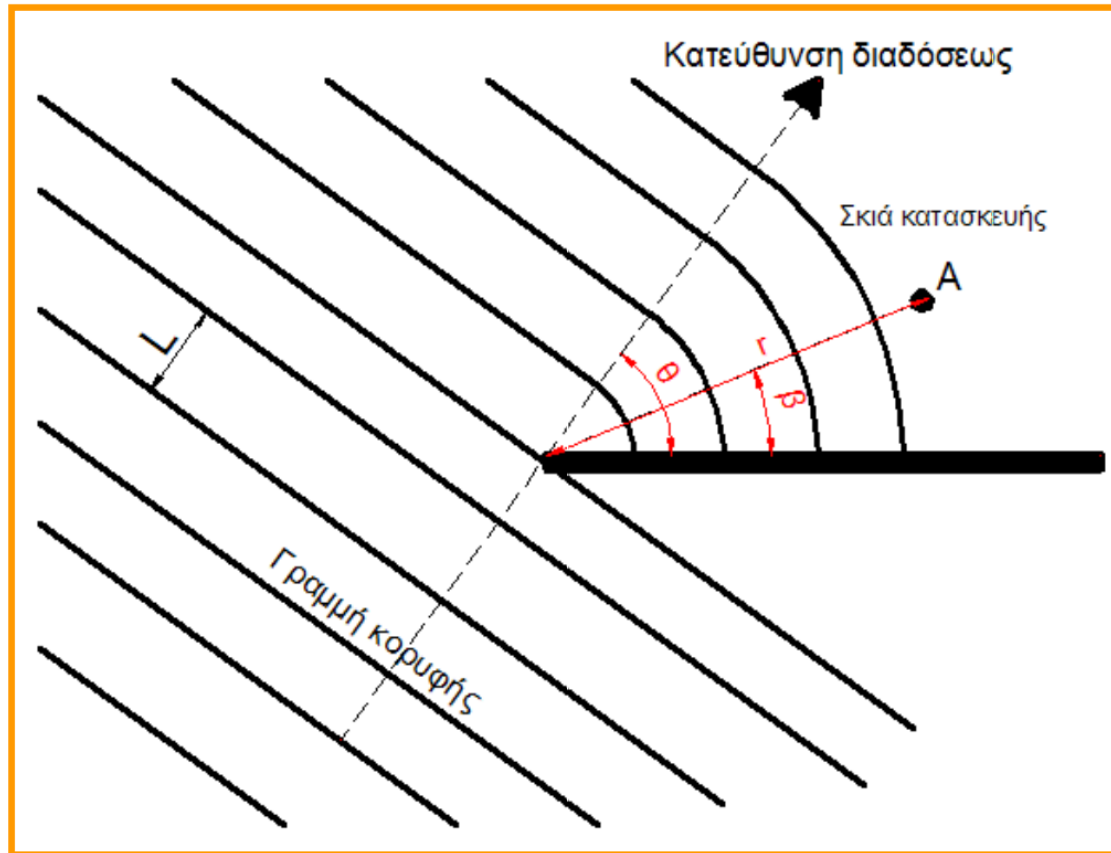


Περίθλαση γύρω από πεπερασμένο εμπόδιο



Περίθλαση

Συμβολισμοί περίθλασης γύρω από ημιάπειρο εμπόδιο



Κουτίτας, 1994

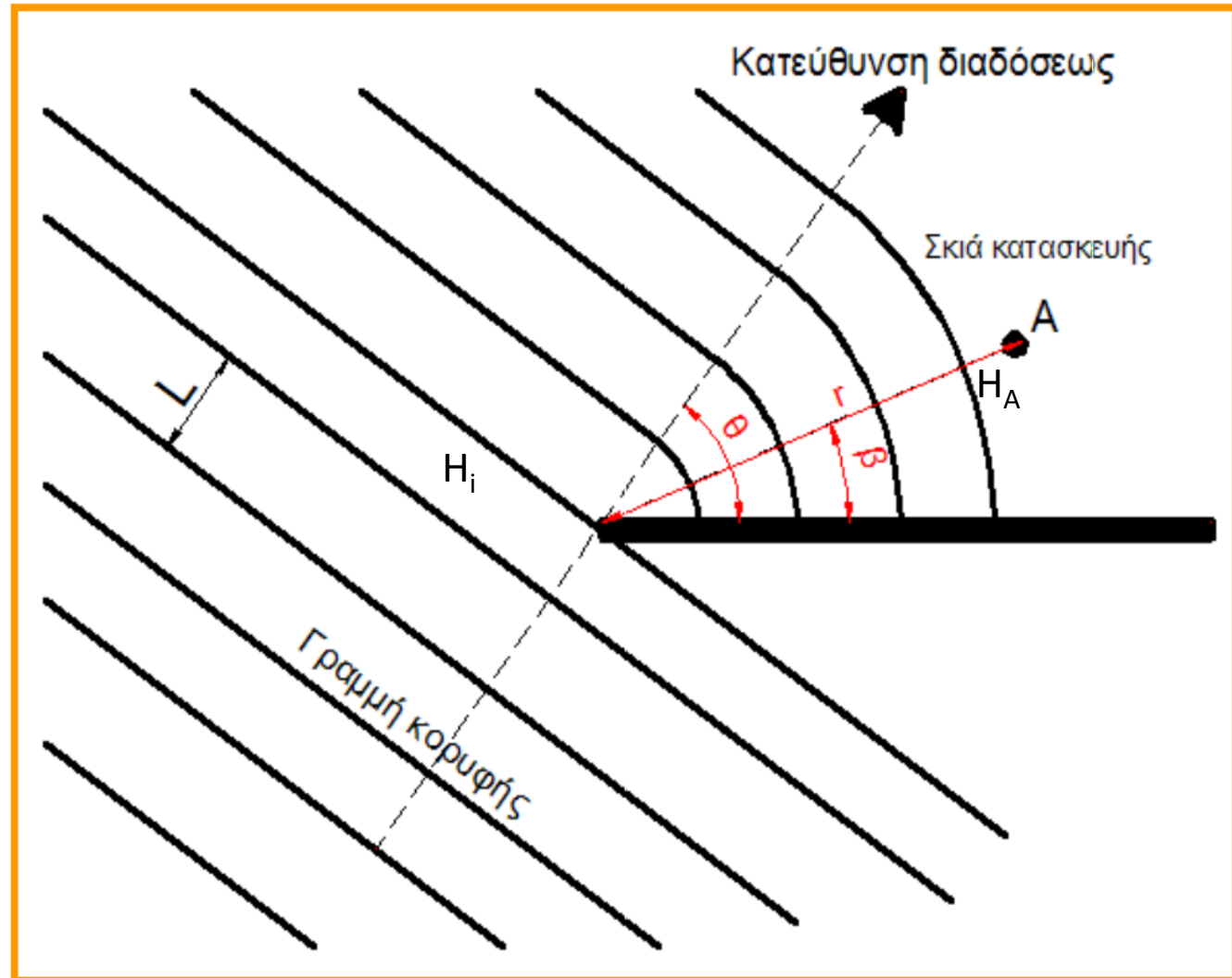
Ύψος κύματος στην προστατευμένη περιοχή καθορίζεται από:

- ύψος και μήκος προσπίπτοντος κυματισμού (L, H_i)
- γωνία πρόσπτωσης θ
- λόγο r/L και
- γωνία β της ακτίνας r από το άκρο

Συντελεστής περίθλασης K_D

$$H_A = k_D H_i$$

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



Κουτίτας, 1994

Συντελεστής περίθλασης K_D

Υπολογισμός

Συντελεστή

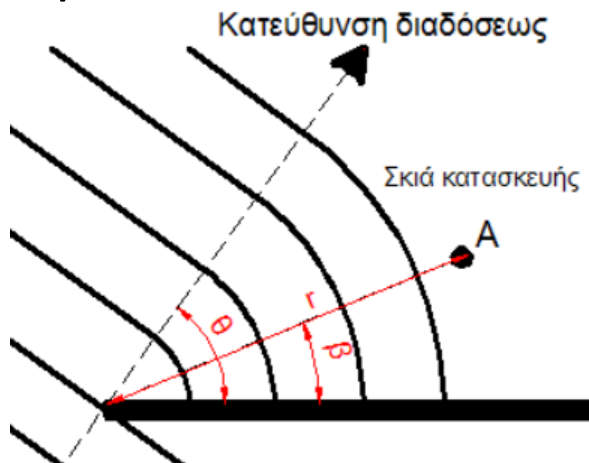
Περίθλασης:

Πίνακας Wiegel

π.χ.:

$\theta=45^\circ$, $\beta=30^\circ$, $r/L=2$

$K_D=0.39$ (κύμα ύψους
40% του κύματος που
προσπίπτει



Πίνακας τιμών συντελεστού περιθλάσεως γύρω από ημιάπειρο 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	0.28	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	

Συντελεστής Περίθλασης

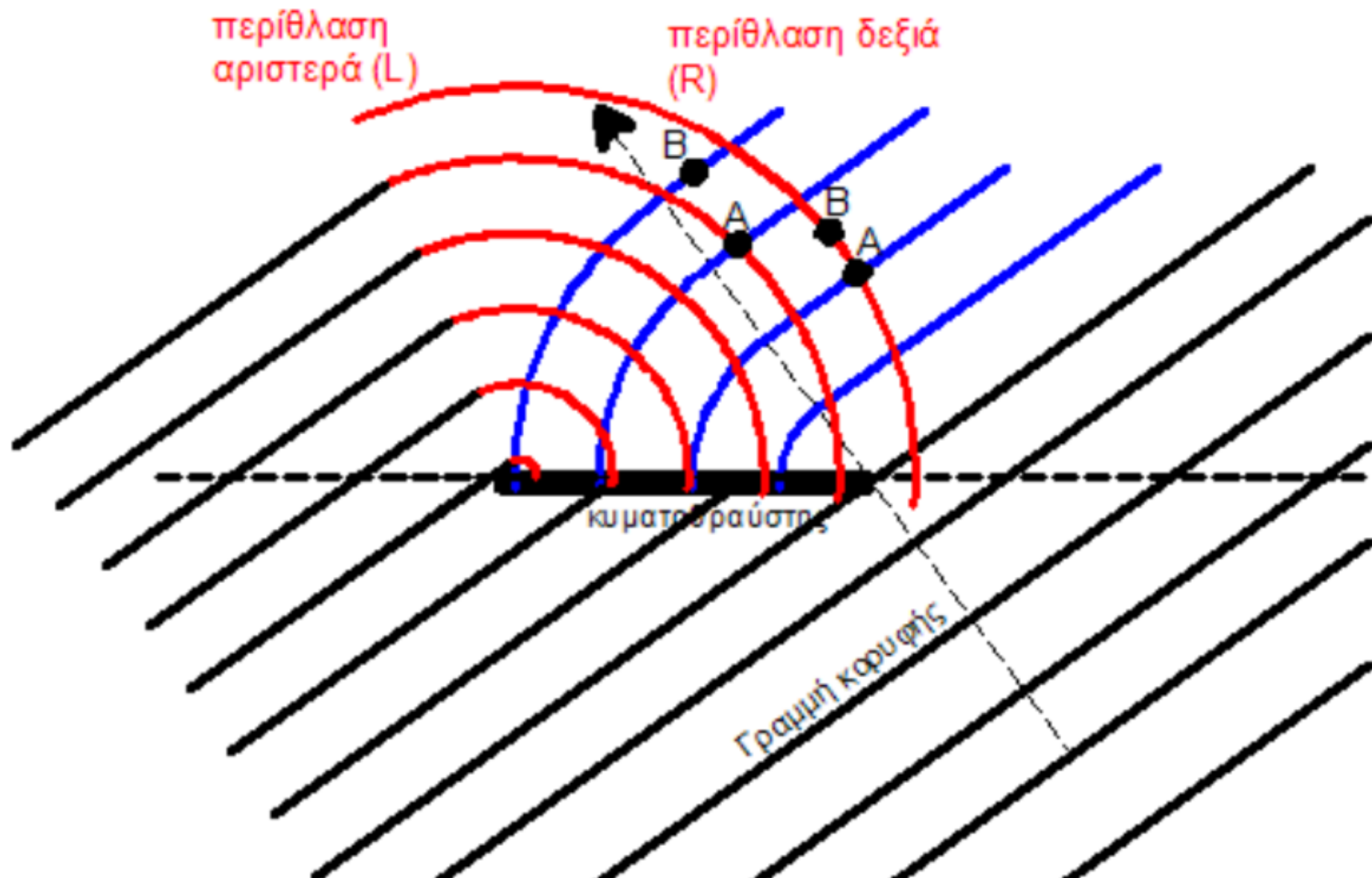
Περίθλαση και
σε γωνίες θ άνω
των 90° !!!!

Πίνακας τιμών συντελεστού περίθλασης γύρω από ημιάπειρο κυματοθραύστη

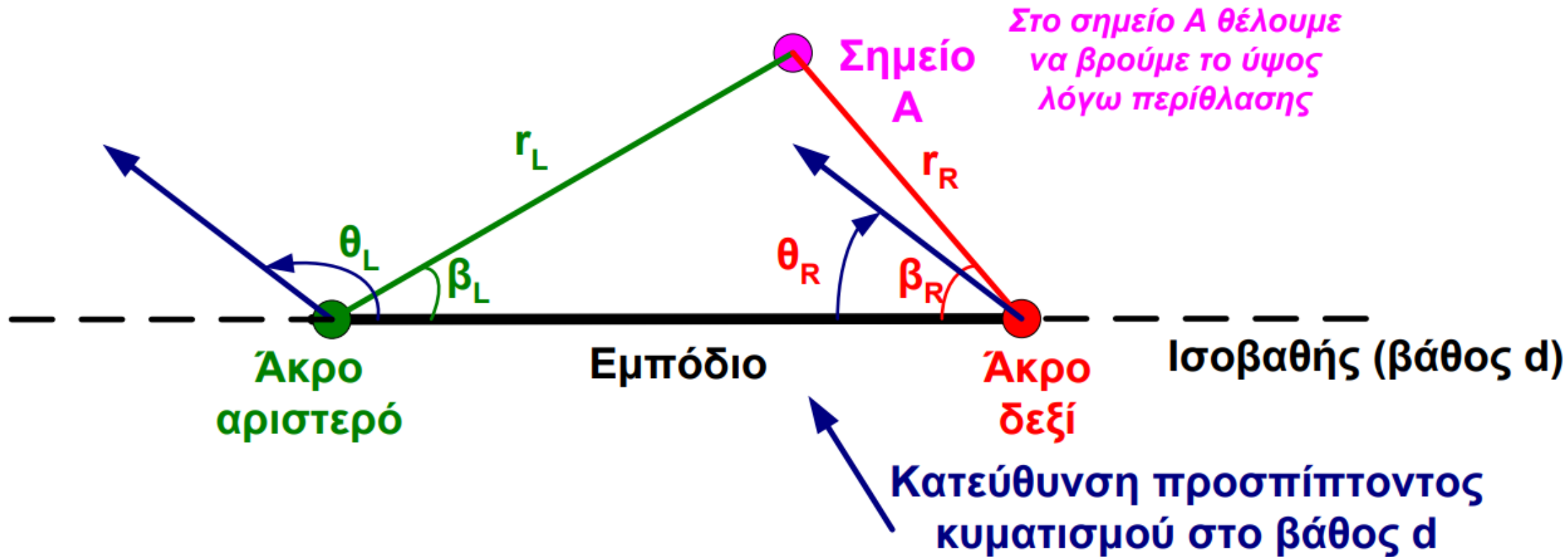
Πίνακας Wiegel

θ	r/L	B												
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
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 από τα άκρα πεπερασμένου εμποδίου



Περίθλαση από τα άκρα πεπερασμένου εμποδίου

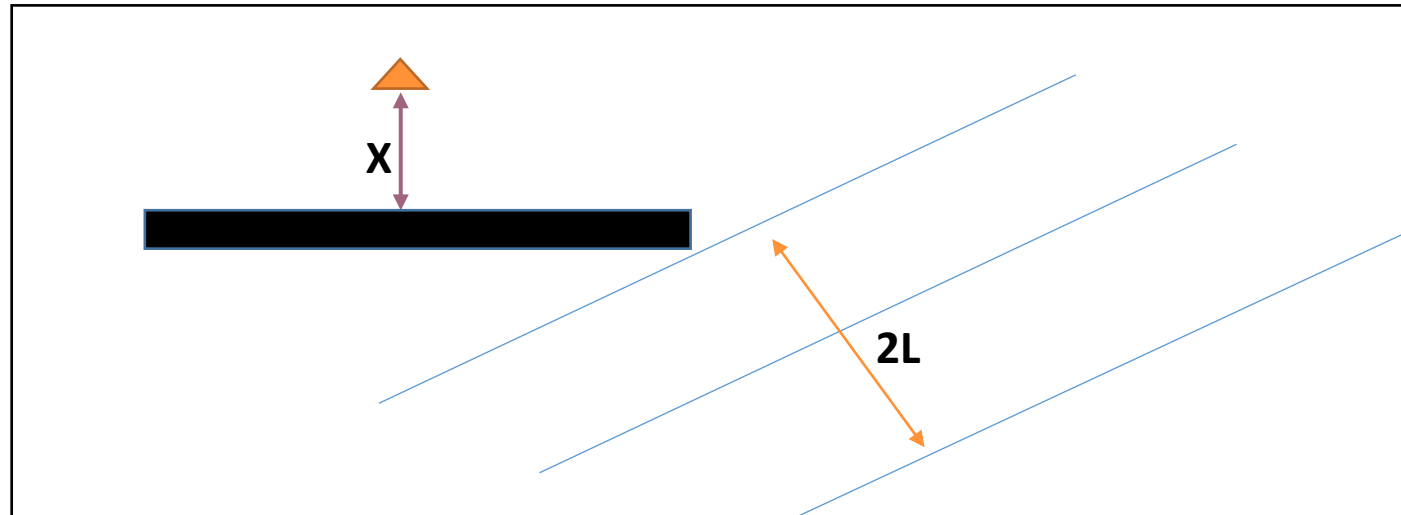


Διακρίνονται 2 περιπτώσεις

Περίθλαση από τα άκρα πεπερασμένου εμποδίου

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α:

Η απόσταση (κάθετη) του σημείου πίσω από το εμπόδιο μικρότερη από $2L$



A1) Διαφορά φάσης 0° : συνάντηση δύο κορυφών $\rightarrow$ τα περιθλόμενα από τα δύο άκρα κύματα βρίσκονται σε φάση ($kD = kD_R + kD_L$)

A2) Διαφορά φάσης 180° : συνάντηση κορυφής και κοιλιάς $\rightarrow$ τα περιθλόμενα από τα δύο άκρα κύματα βρίσκονται εκτός φάσεως ($kD = kD_R - kD_L$)

$$H_A = k_D H_i$$



Περίθλαση από τα άκρα πεπερασμένου εμποδίου

B) Η κάθετη απόσταση (X) του σημείου πίσω από το εμπόδιο μεγαλύτερη από 2L ->

Πίνακα Wiegel

$$k_{DL} = k_{DL}(\theta_L, \beta_L, \frac{r_L}{L})$$



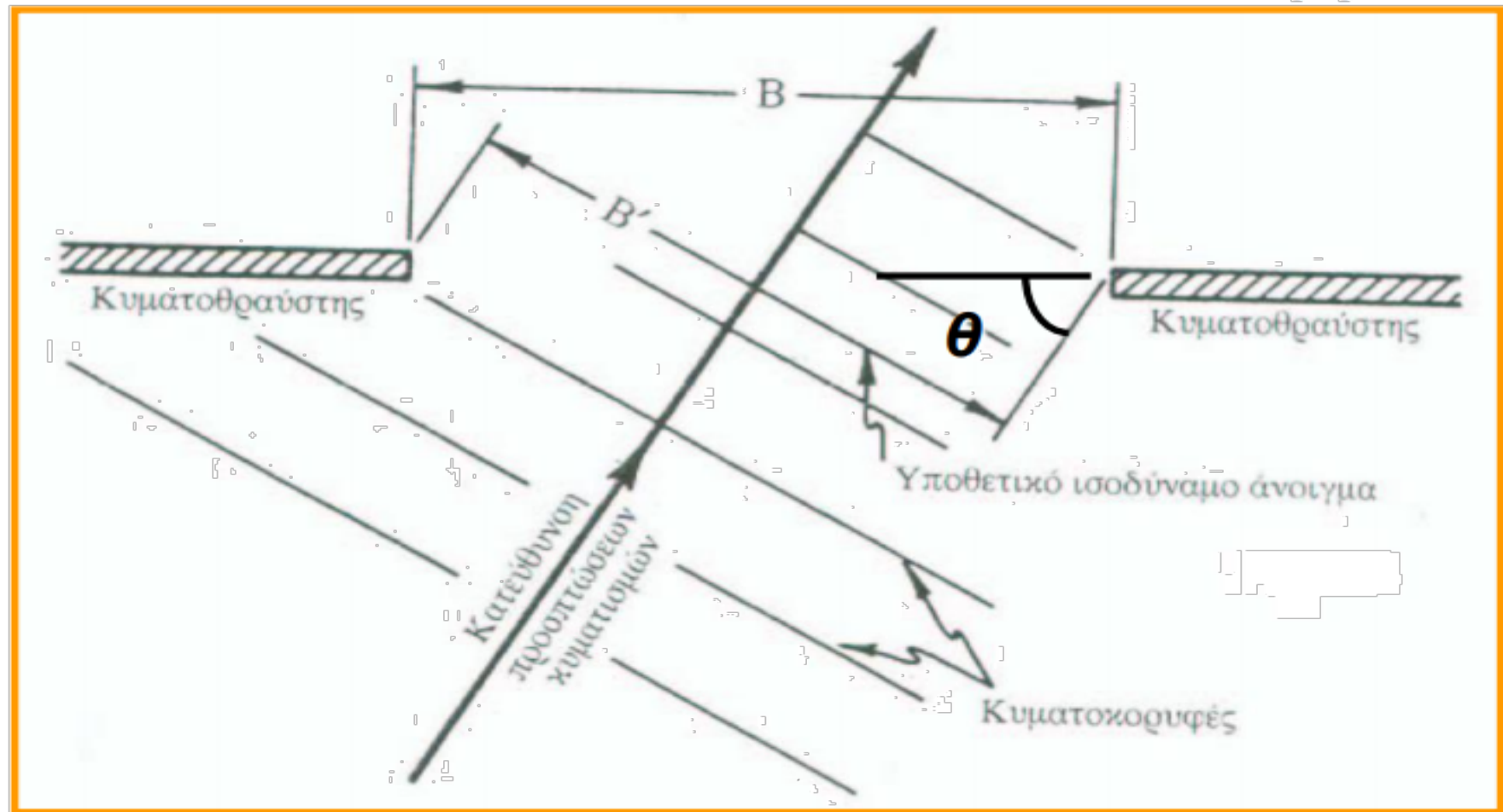
$$k_{DR} = k_{DR}(\theta_R, \beta_R, \frac{r_R}{L})$$

$$H_A = k_{DL} H_i + k_{DR} H_i$$

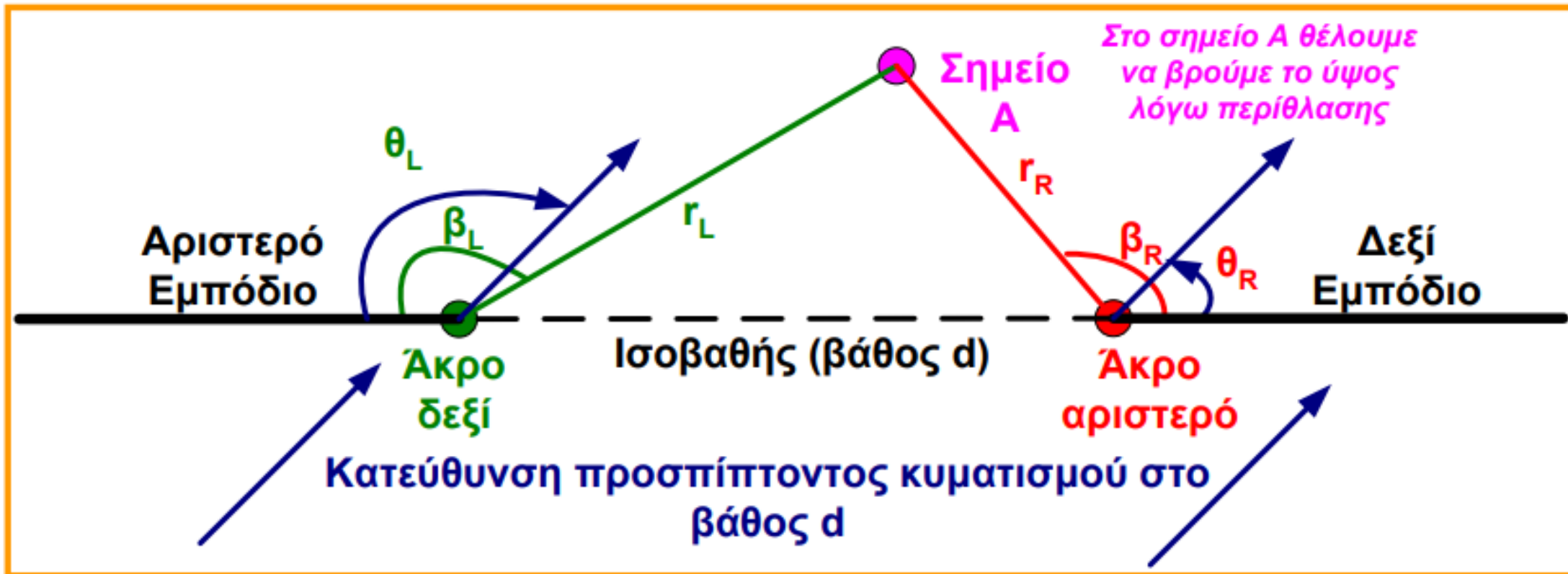
Περίθλαση από άκρα δύο ημι-άπειρων εμποδίων (π.χ. είσοδος λιμενολεκάνης)

Από την γωνία πρόσπτωσης θ καθορίζεται το ισοδύναμο άνοιγμα (πλάτος εισόδου) B' (προβολή του B στην κατεύθυνση πρόσπτωσης):

$$B' = B \sin(\theta)$$



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



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

Διακρίνονται 2 περιπτώσεις:

A) Το άνοιγμα $B' > 5L \rightarrow$ Πίνακα Wiegel

$$k_{DL} = k_{DL}(\theta_L, \beta_L, \frac{r_L}{L})$$
$$k_{DR} = k_{DR}(\theta_R, \beta_R, \frac{r_R}{L})$$



$$H_A = k_{DL} H_i + k_{DR} H_i$$

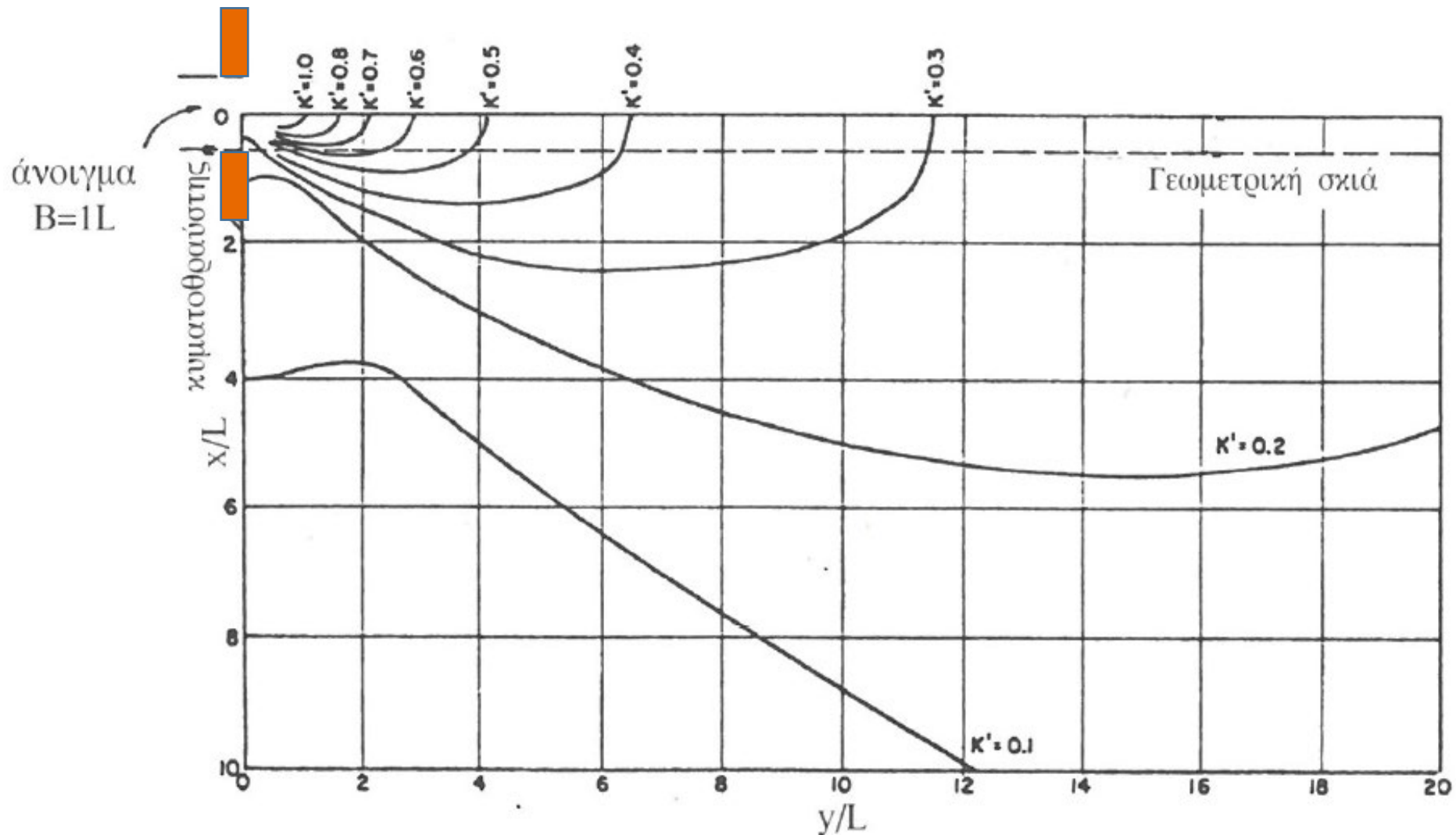
B) Το άνοιγμα $B' < 5L$

$$H_A = k_D H_i$$

Εύρεση K_d από νομογραφήματα...

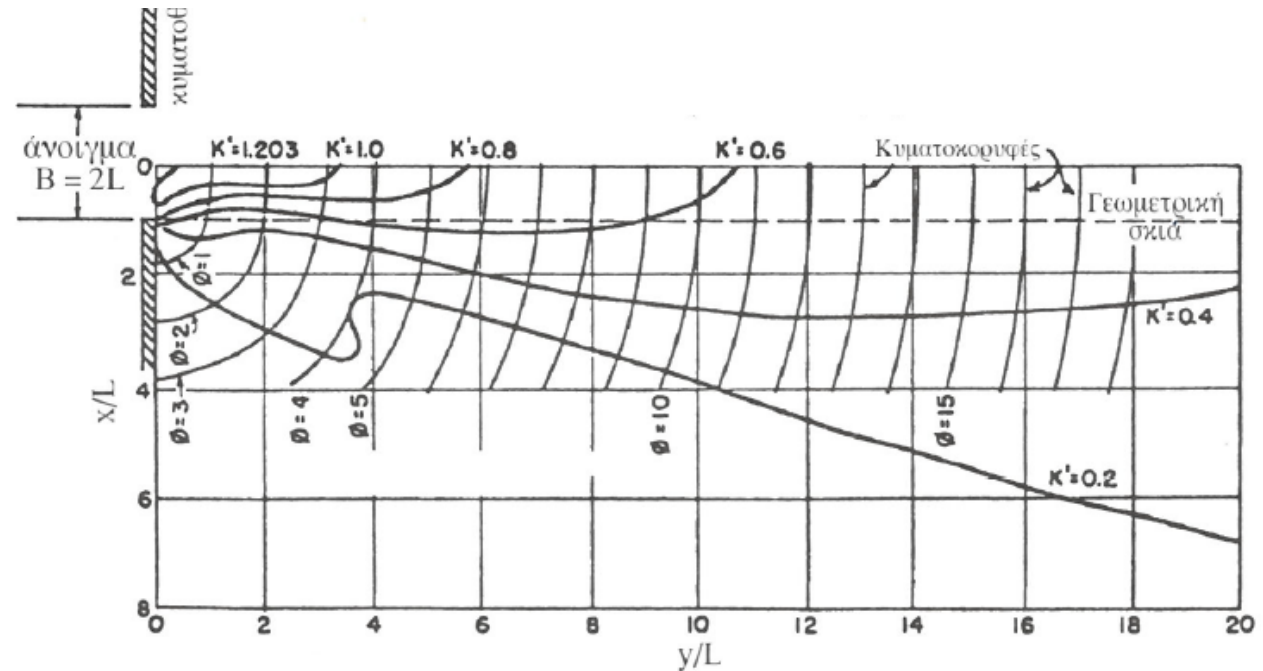
Περίθλαση από άκρα δύο ημι-άπειρων εμποδίων (π.χ. είσοδος λιμενολεκάνης)

B) Το άνοιγμα $B' < 5L \rightarrow B=L$

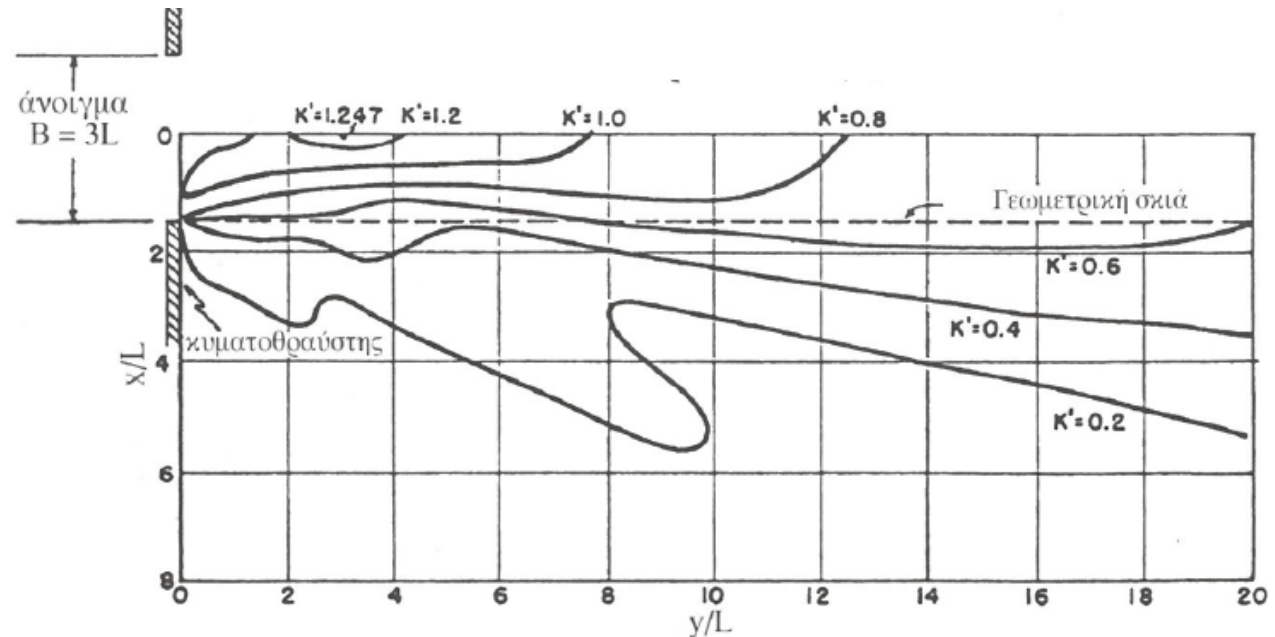


Περίθλαση από άκρα δύο ημι-άπειρων εμποδίων (π.χ. είσοδος λιμενολεκάνης)

B) Το άνοιγμα $B' < 5L \rightarrow B=2L$



B) Το άνοιγμα $B' < 5L \rightarrow B=3L$



Θραύση (wave breaking)

Κύριος τρόπος εκδήλωσης
υδροδυναμικής αστάθειας

↓
Οι κυματισμοί
παραμένουν
υδροδυναμικά
ευσταθείς εάν δεν
ξεπεραστούν κάποιες
Οριακές τιμές H , L και d

Ως μηχανισμός
προκαλεί

Περιορισμό
ύψους κύματος
με δεδομένη T

Ανάμιξη
επιφανειακών
νερών

Θραύση (wave breaking)



Βαθιά

$$\bullet \frac{H_0}{L_0} > \frac{1}{7}$$



Ρηχά

$$\bullet \frac{H_b}{d_b} > 0,78$$



Θραύση (wave breaking)

Βάθος στο οποίο
θραύεται ο κυματισμός ->
Σημείο θραύσης

Ζώνη που διαδίδονται
οι θραυόμενοι
κυματισμοί -> **Ζώνη
θραύσης (surf zone)**

Ύψος θραυόμενου
κύματος εξαρτάται

- Βάθος
- Κλίση του πυθμένα

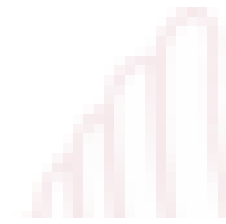
Διαφορετικοί τύποι
θραύσης ανάλογα με

- Κλίση πυθμένα
- Κλίση κυματισμού

Βάθος θραύσης



Τύποι θραύσης

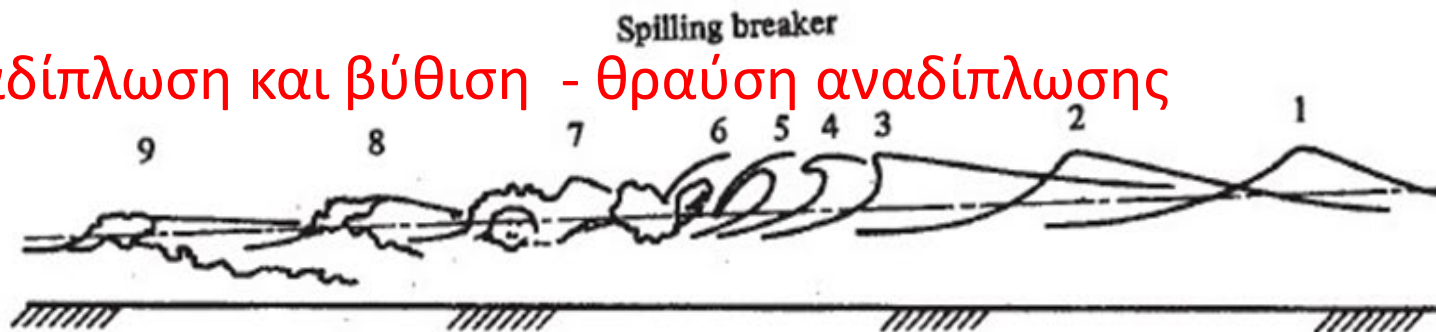


(α) Με εκχείλιση – θραύση υπερχείλισης



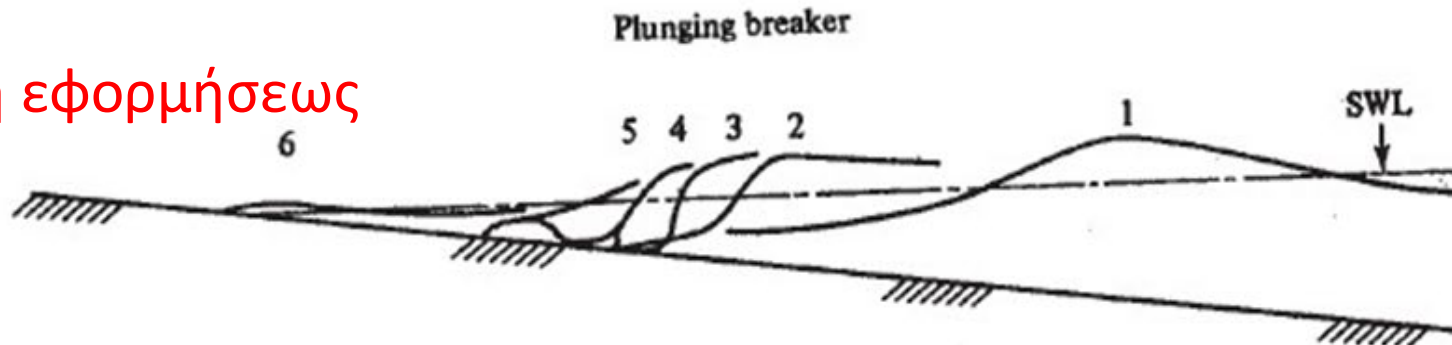
Μικρή κλίση

(β) Με αναδίπλωση και βύθιση - θραύση αναδίπλωσης



Μέτρια κλίση

(γ) θραύση εφορμήσεως



Μεγάλη κλίση

Surging breaker



Εκχείλιση – υπερχείλιση -
spilling

Wave breaking, spilling type.



Αναδίπλωση - plunging



Εφόρμηση - Surging

4, 2002

Παράμετρος ξ (Iribarren number)

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L}}} \quad \text{όπου } \alpha \text{ η κλίση πυθμένα}$$

Βαθιά

Ρηχά

υπερχείλισης
(spilling)

$$\xi_0 < 0.5$$

$$\xi_b < 0.4$$

καταδύσεως
(plunging)

$$0.5 < \xi_0 < 3.3$$

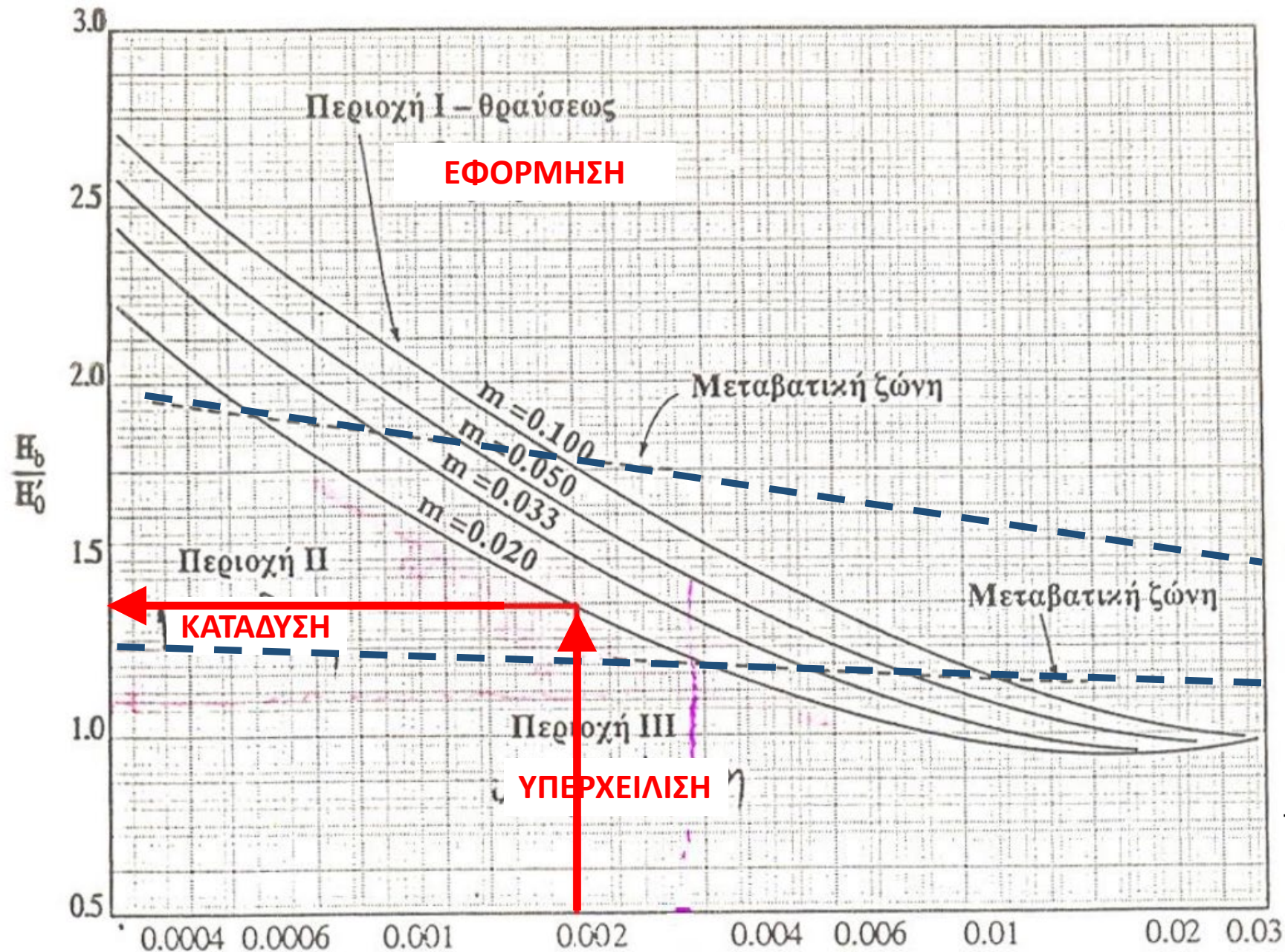
$$0.4 < \xi_b < 2$$

εφορμήσεως
(surging)

$$\xi_0 > 3.3$$

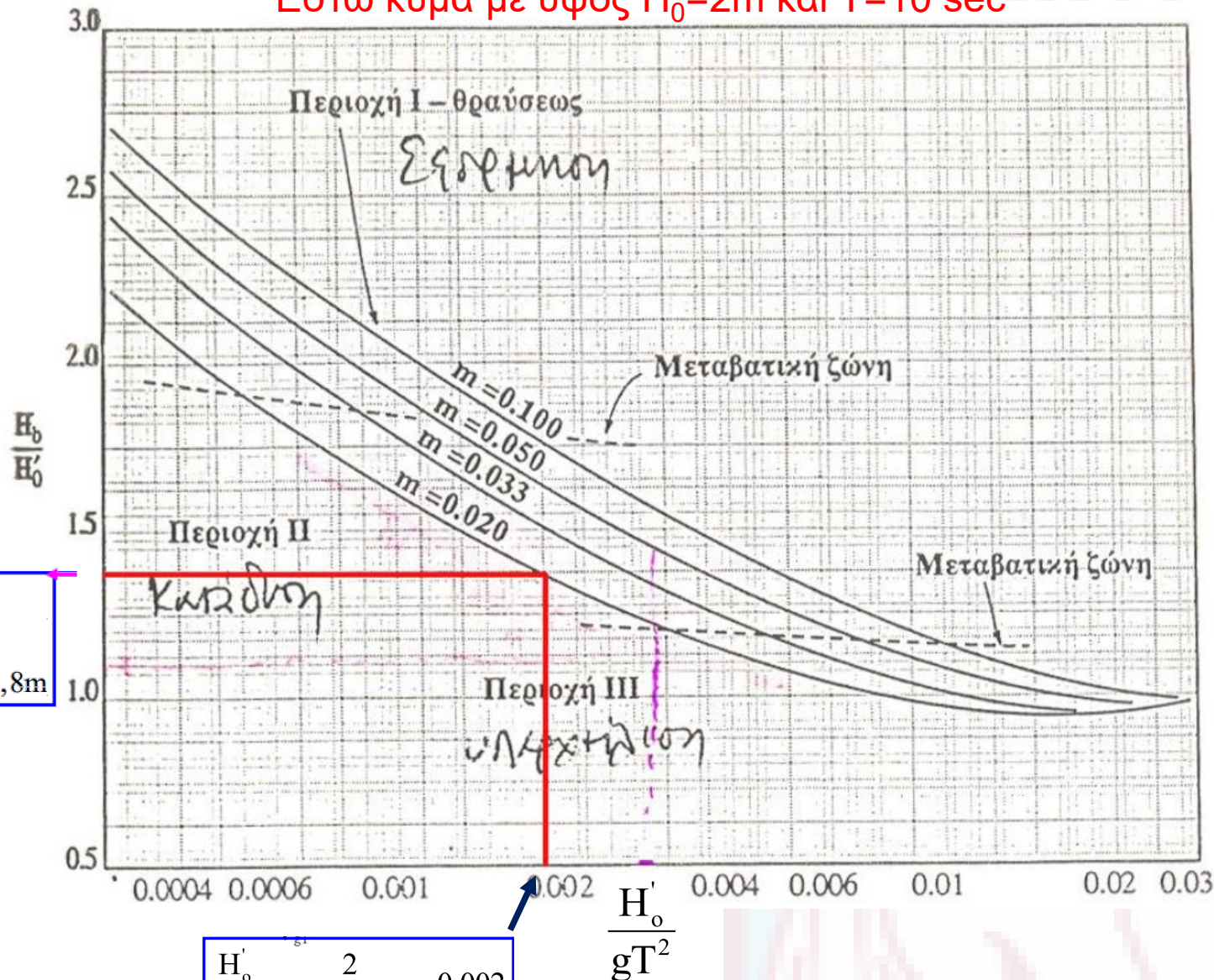
$$\xi_b > 2$$

Υπολογισμός σημείου θραύσης



Υπολογισμός ύψους κύματος στο σημείου θραύσης

Έστω κύμα με ύψος $H_0=2\text{m}$ και $T=10\text{ sec}$

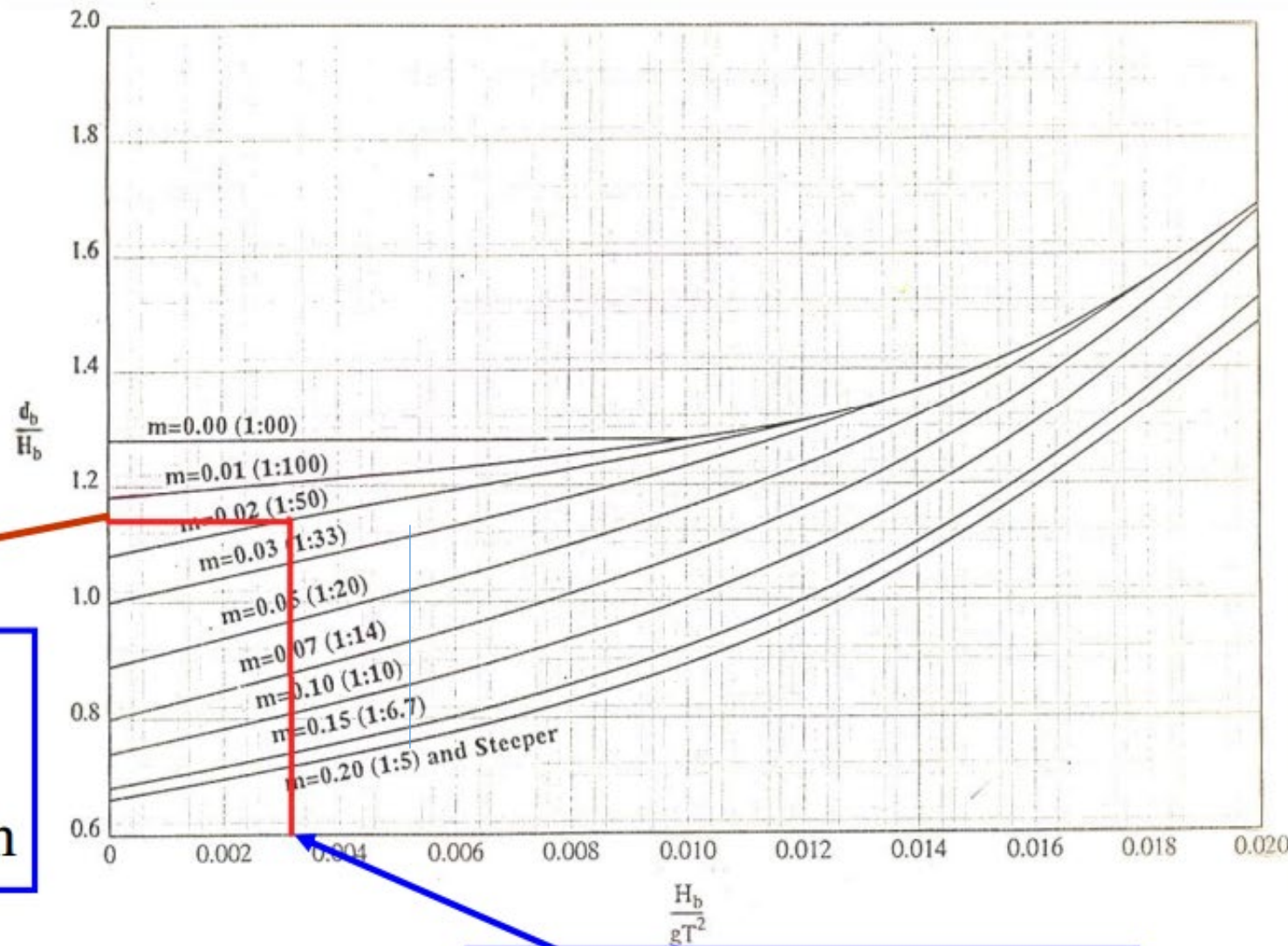


$$\frac{H_b}{H_0} = 1,4 \rightarrow$$

$$H_b = 1,4 \times 2,0 = 2,8\text{m}$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2}{9.81 \times 10^2} = 0.002$$

Υπολογισμός βάθους στο σημείο θραύσης



$$\frac{d_b}{H_b} = 1,15$$
$$\rightarrow d_b = 2,8 \times 1,15 = 3,22\text{m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,8}{9.81 \times 10^2} = 0.0028$$

Βιβλιογραφία

- Holthuijsen L.H., Waves in Oceanic and Coastal Waters, 2007, Cambridge University Press
- Kamphuis J.W., Introduction to Coastal Engineering and Management, 2000, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Sorensen R.M., Basic Coastal Engineering (3rd Edition), 2006, Springer
- U.S.A.C.E., Coastal Engineering Manual, 2002
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη
- «Ακτομηχανική και λιμενικά έργα. Διαμόρφωση Κυματισμών στον Παράκτιο Χώρο-Περίθλαση κυματισμών». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://opencourses.auth.gr/courses/OCRS425/>
- «Παράκτια Ωκεανογραφία. Θραύση και αναρρίχηση κυματισμών». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS318/>



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 Παράκτια Μηχανική

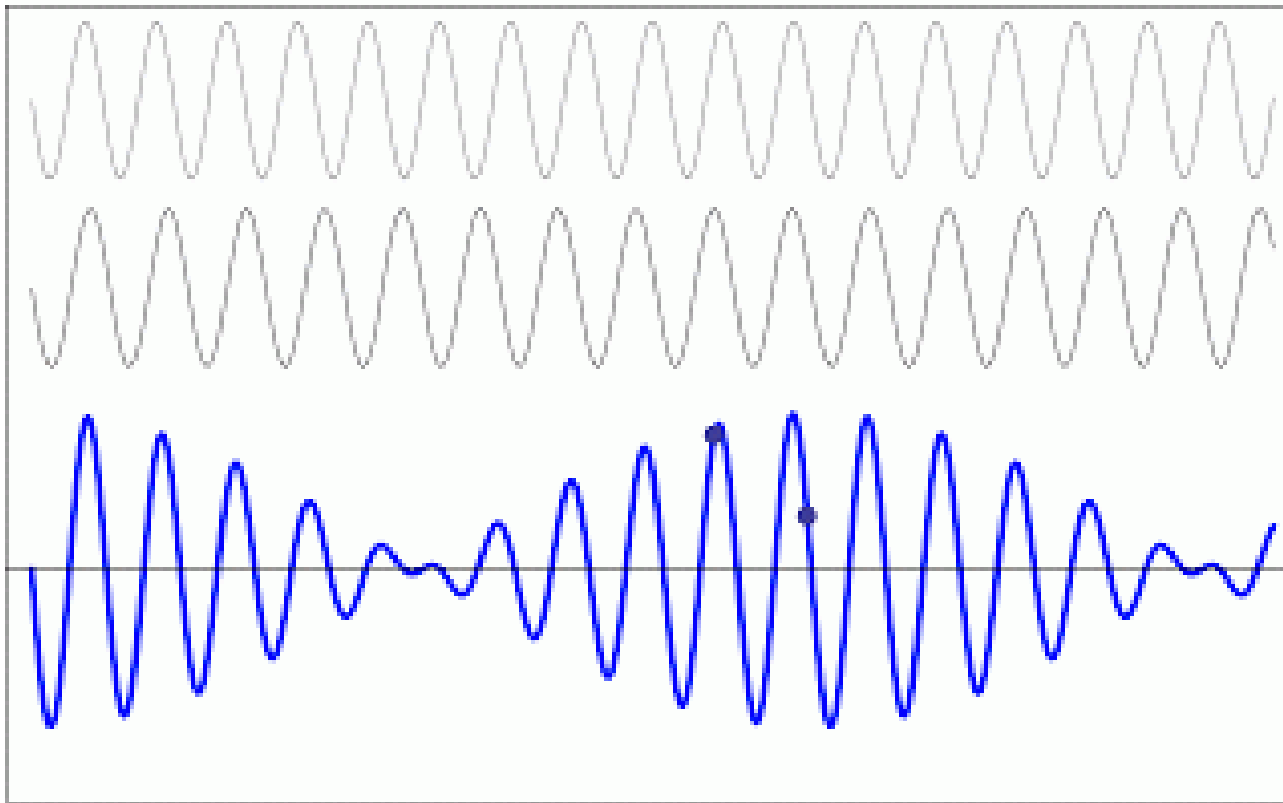
Πρόγνωση ανεμογενών κυματισμών

Ανεμογενείς κυματισμοί



Ανεμογενείς κυματισμοί

- Κύριος παράγοντας φορτίσεως θαλάσσιων έργων
- Συνήθως έχουν τυχαία (στοχαστική) μορφή
- Τοπικά μπορεί να περιγράψει ως άθροιση αρμονικών συνιστωσών



Ορισμοί

- **Ανεμογενείς κυματισμοί (*wind waves*):** γενεσιουργό αίτιο ο άνεμος που πνέει τοπικά
- **Αποθάλασσες (*Swell waves*):** κύματα μεγαλύτερης περιόδου που δημιουργήθηκαν από τους ανέμους μακρινών καιρικών συστημάτων.
- **Θαλάσσια κατάσταση (*Sea state*):** ο συνδυασμός ανεμογενών κυμάτων και αποθαλασσών.

Γένεση κυματισμών



Γένεση κυματισμών

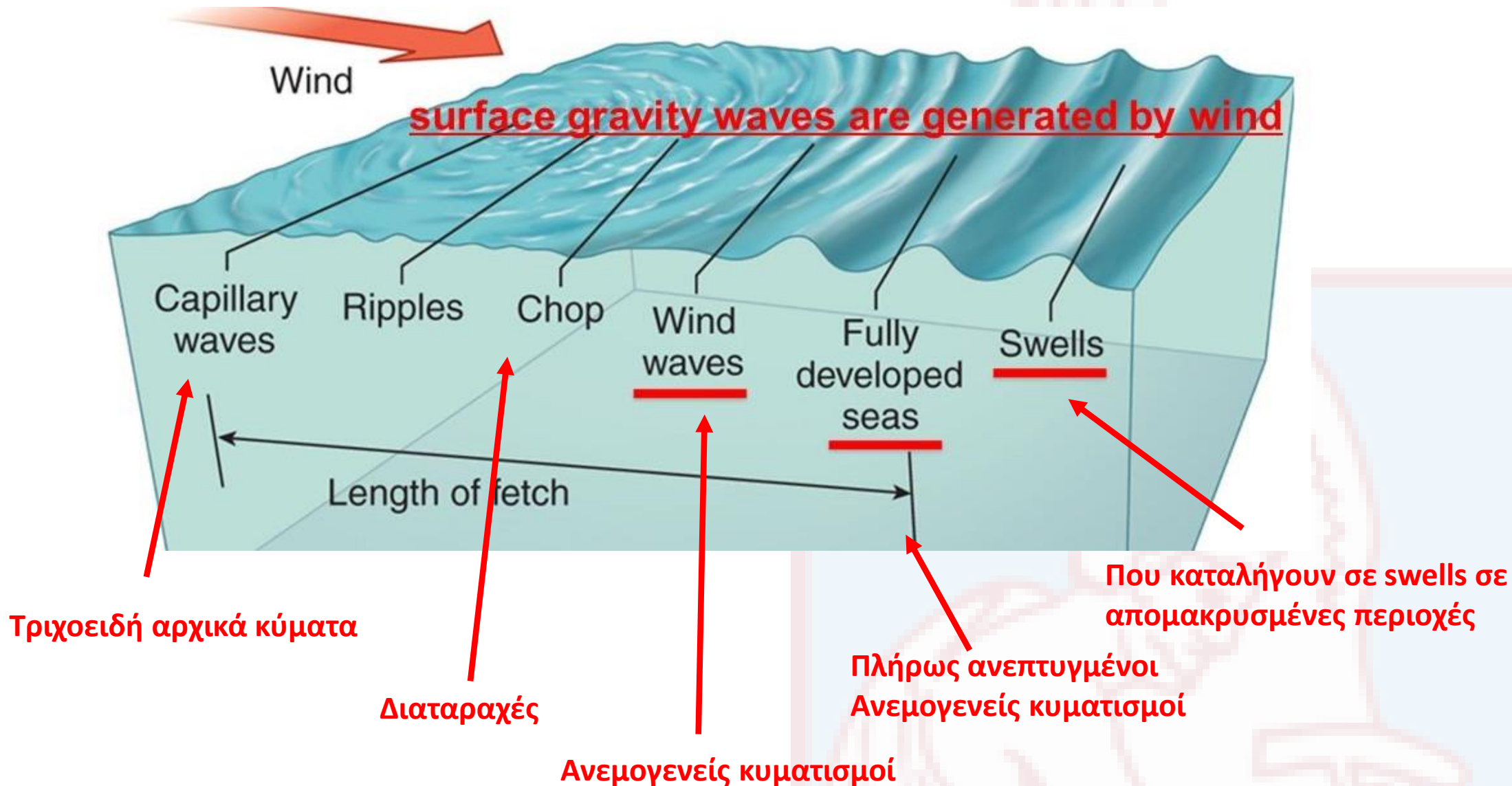
Μηχανική ενέργεια

Αρχικά μεταφέρεται γραμμικά και έπειτα εκθετικά

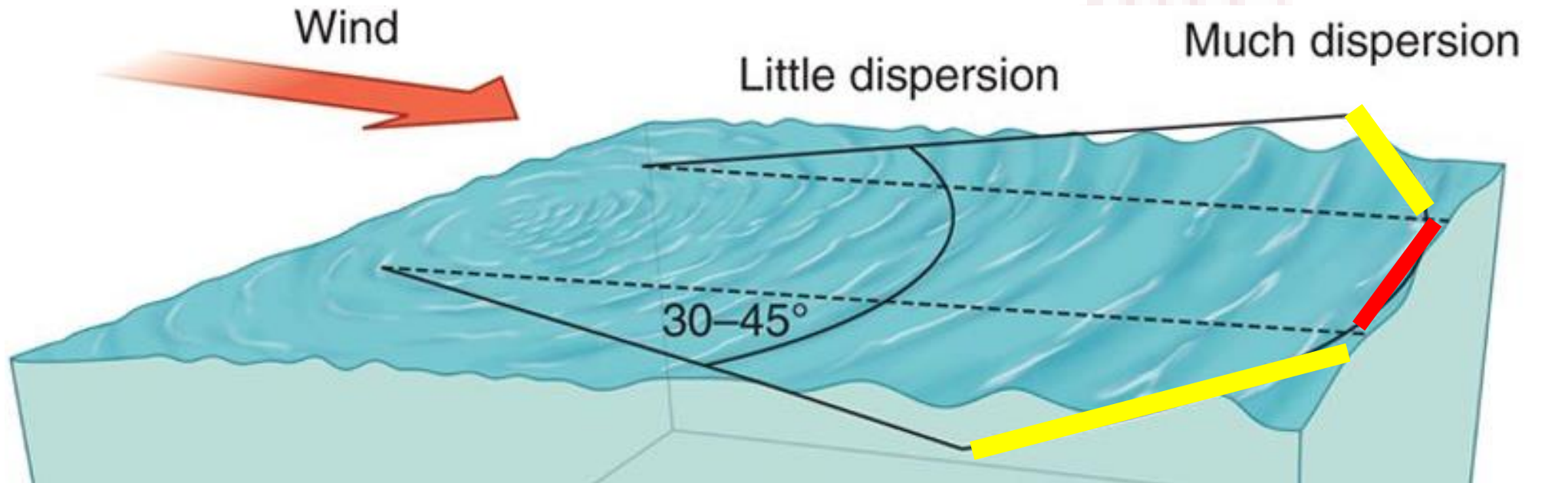
Μετά ↓ | Περίοδος & Μήκος ↑

Φασική ταχύτητα $\cong$ Ανέμου

Γένεση κυματισμών



Γένεση κυματισμών

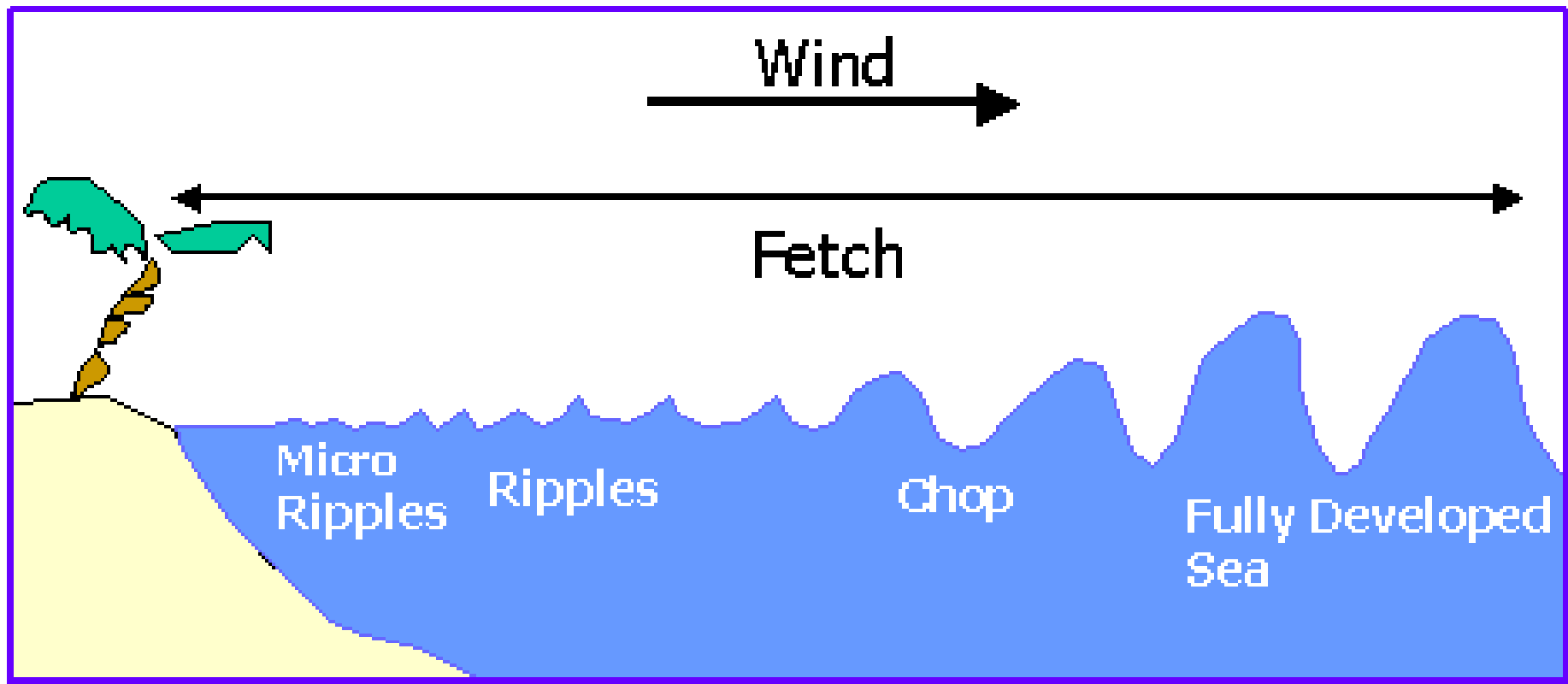


- Μικρότερα κύματα
- Μεγαλύτερα κύματα

Κυματογένεση σε τομέα $+/- 30$ έως και 45° εκατέρωθεν της διεύθυνσεως του ανέμου.

Μήκος αναπτύγματος F (fetch)

Μήκος αναπτύγματος είναι το μήκος της θάλασσας πάνω σε μια διεύθυνση που δύναται να δράσει ο άνεμος.



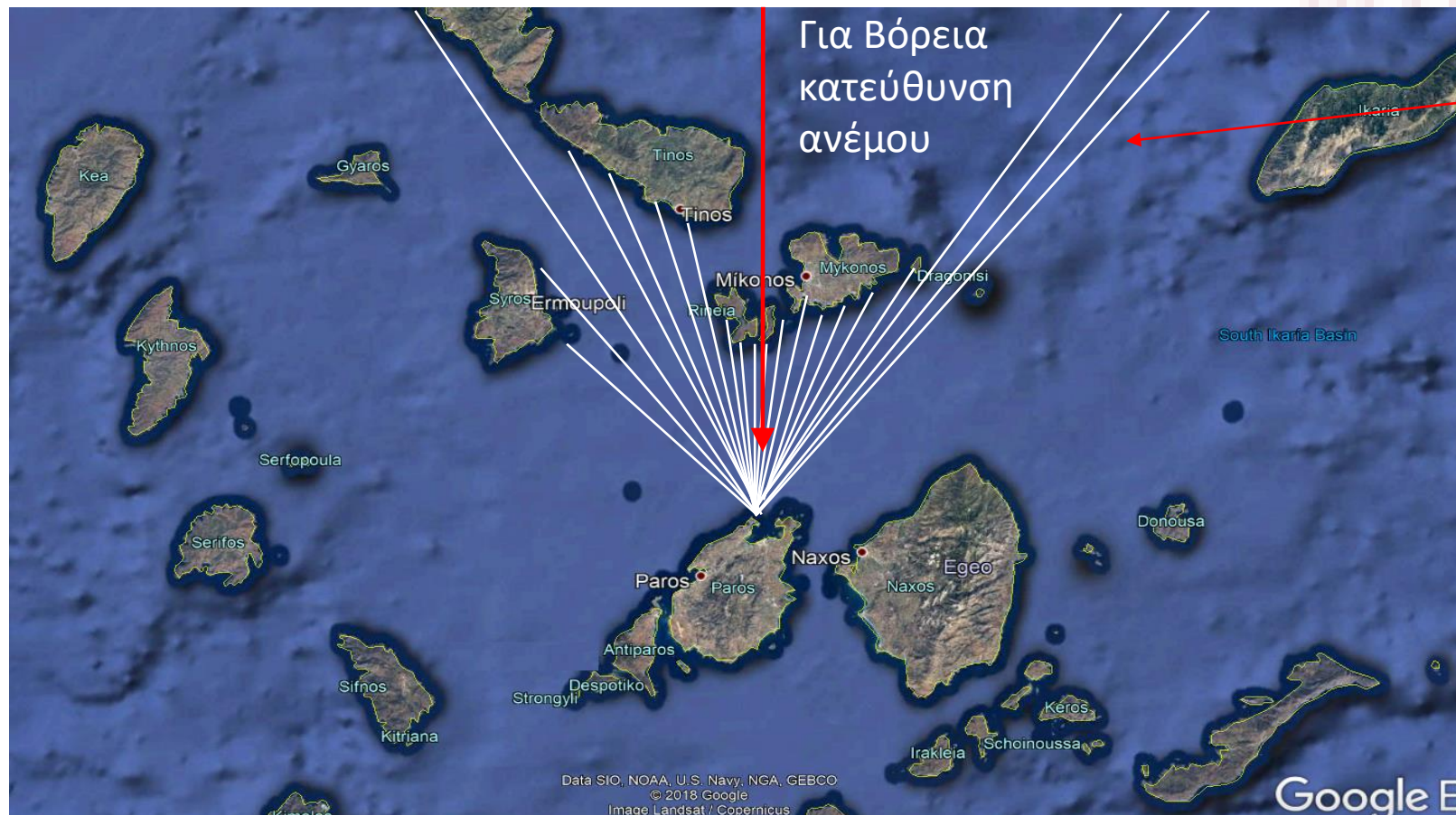
Μήκος αναπτύγματος F (fetch)



Μήκος αναπτύγματος είναι το μήκος της θάλασσας πάνω σε μια διεύθυνση που δύναται να δράσει ο ανεμος.

Μήκος ισοδύναμου αναπτύγματος F_{eff} (effective fetch)

Όμως κάθε διεύθυνση ανέμου δημιουργεί κύμα σε ένα τομέα $+ / - 45^\circ$ εκατέρωθεν αυτής. Για το λόγο αυτό υπάρχει το ισοδύναμο ανάπτυγμα (effective fetch):



Ακτίνες ανά 5 – 10 μοίρες

$$F_{eff} = \frac{\sum F_i (\cos \alpha_i)^2}{\sum (\cos \alpha_i)}$$

Για $i = 1$: αριθμό ακτίνων

$$(\cos(0))^2 = 1$$

$$(\cos(45))^2 = 0.5$$

Μεγαλύτερο βάρος το Fetch κατά τη διεύθυνση του ανέμου.

Βραχυπρόθεσμη πρόγνωση κυματισμών

Εμπειρικές
Μέθοδοι

- Ανεμολογικές $\rightarrow$ κυματικές παράμετροι
- Μεγάλα σετ δεδομένων
- Δεν περιέχουν φυσικές διεργασίες!

Ύψος &
Περίοδος
κύματος
από

- Ταχύτητα του ανέμου (U)
- Διάρκεια πνοής (t_d)
- Μήκος αναπτύγματος (F , fetch)

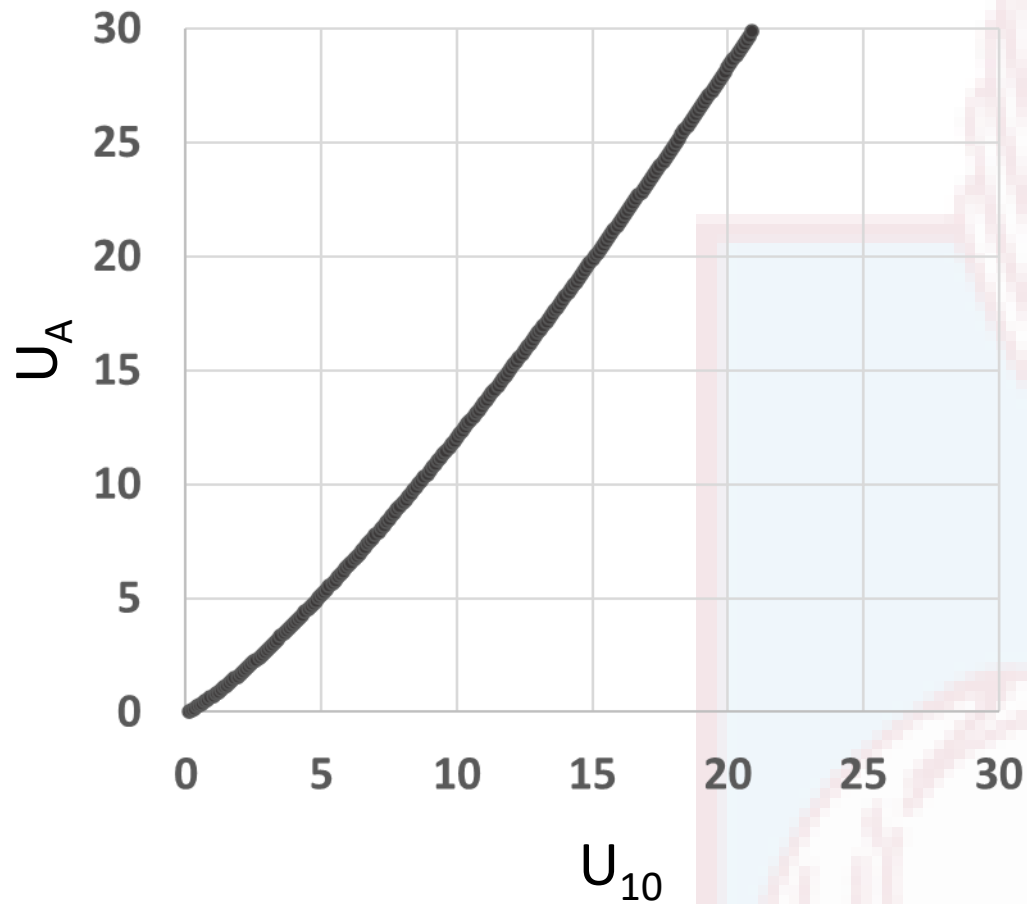
Ταχύτητα του ανέμου U

- Ο άνεμος ασκεί διατμητική τάση στην επιφάνεια της θάλασσας
- Η ταχύτητα ανέμου ως παράγοντας κυματογένεσης επηρεάζεται από τη θερμική ευστάθεια της κατώτερης ατμόσφαιρας που περιγράφεται από τη διαφορά θερμοκρασίας αέρα/νερού.
- Λόγω της μη γραμμικής μορφής της σχέσης ταχύτητας ανέμου και διατμητικής τάσης, η «**ρυθμισμένη**» ταχύτητα ανέμου ή «ταχύτητα τριβής» σε σχέση με την αντίστοιχη στα 10 μέτρα από την επιφάνεια, δίνεται από τη σχέση:

$$U_A = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23} \quad (\text{Κουτίτας, 1998})$$

Ταχύτητα του ανέμου U

$$U_A = 0.71 \cdot U_{10}^{1.23} \quad (\text{Κουτιπας, 1998})$$



Ταχύτητα του ανέμου U

- Πολλές φορές όμως δεν γνωρίζουμε την ταχύτητα στα 10 μέτρα υψόμετρο, αλλά σε κάποιο άλλο ύψος στο οποίο έχει εγκατασταθεί ανεμόμετρο.
- Τότε μπορούμε να υπολογίσουμε τη ταχύτητα στα 10 μέτρα από της σχέση:

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \text{ για } 0 < z < 20$$

Όπου Z το υψόμετρο που γίνεται η καταγραφή

Ανάπτυξη Κυματισμών

Εξαρτάται από:

- Ταχύτητα ανέμου U ,
- Μήκος αναπτύγματος F ,
- Διάρκεια πνοής ανέμου t_d

Διακρίνεται σε 3 καταστάσεις ανάλογα τη περίπτωση των παραπάνω μεγεθών:

I. **Περιορισμένο μήκος F , αλλά t_d πολύ μεγάλη:**

Τότε τα στοιχεία του κύματος εξαρτώνται από F και U

II. **Περιορισμένη διάρκεια t_d , αλλά F πολύ μεγάλο:**

Τότε τα στοιχεία κύματος εξαρτώνται από t_d και U

III. **Πολύ μεγάλο F και $t_d \rightarrow$ Πλήρης ανάπτυξη κύματος:**

Τότε η μεταφορά ενέργειας περιορίζεται μόνο από την ταχύτητα ανέμου U

Σημαντικό ύψος κύματος

- Η διαταραχή της θαλάσσιας επιφάνειας αντιπροσωπεύεται από το «χαρακτηριστικό κύμα».
- Ένα κύμα του οποίου το ύψος αντιστοιχεί στο $1/3$ του συνόλου των υψηλότερων κυμάτων τη συγκεκριμένη στιγμή (ή αλλιώς, ο μέσος όρος του $1/3$ υψηλότερων κυμάτων).
- Συμβολίζεται ως $H_{1/3}$ ή H_s .

Εμπειρικές μέθοδοι υπολογισμού του σημαντικού ύψους κύματος

1. JONSWAP

(JOint North Sea Wave Project)

2. SMB

(Sverdrup, Munk, and Bretschneider)

Πρόγνωση με τη μέθοδο JONSWAP

- Υπολογισμός σημαντικού ύψους κύματος H_s

$$H_s = \frac{U_A^2 \cdot 0.0016 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2} \right)^{0.5}}{g}$$

- Υπολογισμός περιόδου μέγιστης ενεργειακής πυκνότητας T_p

$$T_p = \frac{U_A \cdot 0.286 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2} \right)^{0.33}}{g}$$

Πρόγνωση με τη μέθοδο JONSWAP

...3 καταστάσεις :

I. Περιορισμένο μήκος F , αλλά t_d πολύ μεγάλη:

Τότε τα στοιχεία του κύματος εξαρτώνται από F και U

II. Περιορισμένη διάρκεια t_d , αλλά F πολύ μεγάλο:

Τότε τα στοιχεία κύματος εξαρτώνται από t_d και U

III. Πολύ μεγάλο F και $t_d \rightarrow$ Πλήρης ανάπτυξη κύματος:

Τότε η μεταφορά ενέργειας περιορίζεται μόνο από την ταχύτητα ανέμου U

Πρόγνωση με τη μέθοδο JONSWAP

- ΈΛΕΓΧΟΣ για πλήρη ανάπτυξη κυματισμών, περίπτωση **III Πολύ μεγάλο F και $t_d \rightarrow$ Πλήρης ανάπτυξη κύματος:**

$$\frac{g \cdot F}{U_A^2} \geq 22.8 \cdot 10^3$$

- και τα χαρακτηριστικά του κύματος δίνονται πλέον από τις εξισώσεις:

$$g \frac{H_s}{U_A^2} = 0.243, \quad g \frac{T_p}{U_A} = 8.13$$

Δηλαδή, εφόσον το Fetch και η διάρκεια πνοής δεν αποτελούν περιορισμό, τα χαρακτηριστικά του κύματος εξαρτώνται μόνο από το την ταχύτητα του ανέμου.

Πρόγνωση με τη μέθοδο JONSWAP

Αν δεν ισχύει η προηγούμενη ανισότητα (δεν είμαστε στην περίπτωση III):

ΕΛΕΓΧΟΣ περιορισμού μήκους αναπτύγματος:

$$\frac{g \cdot t_d}{U_A} > 68.8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{0.66}$$

Αν ισχύει η ανισότητα, τότε είμαστε στην περίπτωση I Περιορισμένο μήκος F , αλλά t_d πολύ μεγάλη.

Τότε ύψος και περίοδος υπολογίζονται σύμφωνα με το υπολογισμένο από το χάρτη F , θέτοντας $x = F$

Αν δεν ισχύει η ανισότητα, τότε είμαστε στην περίπτωση II Περιορισμένη διάρκεια t_d , αλλά F πολύ μεγάλο:

Τότε μετατρέπουμε την ανωτέρω ανισότητα σε ισότητα και λύνουμε ως προς F :

$$x = F^* = \frac{U_A^2}{g} \left(\frac{g \cdot t_d}{68.8 \cdot U_A} \right)^{1.5}$$

$$T_p = \frac{U_A \cdot 0.286 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2} \right)^{0.33}}{g}$$

$$H_s = \frac{U_A^2 \cdot 0.0016 \cdot \left(\frac{g \cdot x}{U_A^2} \right)^{0.5}}{g}$$

Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB (Sverdrup, Munk, and Bretschneider)

- Με το μοντέλο SMB υπολογίζονται τόσο το ύψος H_s όσο και η περίοδος T_s του κύματος σαν μονοσήμαντες συναρτήσεις της ταχύτητας U του ανέμου, του (fetch) F και της διάρκειας πνοής του ανέμου D .
- Εξισώσεις υπολογισμού των παραπάνω παραμέτρων:

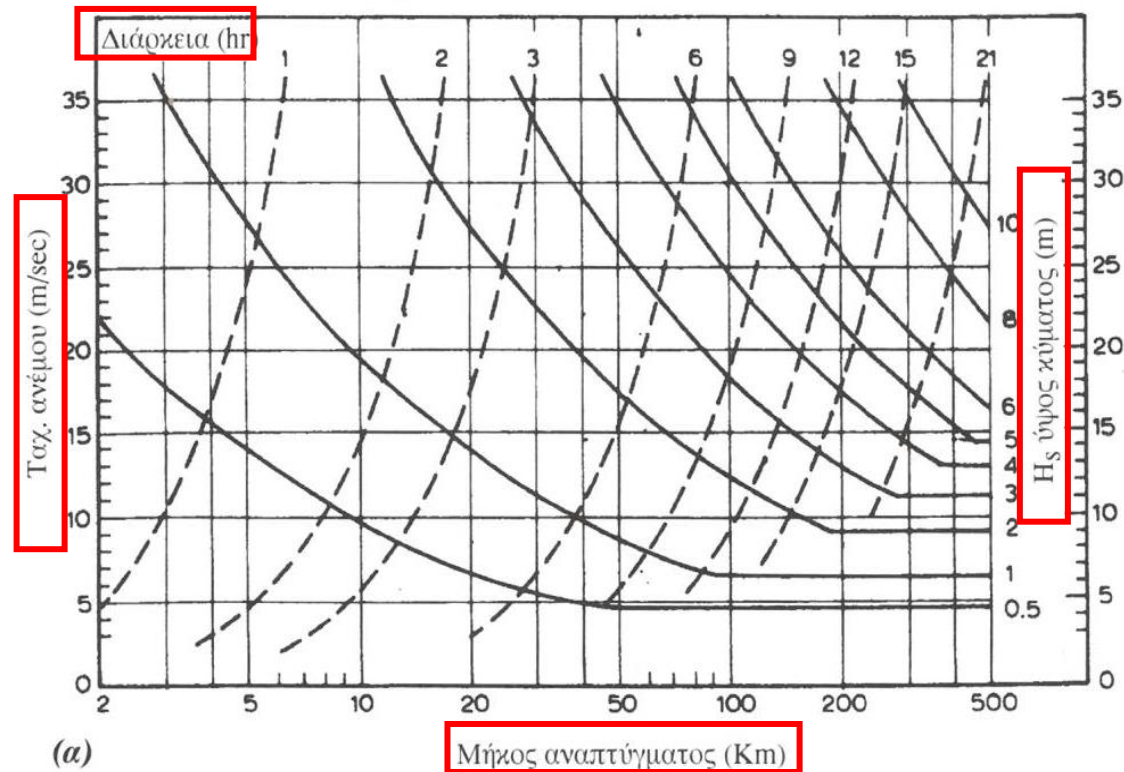
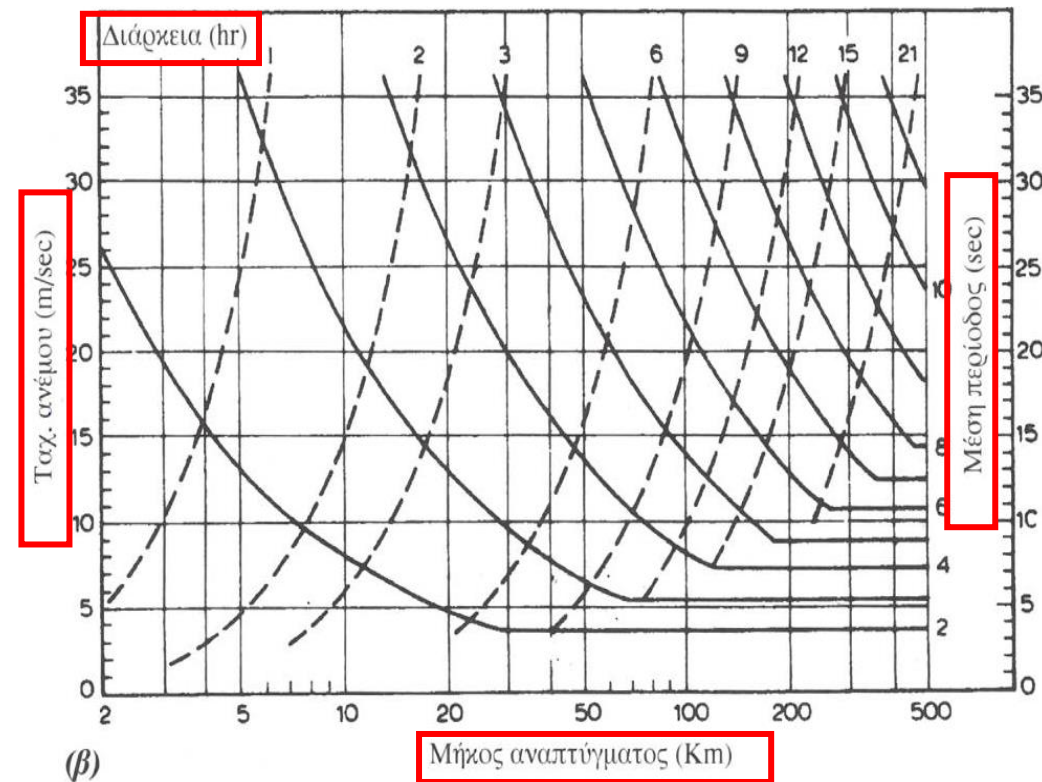
$$\frac{gH_s}{U^2} = 0.283 \cdot \tanh(0.125 \cdot \Phi^{0,42})$$

$$\frac{gT_s}{U} = 7.540 \cdot \tanh(0.077 \cdot \Phi^{0,25})$$

όπου Φ είναι ο συντελεστής αναπτύγματος πελάγους ($\Phi = gF / U$).

Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB

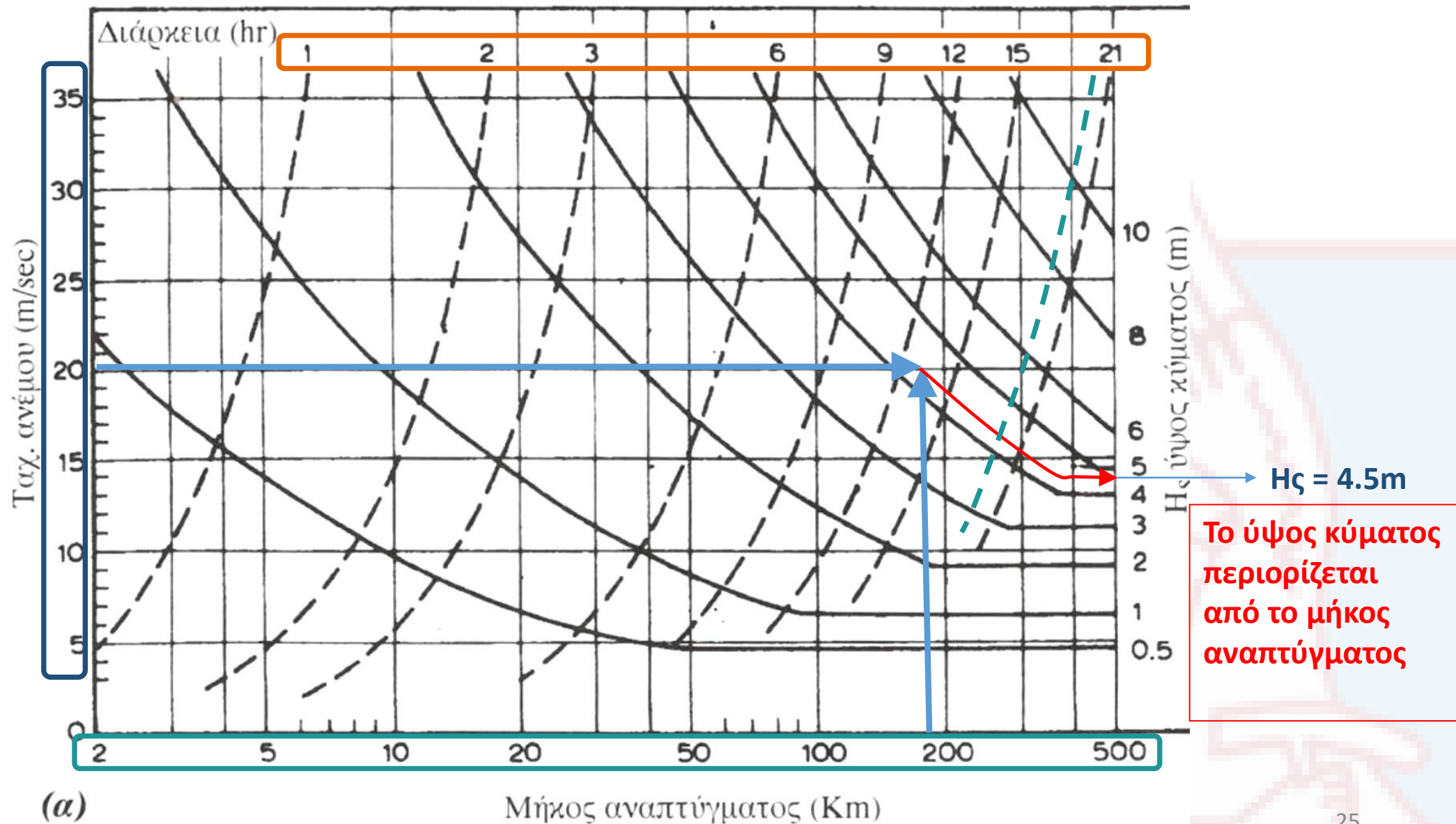
Οι παραπάνω εξισώσεις δίνουν τα εξής νομογραφήματα:



Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB – Υπολογισμός H_s

ΕΣΤΩ:

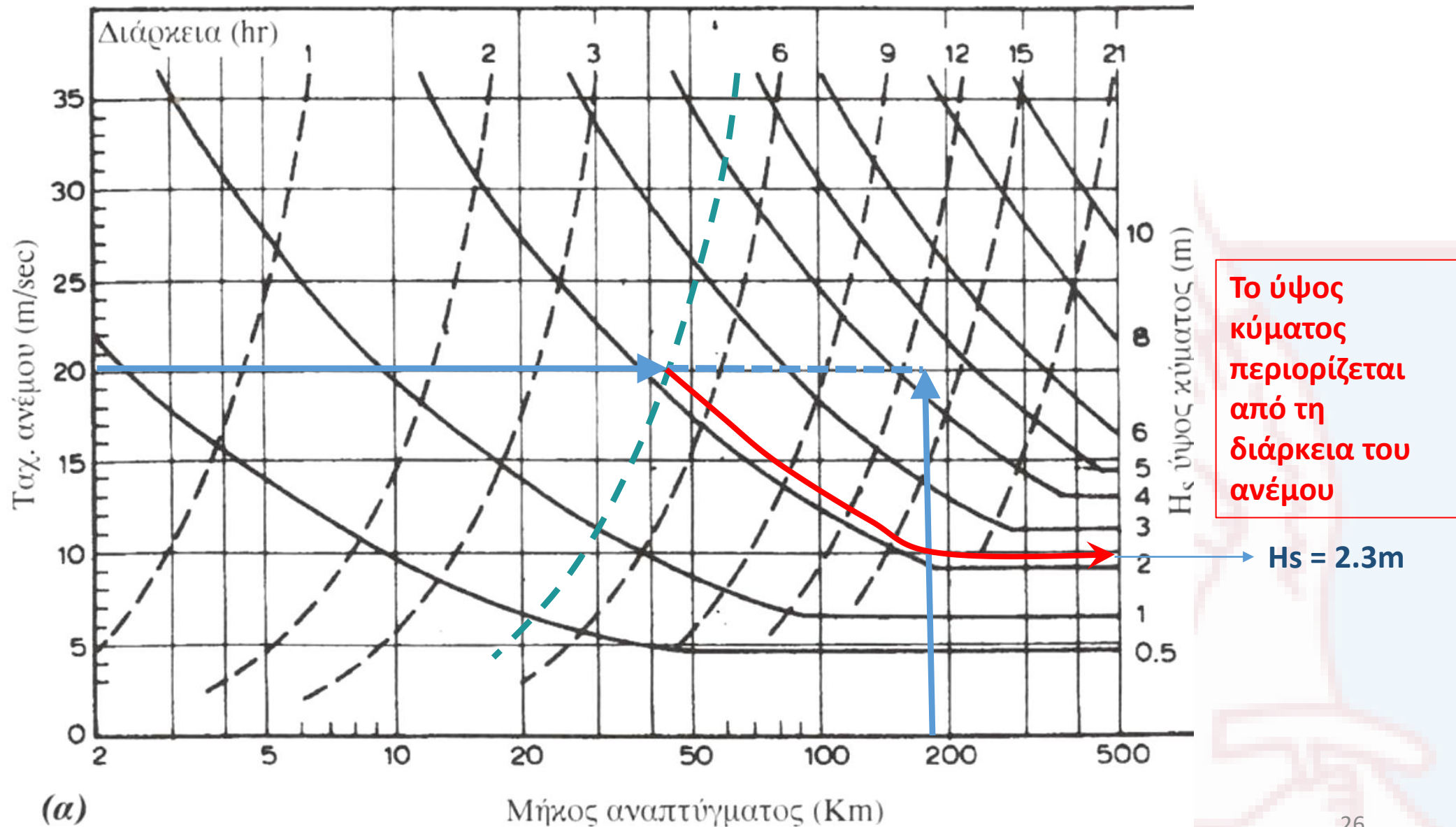
Ταχύτητα ανέμου $U = 20\text{m/s}$, Μήκος αναπτύγματος $F = 185\text{Km}$, Διάρκεια ανέμου 20 ώρες



Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB – Υπολογισμός H_s

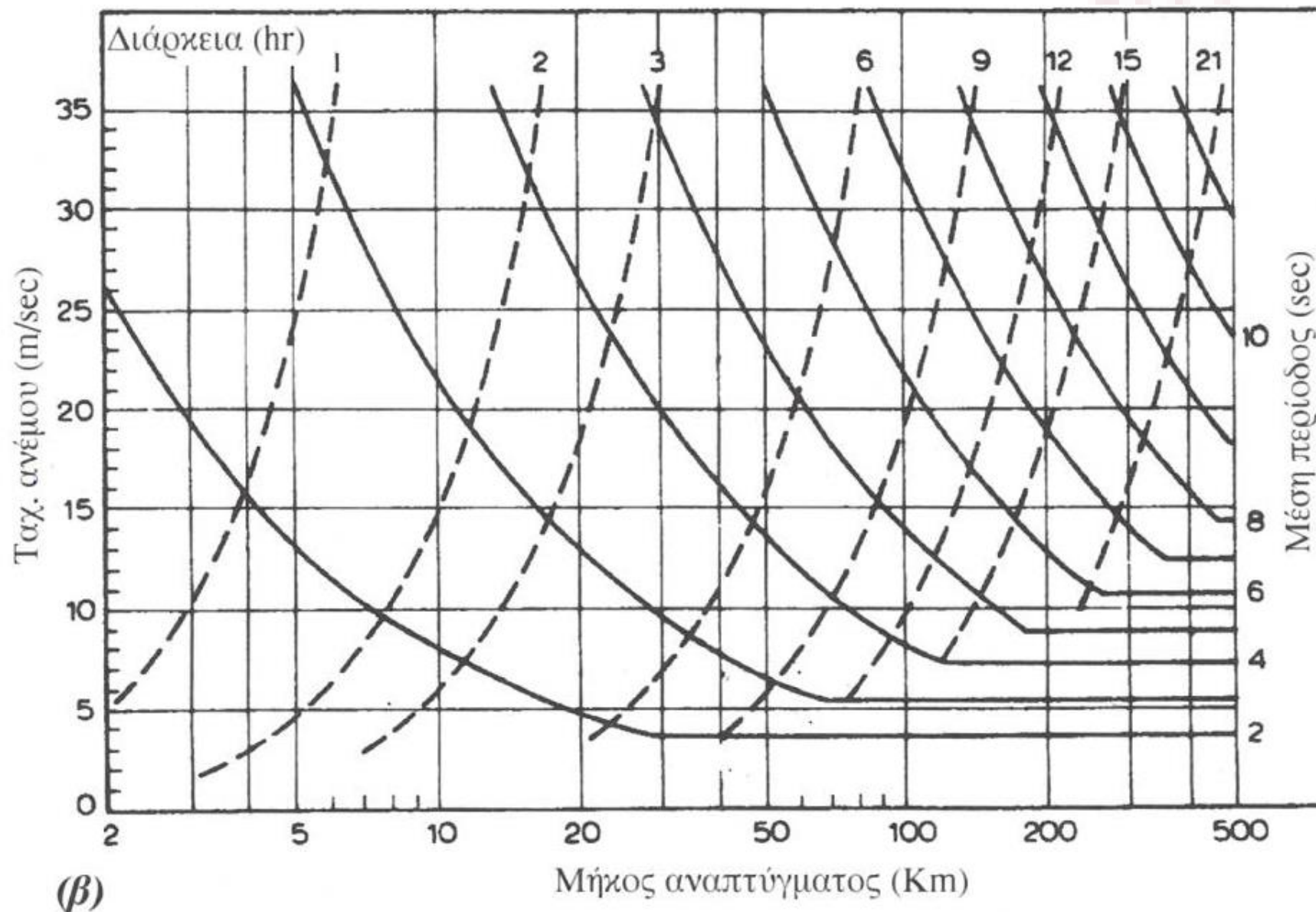
ΕΣΤΩ:

Ταχύτητα ανέμου $U = 20\text{m/s}$. Μήκος αναπτύγματος $F = 185\text{Km}$. Διάρκεια ανέμου ~~20~~ 5 ώρες



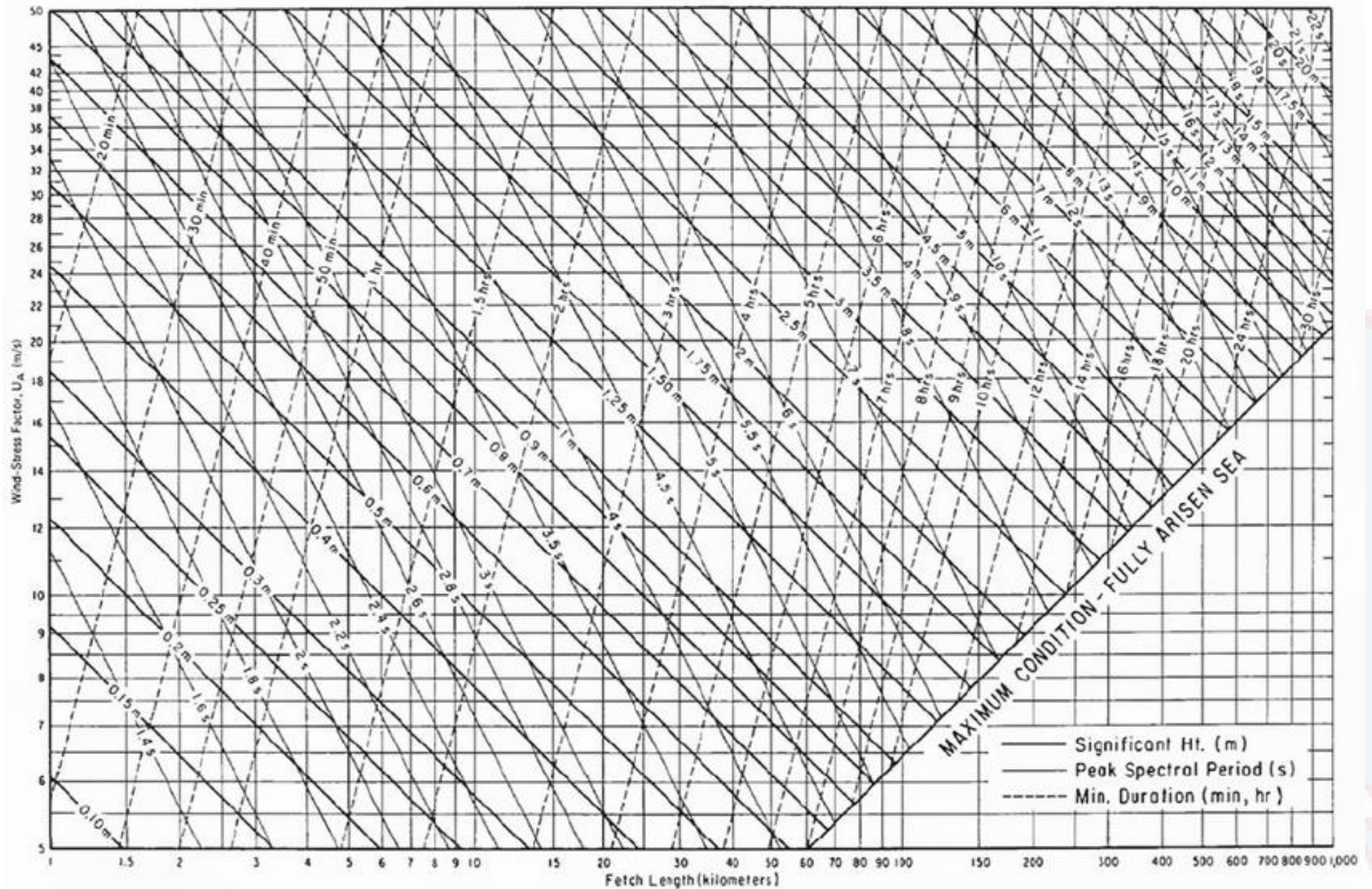
Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB – Υπολογισμός T_s

Αντίστοιχα με H_s



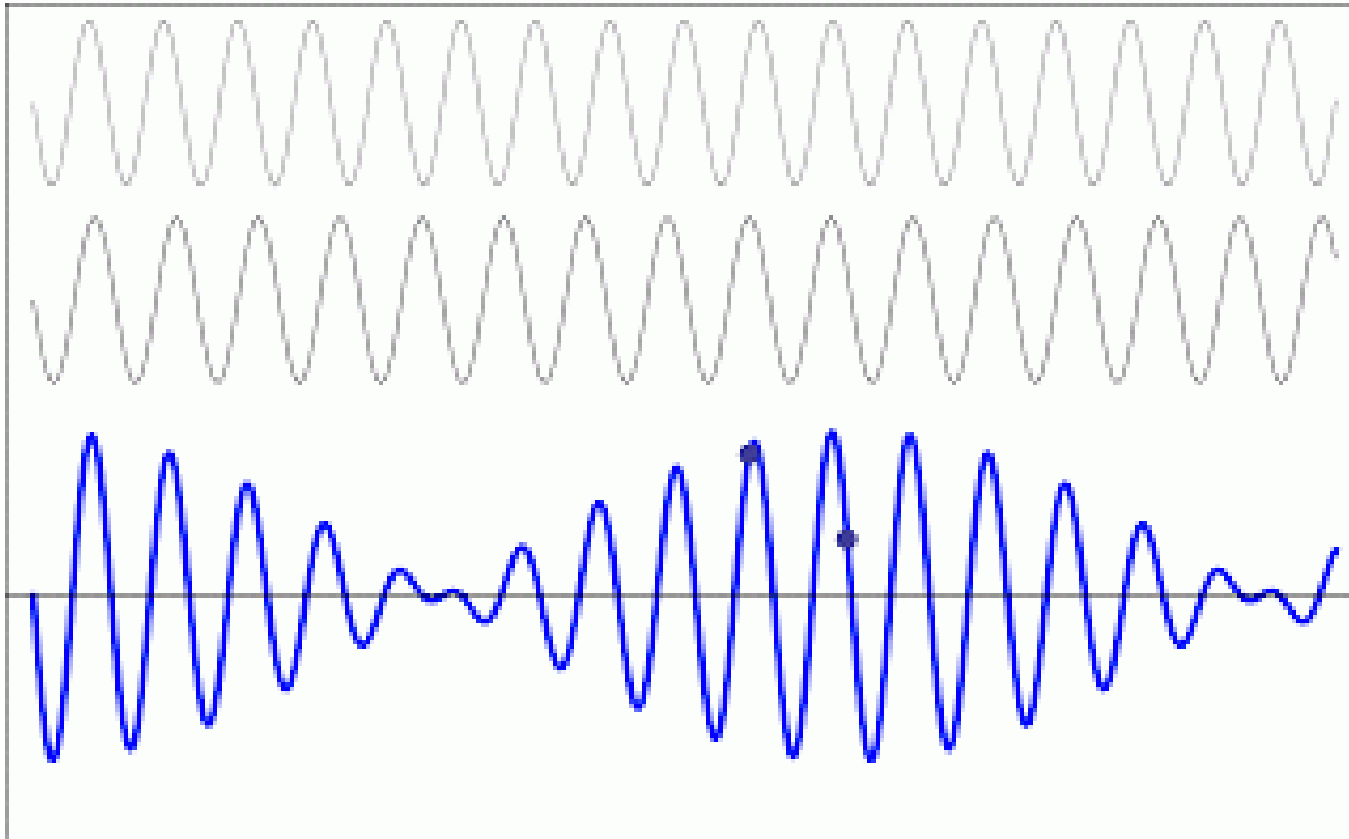
Πρόγνωση με τη μέθοδο SMB

συνδυασμός των προηγούμενων διαγραμμάτων σε ένα:



Ανεμογενείς κυματισμοί

- Κύριος παράγοντας φορτίσεως θαλάσσιων έργων
- Συνήθως έχουν τυχαία (στοχαστική) μορφή
- Τοπικά μπορεί να περιγράψει ως άθροιση αρμονικών συνιστωσών



Ύψος κύματος σε αλλαγή των συνθηκών:

1. Αλλαγή κατεύθυνσης ανέμου

- Αν η αλλαγή είναι $< 30^\circ$, δεν αλλάζουμε κάτι στον υπολογισμό.
- Αν η αλλαγή είναι $> 30^\circ$, τότε θεωρούμε τον υπάρχον κυματισμό ως swell και υπολογίζουμε ξανά το κύμα για τη νέα κατεύθυνση ανέμου.
- Ως γενικός κανόνας, το swell μειώνεται σε ύψος κύματος κατά 25% σε 12 ώρες

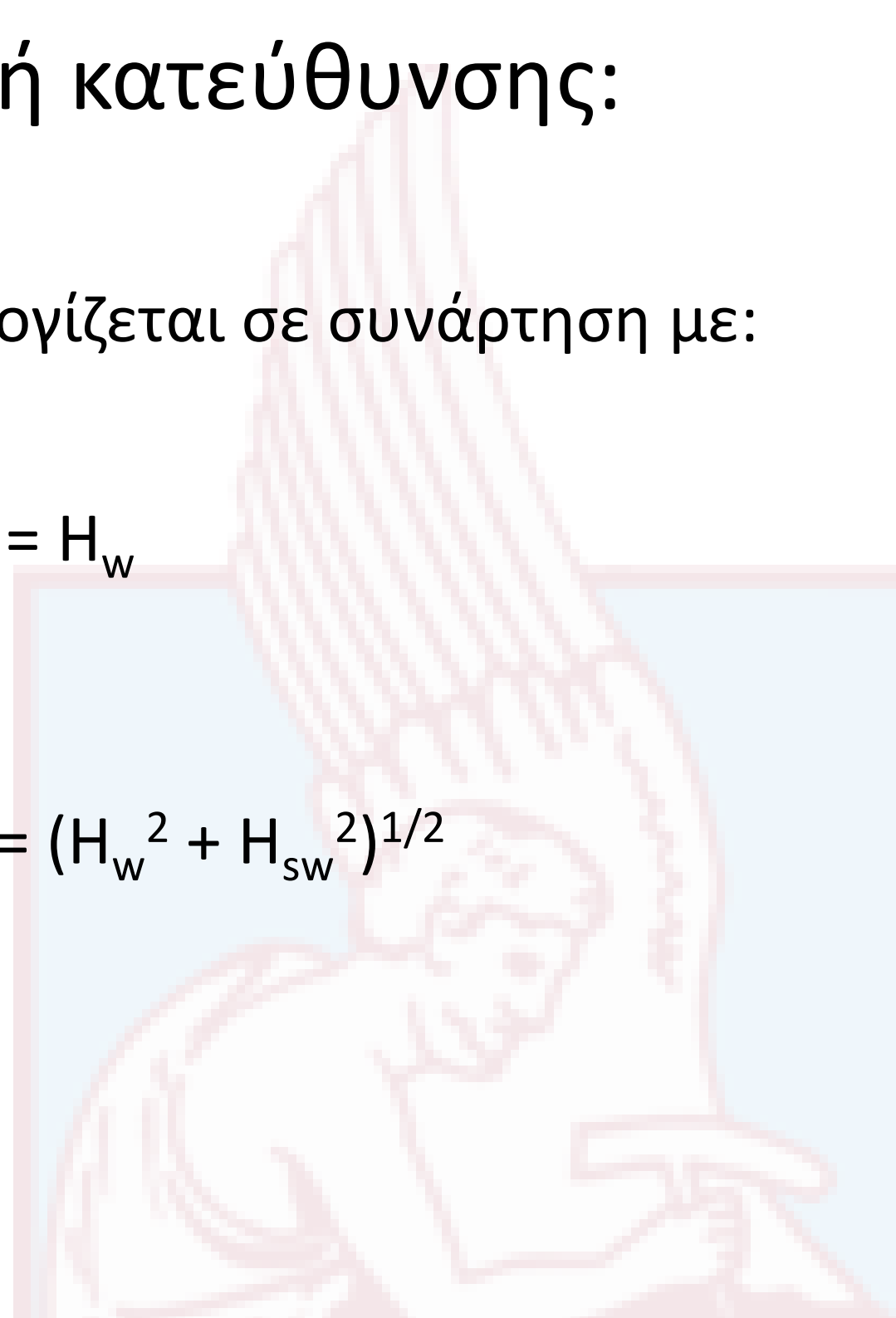
Ύψος κύματος σε αλλαγή κατεύθυνσης:

Το Συνολικό ύψος κύματος υπολογίζεται σε συνάρτηση με:

α) Ύψος ανεμογενών κυμάτων = H_w

β) Ύψος swell = H_{sw}

$$\text{Συνολικό ύψος κύματος} = (H_w^2 + H_{sw}^2)^{1/2}$$



Ύψος κύματος σε αλλαγή των συνθηκών:

2. Αύξηση ταχύτητας ανέμου (με αλλαγή κατεύθυνσης $< 30^\circ$)

- Έστω η νέα ταχύτητα ανέμου V_2
- Έστω ύψος κύματος τη στιγμή της αύξησης $= H_1$
- Έστω διάρκεια νέου ανέμου $= T_2$
- Βήμα 1: Υπολογίζουμε τη ισοδύναμη διάρκεια του νέου ανέμου (έστω T_1^*) που θα μας έδινε το ίδιο ύψος κύματος με H_1
- Βήμα 2: Υπολογίζουμε το ύψος κύματος για άνεμο με $T_{\text{tot}} = T_1^* + T_2$ και ταχύτητα V_2

Ύψος κύματος σε αλλαγή των συνθηκών:

3. Μειούμενη ταχύτητα ανέμου

- Όταν η ταχύτητα ανέμου μειώνεται κάτω από το όριο διατήρησης του συγκεκριμένου ύψους κύματος*, το κύμα μετατρέπεται σε swell.
- Ως γενικός κανόνας, το swell μειώνεται σε ύψος κύματος κατά 25% σε 12 ώρες

* Ελάχιστη ταχύτητα ανέμου που μπορεί να δημιουργήσει το συγκεκριμένο ύψος κύματος στο συγκεκριμένο fetch

Πρόβλεψη αποθάλασσας (swell)

Συνήθεις ερωτήσεις:

- Πότε θα φτάσει το swell σε κάποια περιοχή που απέχει από τη περιοχή που δημιουργήθηκε?
- Τι μήκος κύματος θα έχει?
- Τι ύψος θα έχει?

Απλές προσεγγίσεις, δεδομένου ότι η δημιουργία του swell έγινε σε μακρινή καταιγίδα και θεωρώντας τη περιοχή γένεσης ως ένα σημείο

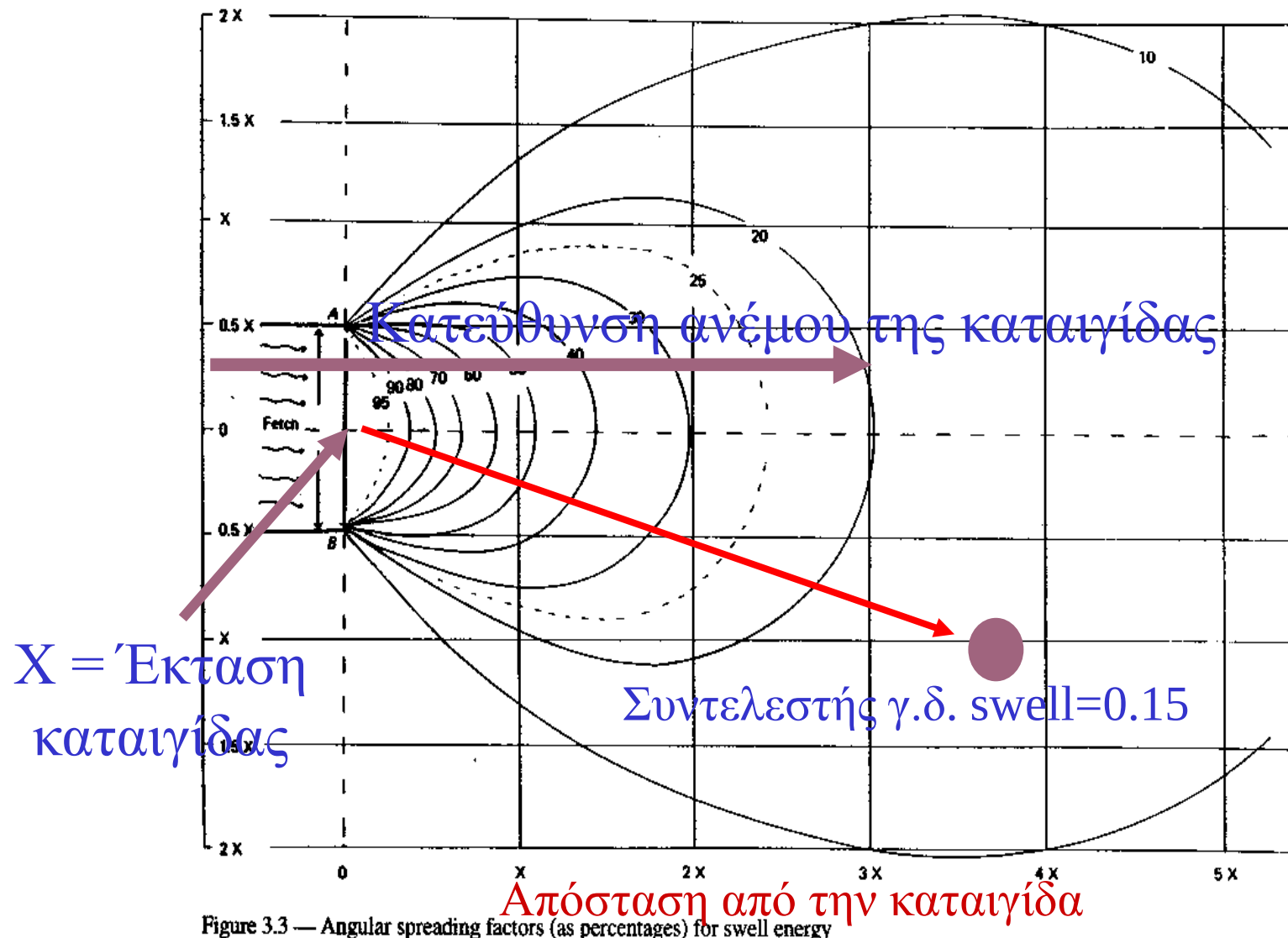
Μήκος κύματος και χρόνος προσέγγισης

- Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος ταξιδεύουν γρηγορότερα, άρα φτάνουν πιο σύντομα.
- Οι περίοδοι συνήθως κυμαίνονται μεταξύ $T \sim 0.5T_p$ και $1.5T_p$ (άλλες περίοδοι μπορεί να υπάρχουν αλλά αθροίζουν μικρά ποσά ενέργειας)
 - $L = 1.56T^2 \text{ m}$ (T σε secs)
 - $C = L/T$ (άρα τα μικρότερα σε περίοδο κύματα έχουν 3 φορές μικρότερη ταχύτητα – θα χρειαστούν 3-πλάσιο χρόνο να ταξιδέψουν την ίδια απόσταση)

Ύψος swell

- Εξαρτάται από:
 - Το ύψος του αρχικού κύματος και το fetch της περιοχής γένεσης
 - Γωνιακή «διάχυση» του κύματος (το ύψος μειώνεται με την απόσταση καθώς η ενέργεια «απλώνεται» σε μεγαλύτερη περιοχή)
 - Γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης του ανέμου και της κατεύθυνσης στην οποία συμβαίνει η καταιγίδα.

Γωνιακή διάχυση του Swell μιας καταιγίδας

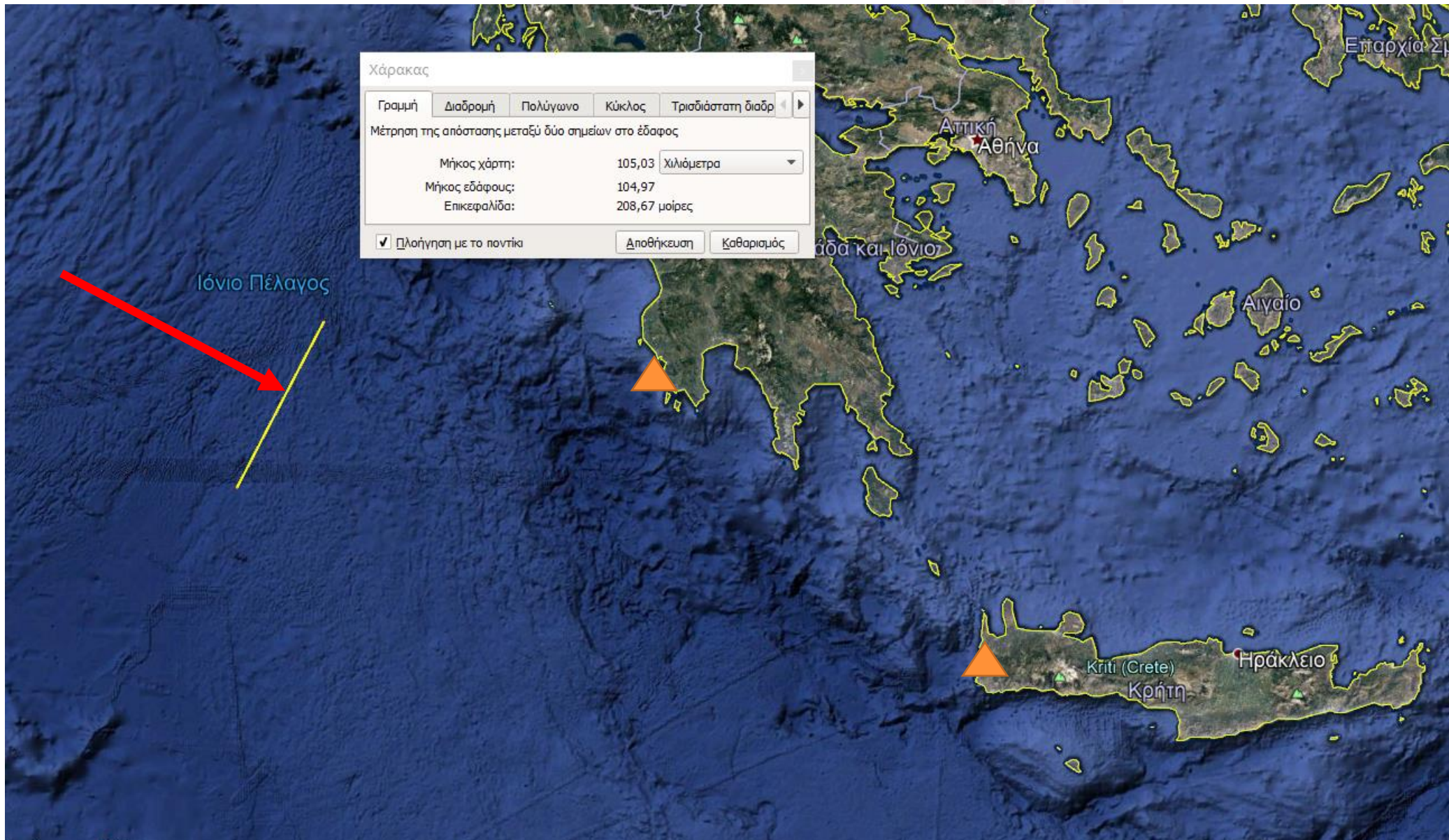


% διάχυση της ενέργειας

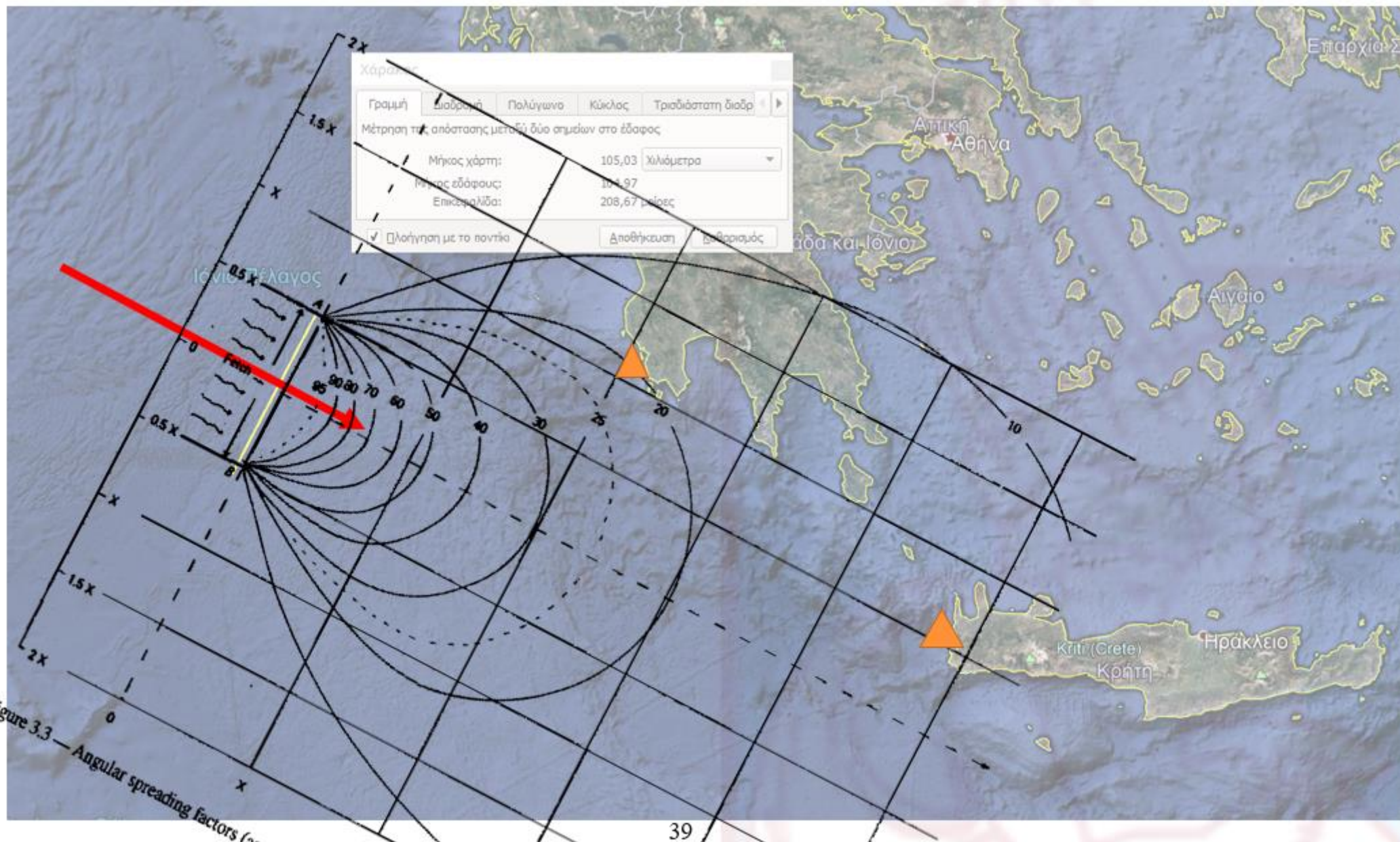
Χρησιμοποιούμε τη ρίζα του συντελεστή γ.δ. swell:

$$\text{Swell} = \sqrt{0.15 * H_s}$$

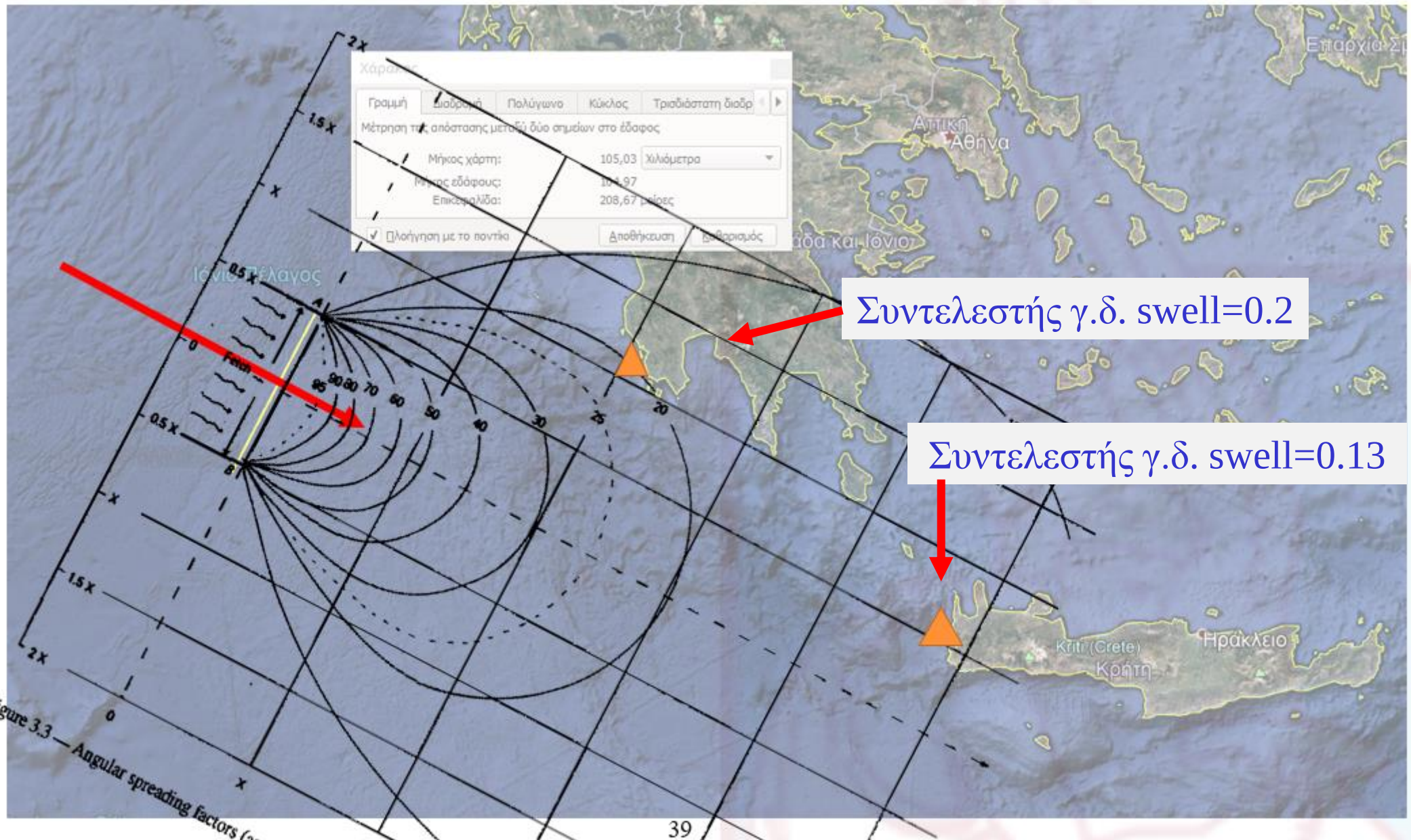
Γωνιακή διάχυση του Swell μιας καταιγίδας



Γωνιακή διάχυση του Swell μιας καταιγίδας

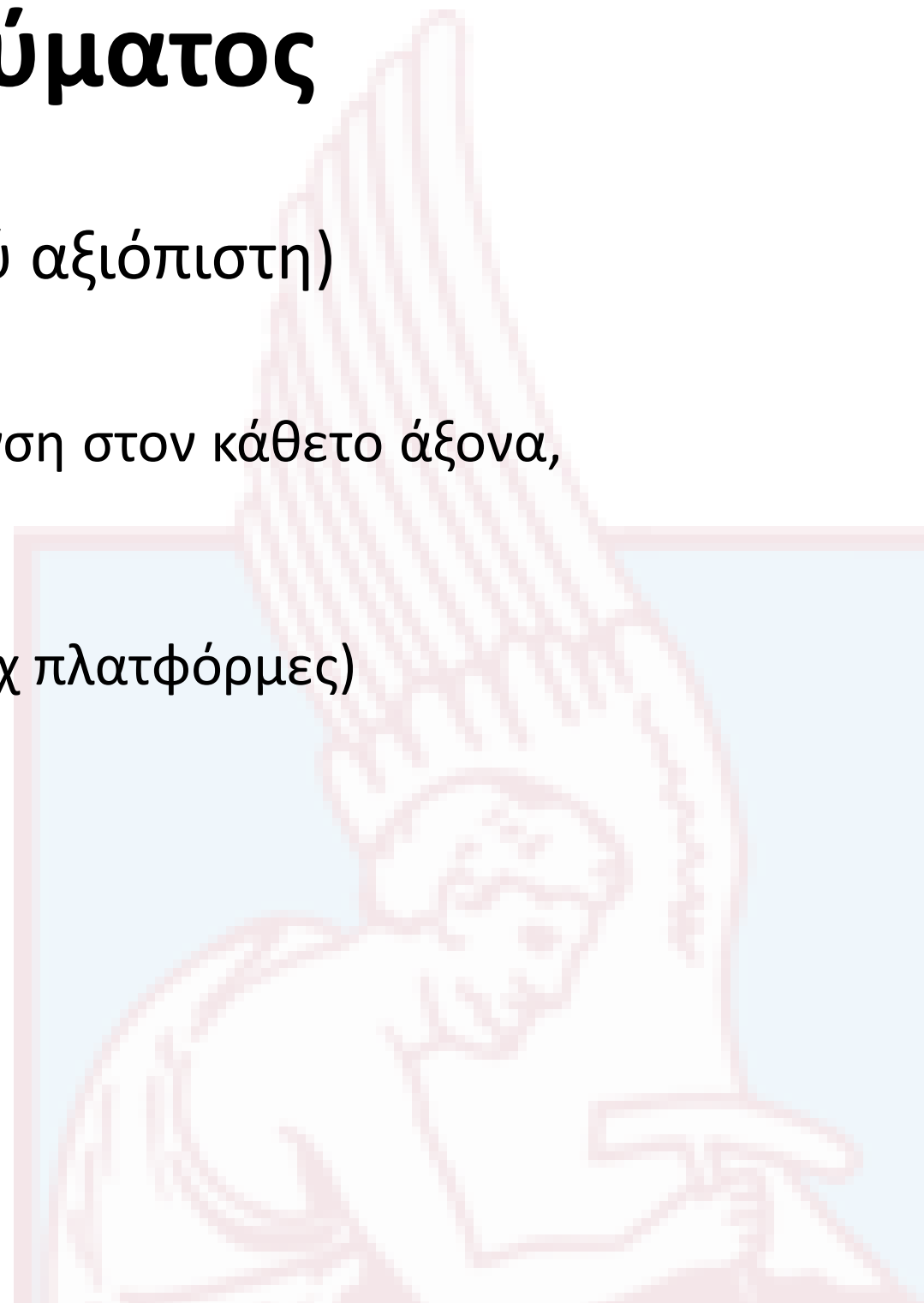


Γωνιακή διάχυση του Swell μιας καταιγίδας

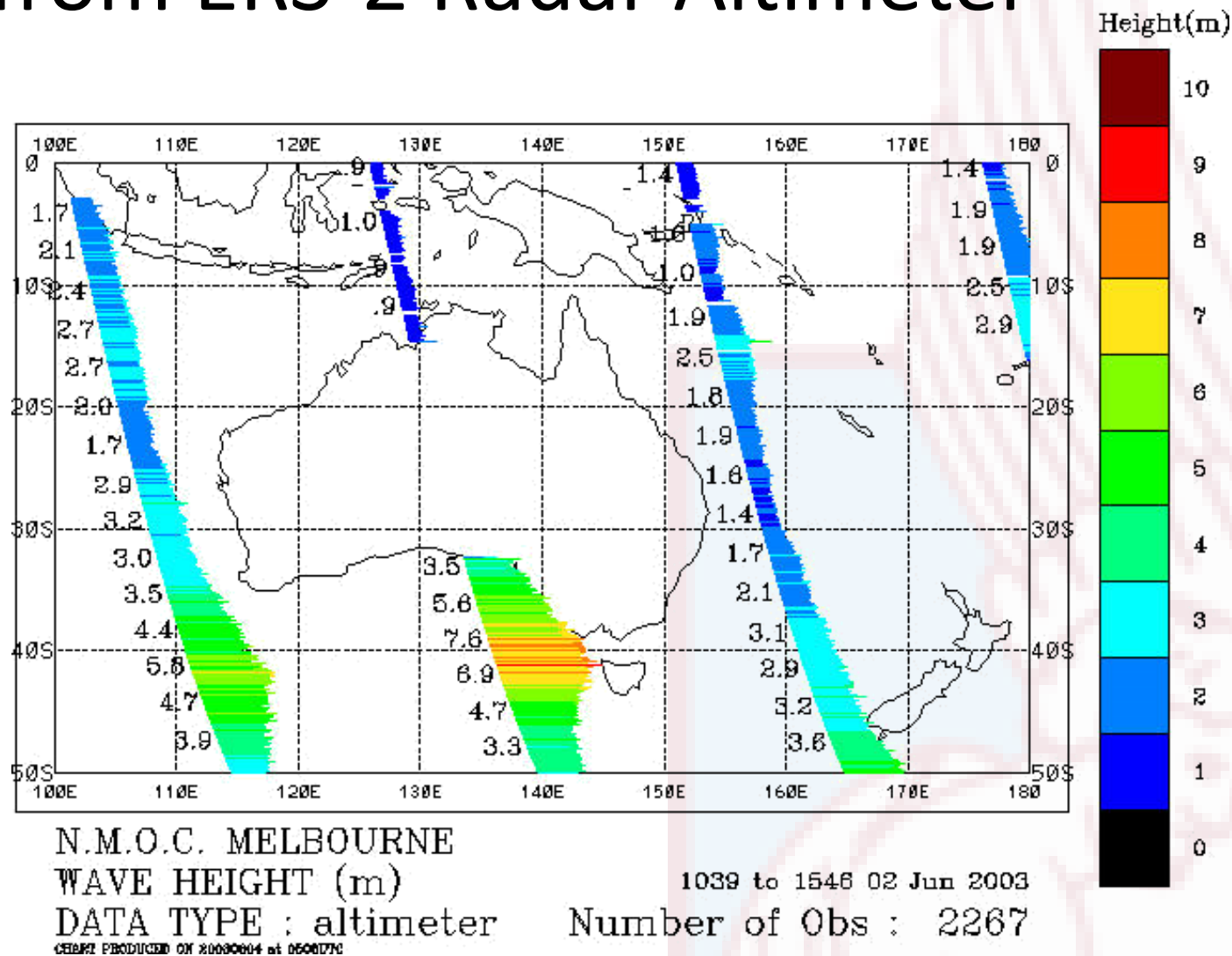


Μετρήσεις ύψους κύματος

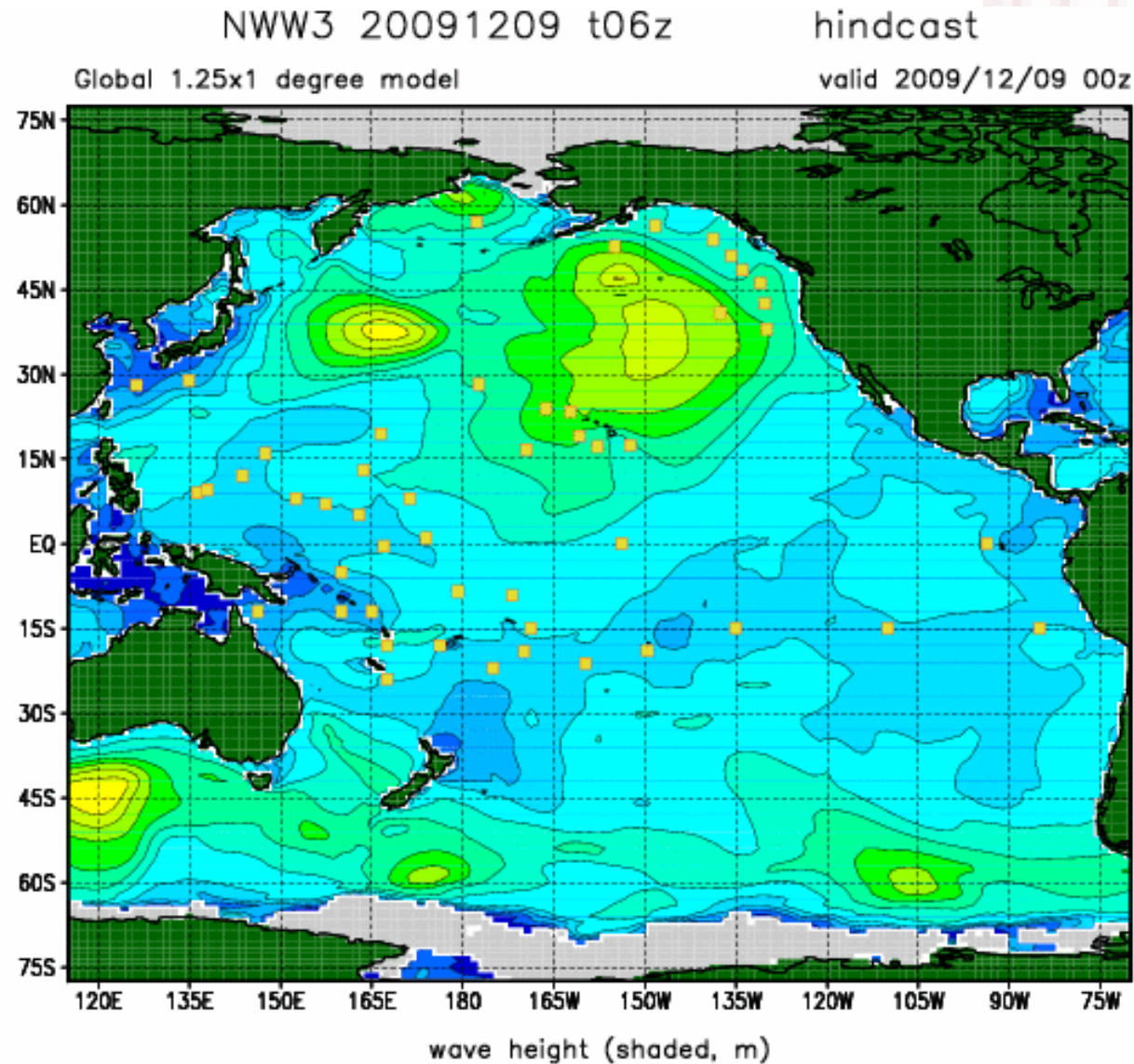
- Οπτική παρατήρηση (όχι πολύ αξιόπιστη)
- Με όργανα μέτρησης
 - Βuoys (μετρώντας την επιτάχυνση στον κάθετο άξονα, υπολογίζεται το ύψος)
 - Μετρητές πίεσής
 - Laser (Από μεγαλύτερο ύψος πχ πλατφόρμες)
- Τηλεπισκοπικά
 - Ραντάρ



Τηλεπισκοπικά: Waves from ERS-2 Radar Altimeter



Αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης κυματισμού



NOAA/NWS/NCEP Marine Modeling and Analysis Branch, 2009/12/09



Τέλος:

Η πρόγνωση ενός κύματος δεν μπορεί να είναι πιο ακριβής από την ακρίβεια πρόγνωσης του ανέμου που θα το δημιουργήσει!

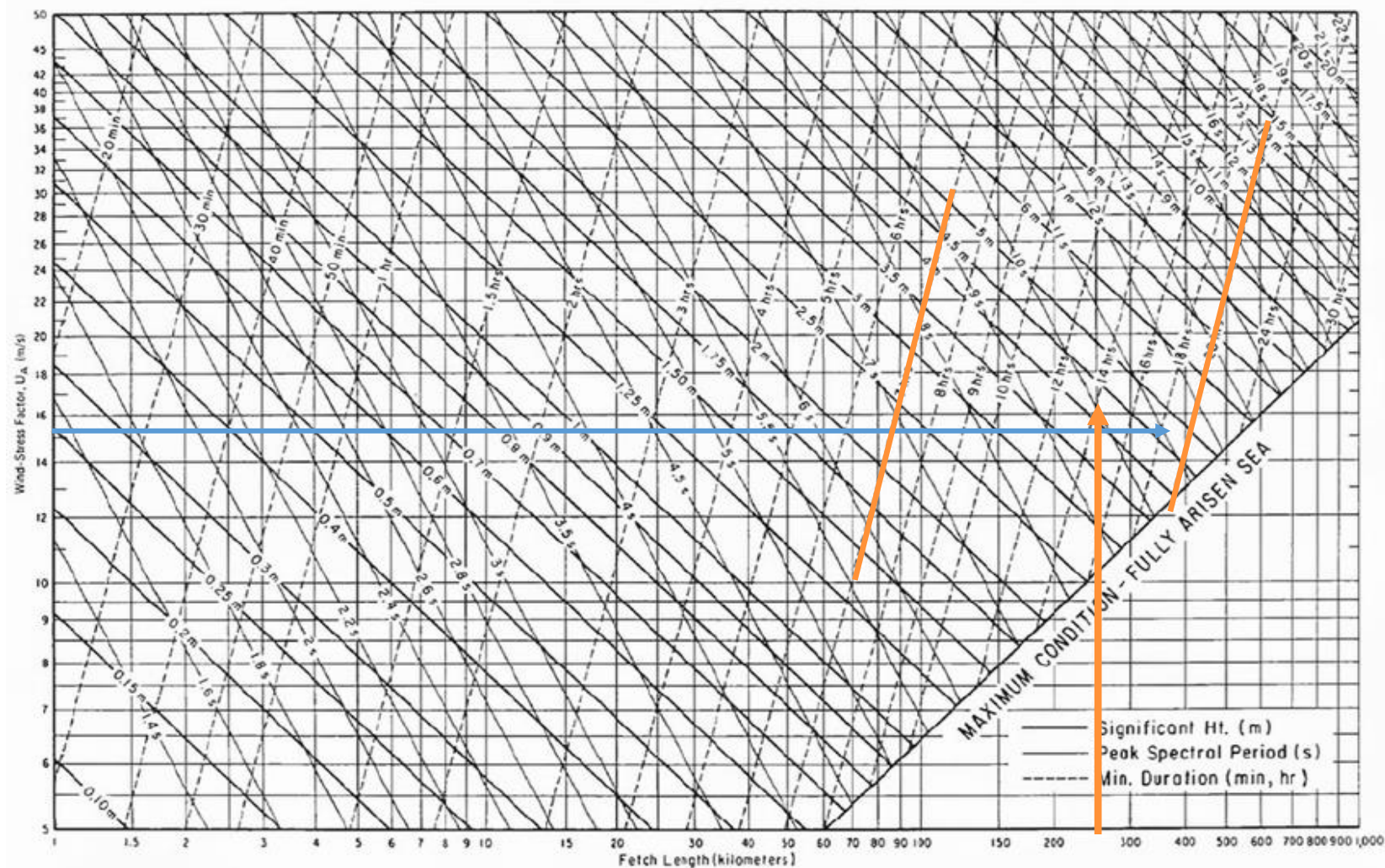
Κομφούκιος

Βιβλιογραφία

- Kamphuis J.W., Introduction to Coastal Engineering and Management, 2000, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Sorensen R.M., Basic Coastal Engineering (3rd Edition), 2006, Springer
- U.S.A.C.E., Coastal Engineering Manual, 2002
- U.S.A.C.E., Shore Protection Manual, 1984
- W.M.O., Guide to Wave Analysis and Forecasting (2nd edition), 1998
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη
- Καραμπάς Θ, Κρεστενίτης Γ, Κουτίτας Χ, 2015. Ακτομηχανική – Έργα Προστασία Ακτών. Σύνδεσμος Ελληνικών ακαδημαϊκών βιβλιοθηκών Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 15780 Ζωγράφου. ISBN: 978-960-603-378-0

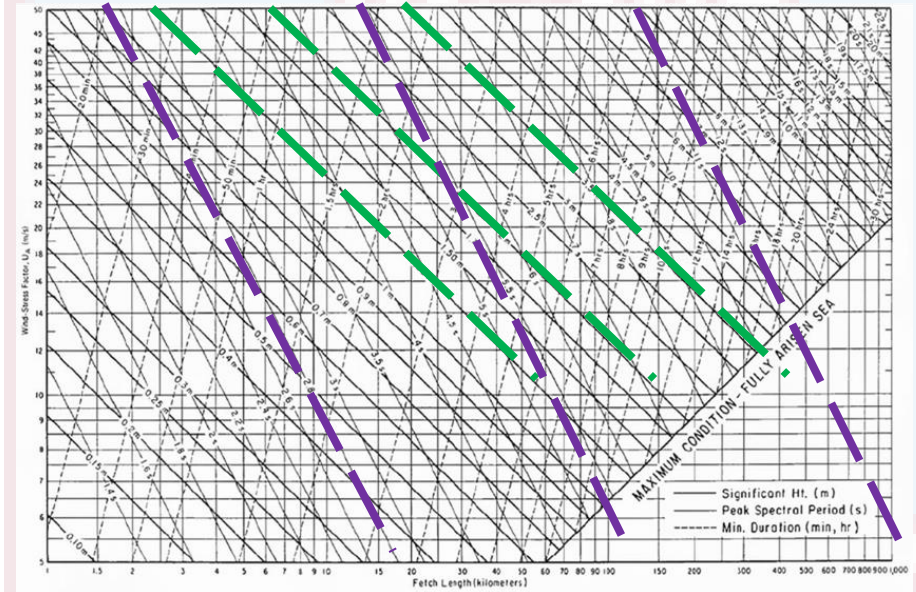
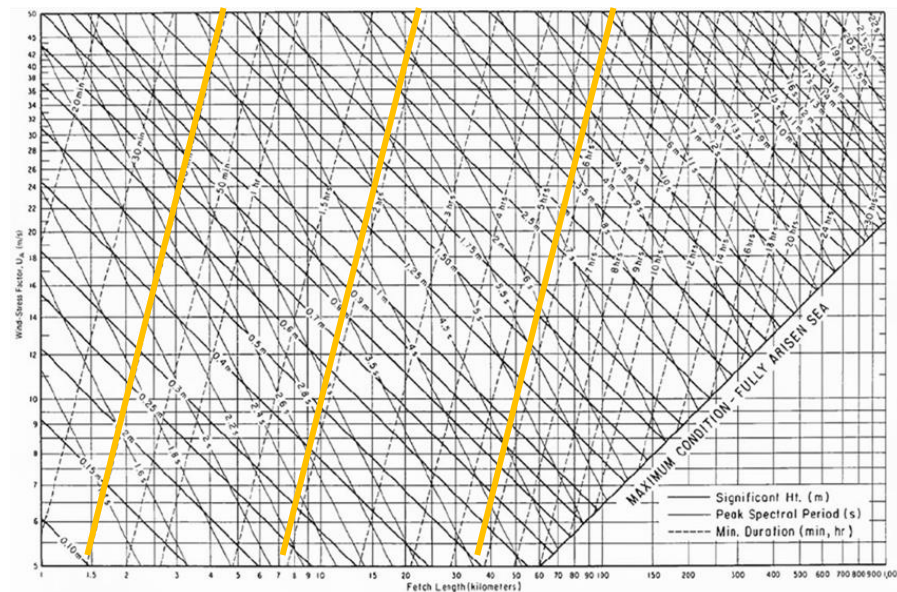
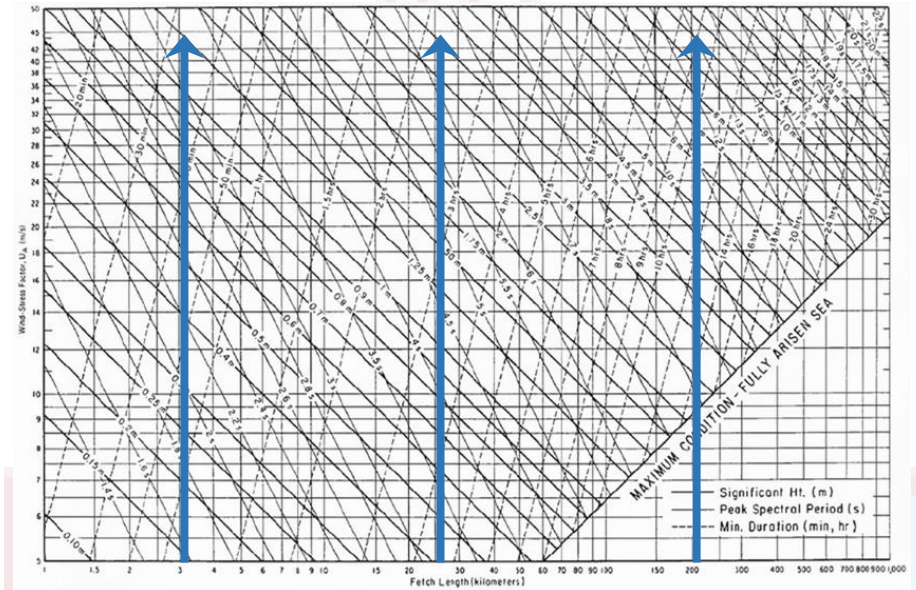
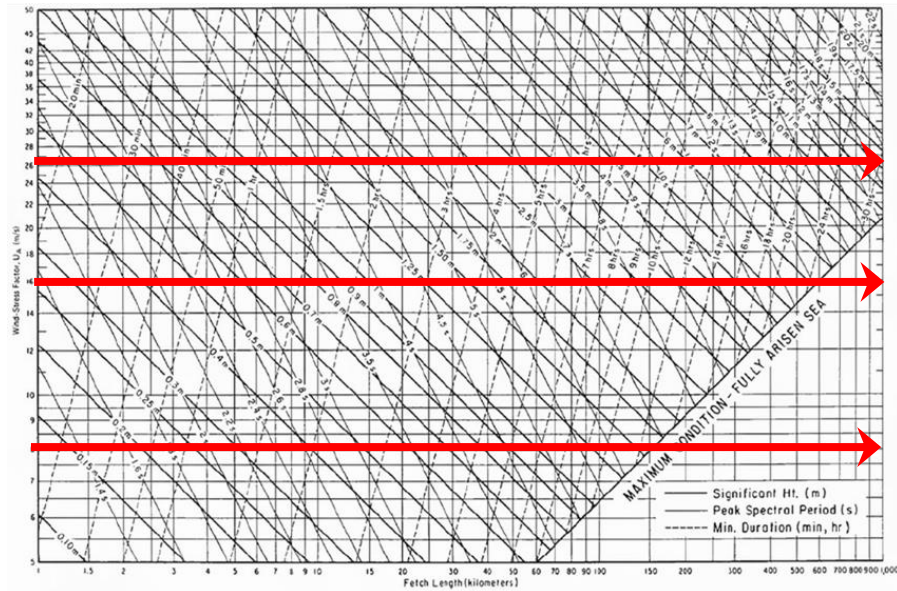
ΑΣΚΗΣΗ 8

- Υπολογίστε τα ζητούμενα της άσκησης 7 με χρήση των διαγραμμάτων SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

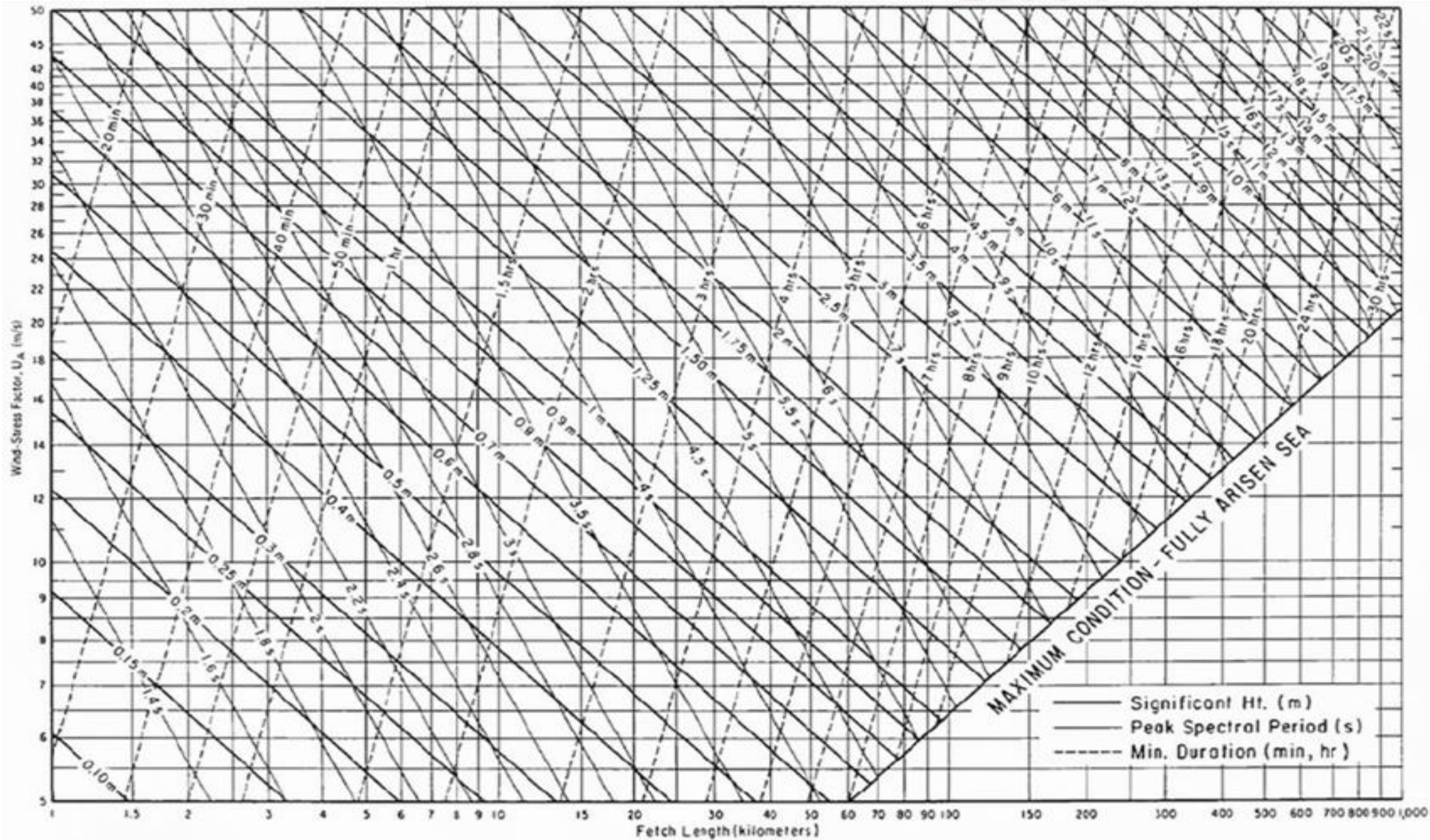
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

SMB



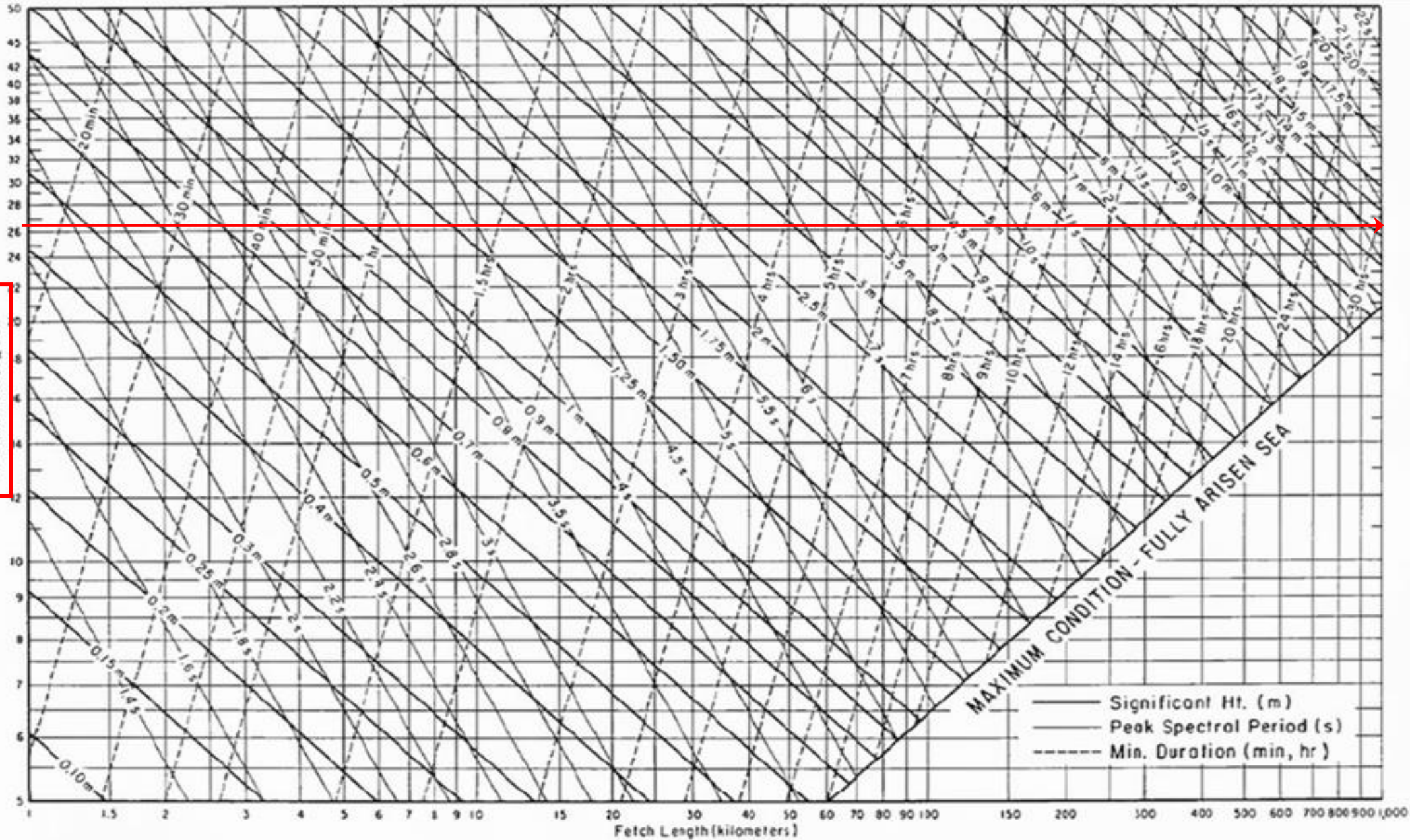
ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

SMB

26.38

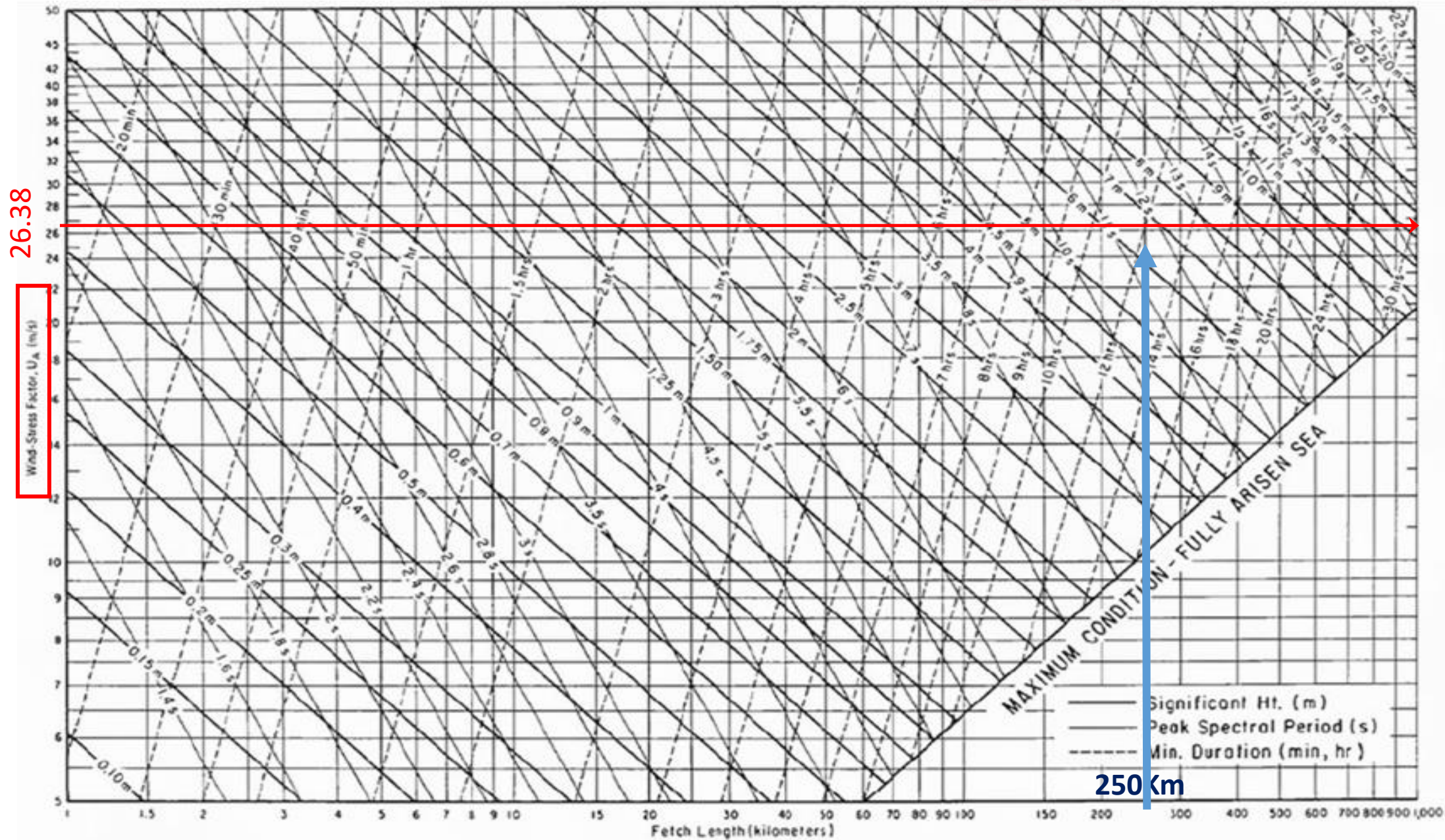
Wind-Stress Factor, U_A (m/s)



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

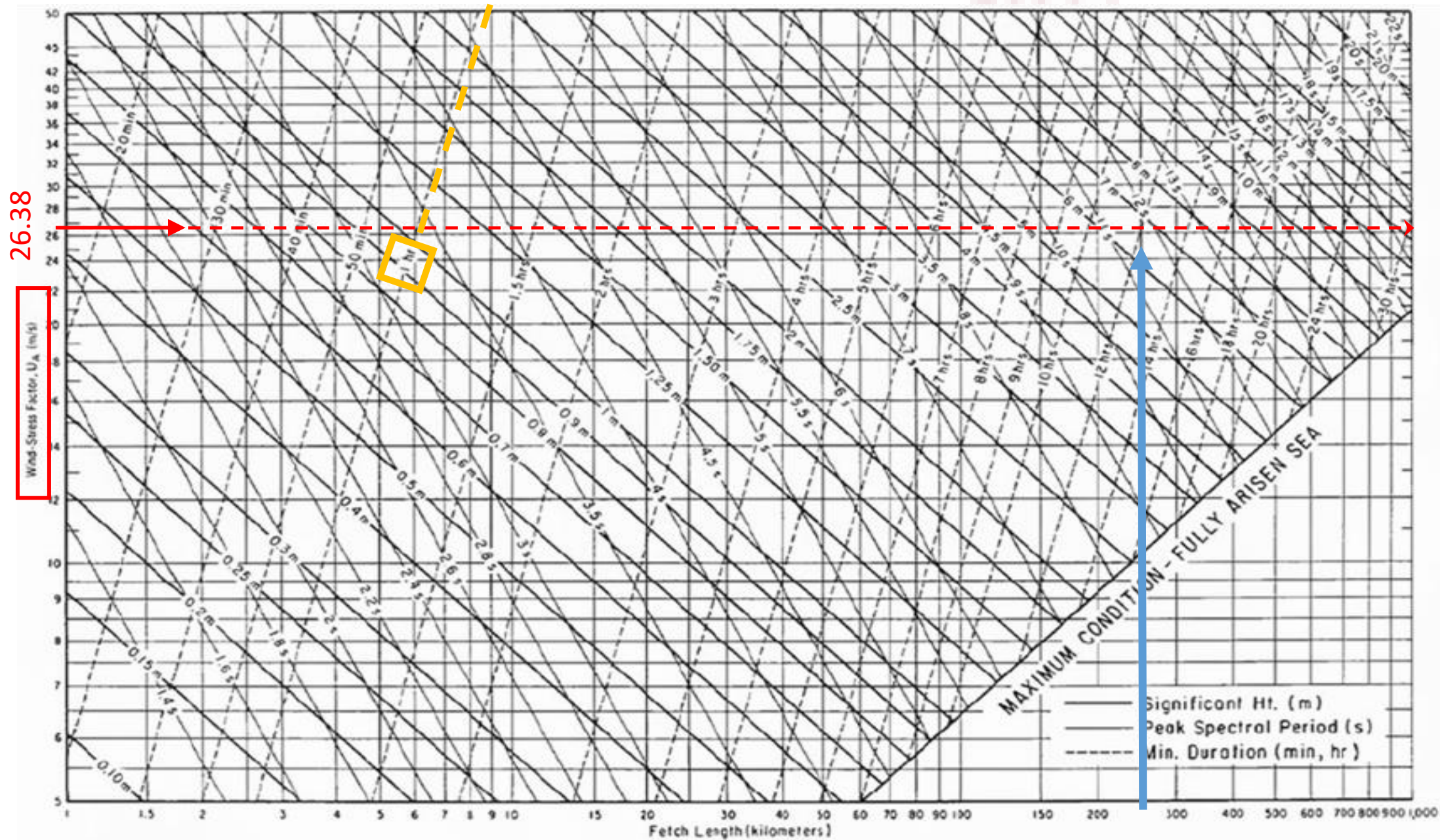
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

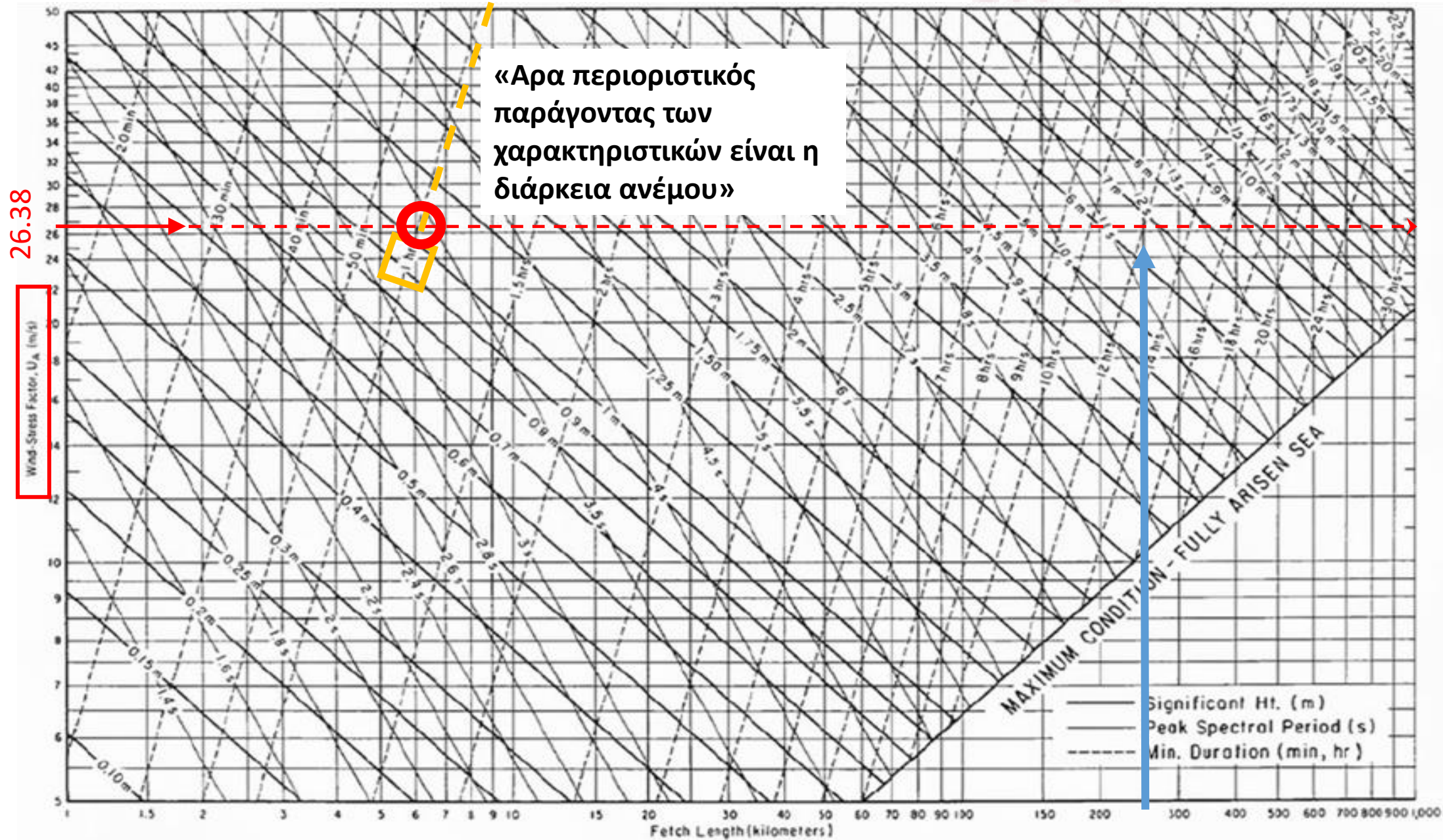
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38\text{m/s}$, $t_d=1\text{h}$, Fetch = 250Km

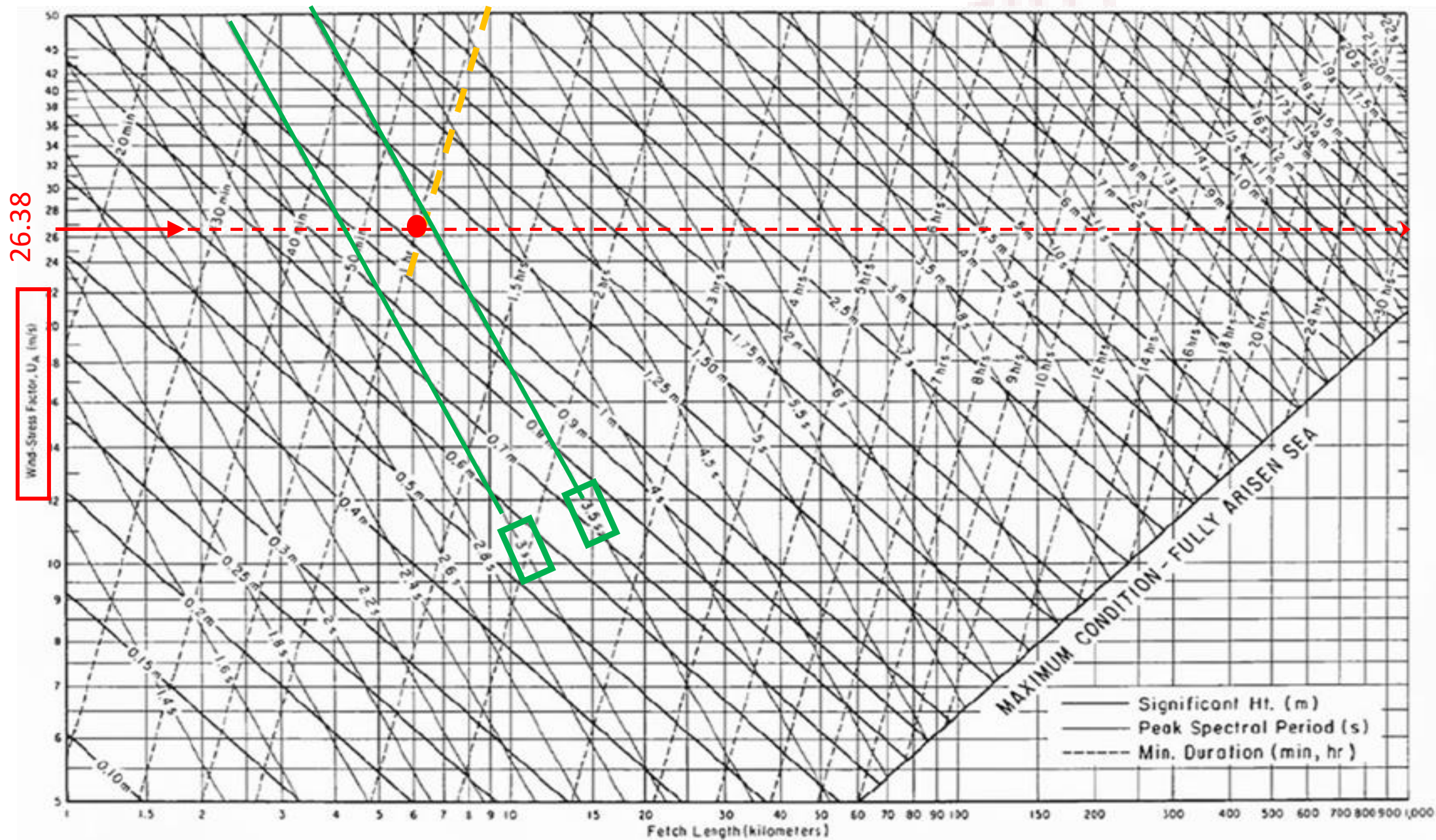
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

SMB

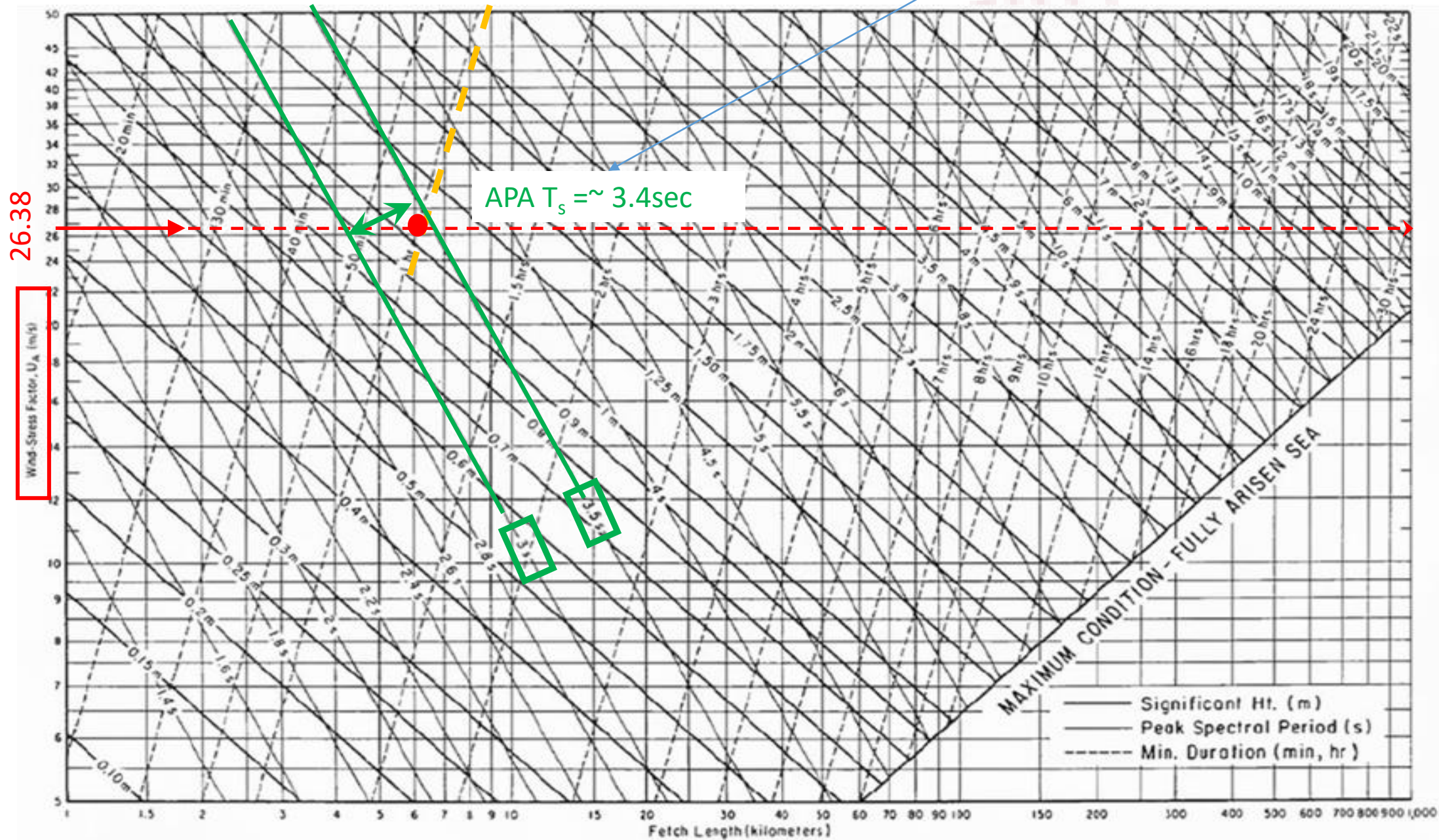


ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

“eye interpolation”

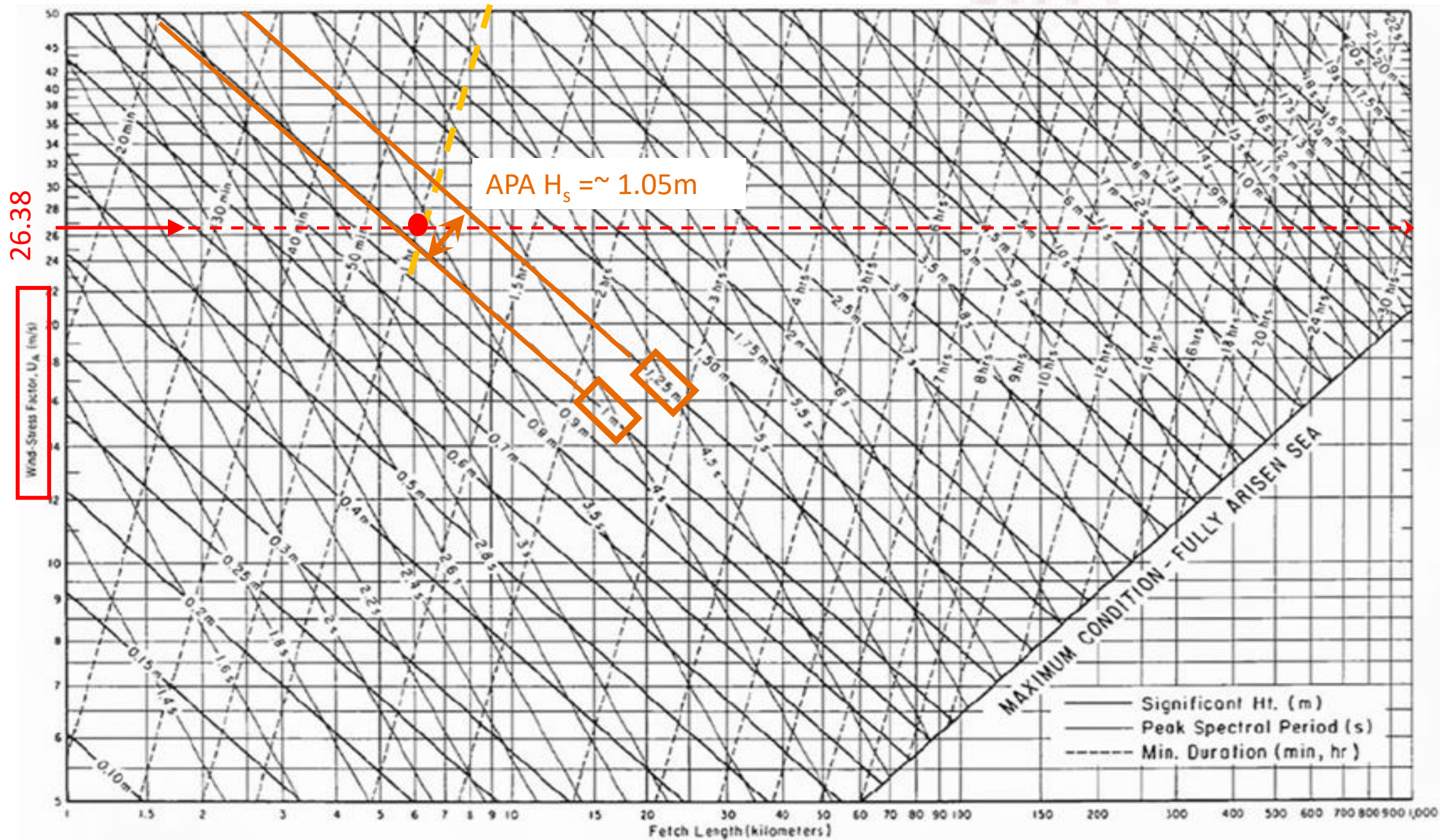
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

1) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 1 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

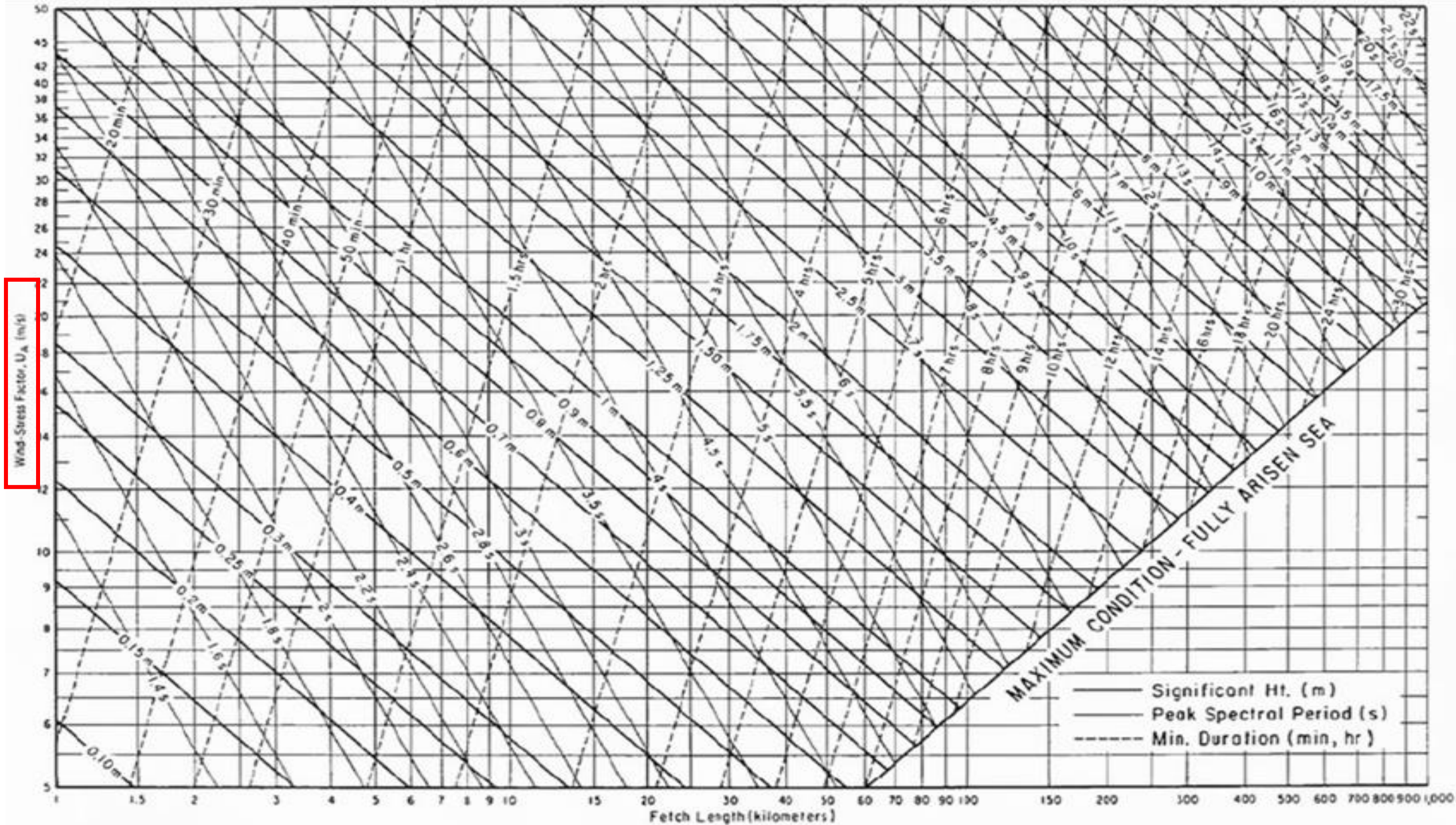
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

2) Για $U_A = 26.38 \text{ m/s}$, $t_d = 24 \text{ h}$, Fetch = 250 Km

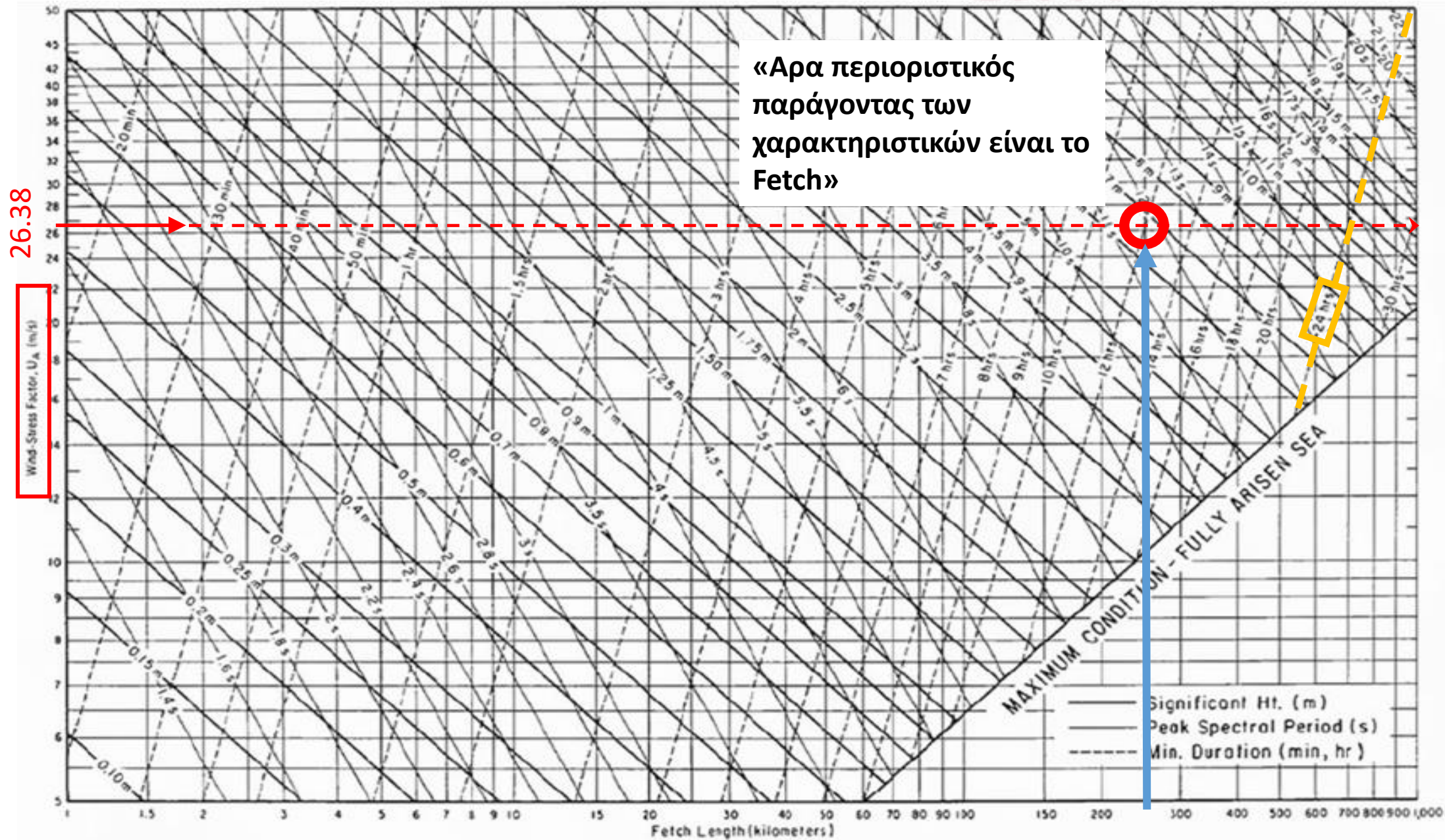
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

2) Για $U_A = 26.38\text{m/s}$, $t_d=24\text{h}$, Fetch = 250Km

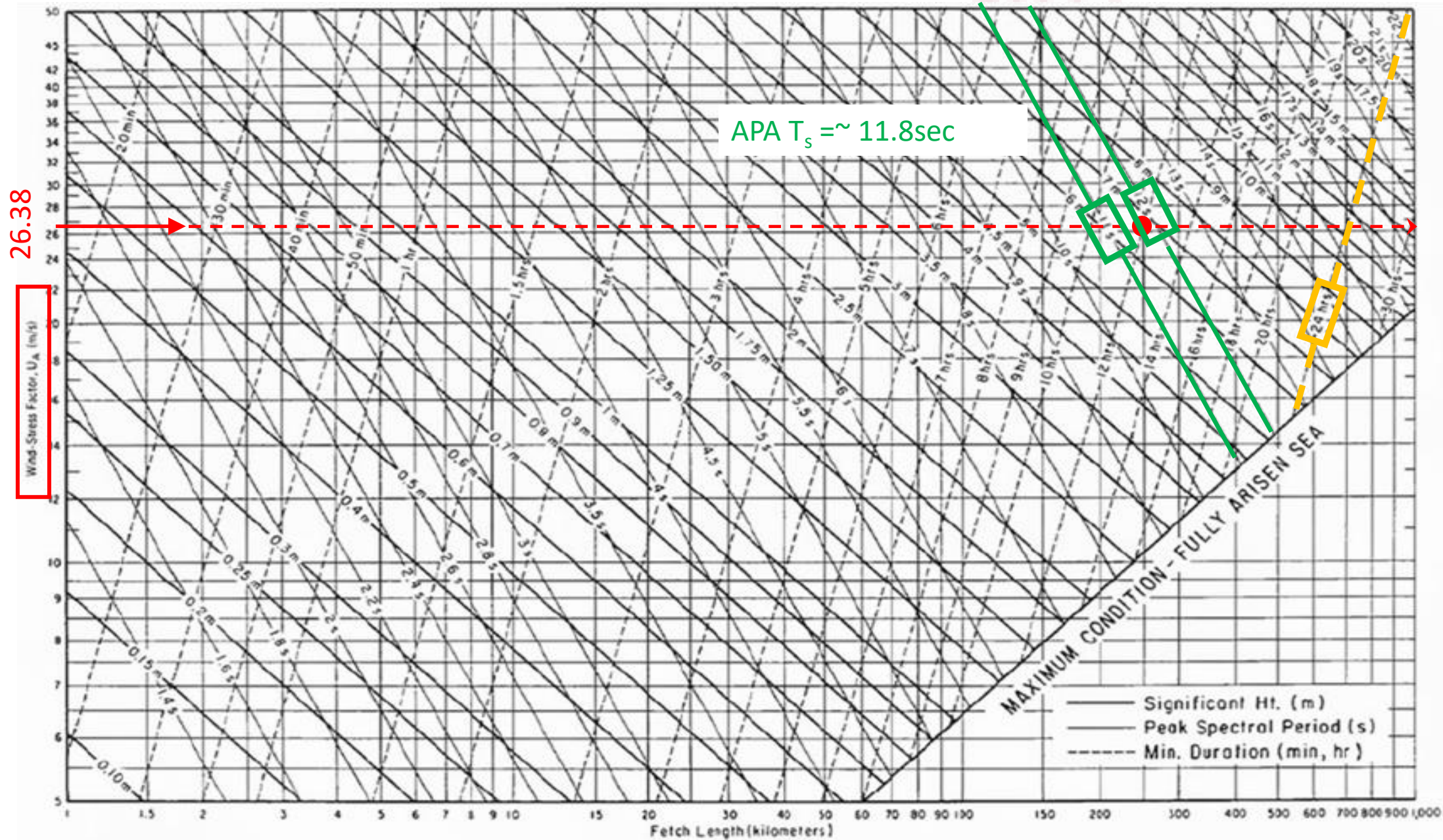
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

2) Για $U_A = 26.38\text{m/s}$, $t_d=24\text{h}$, Fetch = 250Km

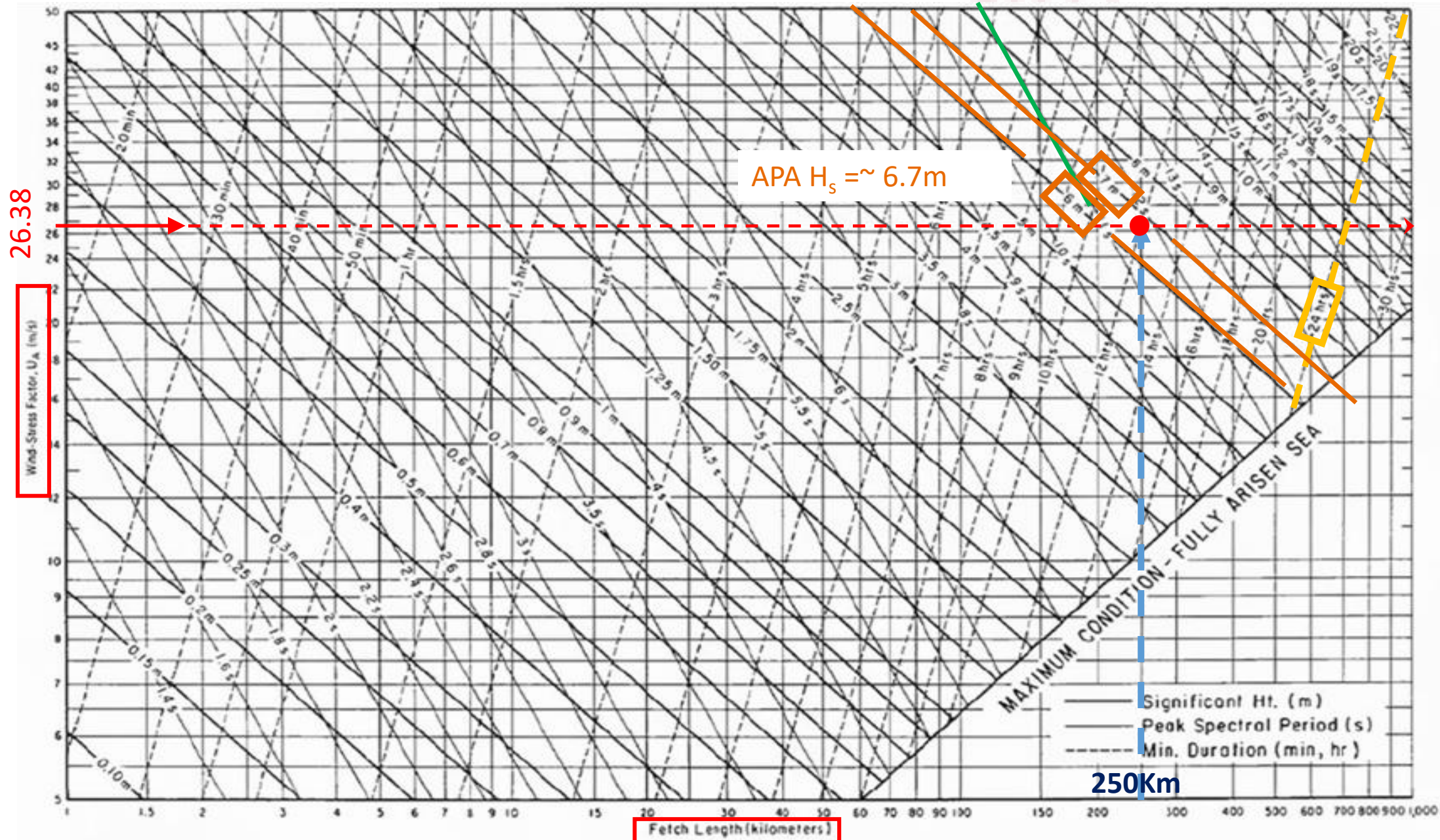
SMB



ΑΣΚΗΣΗ 8

2) Για $U_A = 26.38\text{m/s}$, $t_d=24\text{h}$, Fetch = 250Km

SMB





Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 Παράκτια Μηχανική

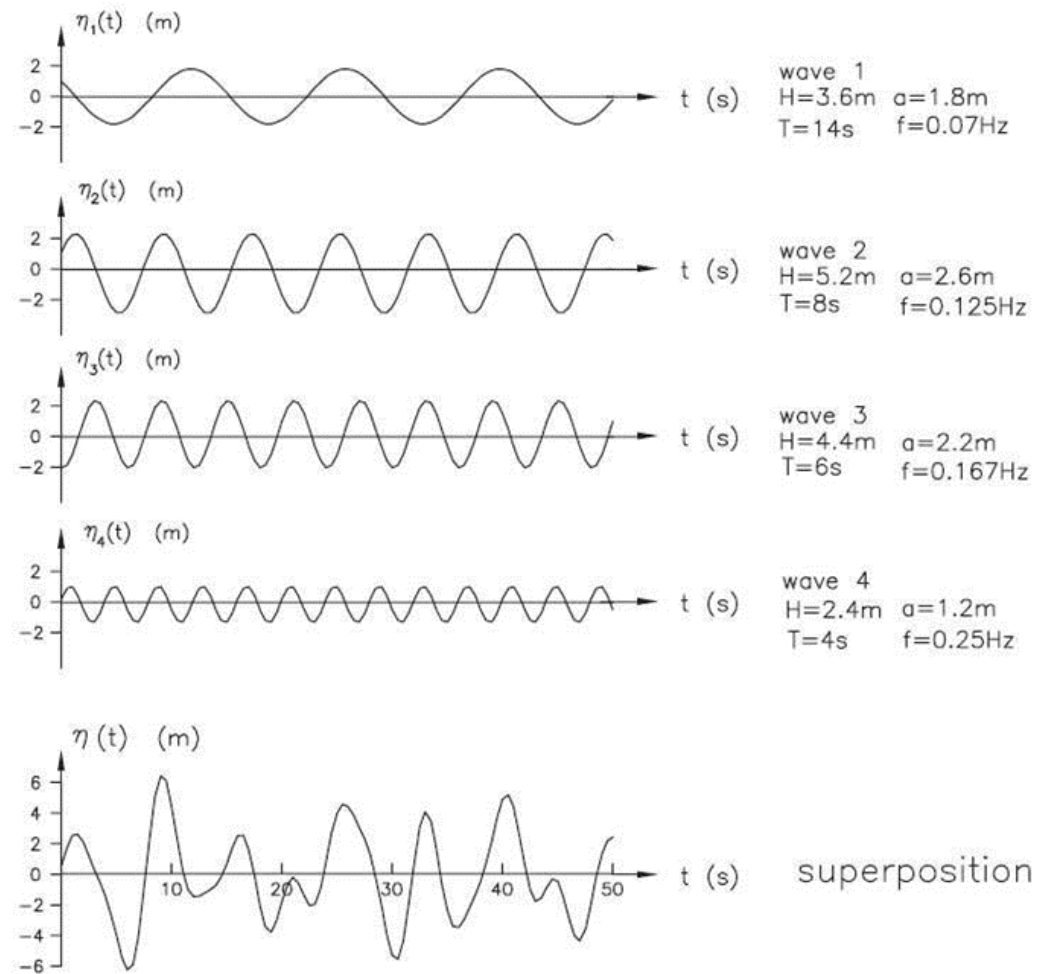
Βραχυπρόθεσμη στατιστική ανάλυση
κυματικών χρονοσειρών

Προσομοίωση τυχαίων κυματισμών από υπέρθεση γραμμικών κυματισμών

Όχι γραμμικά, τυχαία

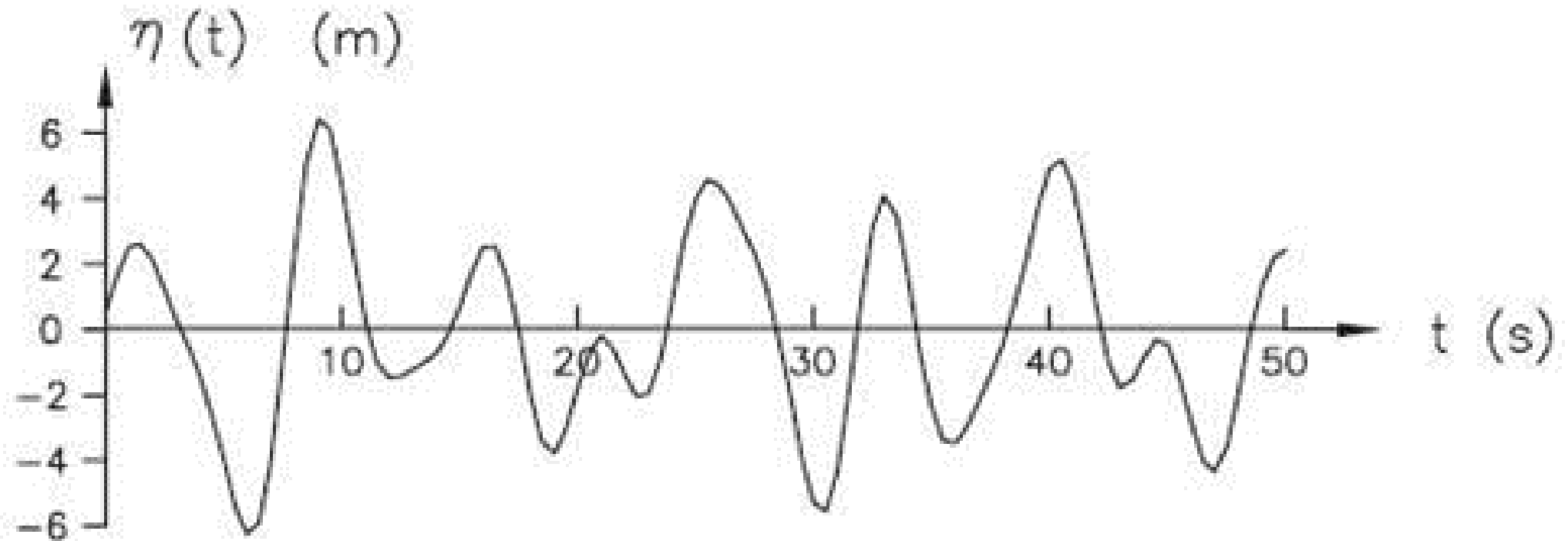
Κυματικό πεδίο:

- συνδυασμός κυματισμών διαφορετικών χαρακτηριστικών (υπέρθεση κυματισμών)



Andersen & Friggard, 2007

Πως ορίζουμε ένα κύμα μέσα σε ένα τυχαίο κυματισμό



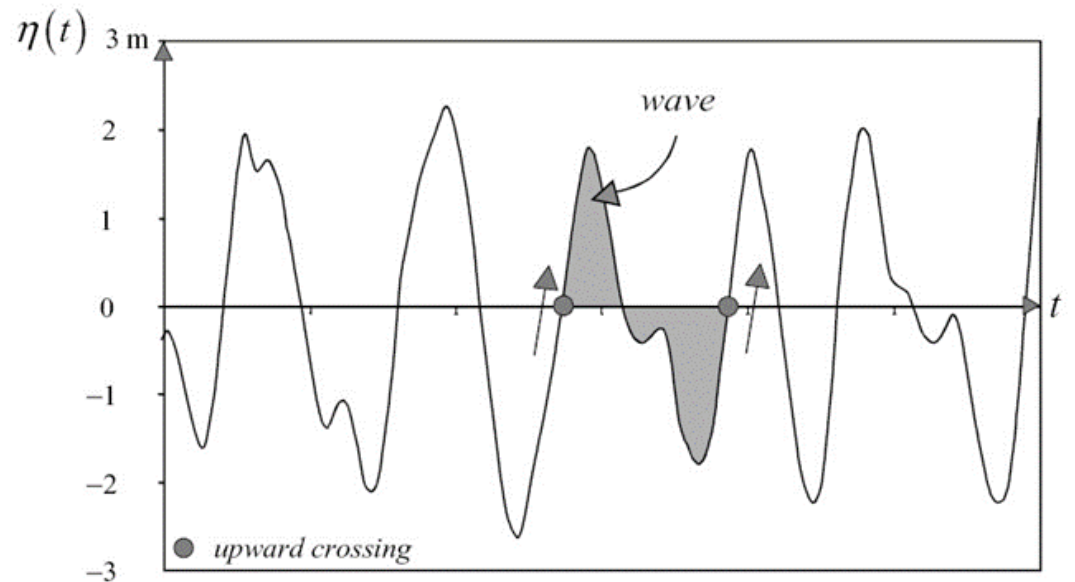
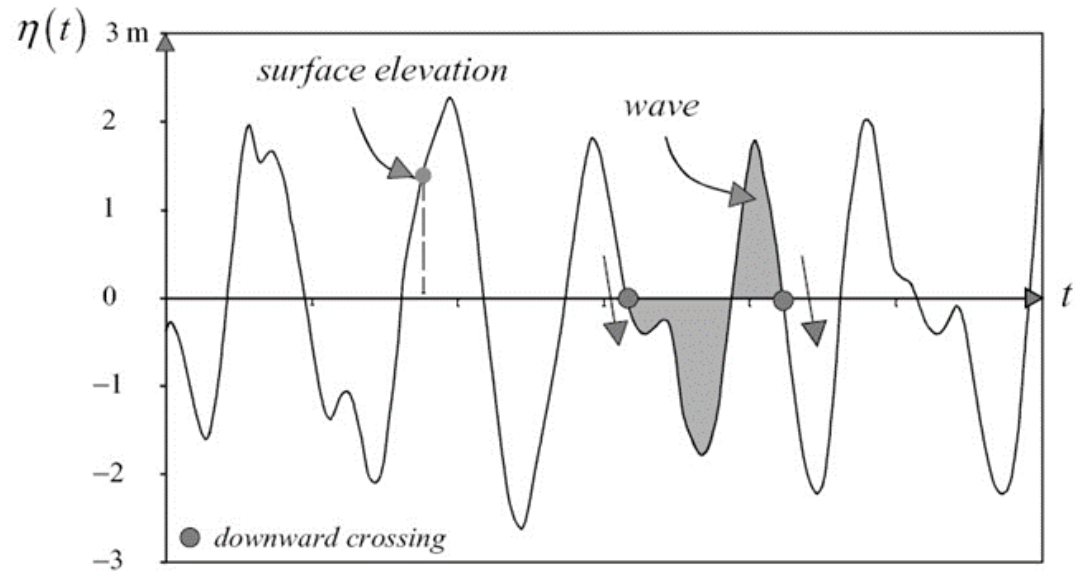
Στατιστική ανάλυση κυματισμών

Χρονοσειρά στάθμης θάλασσας

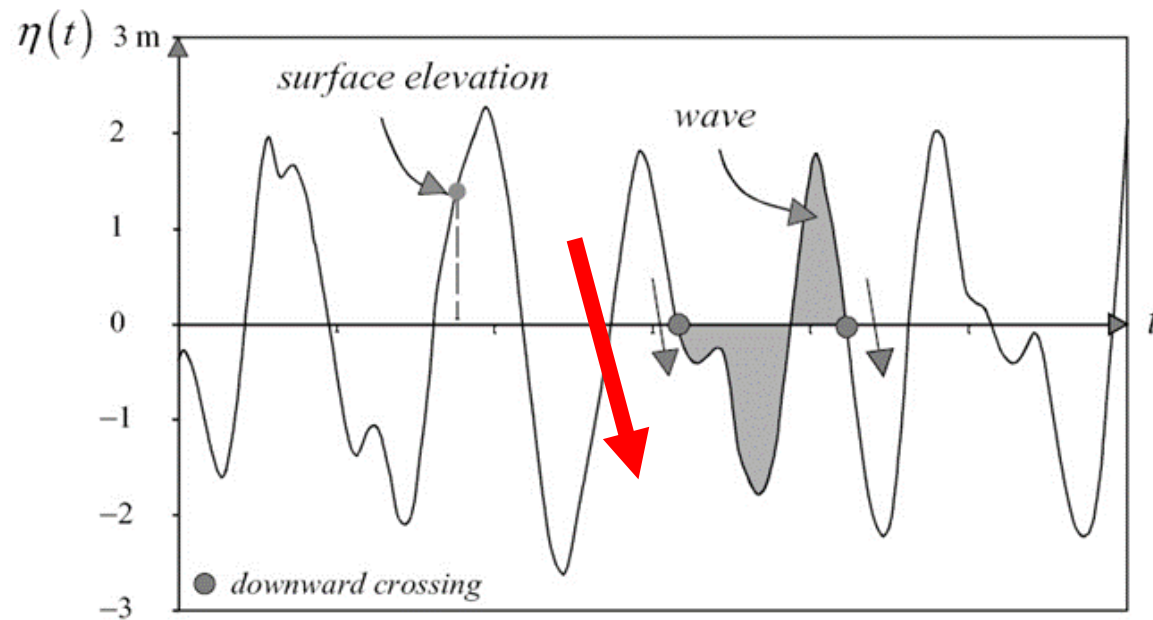
Μοναδικό
κύμα

μηδενική προς
τα άνω / κάτω
διάβαση

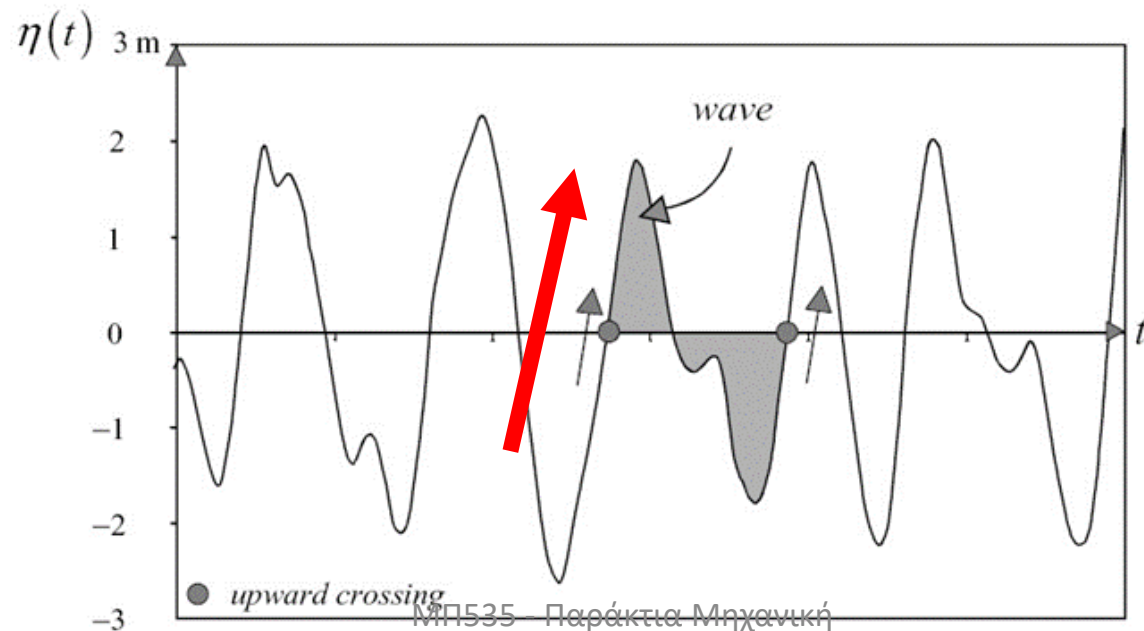
απόσταση από το
μηδέν προς πάνω
/ κάτω μέχρι
επόμενο
αντίστοιχο



Στατιστική ανάλυση κυματισμών



Κάτω
διάβαση

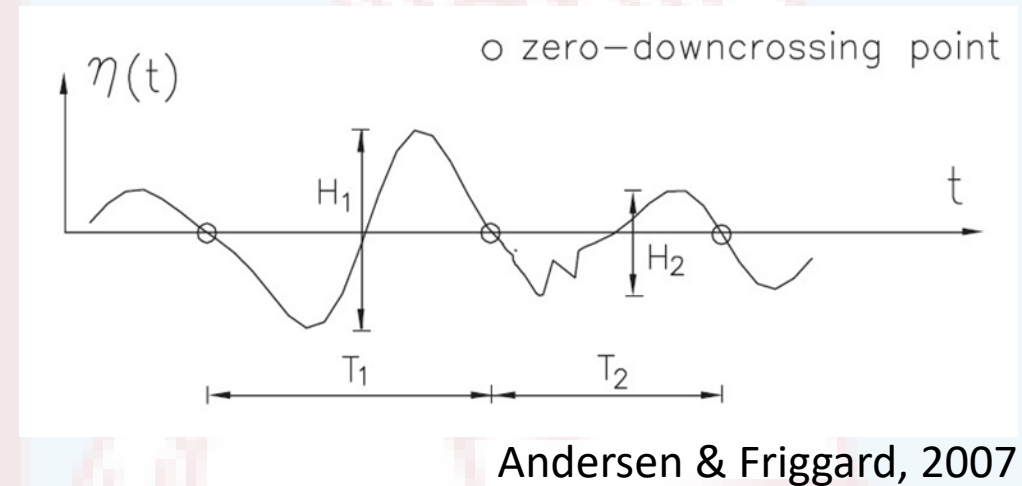


Άνω
διάβαση

Holthuijsen, 2007

Κυματικές παράμετροι: Μηδενική προς τα κάτω διάβαση

- Προτείνεται (IAHR, 1986**) μηδενικής προς τα κάτω διαβάσεως
 - καλύτερη περιγραφή ακραίων κυματισμών
- Κύμα
 - μεταξύ του σημείου όπου διασχίζει το μηδέν ενώ κατεβαίνει και του επόμενου
- Ύψος κύματος, H
 - κάθετη απόσταση κοιλίας και ακόλουθης κορυφής
- Περίοδος, T
 - χρόνος μεταξύ δύο καταβατικών σημείων στο μηδέν (down crossing points)



Άνω ή Κάτω Διάβαση;

Τιμές H και T

Μοναδικά κύματα

- λίγο διαφορετικές

Στατιστικές μέσες τιμές

- παρόμοιες

Διάρκεια δειγματοληψίας

Μεταξύ 15 και 30 min ανά 1 ή 3 h

Στατιστικά αξιόπιστες μέσες τιμές παραμέτρων

Οι πιο συνήθεις μεταξύ 15 και 20 min

Ορισμοί Κυματικών Στατιστικών Παραμέτρων

Μέσο ύψος κύματος (mean wave height)

- Μέσος όρος όλων των υψών των καταγεγραμμένων κυμάτων
- Δεν χρησιμοποιείται ευρέως

$$\bar{H} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i$$

Σημαντικό ύψος κύματος H_s ή $H_{1/3}$ (significant wave height)

- Μέσος όρος του 1/3 των υψηλότερων κυμάτων
- Συμπίπτει με οπτική εκτίμηση ενός έμπειρου παρατηρητή

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

Μέσο τετραγωνικό ύψος κύματος H_{rms} (root mean square wave height)	$H_{1/10}$ (one tenth wave height)	Μέγιστο ύψος κύματος H_{max} (maximum wave height)
Συνδέεται με εφαρμογές για κυματική ενέργεια (ανάλογη του τετραγώνου του ύψους κύματος)	είναι ο μέσος όρος του 1/10 των υψηλότερων κυμάτων που έχουν καταγραφεί σε μία χρονοσειρά	είναι το μέγιστο ύψος κύματος που έχει καταγραφεί σε μια κυματοσειρά
$H_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2\right)}$	$H_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} H_j$	$H_{max} = \max(H_j)$

Ορισμοί Κυματικών Παραμέτρων

Περίοδος κύματος:

Χρονική διάρκεια μεταξύ δύο καταβατικών /ανοδικών σημείων.

Σημαντική Περίοδος Κύματος (T_s ή $T_{1/3}$) $\rightarrow$ μέσος όρος περιόδων των 33% υψηλότερων κυμάτων.

$$\bar{T}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_{0,i}$$

$$T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} T_{0,j}$$

$$T_{1/10} = \frac{1}{N/10} \sum_{j=1}^{N/10} T_{0,j}$$

Παράδειγμα χρονοσειράς

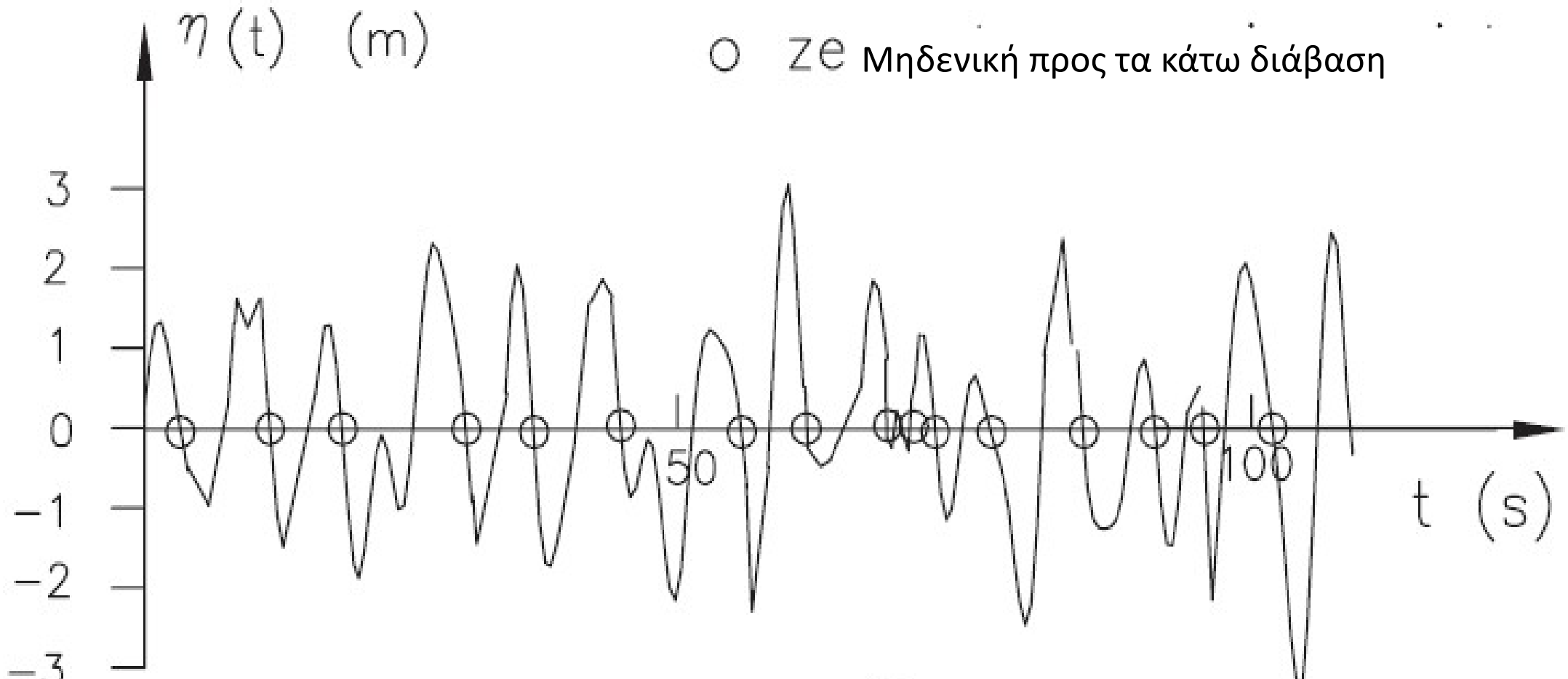




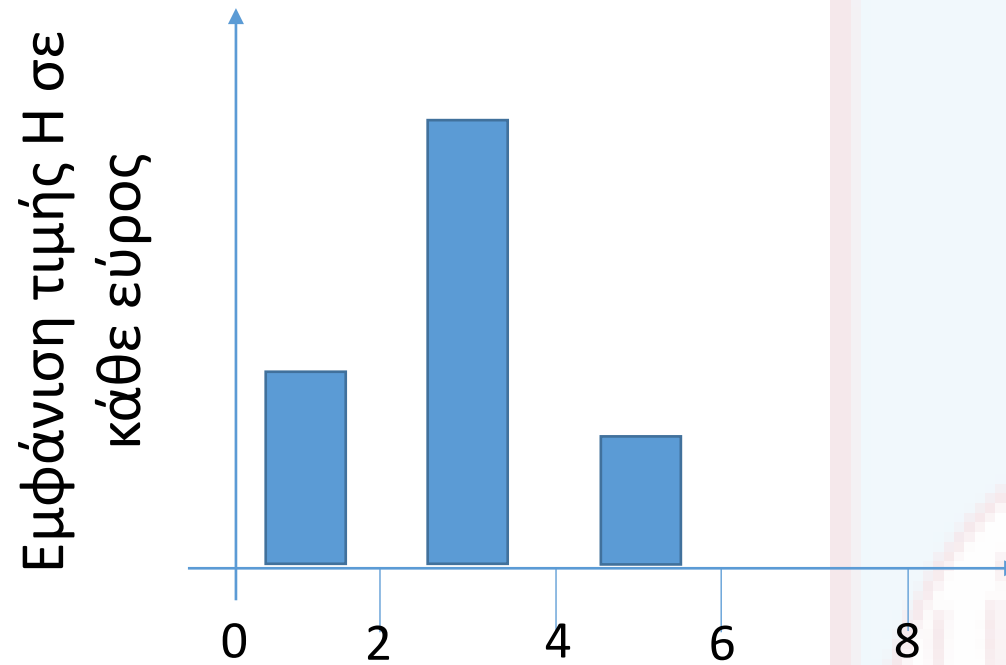
Figure 5.2: Application of zero-down crossing.

Table 4.1. Ranked individual wave heights and corresponding periods in Fig. 5.2.

rank i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
H (m)	5.5	4.8	4.2	3.9	3.8	3.4	2.9	2.8	2.7	2.3	2.2	1.9	1.8	1.1	0.23
T (s)	12.5	13.0	12.0	11.2	15.2	8.5	11.9	11.0	9.3	10.1	7.2	5.6	6.3	4.0	0.9

Ιστόγραμμα

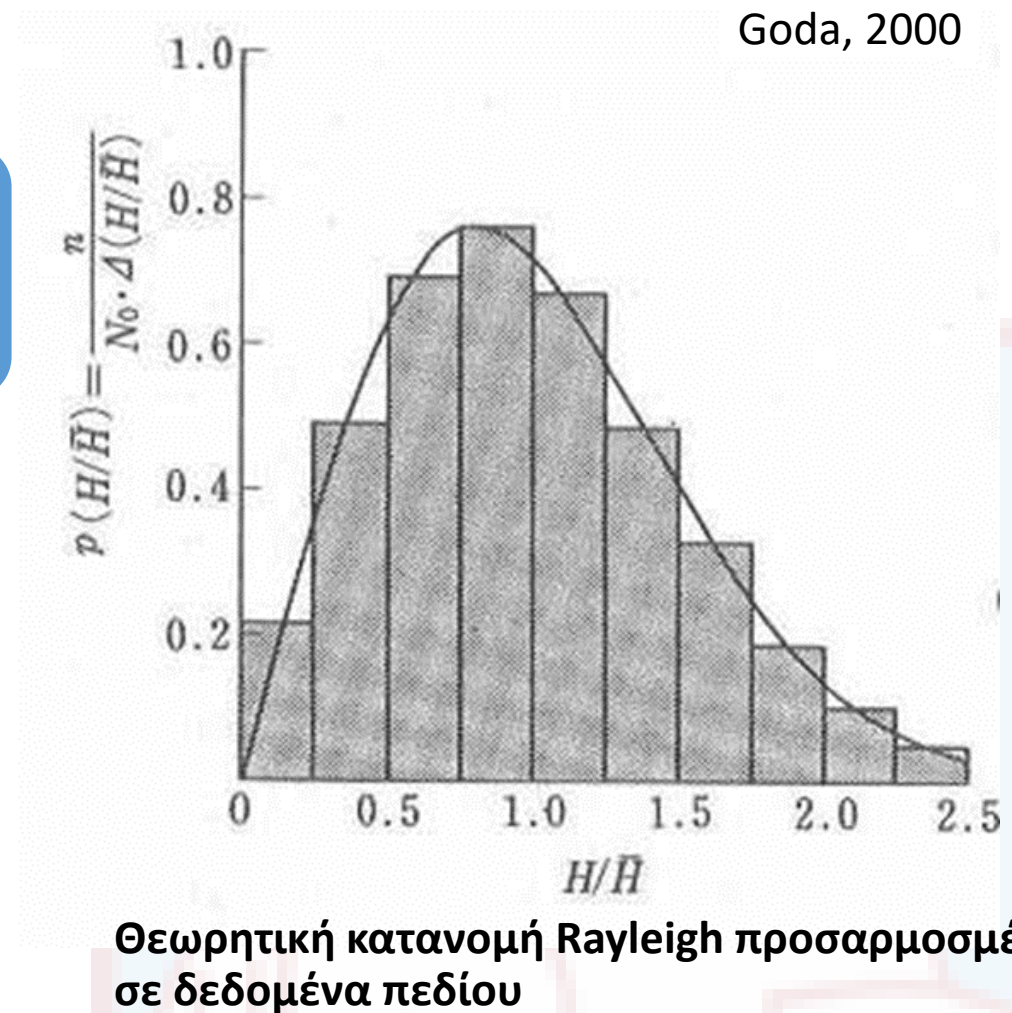
rank i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
H (m)	5.5	4.8	4.2	3.9	3.8	3.4	2.9	2.8	2.7	2.3	2.2	1.9	1.8	1.1	0.23
T (s)	12.5	13.0	12.0	11.2	15.2	8.5	11.9	11.0	9.3	10.1	7.2	5.6	6.3	4.0	0.9



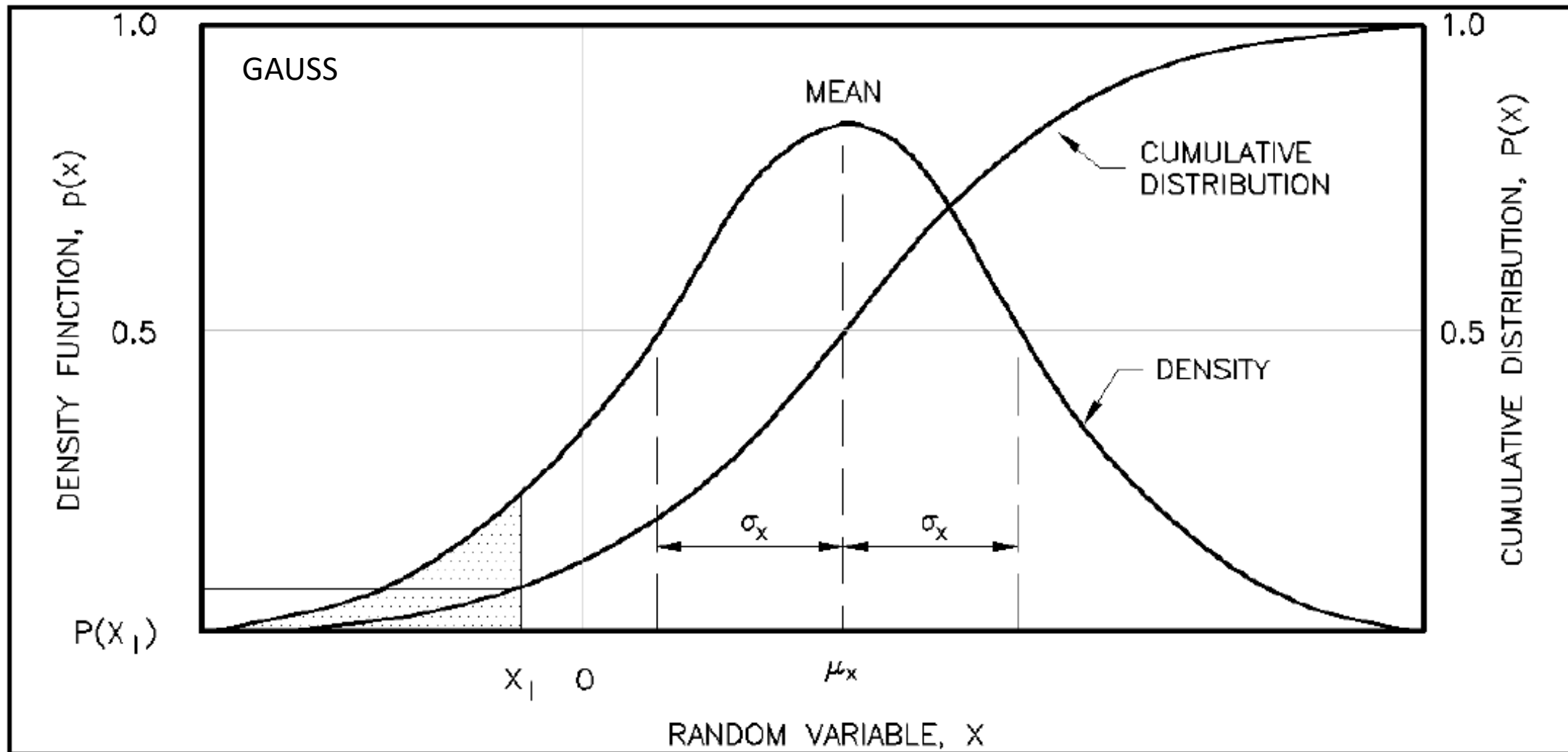
Στατιστική κατανομή κυματισμών μιας κυματοσειράς

Μοναδικά κύματα

- Μηδενικής διαβάσεως
- Θεωρητική κατανομή Rayleigh

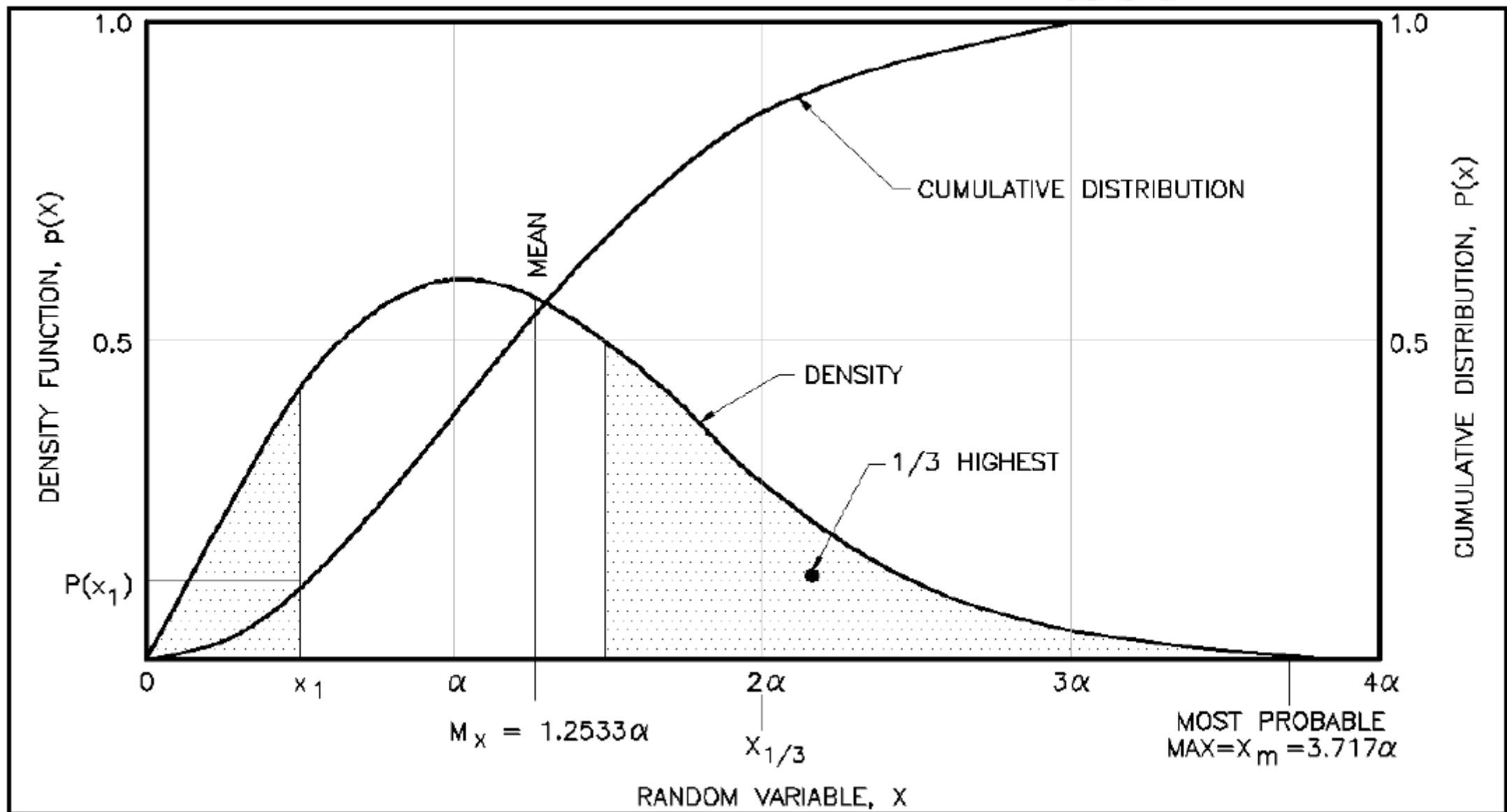


Κατανομές (διαφορές Gauss – Rayleigh)



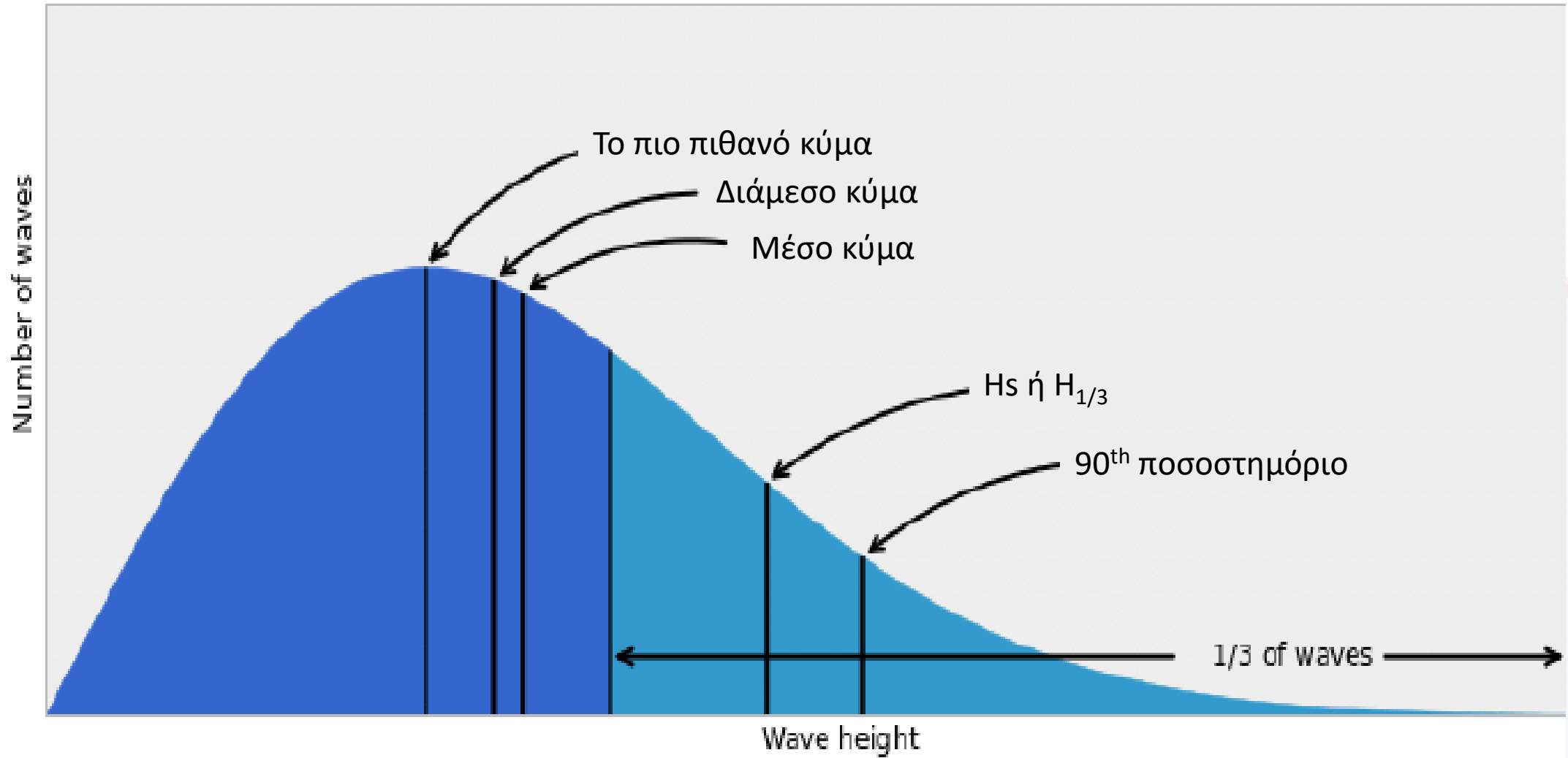
The Gaussian probability density and cumulative probability distribution

Κατανομές (διαφορές Gauss – Rayleigh)



Rayleigh probability density and cumulative probability distribution

Κατανομή Rayleigh



Στατιστική κατανομή κυματισμών μιας κυματοσειράς

Κατανομή Rayleigh:

- Ικανοποιητική προσέγγιση
- Ανεμογενείς κυματισμούς – αποθαλασσιές ή συνδυασμός τους
- Μη θραυόμενους κυματισμούς
- Όχι για κοντά στις ακτές (υπερεκτίμηση των μεγάλων κυμάτων που στην πραγματικότητα έχουν θραυσθεί)

Πιθανότητα εμφάνισης
μιας τιμής μέσα στο δείγμα

$$P(H) = \frac{2H}{H_{rms}} e^{-\left(\frac{H}{H_{RMS}}\right)^2}$$

Πιθανότητα υπέρβασης
μιας τιμής μέσα στο δείγμα

$$P(\geq H) = e^{-\left(\frac{H}{H_{RMS}}\right)^2}$$

Τιμές παραμέτρων ύψους
κύματος βάσει της
κατανομής Rayleigh

$$\bar{H} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} H_{rms}$$

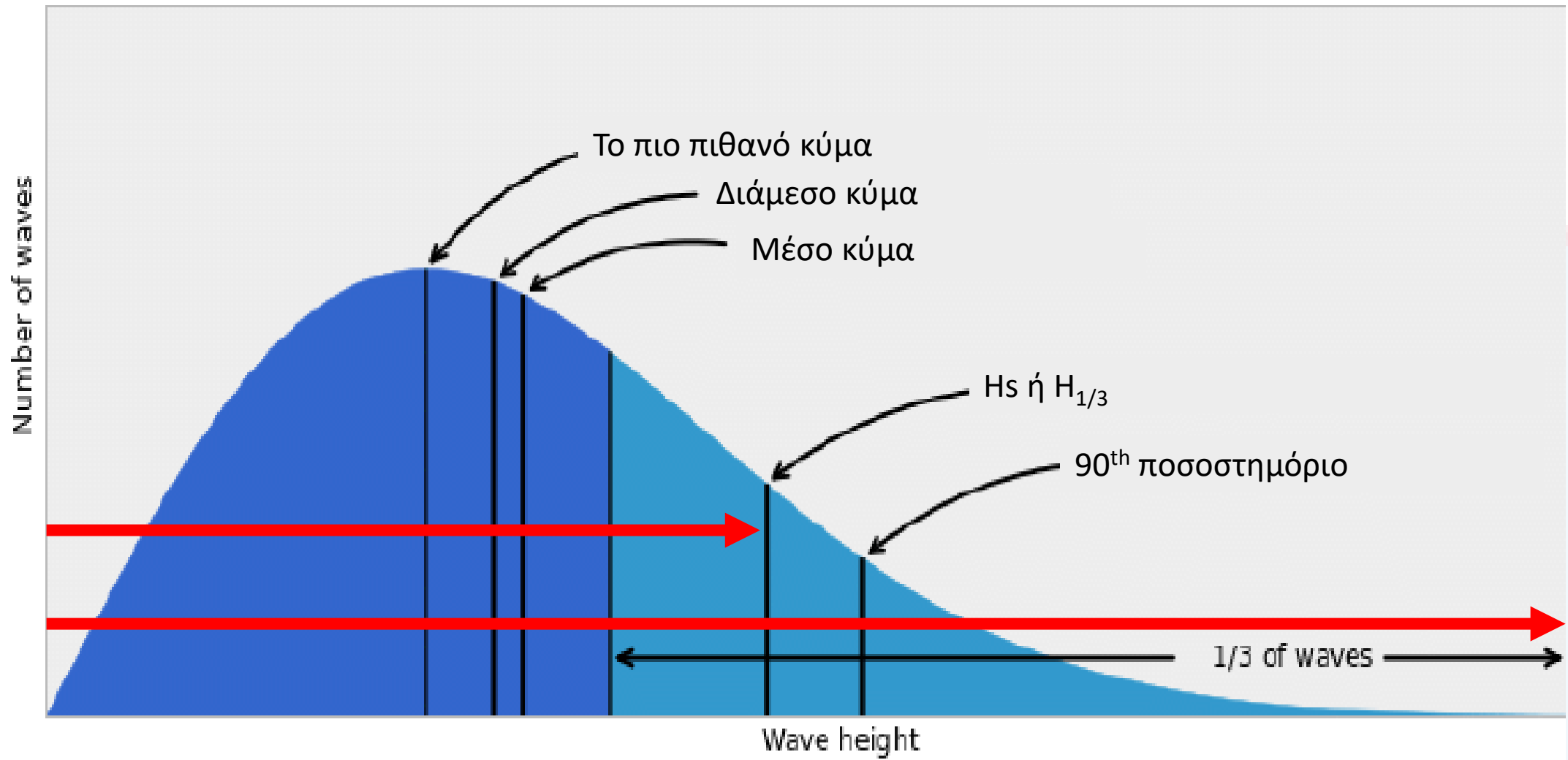
$$H_{1/3} = H_{rms} \sqrt{2}$$

$$H_{max} = (1.6 \sim 2) H_{1/3}$$

Η περίοδος (δεν ακολουθεί
την κατανομή Rayleigh)

$$T_{1/3} \cong 1.2 \bar{T}$$

$$H_{max} = (1.6 \sim 2) H_{1/3}$$



$H_{\max}$

$$H_{\max} = (1.6 \sim 2) H_{1/3}$$

Το $H_{\max}$ μεγαλώνει όσο το δείγμα γίνεται μεγαλύτερο

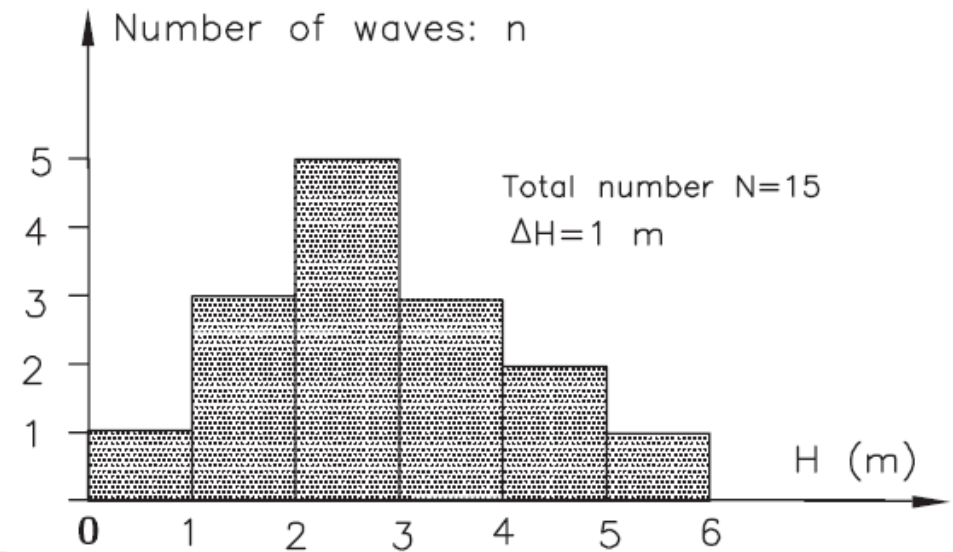
$$H_{\max} = (1.86) H_{1/3} \text{ για δείγμα 1000 κύματα.}$$

$$H_{\max} = \sqrt{\ln N} H_{rms}$$

Όπου N ο αριθμός των κυμάτων του δείγματος.

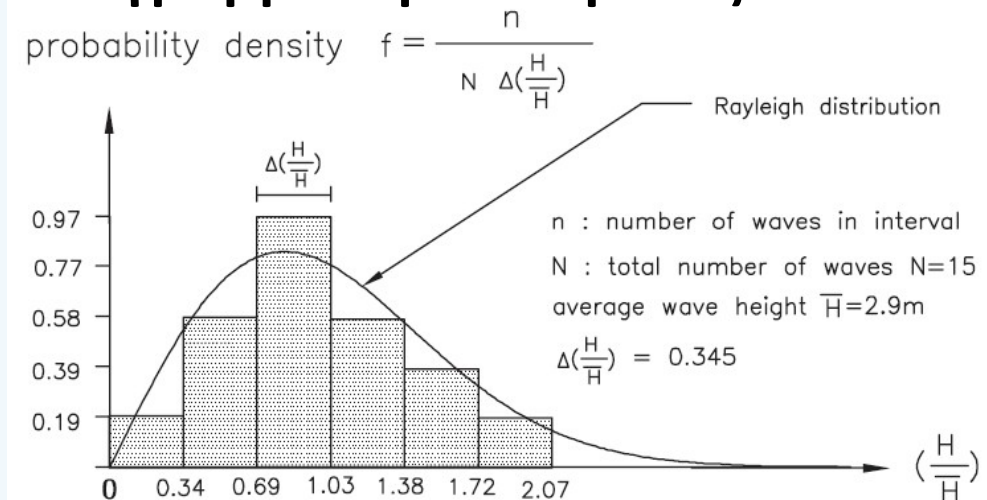
Πίνακας κατανομών πιθανότητας εμφάνισης και υπέρβασης κατά την κατανομή Rayleigh

H(m)	H/Havg	p(x)	P(x)
2.30	0.79	0.76	0.61
2.90	1.00	0.72	0.46
3.90	1.34	0.51	0.24
3.40	1.17	0.63	0.34
3.80	1.31	0.54	0.26
2.70	0.93	0.74	0.51
5.50	1.90	0.18	0.06
1.90	0.65	0.73	0.71
0.23	0.08	0.12	1.00
2.20	0.76	0.76	0.64
2.80	0.96	0.73	0.48
4.80	1.65	0.30	0.12
1.80	0.62	0.72	0.74
1.10	0.38	0.53	0.89
4.20	1.45	0.44	0.19



Andersen & Friggard, 2007

Ιστόγραμμα υψών κύματος

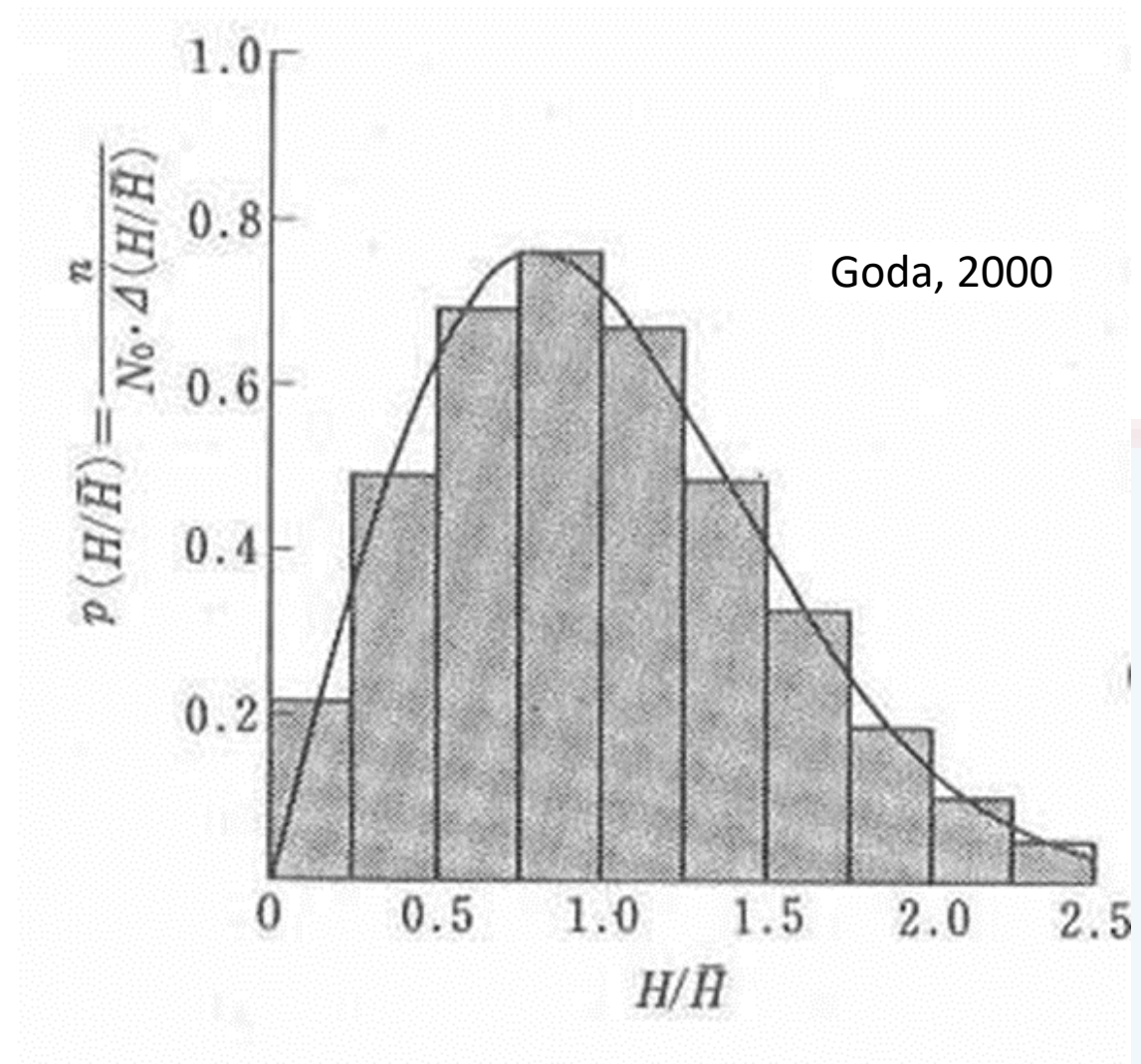


Andersen & Friggard, 2007

Κατανομή Rayleigh

Γιατί είναι σημαντικό?

Γιατί γνωρίζοντας μόνο το H_{rms} ή το $H_{1/3}$ μπορούμε να ξέρουμε όλα τα στατιστικά στοιχεία των κυματισμών



Θεωρητική κατανομή Rayleigh προσαρμοσμένη σε δεδομένα πεδίου

Ενεργειακό περιεχόμενο

Η ενέργεια που περιέχεται σε κατανομή με γνωστό H_{rms} υπολογίζεται:

$$E = \rho g \frac{H_{rms}^2}{8}$$

Εάν είναι γνωστή η κυματοσειρά, η ενέργεια μπορεί αν υπολογιστεί από τον τύπο:

$$E = \rho g \sqrt{\frac{\sum \eta_i^2}{N}}$$

Όπου η_i οι καταγραφές στάθμης και N ο αριθμός τους

Άσκηση

Δίνεται δείγμα μετρήσεων από κυματοσειρά από τη περιοχή των κυκλάδων για το διάστημα 1977 – 2000. Να υπολογιστούν :

$H_{1/3}$, H_{rms} , H_{max} , και η πιθανότητα ένα κύμα να μην υπερβαίνει τα 5 μέτρα.

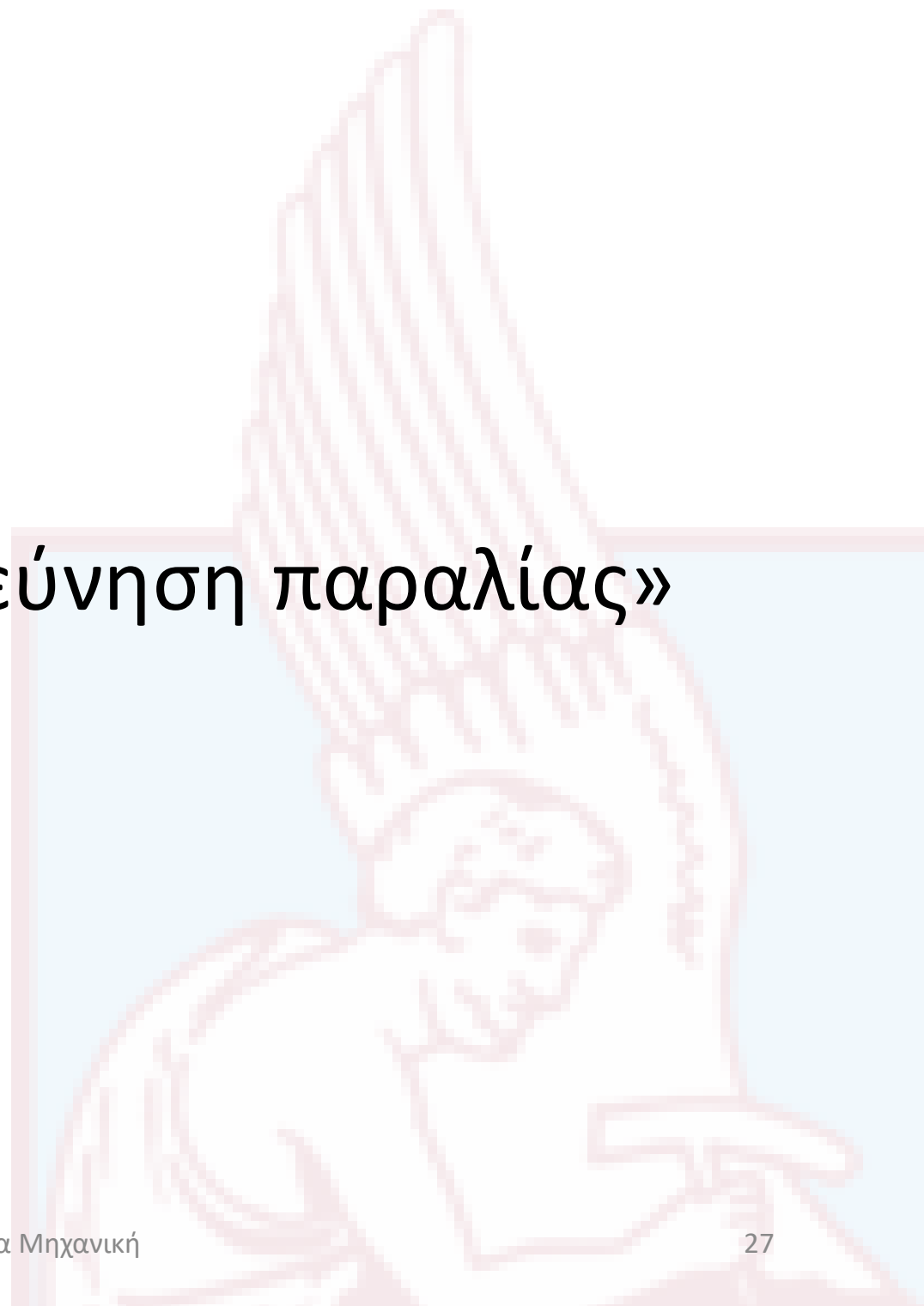
Τα δεδομένα βρίσκονται στο αρχείο waves_gr.csv

Βιβλιογραφία

- Goda Y., 2000, Random Seas and Design of Maritime Structures, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Holthuijsen L.H., 2007, Waves in Oceanic and Coastal Waters, Cambridge University Press
- Kamphuis J.W., 2000, Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Sorensen R.M., Basic Coastal Engineering (3rd Edition), 2006, Springer
- U.S.A.C.E., 2002, Coastal Engineering Manual,
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη

Εξαμηνιαίο Project

«Ακτομηχανική διερεύνηση παραλίας»



Εξαμηνιαίο Project

«Ένας δήμος ενδιαφέρεται να μάθει εάν μία παραλία που ανήκει στην επικράτειά του, προβλέπεται να μεταβληθεί στο κοντινό μέλλον. Ο δήμος προσλαμβάνει τη μελετητική σας ομάδα για να απαντήσετε στο ερώτημα αυτό, αν χρειάζεται να προτείνετε μέτρα προστασίας, και να αναφέρετε αν θεωρείτε ότι η ακτή αυτή προτείνεται για τη δημιουργία μικρού αλιευτικού λιμανιού και πώς θα το χωροθετούσατε. Ποιες εναλλακτικές θα εξετάζατε σε μια τέτοια περίπτωση;»

Εξαμηνιαίο Project

Στο πλαίσιο του μαθήματος Παράκτια Μηχανική, καλείστε να κάνετε σε μικρές ομάδες (4-5 ατόμων), μια εργασία σε μια παραλία της επιλογής σας.



Εξαμηνιαίο Project

Η μορφή της εργασίας αυτής είναι αναλυτική ερευνητική και απαιτείται η παράδοση αναφοράς, υπό την μορφή οργανωμένων κεφαλαίων σε μορφή pdf. Η δομή της εργασίας σε γενικές γραμμές είναι:

- Εξώφυλλο με τίτλο «ακτομηχανική διερεύνηση παραλίας...» και την ομάδα εργασίας
- Πίνακας Περιεχομένων
- Πίνακας Εικόνων
- Κεφάλαιο 1: Ορισμός του Προβλήματος, Περιγραφή Ομάδας Μελέτης, Δομή της Εργασίας
- Κεφάλαιο 2: Παρουσίαση Περιοχής Μελέτης, Ιστορικά Στοιχεία σχετικά με υπάρχοντα παράκτια έργα ή γεγονότα κλπ.
- Κεφάλαιο 3: Διαθέσιμα Δεδομένα, ανάλυση και σχολιασμός τους
- Κεφάλαιο 4. Υπολογισμοί ακτομηχανικής διερεύνησης - υπολογισμός στερεομεταφοράς και σχολιασμός αποτελεσμάτων.
- Κεφάλαιο 5. Συμπεράσματα και Προτάσεις
- Βιβλιογραφία

Εξαμηνιαίο Project

- Ακτομηχανική διερεύνηση
 - Ανεμολογία - Μέση ταχύτητα του ανέμου ανά κάθε διεύθυνση – Διάρκεια πνοής ανά κατεύθυνση - υπολογισμός u_{10} , u_A
 - Το ανάπτυγμα πελάγους που αντιστοιχεί σε κάθε διεύθυνση ανέμου με την μέθοδο του F_{eff}
 - Κυματικό καθεστώς - Τα χαρακτηριστικά του κύματος (ύψος, περίοδος) σε κάθε διεύθυνση ανέμου με τη μέθοδο JONSWAP (16 κατευθύνσεις ανέμου)

Εξαμηνιαίο Project

- Στερεομεταφορά
 - Θα μιλήσουμε αργότερα



Εξαμηνιαίο Project

Η εργασία δεν πρέπει να ξεπερνά τις 18 σελίδες, και να είναι γραμμένη με γραμματοσειρά τύπου Times New Roman 12 στιγμών, ή Calibri/Tahoma 11 στιγμών, με διάστιχο 1,5, εκτός από τους πίνακες όπου η γραμματοσειρά μπορεί να είναι 2 στιγμές μικρότερη και 1 διάστιχο.

Εξαμηνιαίο Project - Παρουσίαση

- Η παρουσίαση θα γίνει στις **12 Δεκεμβρίου (?)**
- Κατά τη διάρκεια της σύντομης παρουσίασης **θα πρέπει να μιλήσουν όλα τα μέλη της ομάδας**, ιδανικά αναφερόμενοι το κάθε μέλος στο τμήμα της εργασίας με το οποίο ασχολήθηκε περισσότερο.
- Η παρουσίαση πρέπει να διαρκεί 8-9 λεπτά **αυστηρά**. Δεν θα δοθεί επιπλέον χρόνος σε καμία ομάδα, οπότε πρέπει να διαχειριστείτε το διαθέσιμο χρόνο για να μεταδώσετε τις απαραίτητες πληροφορίες.

Ανεμολογικά δεδομένα

- Δεδομένα ανέμου από το Εθνικό αστεροσκοπείο Αθήνας (ΕΑΑ)
 - www.meteo.gr

The screenshot shows the homepage of the Hellenic Meteorological Service (ΕΜΥ) website. The main navigation bar at the top includes links for 'ΕΛΛΑΔΑ', 'ΑΤΤΙΚΗ', 'ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ', 'ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ', 'ΘΑΛΑΣΣΕΣ', 'ΚΑΙΡΟΣ ΤΩΡΑ' (circled in red), and 'ΧΑΡΤΕΣ'. A search bar on the right is labeled 'Αναζήτηση περιοχής'. The main heading is 'Ο ΚΑΙΡΟΣ ΤΩΡΑ'. Below this, there are several sections: 'ΧΑΡΤΗΣ ΣΤΑΘΜΩΝ', 'ΌΛΟΙ ΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ', 'ΣΤΑΘΜΟΙ ΑΝΑ ΠΕΡΙΟΧΗ', 'ΤΩΡΑ ΒΡΕΧΕΙ', 'ΜΕΓΙΣΤΑ | ΕΛΑΧΙΣΤΑ ΗΜΕΡΑΣ', and 'ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜ...' (circled in red). The right sidebar contains 'ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΡΙΟ ΑΤΤΙΚΗΣ', 'ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΡΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ', 'ΠΑΡΑΤΗΡΗΤΗΡΙΟ ΚΡΗΤΗΣ', 'ΜΕΤΕΟΝΟΩ', 'ΚΑΜΕΡΕΣ', and 'ΚΑΜΕΡΕΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ'. The bottom section features a forecast for 'ΕΠΟΜΕΝΗ ΠΑΝΣΕΛΗΝΟΣ' on Wednesday, 12 November 2019, and a 'ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ' table.

ΧΑΜΗΛΟΤΕΡΕΣ	↓	ΥΨΗΛΟΤΕΡΕΣ	↑
ΟΡΕΙΝΗ ΦΩΚΙΔΑ	17°C	ΚΑΣΤΕΛΛΟΡΙΖΟ	32°C
ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ	18°C	ΛΙΝΔΟΣ	31°C
ΜΕΤΣΟΒΟ	18°C	ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΣ	31°C
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	19°C	ΡΟΔΟΣ	28°C
ΣΙΑΤΙΣΤΑ	19°C	ΑΙΤΩΛΙΚΟ	28°C

Ανεμολογικά δεδομένα



Meteo
Όλα για τον καιρό



NEO

ΔΙΑΔΡΑΣΤΙΚΗ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

and the totals/means are calculated in local time)

2009

March

Search

2007

2008

...

argento

ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

ΧΑΡΤΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

METEΟ.GR

Σχετικά με το meteo Search

Η εφαρμογή αυτή έχει ως σκοπό την παροχή των μετρήσεων του δικτύου αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ στο κοινό. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από 440 σταθμούς σε όλη τη χώρα με συνεχή επέκταση.

Το δίκτυο αυτόματων σταθμών του ΕΑΑ αποτελείται από σταθμούς τύπου Davis, οι οποίοι μετρούν όλες τις βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους, δηλαδή πίεση, θερμοκρασία, υγρασία, βροχόπτωση, διεύθυνση και ένταση του ανέμου. Ορισμένοι σταθμοί καταγράφουν επίσης και την ηλιακή και υπεριώδη ακτινοβολία. Όλες οι καταγραφές (ανά 10 λεπτά) συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο από το ΕΑΑ και αφού περάσουν από ποιοτικό έλεγχο, αρχειοθετούνται για μελλοντική χρήση.

Για να αναζητήσετε δεδομένα σχεδίου που να επιλέξετε το γεωγραφικό διαμέρισμα και μετέπειτα τον σταθμό:

Κρήτη

Χανιά - Κέντρο

Αναζήτηση

1 3 2 2 3 2 1 2 2 2 1 1 1 3

15

10

5

0

Phénomène

780

770

760

750

740

730

720

710

700

690

680

670

660

650

640

630

620

610

600

590

580

570

560

550

540

530

520

510

500

490

480

470

460

450

440

430

420

410

400

390

380

370

360

350

340

330

320

310

300

290

280

270

260

250

240

230

220

210

200

190

180

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

Pluie

5h.s

2h.s

6h.s

στην εφαρμογή αυτή παρέχονται οι παρακάτω δυνατότητες στον επισκέπτη:

- Απεικόνιση των μετρήσεων των σταθμών σε γεωγραφικό χάρτη.
- Παρουσίαση των μετρήσεων σε μορφή πίνακα, όπου παρουσιάζονται οι τελευταίες μετρήσεις των σταθμών.
- Αναζήτηση παλαιότερων μετρήσεων για κάθε σταθμό, σε ημερήσια βάση. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω εργαλείο αναζήτησης, οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν σταθμό, έτος και μήνα και να πάρουν τις ημερήσιες καταγραφές για το συγκεκριμένο μήνα και σταθμό. Ταυτόχρονα δίνονται πληροφορίες για τη θέση κάθε σταθμού καθώς και πιθανά προβλήματα/λείψεις μετρήσεων που υπάρχουν. Για παροχή δεδομένων σε μικρότερη χρονική κλίμακα (πχ. ωριαίες τιμές, τιμές δεκαλέπτων κλπ.) παρακαλούμε να [επικοινωνήσετε μαζί μας](#).
- Περιγραφή του δικτύου αυτόματων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ ([pdf](#))
- Αναφορές μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών καθώς και μηνιαίων βροχοπτώσεων για την περίοδο 2006-2015, ([σε αρχείο excel](#))
- Επιστημονική δημοσίευση για το δίκτυο των σταθμών του ΕΑΑ ([σε αρχείο pdf](#))



Ανεμολογικά δεδομένα

Meteo
Όλα για τον καιρό

ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΧΑΡΤΗΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΕΟ.GR

Χανιά - Κέντρο (LGN3)

Πληροφορίες σταθμού: Υψόμετρο 7 m, Θέση: Κέντρο πόλης. Βρίσκεται σε οροφή κτηρίου. Ύψος αισθητήρα / θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 2.5 m.

Παρακαλούμε επιλέξτε τον μήνα και το έτος απο το μενού παρακάτω που επιθυμείτε να πάρετε δεδομένα έχοντας υπ' όψιν ότι ο σταθμός ξεκίνησε να παρέχει ε μηνια **Οκτώβριο** του **2010**. Πριν την ημερομηνία αυτή δεν υπάρχουν δεδομένα για τον σταθμό αυτό.

Α: Για ποιόν μήνα και έτος επιθυμείτε δεδομένα;

Ιανουάριο ▼ 2019 ▼ Αναζήτηση

Χανιά - Κέντρο: Σχόλια και αναγγελίες βλαβών και δυσλειτουργιών του σταθμού

Ημερομηνία	Σχόλια βλαβών και δυσλειτουργιών
13/12/2016	Μερική απώλεια δεδομένων 12/12/2016.
18/1/2016	Μερική απώλεια δεδομένων και βροχόπτωσης 17/01/2016. (Χάθηκε >2mm).
30/7/2015	Απώλεια δεδομένων 24/07/2015 13:00 - 29/07/2015 02:10. (Δε χάθηκε βροχή).
12/7/2015	Απώλεια δεδομένων 10/07/2015 19:50 - 11/07/2015 12:10.
3/7/2013	Απώλεια δεδομένων 02/07/2013.
22/10/2011	Απώλεια δεδομένων 13-21/10/2011.
29/9/2011	Μερική απώλεια δεδομένων βροχόπτωσης 21/09/2011 και 29/09/2011.
27/5/2011	Απώλεια δεδομένων θερμοκρασίας/υγρασίας 26-27/05/2011.

Ανεμολογικά δεδομένα



Not secure | meteosearch.meteo.gr/data/chaniacenter/2019-01.txt

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2019

NAME: chaniace CITY: STATE:
ELEV: 10 m LAT: 35° 30' 28" N LONG: 24° 00' 22" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	10.2	11.7	11:50	8.6	3:50	8.2	0.0	23.2	5.6	35.4	17:20	WSW
2	11.1	12.4	16:10	7.6	19:40	7.2	0.0	38.0	11.4	53.1	1:50	NNE
3	11.6	16.4	13:10	7.7	0:10	6.8	0.0	5.6	7.9	49.9	13:40	W
4	8.7	12.3	12:50	6.4	5:40	9.7	0.0	10.8	4.8	40.2	1:20	WSW
5	5.9	8.0	15:00	3.6	19:10	12.4	0.0	11.2	5.0	38.6	7:40	WSW
6	8.3	12.4	12:30	3.8	4:40	10.0	0.0	1.8	4.8	30.6	1:20	WSW
7	7.4	11.5	12:50	4.6	22:20	10.9	0.0	13.4	4.0	32.2	23:40	WSW
8	4.9	8.5	16:20	0.9	22:00	13.4	0.0	8.4	8.2	48.3	6:00	NNE
9	10.1	14.6	14:20	1.8	0:10	8.2	0.0	3.0	5.6	48.3	23:40	WSW
10	13.2	16.8	11:40	10.8	23:20	5.2	0.0	4.6	10.9	57.9	6:50	WSW
11	12.4	18.2	12:00	7.7	5:50	5.9	0.0	0.0	2.6	27.4	15:20	SSW
12	11.2	18.6	15:00	5.5	7:10	7.1	0.0	3.2	3.7	45.1	18:10	SSW
13	11.0	12.8	14:30	8.7	3:50	7.3	0.0	28.8	7.4	45.1	7:20	NNE
14	10.9	14.3	12:40	8.7	8:00	7.4	0.0	5.2	4.3	25.7	13:20	WSW
15	9.3	13.2	5:10	5.7	22:00	9.0	0.0	17.6	13.0	59.5	6:30	NNE
16	8.3	10.8	16:10	5.3	5:40	10.1	0.0	4.2	14.2	66.0	3:40	NNE
17	11.6	15.4	13:50	7.9	22:30	6.8	0.0	0.0	6.0	27.4	14:00	WSW
18	10.4	16.5	14:10	5.0	7:50	7.9	0.0	0.0	4.8	29.0	13:00	SW
19	9.4	15.1	15:30	5.5	3:40	8.9	0.0	0.0	3.7	16.1	14:20	SSW
20	10.7	15.1	12:00	6.4	0:10	7.7	0.0	3.8	2.1	12.9	4:30	SSW
21	11.2	16.0	15:20	6.9	5:30	7.1	0.0	2.2	2.7	19.3	13:00	WSW
22	10.7	17.0	16:20	5.4	6:30	7.7	0.0	0.0	3.5	16.1	10:20	SSW
23	12.4	18.7	14:10	6.8	6:00	5.9	0.0	0.0	4.2	35.4	15:20	SW
24	11.8	15.9	15:20	9.1	6:50	6.5	0.0	12.4	6.3	40.2	14:10	WSW
25	14.2	18.2	11:00	9.8	00:00	4.2	0.0	10.0	11.4	57.9	9:00	SSW
26	12.0	15.3	15:00	9.5	0:20	6.3	0.0	2.2	7.4	35.4	2:00	WSW
27	11.8	15.2	12:20	9.7	2:00	6.5	0.0	1.2	6.0	25.7	17:10	WSW
28	12.9	17.4	14:20	9.8	2:20	5.4	0.0	0.0	5.1	41.8	11:30	WSW
29	13.1	18.6	15:40	7.4	5:00	5.2	0.0	1.4	4.0	54.7	21:50	SSW
30	12.0	14.6	16:00	10.1	5:50	6.3	0.0	3.4	4.8	27.4	11:00	WSW
31	12.7	15.8	15:00	10.3	6:40	5.7	0.0	8.0	8.4	40.2	8:40	W
	10.7	18.7	23	0.9	8	237.0	0.0	223.6	6.3	66.0	16	WSW

Ανεμολογικά δεδομένα



Not secure

meteosearch.meteo.gr/data/chaniacenter/2019-01.txt

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2019

NAME: chaniace CITY: STATE:
ELEV: 10 m LAT: 35° 30' 28" N LONG: 24° 00' 22" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

chaniacenter → Όνομα σταθμού
2019-01 → Μήνας δεδομένων

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM
1	10.7	18.7	11:10	0.9	8	237.0	0.0	223.6	6.3	66.0	16	WSW
2	11.1	16.4	16:10	7.8	19:40	7.2	0.0	38.0	11.4	53.1	21:50	NNE
3	11.6	16.1	13:10	7.7	0:10	6.8	0.0	5.6	7.9	49.4	13:40	W
4	8.7	12.3	1:50	6.4	5:40	9.7	0.0	10.8	4.8	27.2	1:20	WSW
5	5.9	8.0	15:10	5.6	1:10	13.4	0.0	11.2	5.0	38.6	7:40	WSW
6	8.3	12.4	12:50	4.0	22:20	10.9	0.0	1.8	7.8	30.6	1:20	WSW
7	7.4	11.5	12:50	4.0	22:20	10.9	0.0	13.0	4.0	32.2	23:40	WSW
8	4.9	8.5	16:20	0.9	0:00	13.4	0.0	2.4	8.2	48.3	6:00	NNE
9	10.1	14.6	14:20	1.8	0:10	8.2	0.0	3.0	5.6	48.3	23:40	WSW
10	13.2	16.8	11:40	10.8	23:20	5.2	0.0	4.6	10.9	57.9	6:50	WSW
11	12.4	18.2	12:00	7.7	5:50	8.0	0.0	0.0	2.6	27.4	15:20	SSW
12	11.2	18.6	15:00	5.5	7:10	7.1	0.0	3.2	3.7	45.1	18:10	SSW
13	11.0	12.8	14:30	8.7	3:10	7.3	0.0	38.8	7.4	45.1	7:20	NNE
14	10.9	14.3	12:40	8.7	0:00	7.4	0.0	5.0	4.3	25.7	13:20	WSW
15	9.3	13.2	5:10	5.0	22:00	9.0	0.0	17.6	3.0	59.5	6:30	NNE
16	8.3	10.8	16:10	7.3	5:40	10.1	0.0	4.2	14.0	66.0	3:40	NNE
17	11.6	15.4	13:50	7.9	22:30	6.8	0.0	0.0	6.0	27.4	14:00	WSW
18	10.4	16.5	1:10	5.0	7:50	7.9	0.0	0.0	4.8	29.0	13:00	SW
19	9.4	15.1	15:30	5.5	3:40	8.9	0.0	0.0	3.7	16.1	1:20	SSW
20	10.7	15.2	12:00	6.4	0:10	7.7	0.0	3.8	2.1	12.9	4:10	SSW
21	11.2	16.0	15:20	6.9	5:30	7.1	0.0	2.2	2.7	19.3	13:00	SW
22	10.7	17.0	16:20	5.4	6:30	7.7	0.0	0.0	3.5	16.1	10:20	SSW
23	12.4	18.7	14:10	6.8	6:00	5.9	0.0	0.0	4.2	35.4	15:20	SW
24	11.8	15.9	15:20	9.1	6:50	6.5	0.0	12.4	6.3	40.2	14:10	WSW
25	14.2	18.2	11:00	9.8	00:00	4.2	0.0	10.0	11.4	57.9	9:00	SSW
26	12.0	15.3	15:00	9.5	0:20	6.3	0.0	2.2	7.4	35.4	2:00	WSW
27	11.8	15.2	12:20	9.7	2:00	6.5	0.0	1.2	6.0	25.7	17:10	WSW
28	12.9	17.4	14:20	9.8	2:20	5.4	0.0	0.0	5.1	41.8	11:30	WSW
29	13.1	18.6	15:40	7.4	5:00	5.2	0.0	1.4	4.0	54.7	21:50	SSW
30	12.0	14.6	16:00	10.1	5:50	6.3	0.0	3.4	4.8	27.4	11:00	WSW
31	12.7	15.8	15:00	10.3	6:40	5.7	0.0	8.0	8.4	40.2	8:40	W
	10.7	18.7	23	0.9	8	237.0	0.0	223.6	6.3	66.0	16	WSW

Ανεμολογικά δεδομένα

```
for i=2011:2018
    for j=1:12
        urlstr=['http://meteo.search.meteo.gr/data/chaniacenter/', num2str(i),'-',...
num2str(j,'%02.f'),' .txt'];
        filstr=[num2str(pwd), '\chaniacenter\', num2str(i),'-', num2str(j,'%02.f'),' .txt'];
        urlwrite(urlstr, filstr)
    end
end
```

Από – έως – ολόκληρα χρόνια

12 μήνες

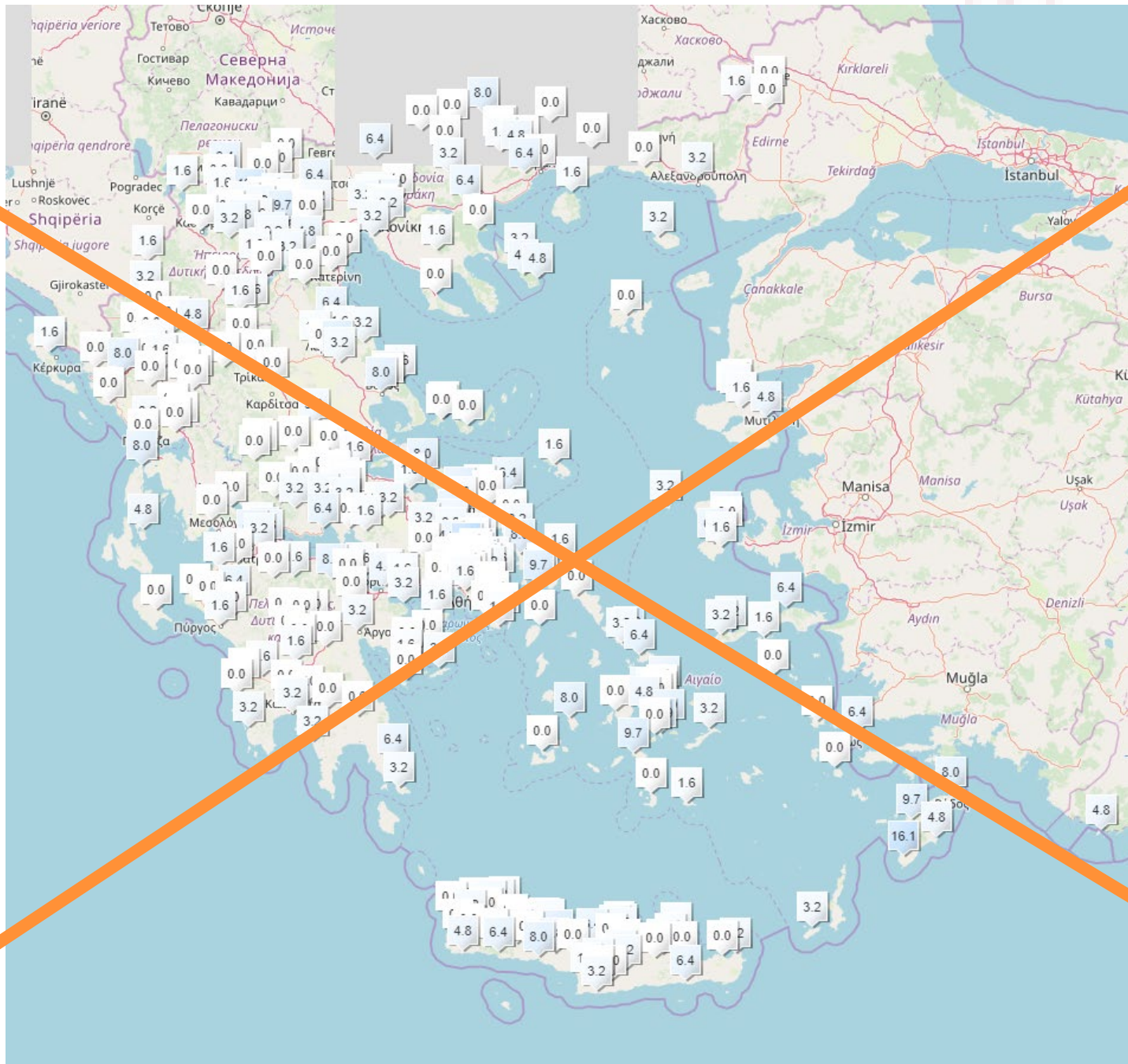
link

Εδώ θα αποθηκευτούν τα δεδομένα

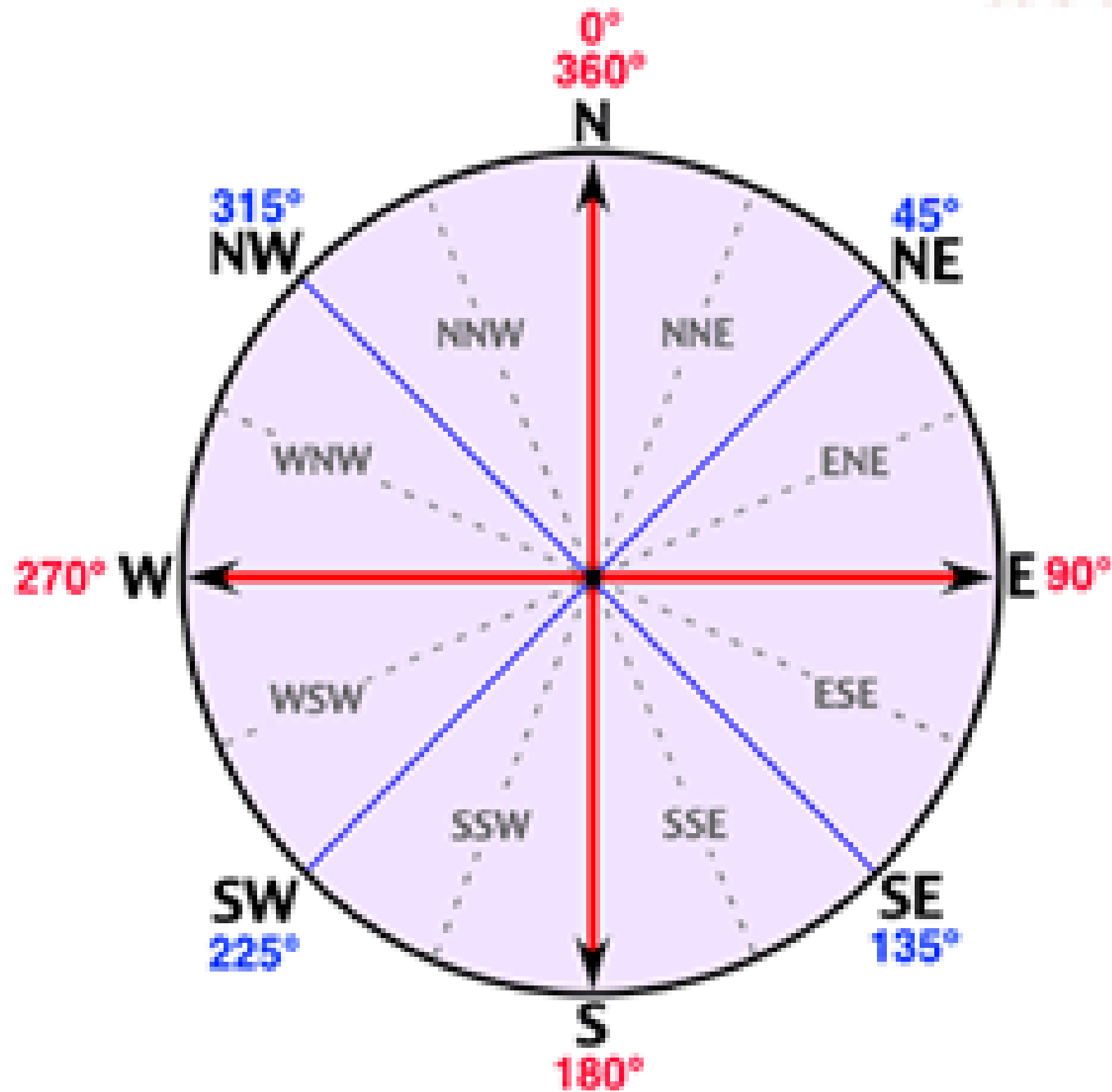
Αποθήκευση

Διαθέσιμοι σταθμοί

<https://www.meteo.gr/Gmap.cfm>



Διευθύνσεις ανέμου (16)



Μέση διάρκεια πνοής ανέμου:

AutoSave On Διάρκεια πνοής ανέμου.xlsx - Saved

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Acrobat

Clipboard Font Alignment Number Styles

K7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	ΒΗΜΑ 1) PASTE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΩΝ ΕΔΩ:								ΒΗΜΑ 2) ΔΩΣΤΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΕΔΩ:						
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28															

DO NOT TOUCH

1 E 1

2 E 2

3 E 3

4 E 4

5 WSW 5

6 ENE 6

7 W 7

8 E 8

9 E 9

10 NNW 10

11 WSW 11

12 WSW 12

13 E 13

14 ESE 14

15 ENE 15

16 S 16

17 WSW 17

18 SW 1 1 1

19 WSW 1

20 SSE 2

21 E 3

22 WSW 4

23 WSW 5

24 S 6

Η μέση διάρκεια πνοής του SW ανέμου είναι : 1.24 ΗΜΕΡΕΣ

Sheet2

Επιλογή παραλίας – Ομάδα εργασίας

- Θα πρέπει να υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός κοντά με λειτουργία ~5 έτη και άνω.
- Πρέπει να υπάρχουν στοιχεία για την κοκκομετρία του υλικού της παραλίας για τον υπολογισμό της στερεομεταφοράς – άρα είτε ίδια άποψη, είτε βιβλιογραφική ή online αναφορά ή σχετικό φωτογραφικό υλικό κλπ.
- Κάθε ομάδα θα προτείνει μια παραλία (email) ποιος σταθμός την αντιπροσωπεύει και τι απόσταση έχει από την παραλία.



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Παράκτια ρεύματα

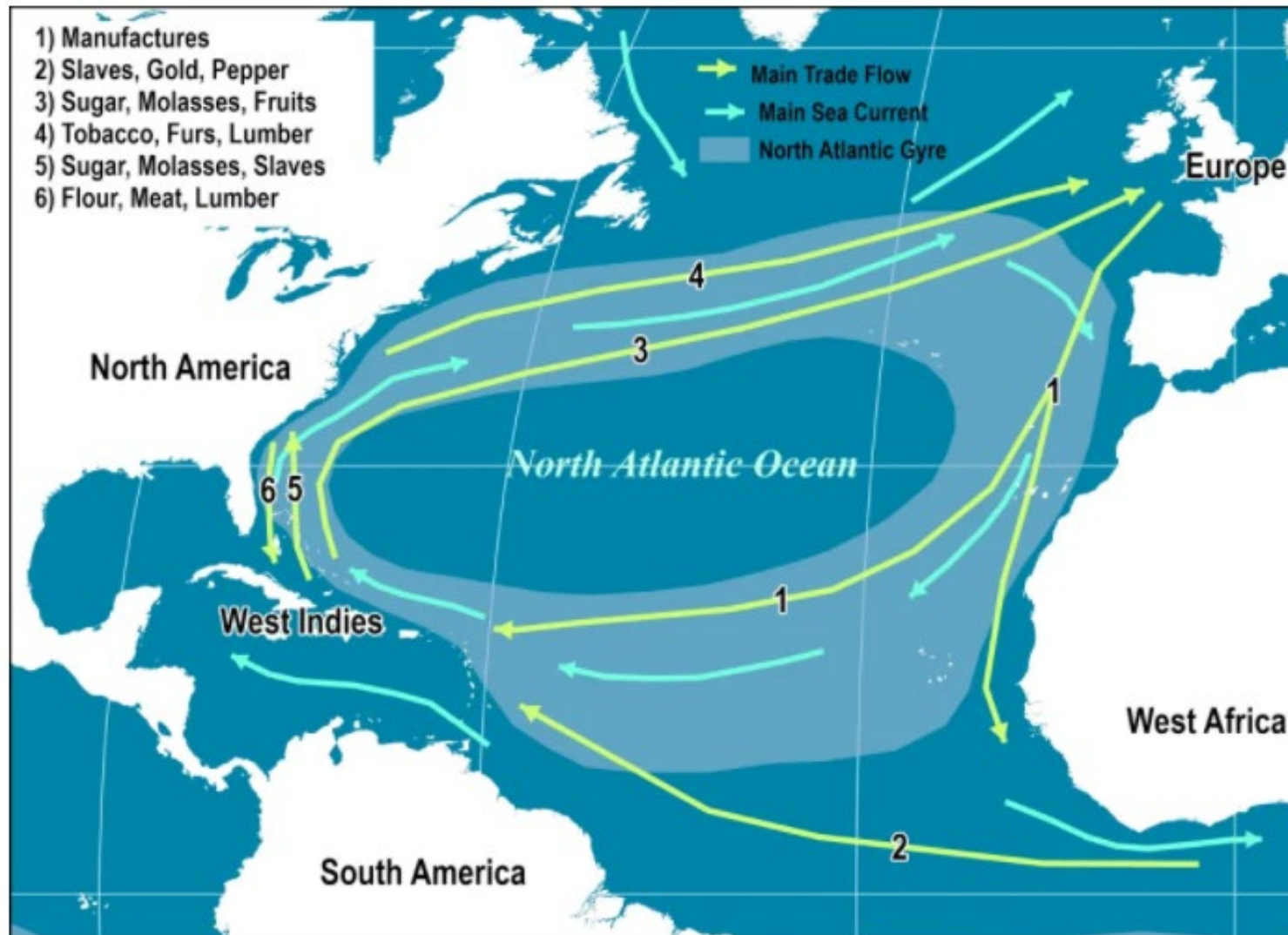
Θαλάσσια Ρεύματα

- Οι θαλάσσιες μάζες βρίσκονται σε άεναη κίνηση και ταλάντωση όπου:
 - Σπάνια ακινητοποιούνται
 - Σπάνια οι κινήσεις μονιμοποιούνται
- Προκαλούν:
 - Μεταφορά μάζας και διαλυμένων ρυπαντών (παράγοντας ανανέωσης/ρύθμισης ποιότητας)
 - Μεταφορά ιζήματος
 - Αλλαγή στη μέση στάθμη της θάλασσας

Θαλάσσια Ρεύματα

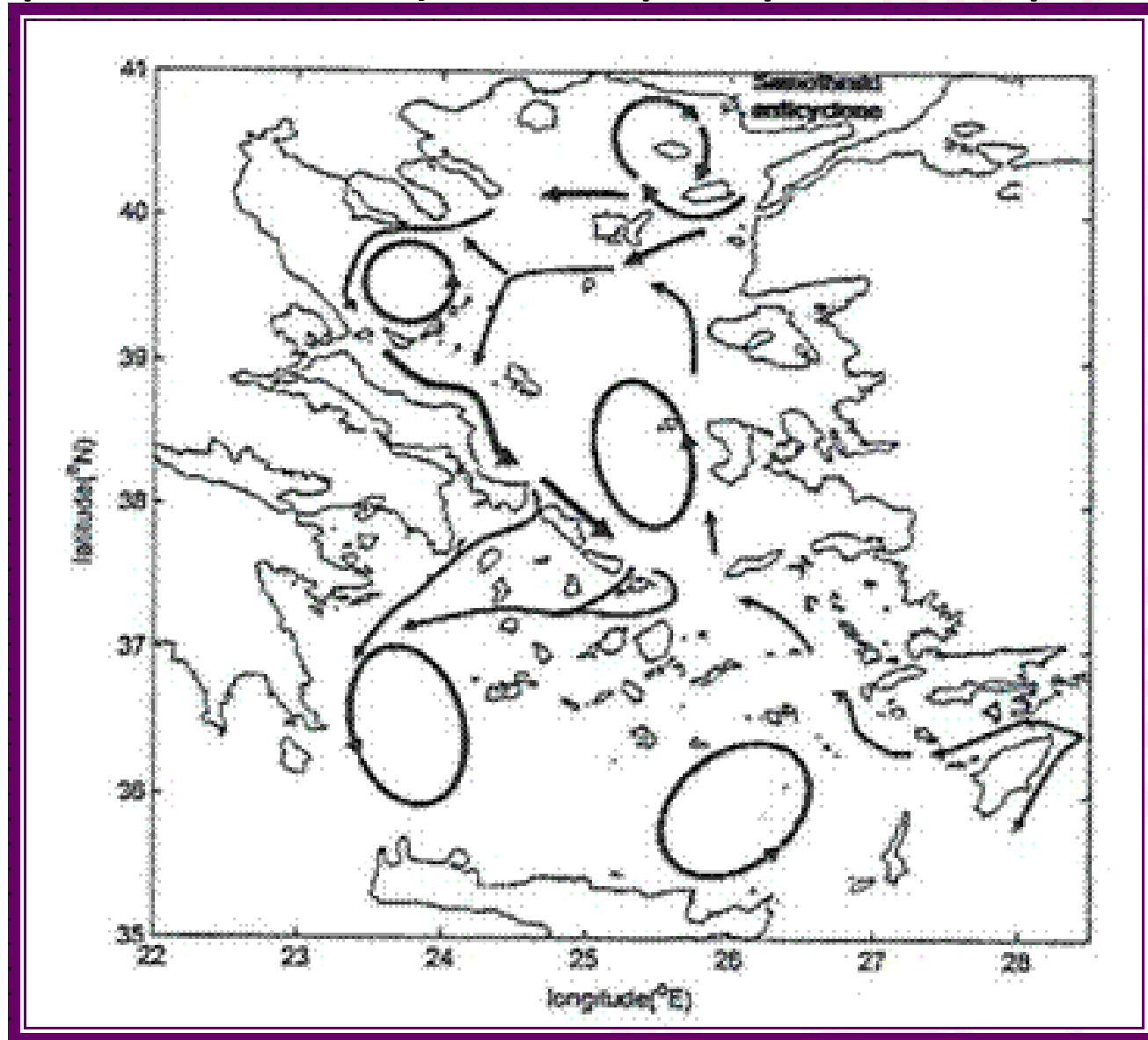
- Περιγράφονται και ως «ποτάμια μέσα στη θάλασσα»

18th Century



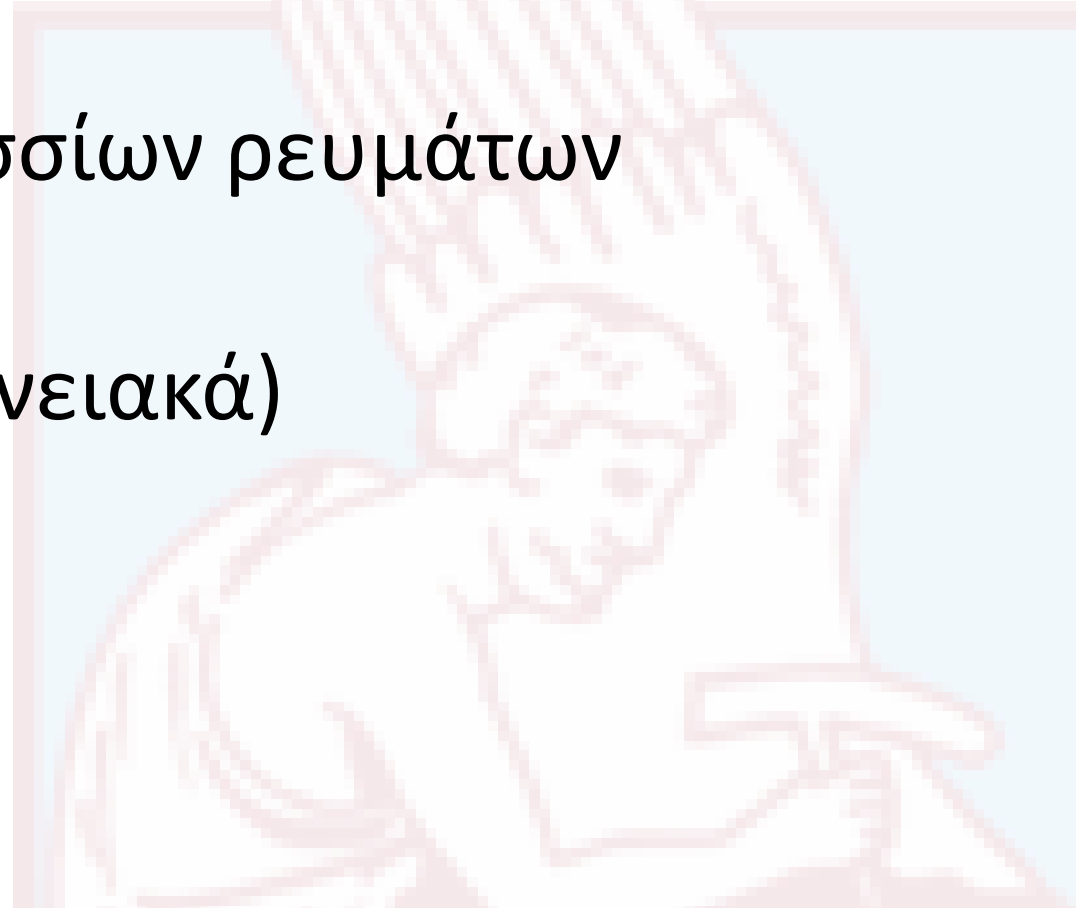
Θαλάσσια Ρεύματα

- Περιγράφονται και ως «ποτάμια μέσα στη θάλασσα»



Θαλάσσια Ρεύματα

- Περιγράφονται και ως «Μεταφορικός ιμάντας» λόγω μεταφοράς μάζας, θερμότητας, διαλυμένων συστατικών
- Δύο βασικοί τύποι θαλασσίων ρευμάτων
 - επιφανειακά
 - Βαθιά (ή υποεπιφανειακά)



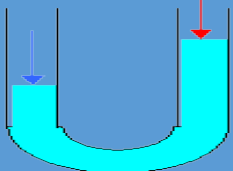
Θαλάσσια Ρεύματα – φυσικά αίτια



1. Άνεμος



2. Παλίρροιες



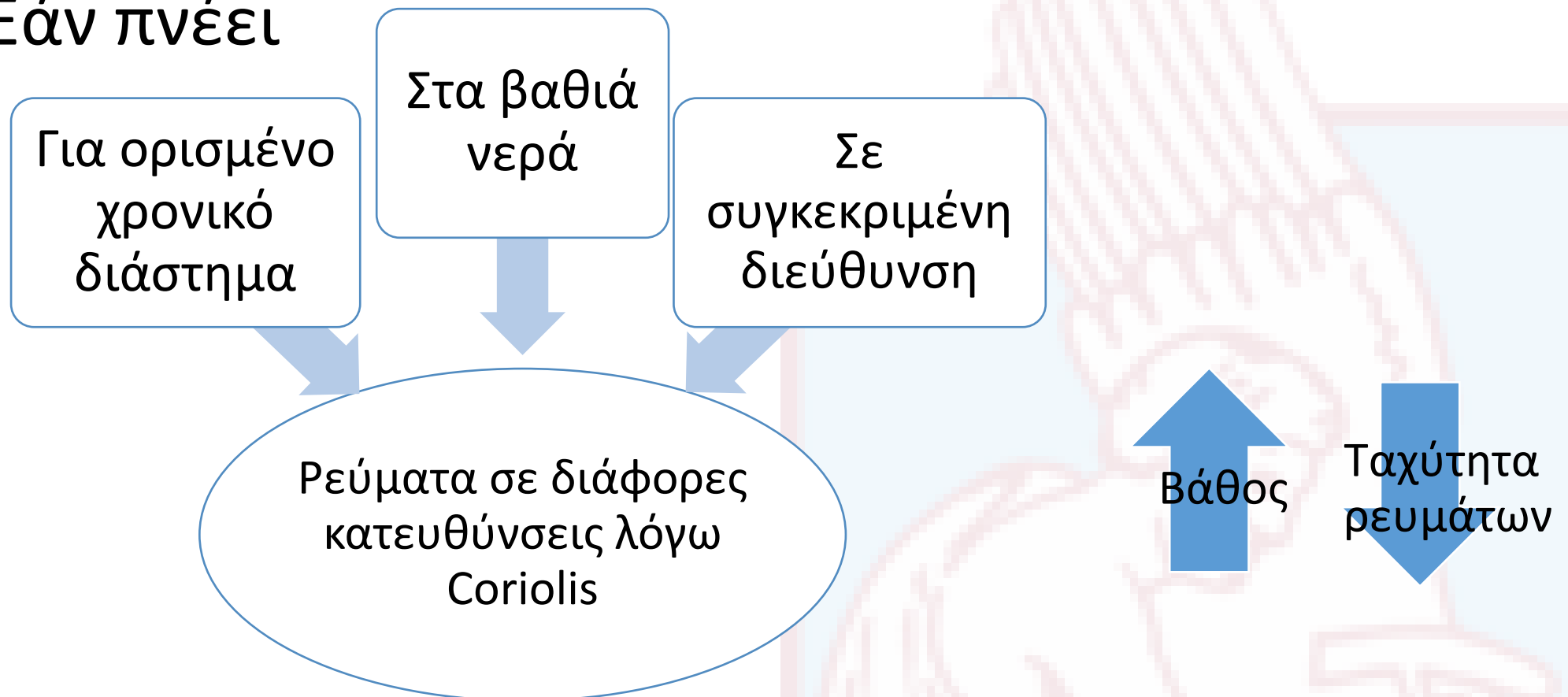
3. Διαφορές Υδροστατικής Πίεσης



4. Περιστροφή της Γης

1. Άνεμος

- Θαλάσσια επιφανειακά ρεύματα
 - Παράλληλα στη διεύθυνση πνοής του
- Εάν πνέει



2. Παλίρροιες

Φυσικό φαινόμενο της περιοδικής ανόδου και καθόδου της στάθμης του νερού

- Η άνοδος της στάθμης ονομάζεται **πλημμυρίδα** (flood tide)
- Η κάθοδος ονομάζεται **άμπωτη** (ebb ή low tide)

παλίρροια

μέγιστο "ημερήσιο" ύψος: **πλήμμη** (high water)
μικρότερο "ημερήσιο" ύψος: **ρηχία** (low water)

Εύρος παλίρροιας

Διάρκεια μεταξύ διάβασης σελήνης από το ίδιο σημείο: 24ω50λ

Διάρκεια μεταξύ μεταξύ πλήμμης και ρηχίας: 12ω25λ

2. Παλίρροιες

Δημιουργούν ρεύματα

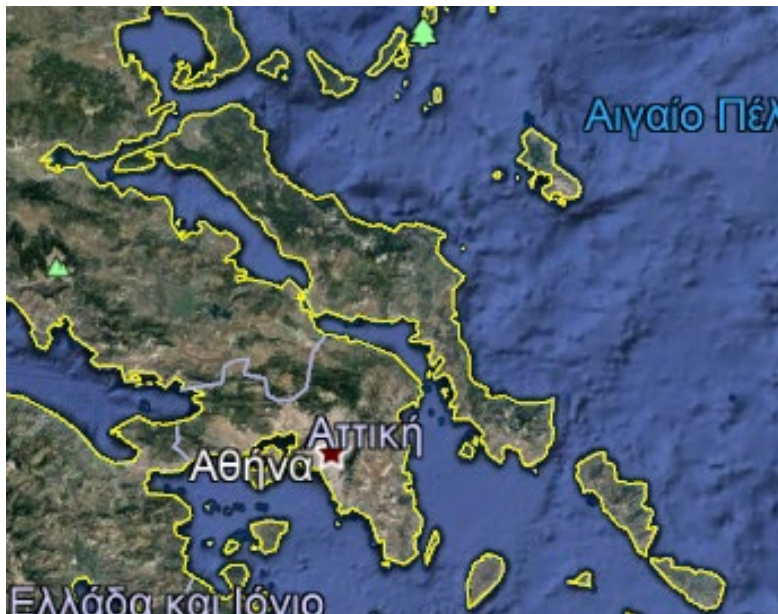
- μπορεί να προκαλέσουν πολύ ισχυρά ρεύματα κατά τις φάσεις της άμπωτης και της πλημμυρίδας



Ελέγχονται από

- μέση κλίση πυθμένα,
- πυκνότητα νερού,
- τραχύτητα του πυθμένα (βάθη $< 10\text{m}$),
- δύναμη Coriolis (βάθη $> 10\text{m}$)

2. Παλίρροιες



<https://www.eviagreece.gr/item/fainomeno-evripou/>

3. Διαφορές υδροστατικής πίεσης

Διαφορετικές
πυκνότητες λόγω
διαφοράς

Θερμοκρασίας

Αλατότητας

Περιεκτικότητας
σε ίζημα

επιφανειακό στρώμα υψηλής
πυκνότητας (ψυχρό νερό)

από κάτω στρώμα μικρότερης
πυκνότητας (ψυχρότερο νερό)

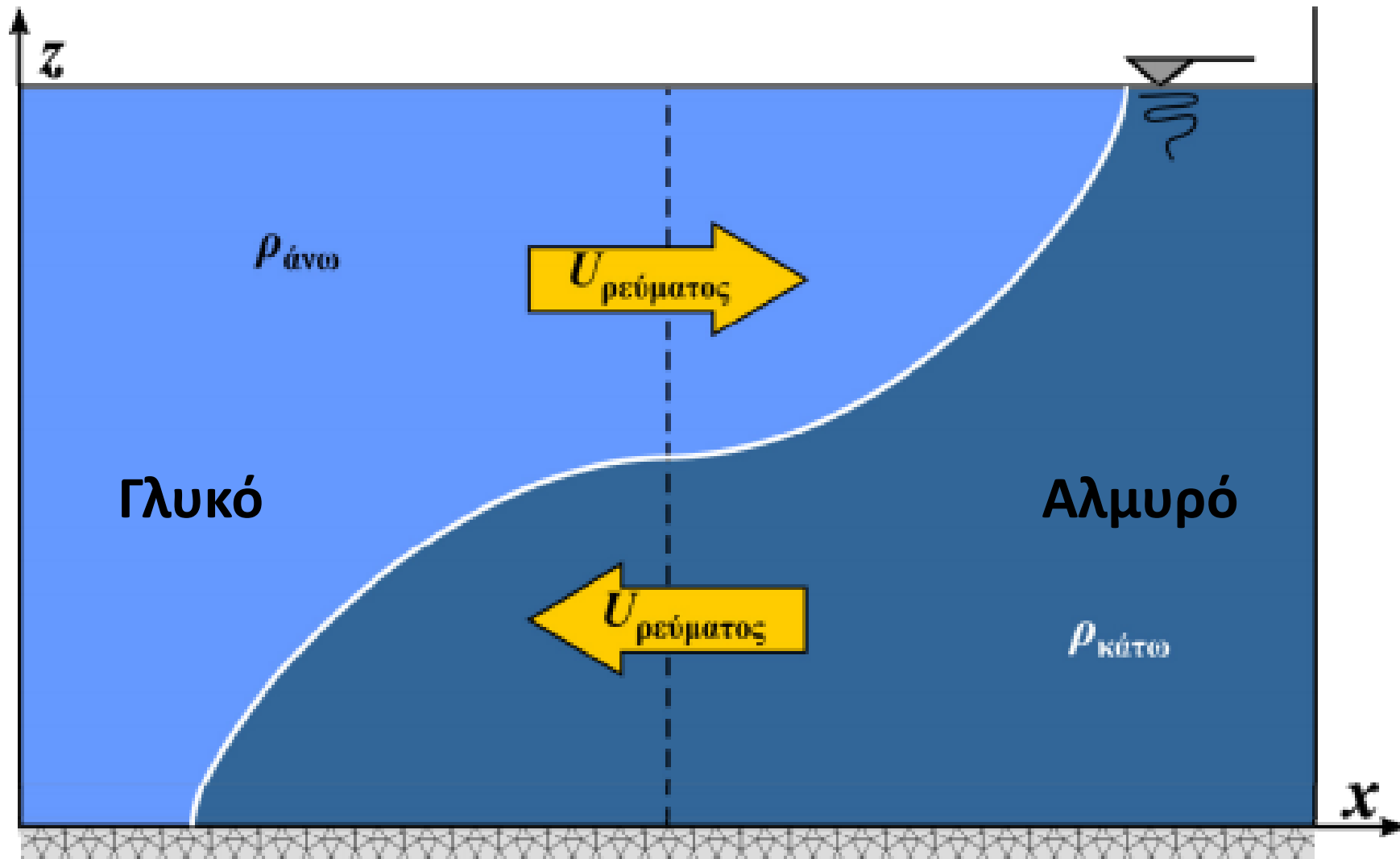
ποτάμιες απορροές

γλυκό νερό πυκνότητας
(1000 kg/m³)

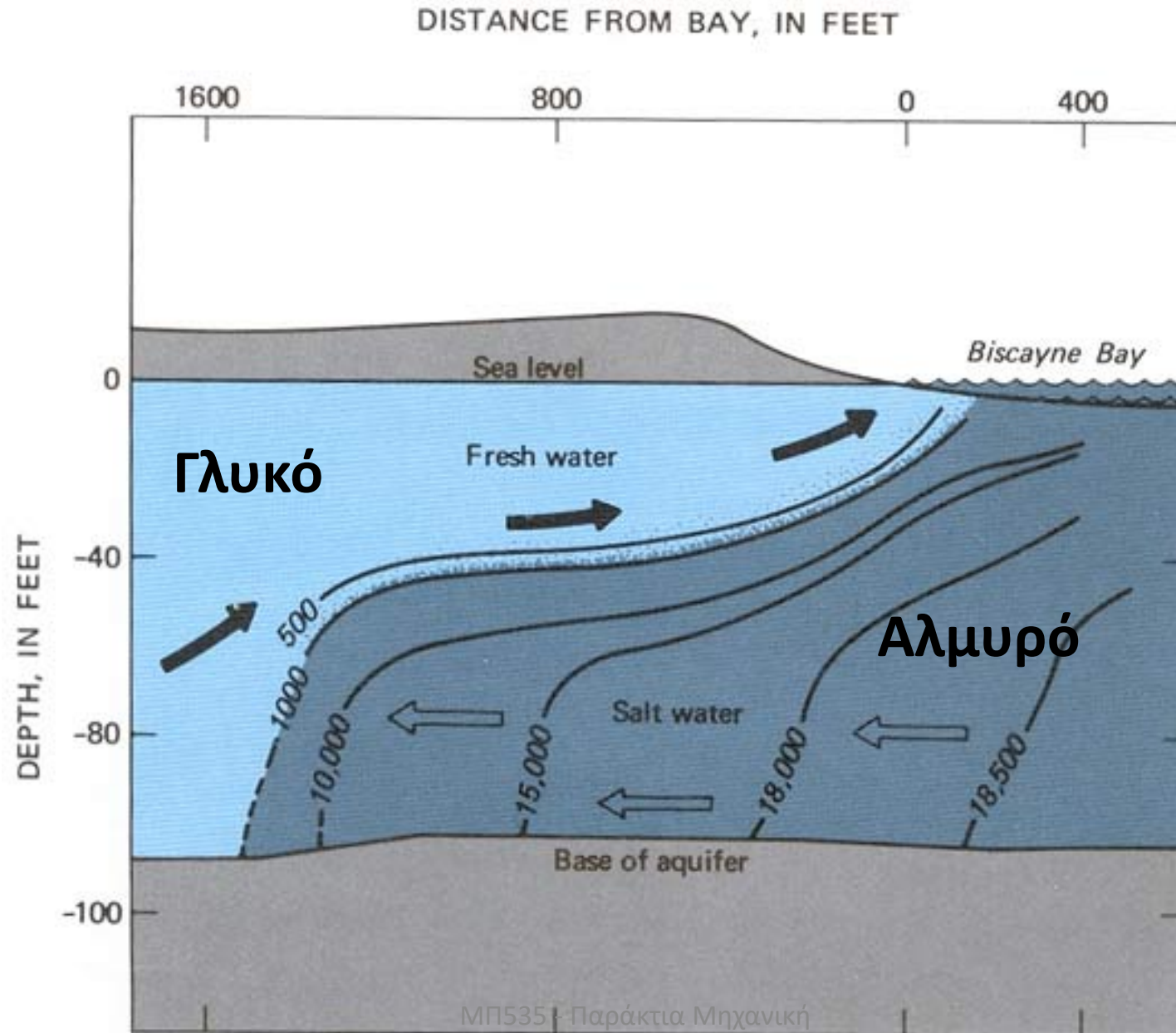
συναντά

θαλασσινό νερό
(1024- 1027 kg/m³)

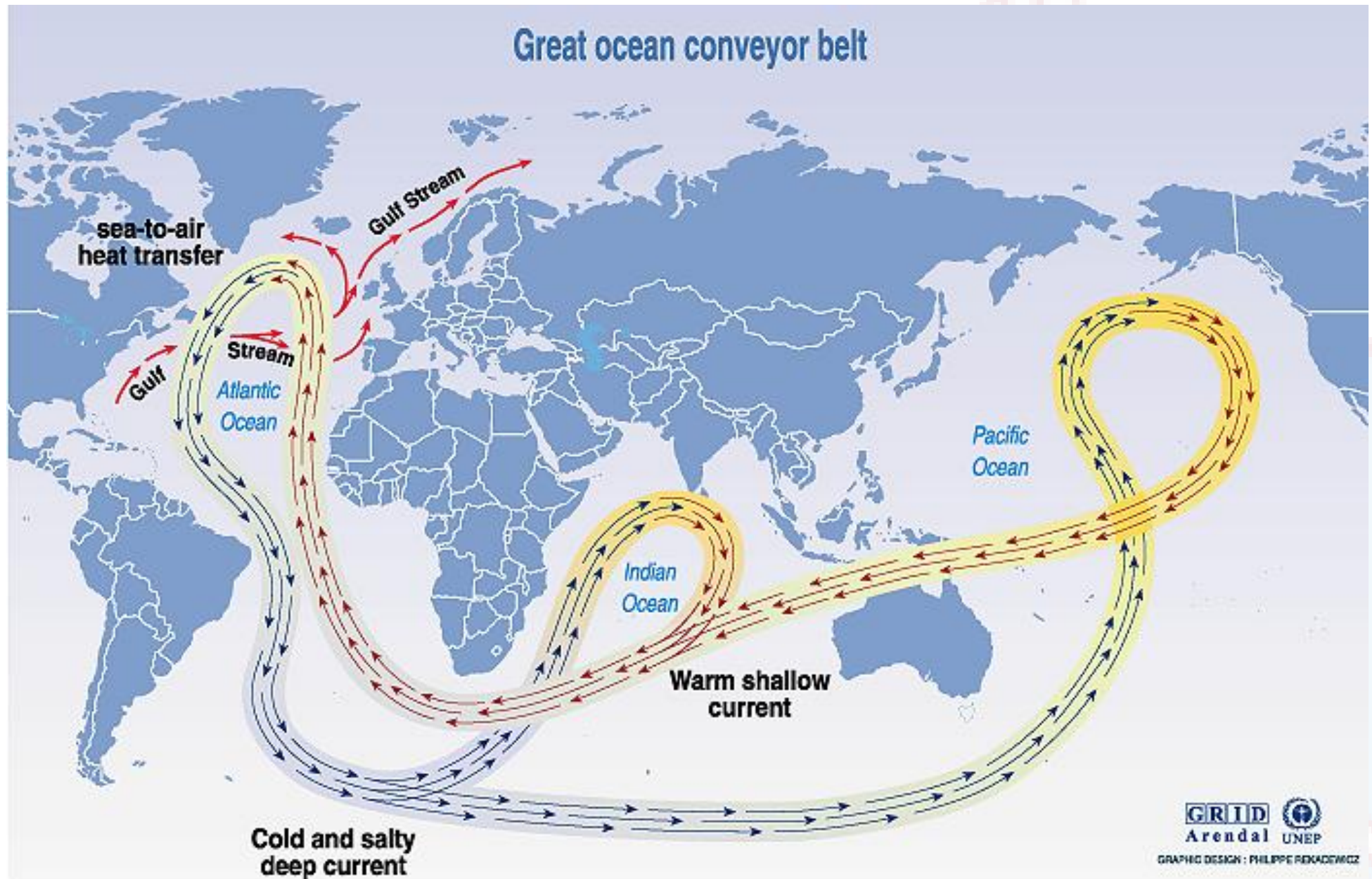
Ανάμιξη Γλυκού-Αλμυρού (ή ζεστού κρύου) νερού



Ανάμιξη Γλυκού-Αλμυρού (ή ζεστού κρύου) νερού



Κίνηση λόγω διαφοράς θερμοκρασίας+



Source: Broecker, 1991, in Climate change 1995, Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, contribution of working group 2 to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change, UNEP and WMO, Cambridge press university, 1996.

4) Περιστροφή της Γης - Coriolis

Επηρεάζει θαλάσσια ρεύματα
σε υφαλοκρηπίδες και
ανοιχτούς ωκεανούς

- Στο βόρειο ημισφαίριο
η δύναμη Coriolis
εκτρέπει την πορεία
διάδοσης των ρευμάτων
προς τα δεξιά ενώ στο
νότιο ημισφαίριο προς
τα αριστερά

Επίδραση δύναμης Coriolis
στα θαλάσσια ρεύματα



4) Περιστροφή της Γης - Coriolis

Η γεωστροφική ισορροπία απαιτεί την ισορροπία μεταξύ της δύναμης Coriolis και της δύναμης της βαθμίδας πίεσης.

Η ταχύτητα του γεωστροφικού ρεύματος (ρεύμα που προκαλείται ΜΟΝΟ από τη δύναμη coriolis) δίνεται από τις παρακάτω εξισώσεις για τις δύο οριζόντιες κατευθύνσεις:

$$u = -\frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial y}$$

$$v = \frac{g}{f} \frac{\partial \zeta}{\partial x}$$

Όπου

$f=2\omega \sin\varphi$ (συντελεστής Coriolis) και ω ταχύτητα περιστροφής

φ = γεωγραφικό πλάτος

ζ = διαφορά στάθμης

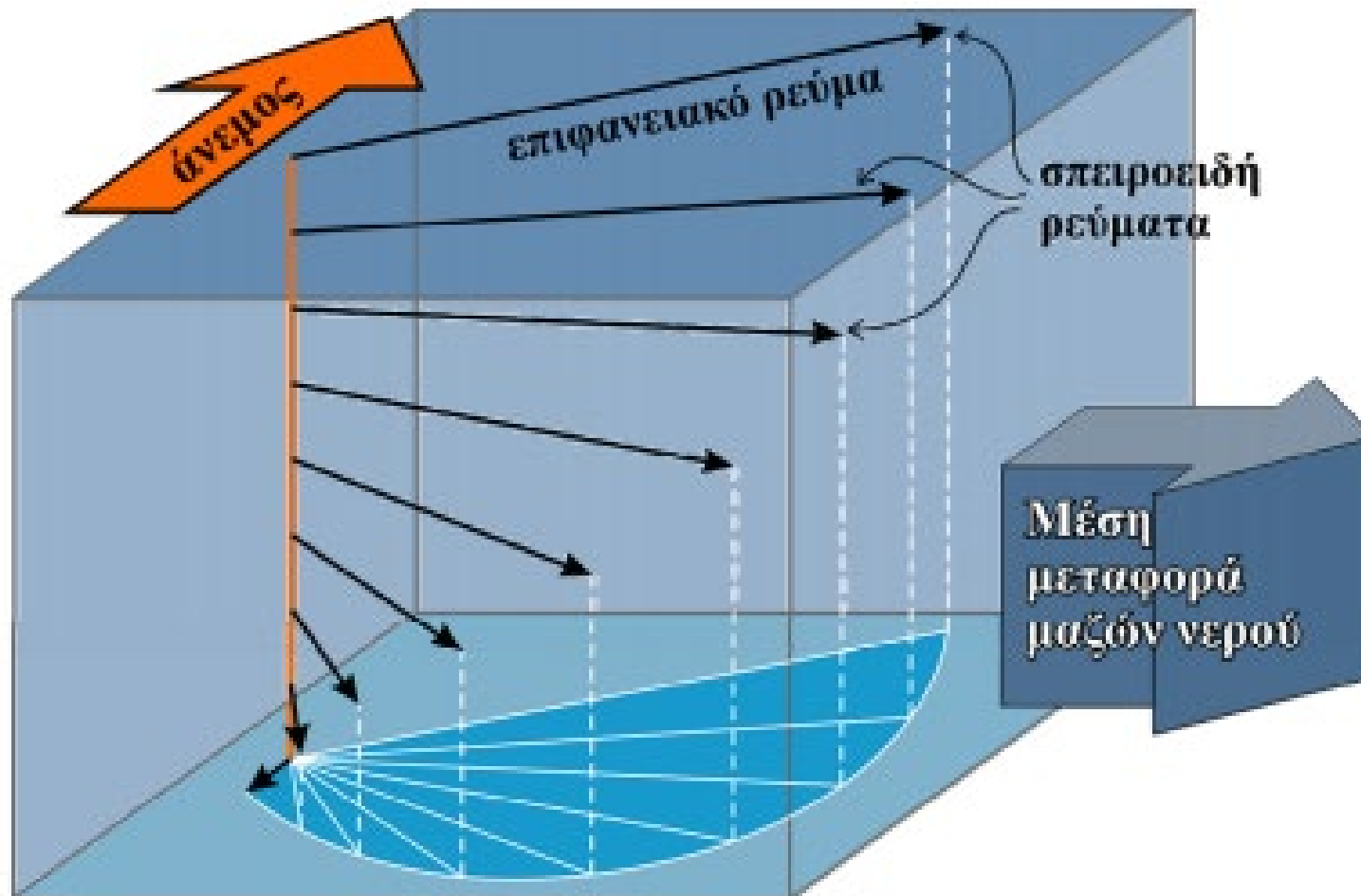
y = απόσταση

4) Περιστροφή της Γης - Coriolis

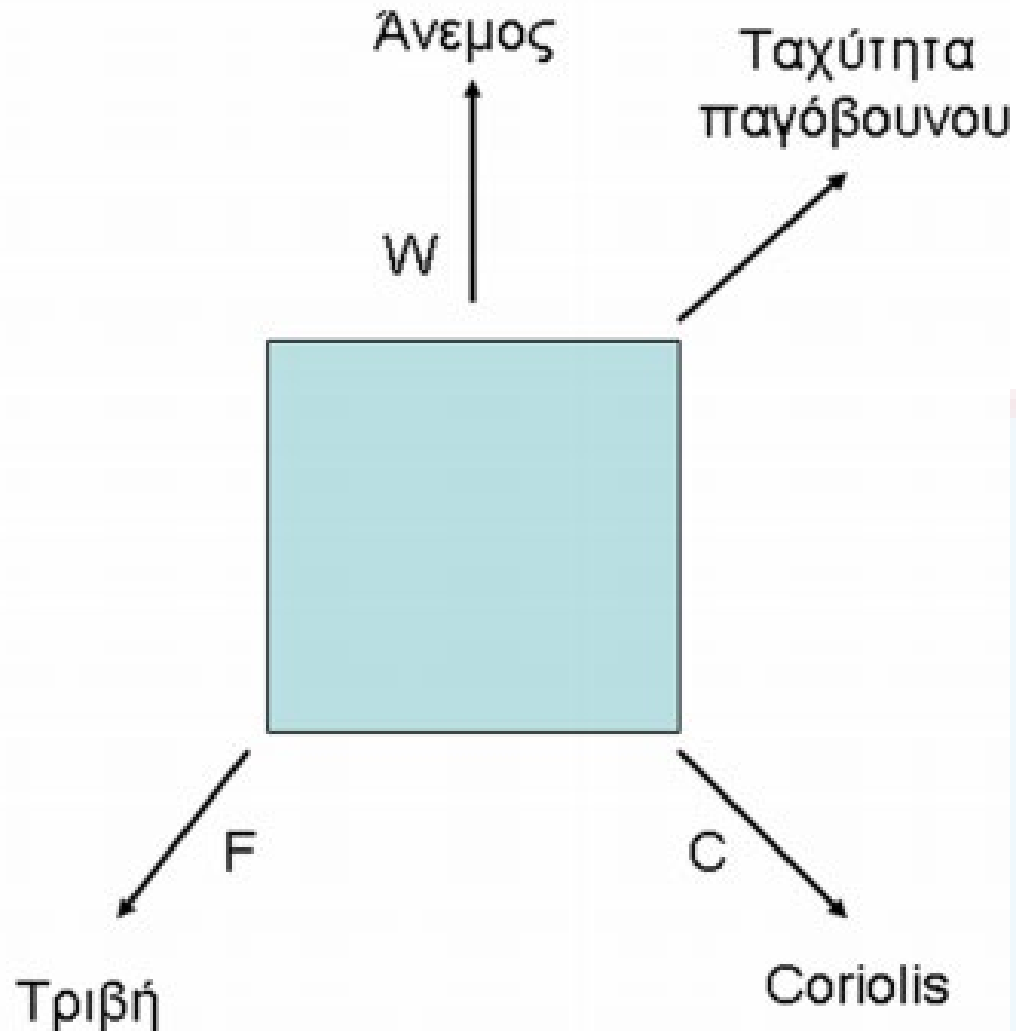
Οι γεωστροφικές εξισώσεις ισχύουν κάτω από τις παραδοχές:

- Η ροή είναι μόνιμη ($\partial u / \partial t = \partial v / \partial t = 0$).
- Η μόνη εξωτερική δύναμη είναι η βαρύτητα.
- Η τριβή είναι αμελητέα

Φαινόμενο Ekman



Φαινόμενο Ekman

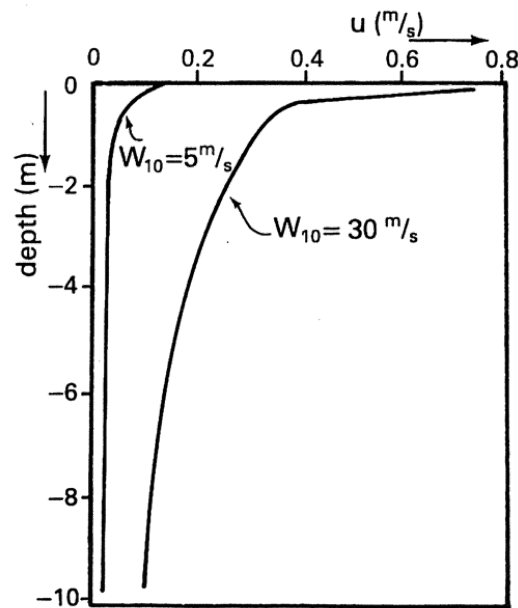


Ο Ekman (1905) διατύπωσε τη θεωρία σχετικά με τη δημιουργία των ανεμογενών ρευμάτων στην προσπάθειά του να εξηγήσει το γεγονός ότι τα παγόβουνα στην περιοχή του Αρκτικού Ωκεανού δεν κινούνται στη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου, αλλά σε διεύθυνση που σχηματίζει γωνία $20-40^\circ$ δεξιά από αυτήν.

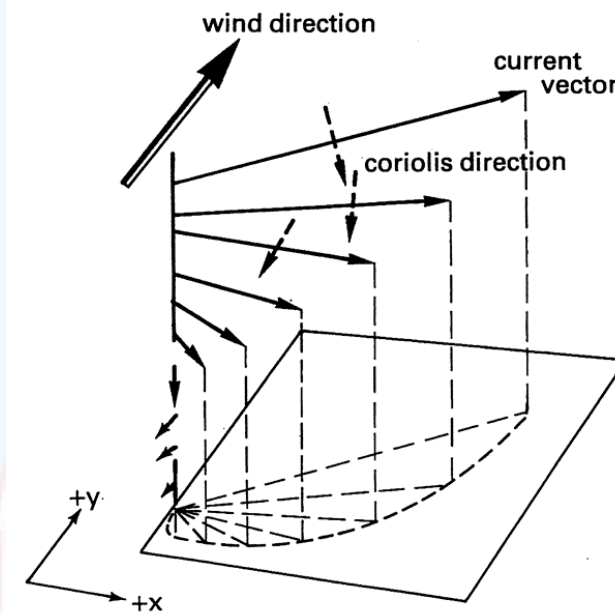
Φαινόμενο Ekman

- Ιδανικές συνθήκες μακριά από ακτές & ικανοποιητική διάρκεια πνοής στην ίδια κατεύθυνση
- Στο βόρειο ημισφαίριο δημιουργεί μετακίνηση των νερών προς τα δεξιά της κατεύθυνσης
- Στα ρηχά νερά η σπείρα Ekman αλλάζει μορφή λόγω της ύπαρξης βαθμίδων πίεσης από τις μεταβολές της θαλάσσιας επιφάνειας

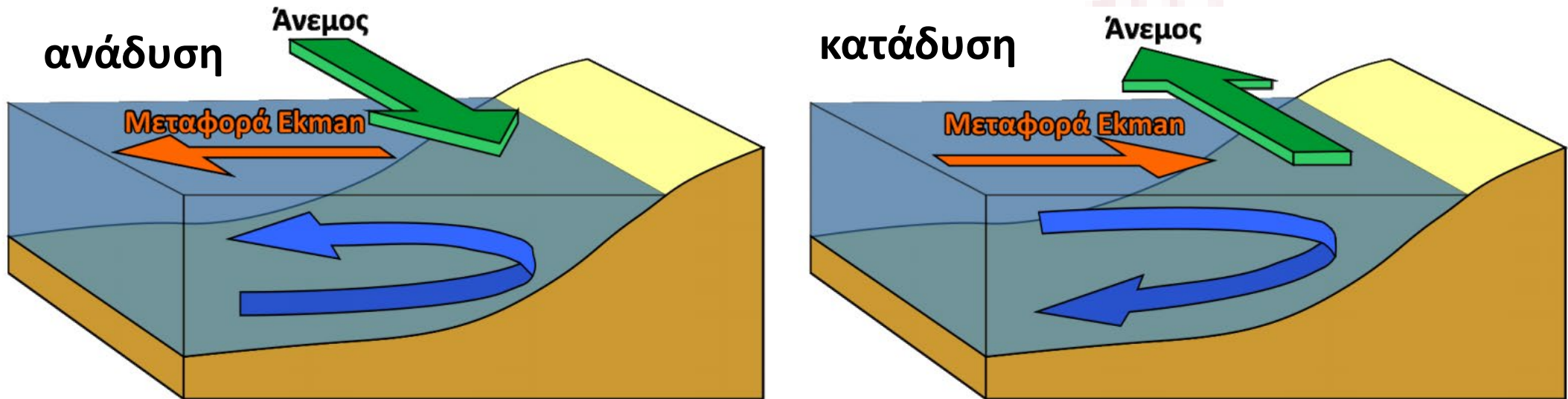
Ταχύτητα ρεύματος σε βαθιά νερά



Σπείρα Ekman



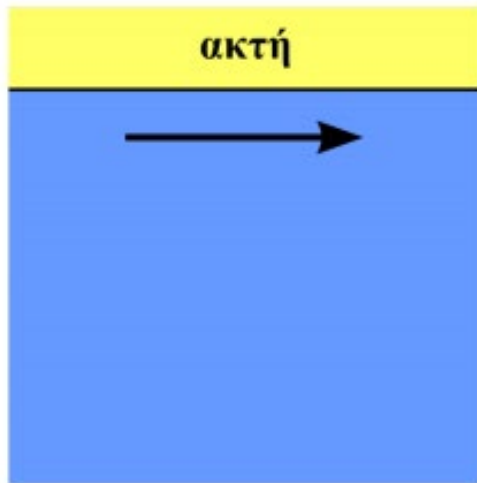
Φαινόμενο Ekman - Παράκτια ανάδυση



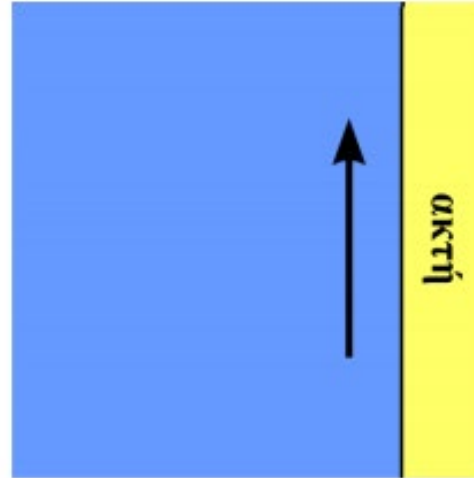
- Πνοή ανέμων παράλληλα με την ακτογραμμή προκαλείται κίνηση των επιφανειακών νερών.
- Επιτρέπει την ανάδυση και συνήθως πυκνότερων νερών, τα οποία αντικαθιστούν τα απομακρυνόμενα νερά στα επιφανειακά στρώματα της θάλασσας.
- Τα βαθύτερα νερά, έχουν διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. χαμηλότερες θερμοκρασίες), βιοχημικά χαρακτηριστικά, όπως είναι η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά καθορίζοντας την πρωτογενή παραγωγή της παράκτιας ζώνης. .
- Το 25% της παγκόσμιας αλιείας λαμβάνει χώρα σε περιοχές παράκτιας ανάδυσης, οι οποίες καταλαμβάνουν μόνο το 5% του παγκόσμιου ωκεανού.

Φαινόμενο Ekman - Παράκτια ανάδυση

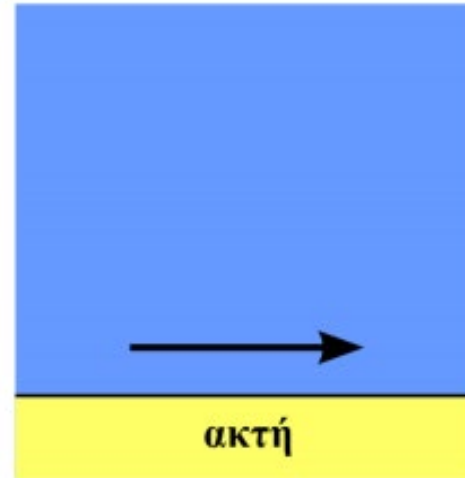
“Τα παρακάτω σχήματα αφορούν ακτές μεγάλου μήκους στο **νότιο** ημισφαίριο που βρίσκονται κάτω από την επίδραση ανέμων με διεύθυνση που συμβολίζεται με το βέλος. Εκτιμήστε αν οι παράκτιες ζώνες πλεονεκτούν για αλιεία ή όχι”.



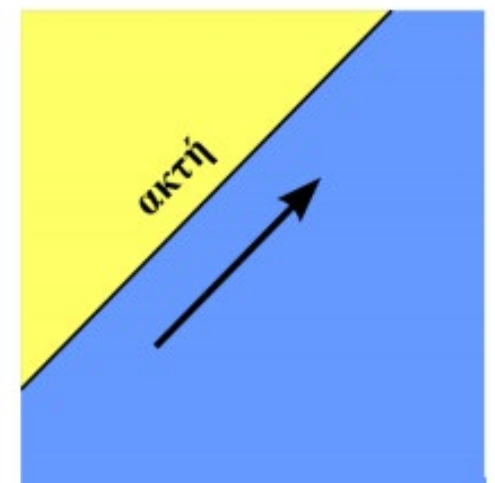
(Α)



(Β)



(Γ)

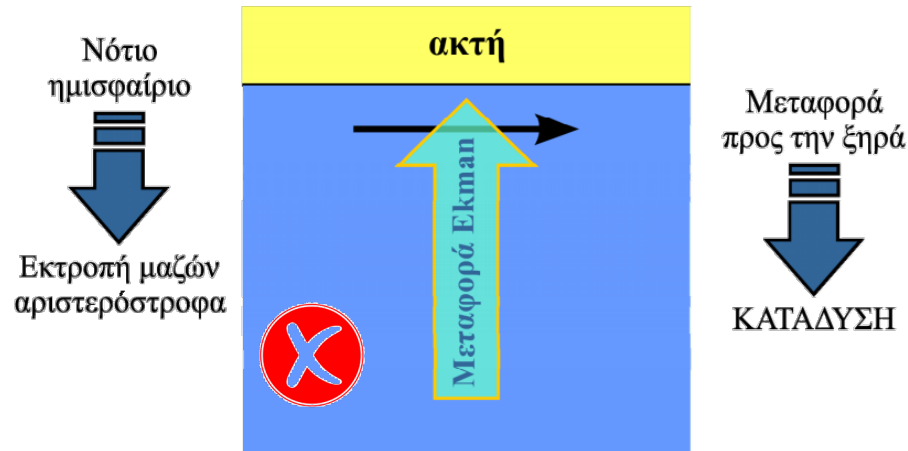


(Δ)

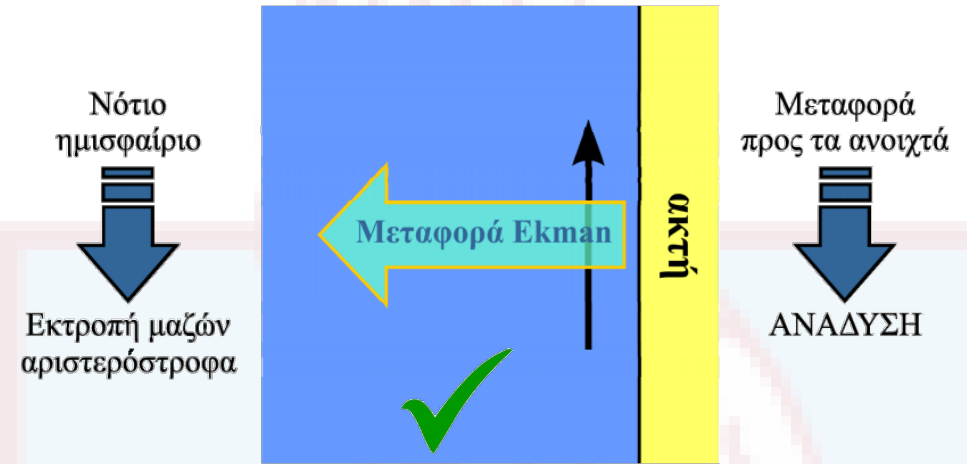
Φαινόμενο Ekman - Παράκτια ανάδυση

“Τα παρακάτω σχήματα αφορούν ακτές μεγάλου μήκους στο νότιο ημισφαίριο που βρίσκονται κάτω από την επίδραση ανέμων με διεύθυνση που συμβολίζεται με το βέλος. Εκτιμήστε αν οι παράκτιες ζώνες κατάλληλες για αλιεία ή όχι”.

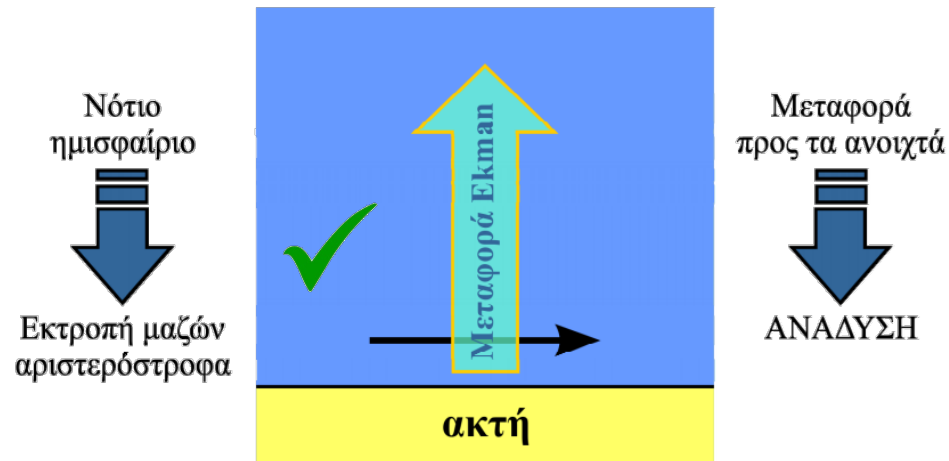
(Α) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με δυτικό άνεμο



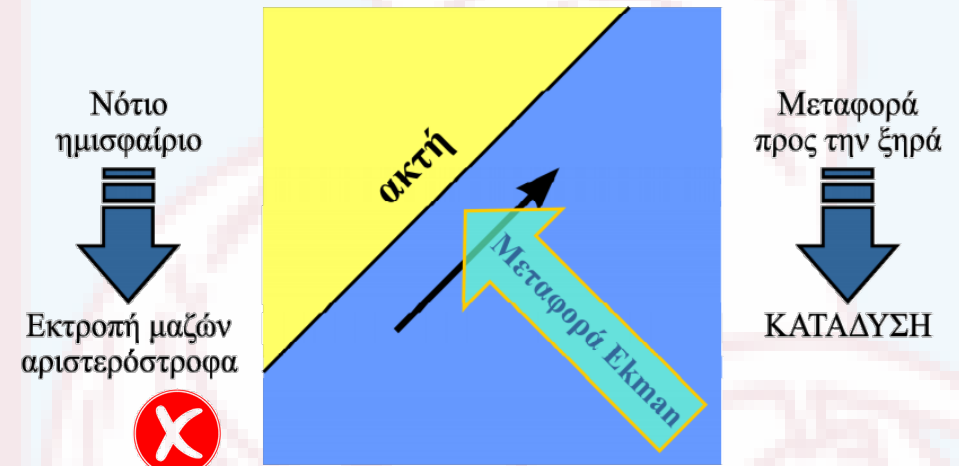
(Β) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με νότιο άνεμο



(Γ) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με δυτικό άνεμο



(Δ) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με νοτιοδυτικό άνεμο



Κυματογενή Ρεύματα

Η απώλεια της ενέργειας των κυματισμών, κυρίως λόγω της **θραύσης** τους, σε συνδυασμό με την επίδραση των φαινομένων της **διάθλασης** και **περίθλασης**, έχει ως επακόλουθο τη δημιουργία παράκτιων κυματογενών ρευμάτων.

Παράκτια Κυματογενή Ρεύματα

- Στην ζώνη θραύσης, το σύνολο από κινήσεις από διαφορετικές διεργασίες συνθέτουν το ολικό ρεύμα u :
- Σύνθεση των παρακάτω συνιστωσών

$$u = u_w + u_t + u_a + u_o$$

- όπου
 - u_w το σταθερό ρεύμα λόγω θραυόμενων κυματισμών,
 - u_t το παλιρροιακό ρεύμα,
 - u_a το ανεμογενές ρεύμα **(ρεύμα – όχι κύμα)**
 - u_o οι ταλαντευόμενες ροές λόγω ανεμογενών κυματισμών (κυκλική κίνηση νερού λόγω κυματισμού)
- Κυριαρχούν τα ρεύματα από θραύση κυματισμών
 - Μεταφέρουν σημαντικές ποσότητες θαλάσσιας μάζας και
 - Καθοριστικό ρόλο σε μεταφορά & διασπορά ιζηματος & ρυπαντών

Μορφές Παράκτιων Κυματογενών Ρευμάτων

Επιμήκη ρεύματα
(longshore currents)

Ρεύματα διαφυγής
(rip currents)

Αντιρρεύματα /
εγκάρσια ρεύματα
(undertows / cross-
shore currents)

Κυρίαρχος μηχανισμός
γένεσης

Θραύση
κυματισμών

Δευτερεύουσας σημασίας
η συνεισφορά δυνατών
τοπικών ανέμων

Μορφές Παράκτιων Κυματογενών Ρευμάτων

Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

- μεγάλη γωνία πρόσπτωσης

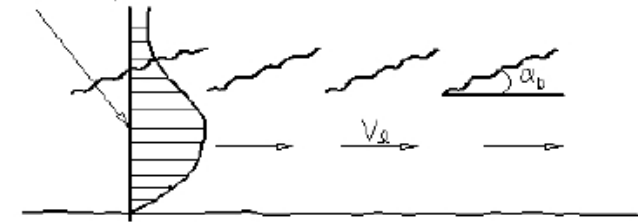
Συμμετρικό κυτταρικό σύστημα κυκλοφορίας

- κάθετη πρόσπτωση κυματισμών

Ασύμμετρο κυτταρικό σύστημα κυκλοφορίας

- μικρή γωνία πρόσπτωσης

TYPICAL CURRENT DISTRIBUTION (PLANE BEACH)



A. OBLIQUE (α_b LARGE)



Ρεύματα διαφυγής

B. NORMAL ($\alpha_b \sim 0$)

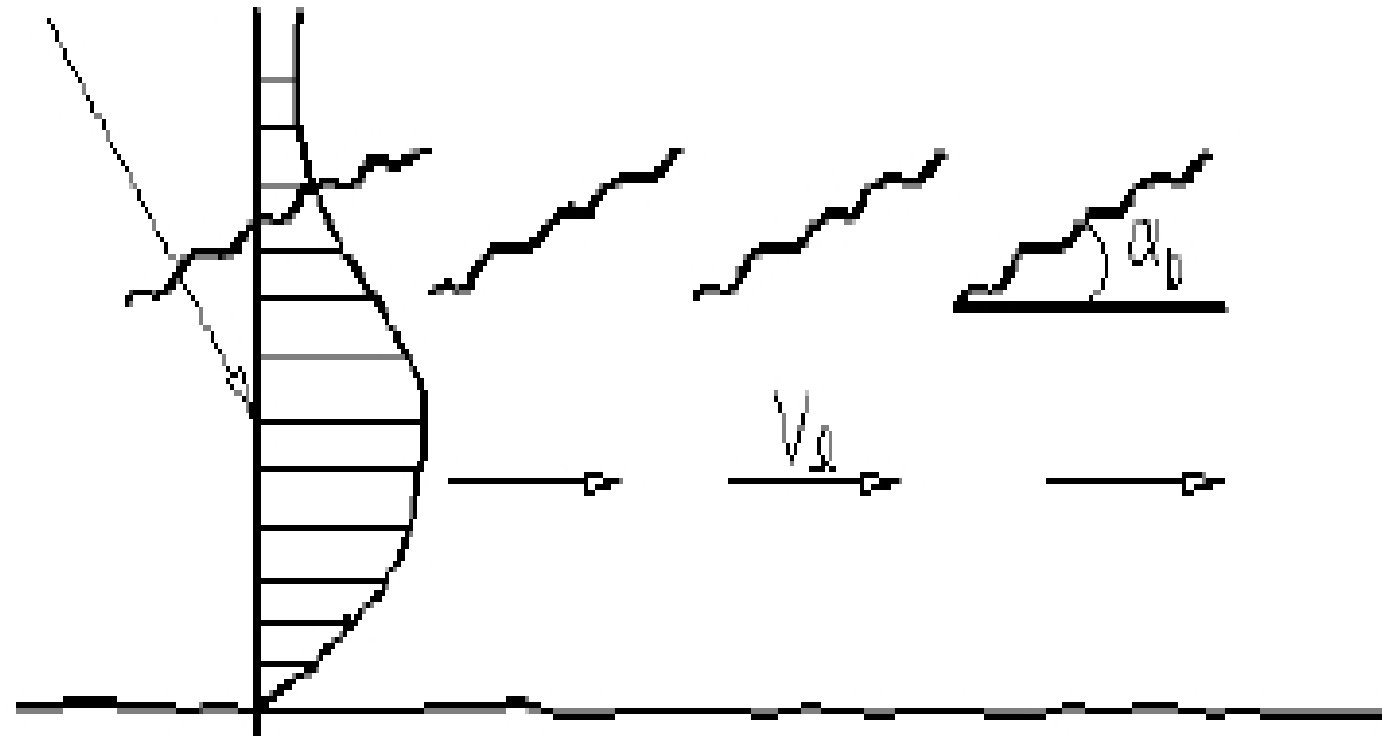


Ρεύματα διαφυγής

C. SLIGHTLY OBLIQUE (α_b SMALL)

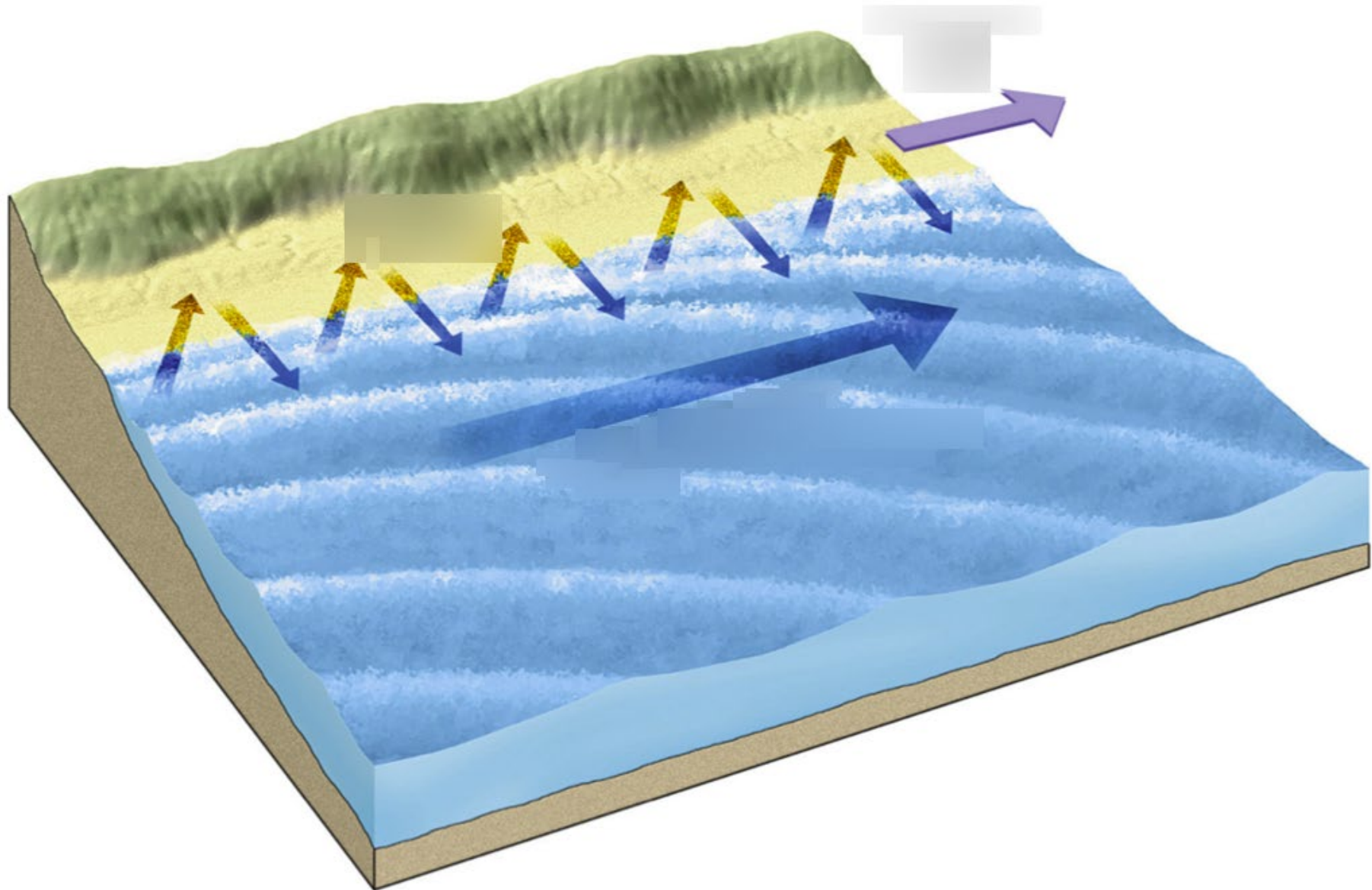
Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

TYPICAL CURRENT
DISTRIBUTION
(PLANE BEACH)



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

Longshore current



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

Longshore current



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

(not so) **longshore current**



Επιμήκη Ρεύματα

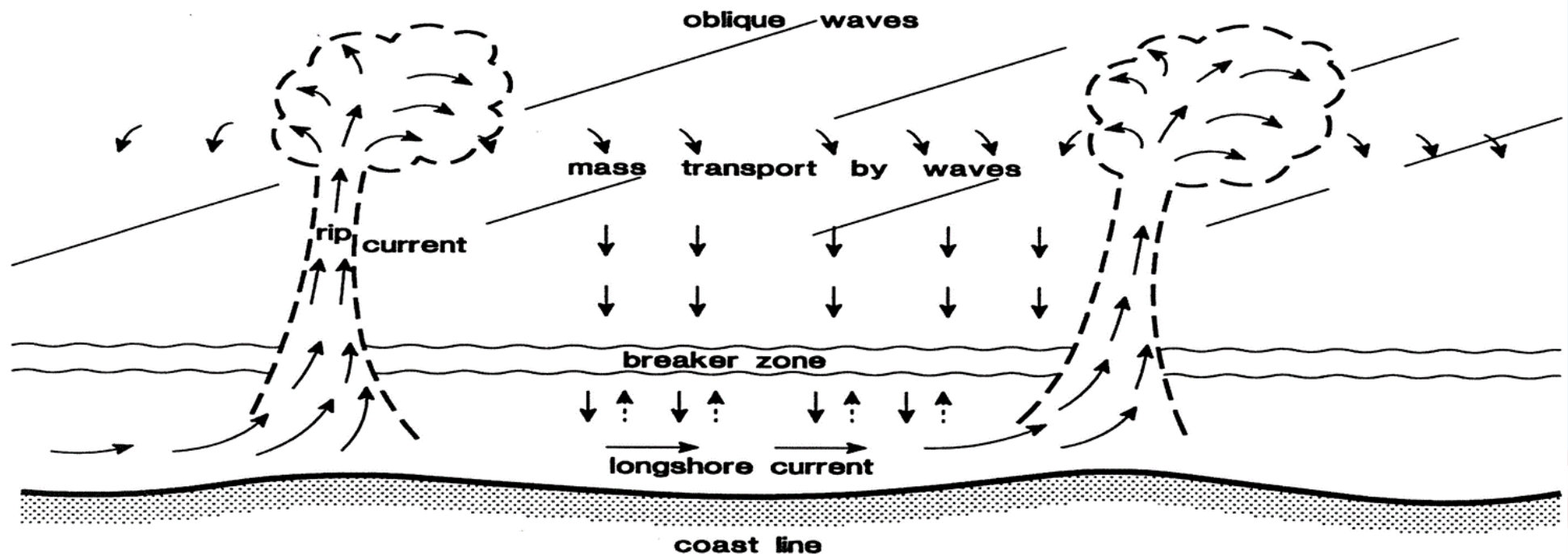
- Τυπικές μέσες τιμές ταχύτητας οριζόντιας ταχύτητας
 - **<0.3m/s** αλλά
 - Σε καταιγίδες > 1m/s.
- Ταχύτητα παραμένει σχετικά σταθερή σε όλο το βάθος

Ρεύματα διαφυγής, ή Rip currents



Τροφοδοσία Ρευμάτων Διαφυγής

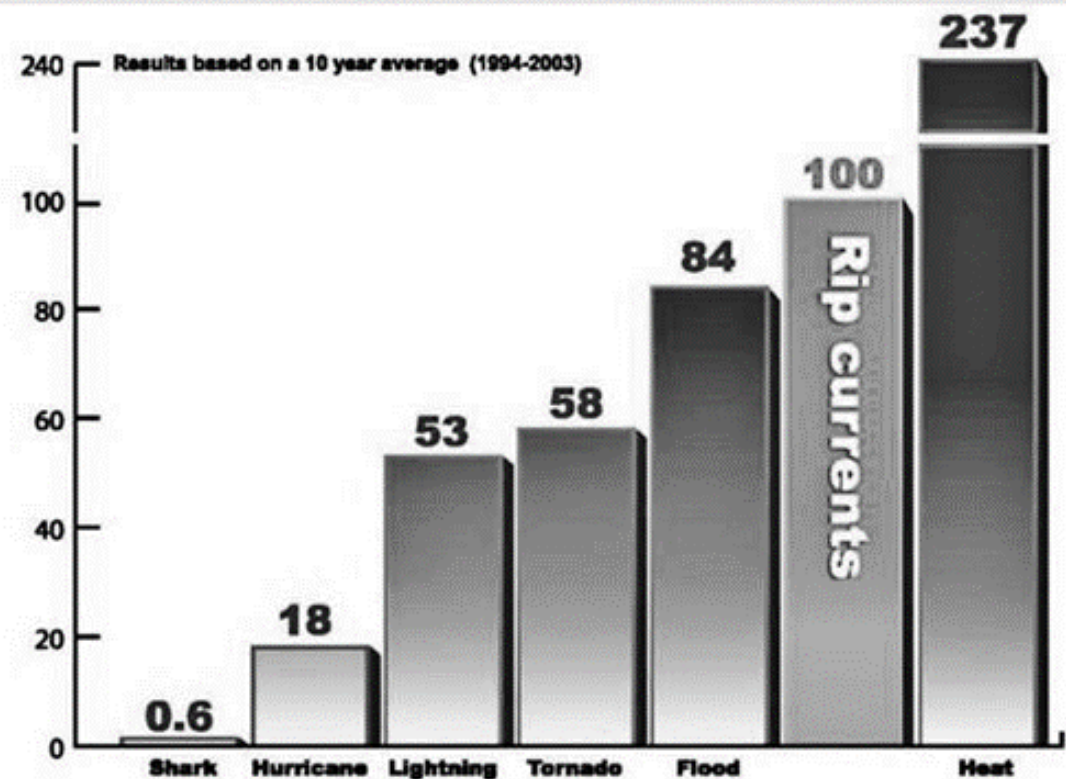
- Δυνατά και στενά ρεύματα
- Από ζώνη θραύσης προς ανοιχτά νερά
- Τροφοδοτούνται από επιμήκη ρεύματα στη ζώνη θραύσης,
- Σχεδόν περιοδικά κατά μήκος της παραλίας, σχηματίζουν 'κύτταρα κυκλοφορίας' (circulation cells)



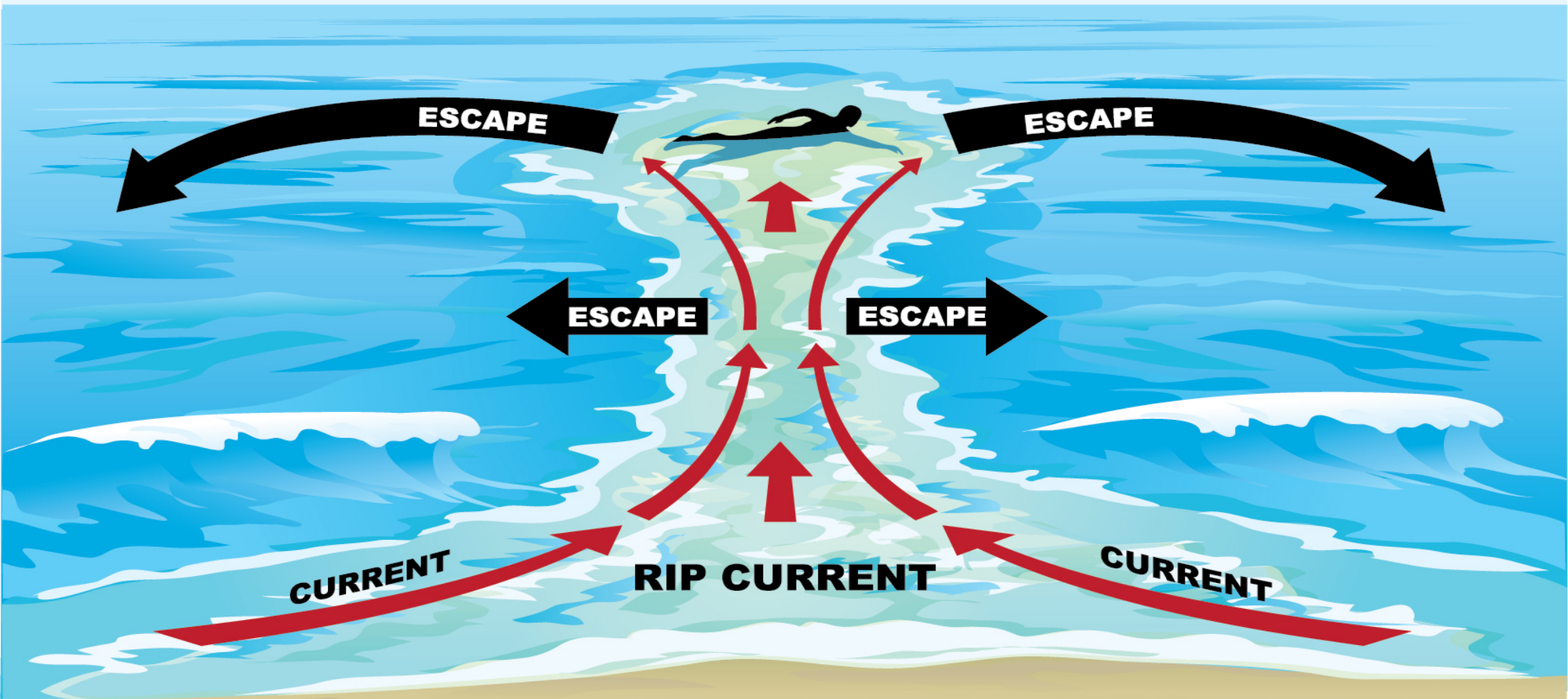
Ρεύματα διαφυγής

- Συχνή αιτία πνιγμού ακόμα και για έμπειρους κολυμβητές
- Κολύμβηση παράλληλα στην ακτή ο μόνος τρόπος αποφυγής

Weather Related Deaths



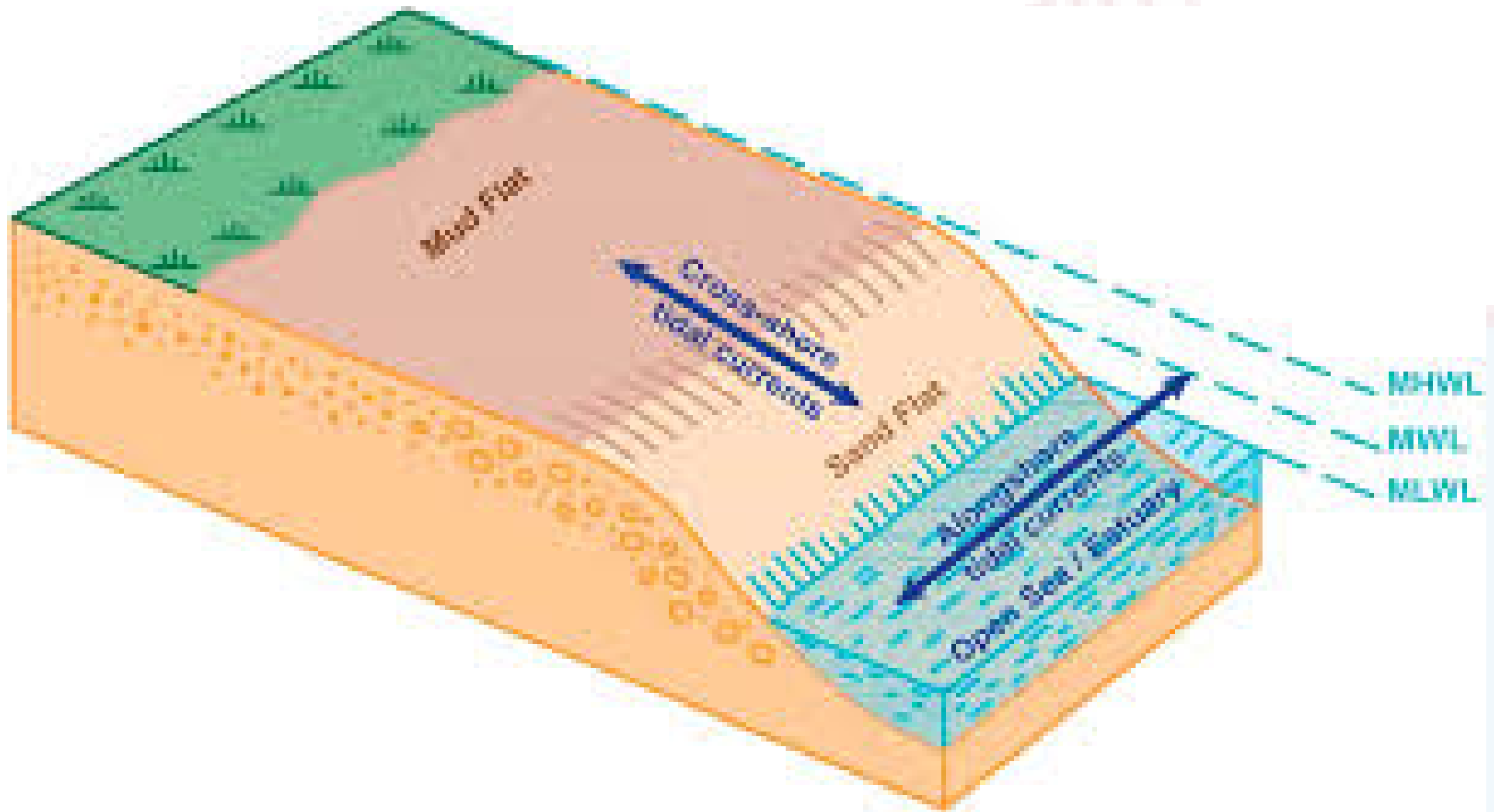
RIP CURRENTS



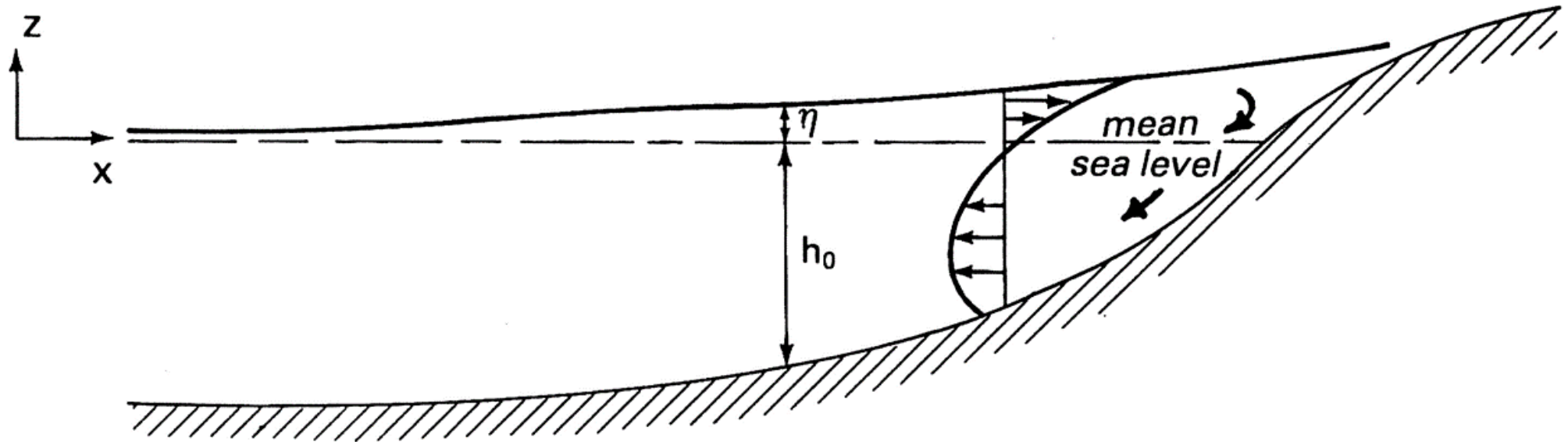
Πού Δημιουργούνται τα Ρεύματα διαφυγής;

- Σε διάφορες μορφές παραλιών υπό ποικίλες κυματικές συνθήκες και παλιρροιακές στάθμες
- Μεταφορά ιζήματος προς ανοιχτά νερά, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια καταιγίδων (ταχύτητες $\sim 1\text{m/s}$)
- Πιο εμφανή σε αμμώδεις μακρές παραλίες λόγω εμφανούς μεταφοράς ιζήματος και φυσαλίδων

Εγκάρσια ρεύματα - Cross shore currents



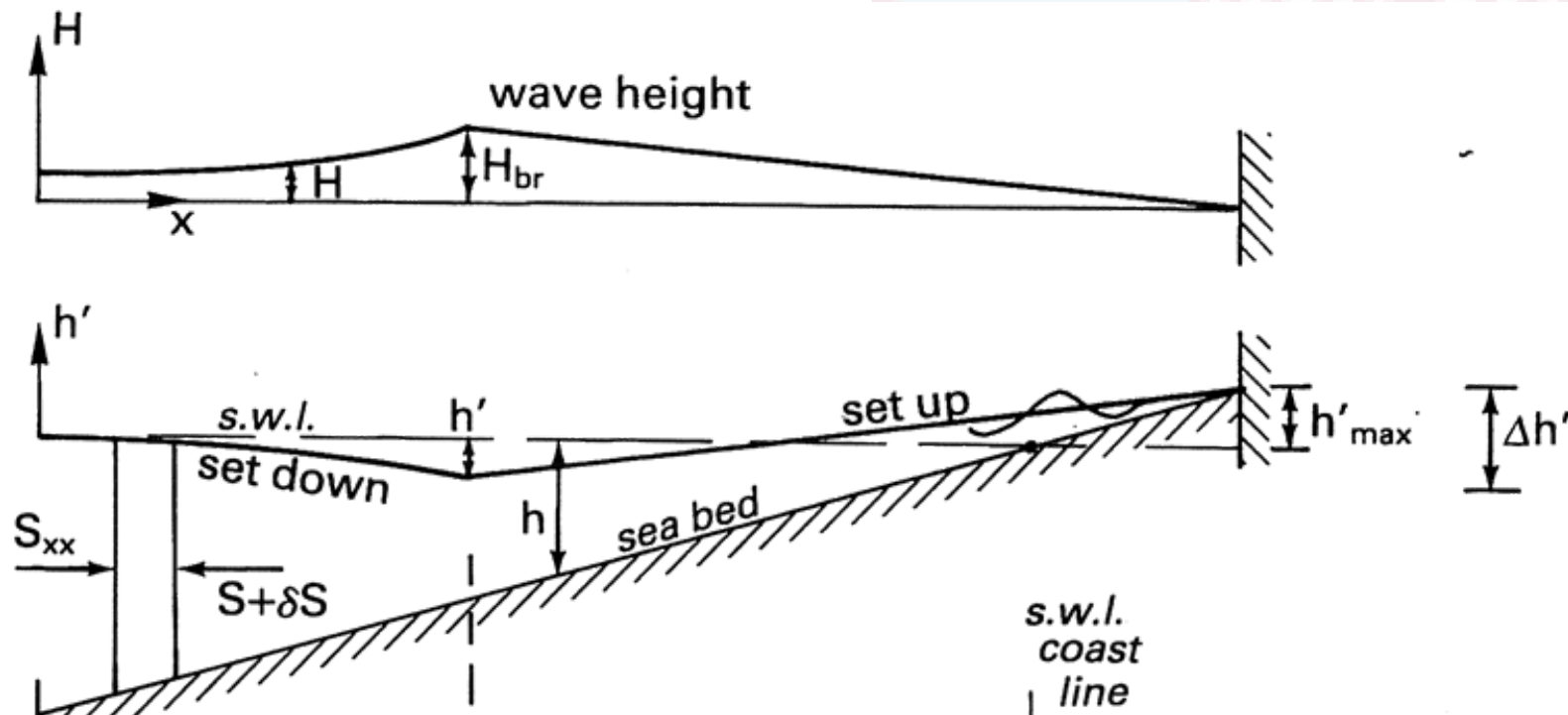
Δημιουργία από ανέμους προς ξηρά



- Επιφανειακά ρεύματα αντιδρούν γρήγορα στις τάσεις των ανέμων και συμπίπτουν με την κατεύθυνση αυτών
- Κάθετη συνιστώσα προκαλεί 'ανύψωση' θαλάσσιας επιφάνειας
 - επιφανειακό ρεύμα προς την ακτή και
 - καταβύθιση θαλάσσιας μάζας

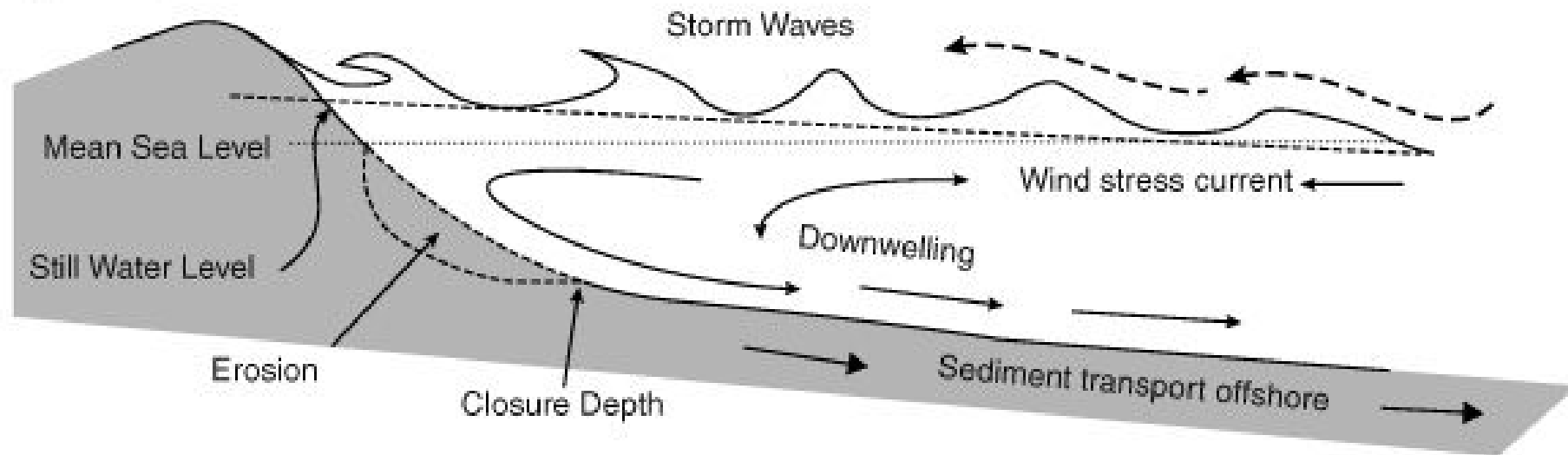
Εγκάρσια Ρεύματα / Αντιρρεύματα (cross-shore / undertows)

- Σε αντίθεση με τα επιμήκη, η ταχύτητα δεν είναι σταθερή με το βάθος
- Μεταφορά μάζας κοντά στην ακτή από ανύψωση > ρεύμα προς τα ανοιχτά κάτω από την κοιλία του κύματος (undertow)

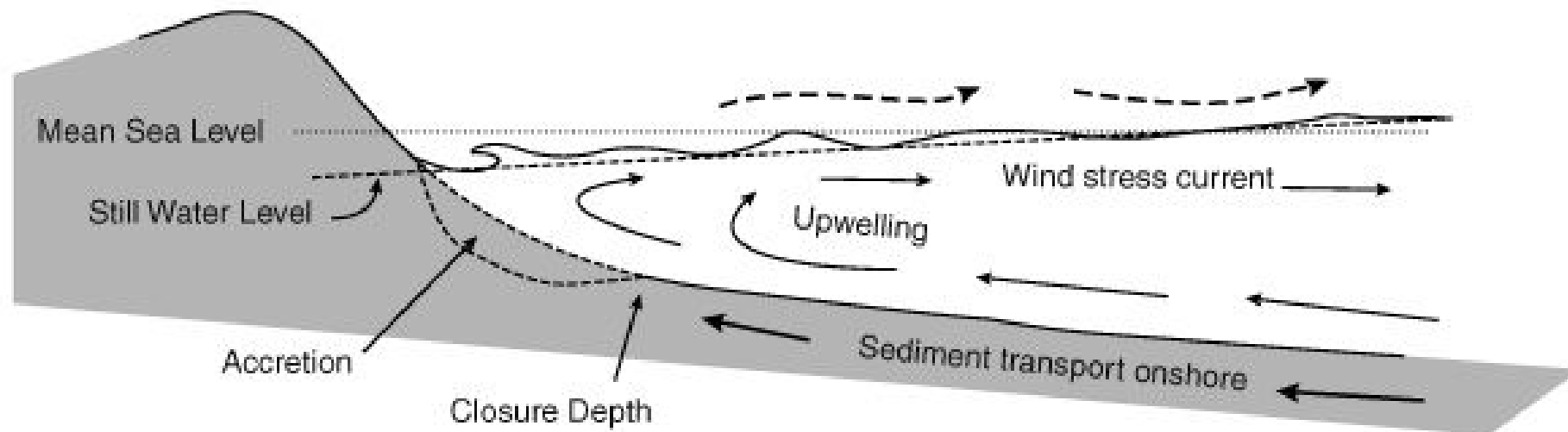


Εγκάρσια Ρεύματα - Cross shore currents

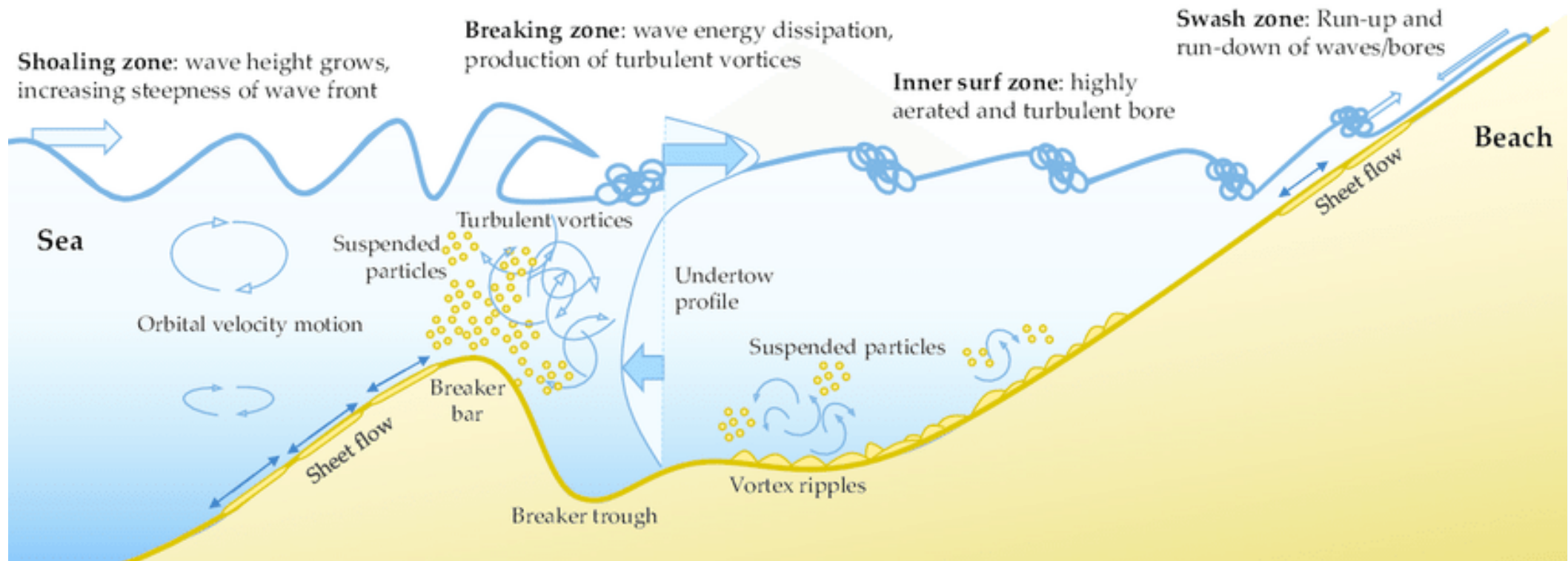
(A) Strong Onshore Storm Winds



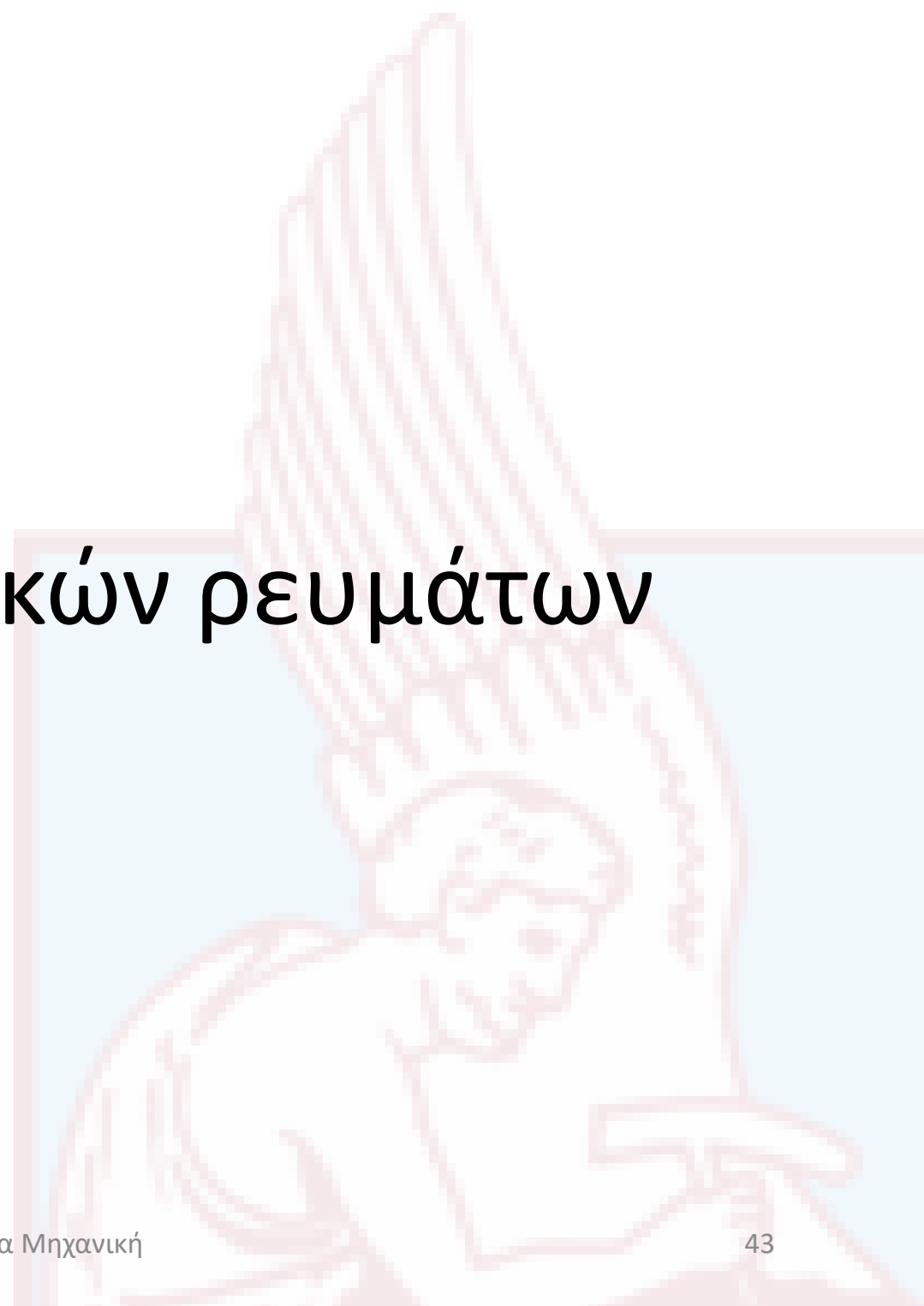
(B) Katabatic Offshore Winds



Εγκάρσια Ρεύματα - Cross shore currents

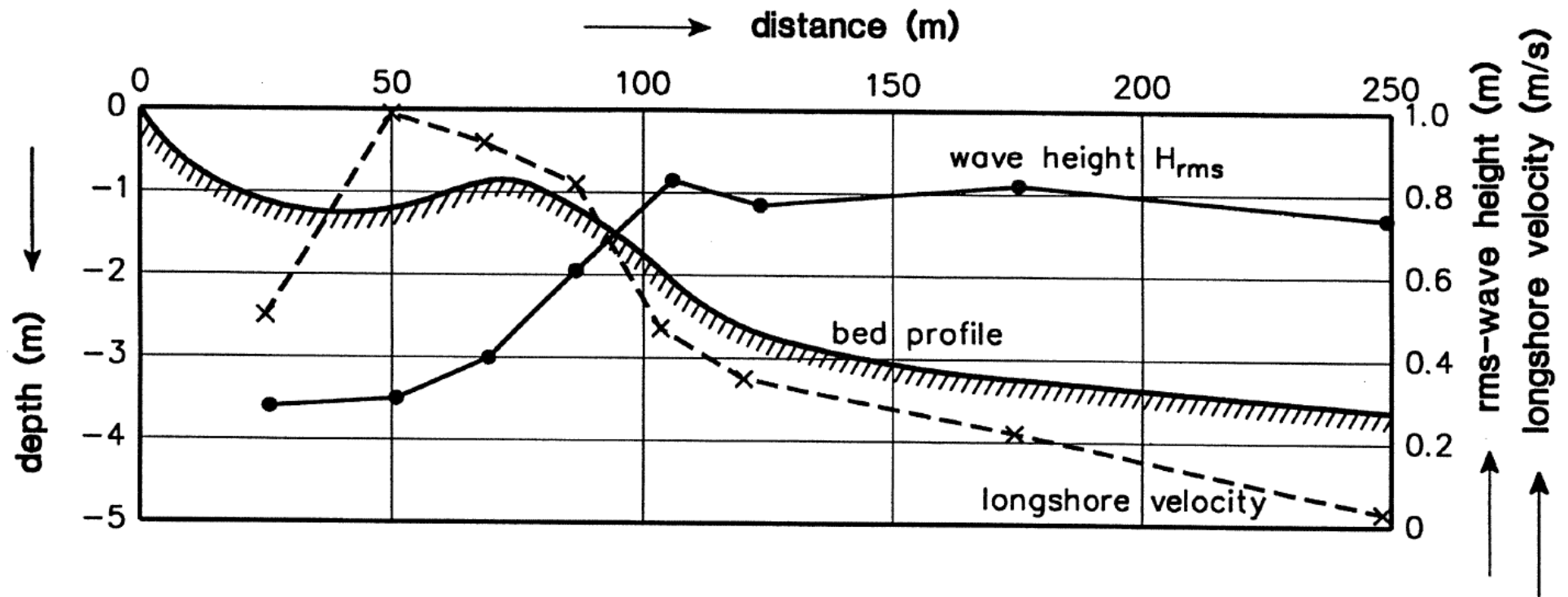


Στοιχεία επιμηκών ρευμάτων



για Κλί

Προφίλ Ταχύτητας (Όχι Ομαλός Πυθμένος)



Υπολογισμός Οριζόντιας Ταχύτητας

- Komar (1998)

$$v = \sqrt{gH_{sb}} \sin a \cos a$$

- όπου H_{sb} , το σημαντικό ύψος κύματος στο σημείο θραύσης και a η γωνία μεταξύ κορυφογραμμής κύματος & ισοβαθούς στο σημείο θραύσης

- S.P.M. (1984) μετά από Longuet-Higgins (1970)

$$v = 20,7 \, m \, (gH_b)^{1/2} \sin 2a$$

- όπου m είναι η κλίση πυθμένα και H_b είναι το ύψος κύματος στο σημείο θραύσης
- Πιο ευρέως διαδεδομένη είναι αυτή του S.P.M.
- Βασική διαφορά η απουσία της κλίσης στην Komar

Βιβλιογραφία

- Dalrymple R.A. et al., 2011, Rip Currents, Annual Review of Fluid Mechanics, 43, pp.551-581.
- Fletemeyer J. & Leatherman S., 2010, Rip Currents and Beach Safety Education, Journal of Coastal Research, 26, 1, pp.1-3
- Kamphuis J.W., 2000, Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- MacMahan J.H. et al., 2006, Rip Current Review, Coastal Engineering, 53, pp.191-208.
- U.S.A.C.E., 2002, Coastal Engineering Manual
- Van Rijn L., 1999, Principles of Coastal Morphology, Aqua Publications
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη

Project:

Υπολογισμός μέσης διάρκειας πνοής ανέμου

- Excel στο eclass

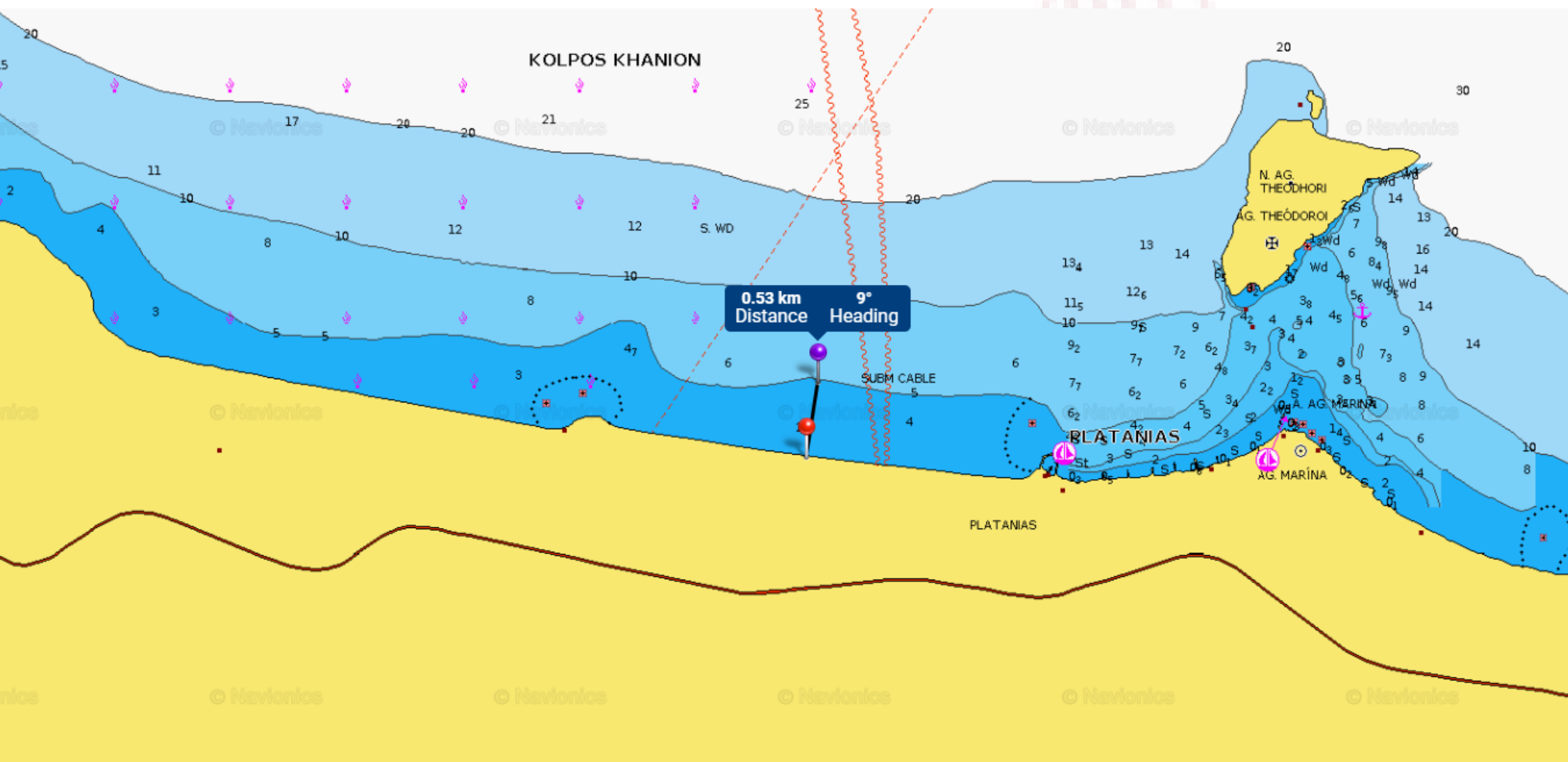
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ΒΗΜΑ 1) PASTE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΩΝ ΕΔΩ:								ΒΗΜΑ 2) ΔΩΣΤΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΕΔΩ: 							SSW
2																
3									Η μέση διάρκεια πνοής του SSW ανέμου είναι :							
4														1.98	ΗΜΕΡΕΣ	
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																

Υπολογισμός κλίσης πυθμένα

<https://webapp.navionics.com/>



Υπολογισμός κλίσης πυθμένα



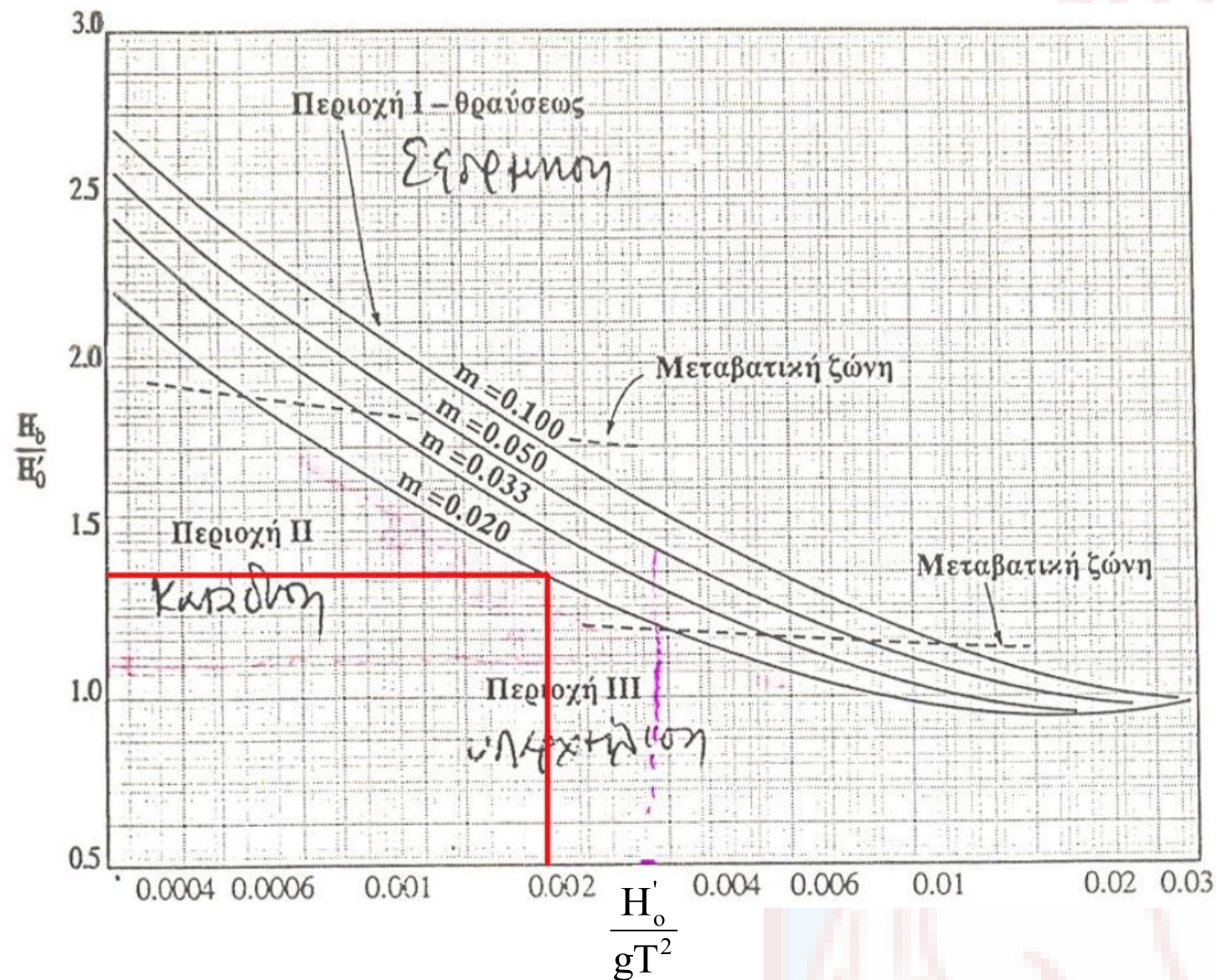
Project:

Ημερομηνίες

- Παρουσίαση 12 Δεκεμβρίου
- Αναφορά 19 Δεκεμβρίου

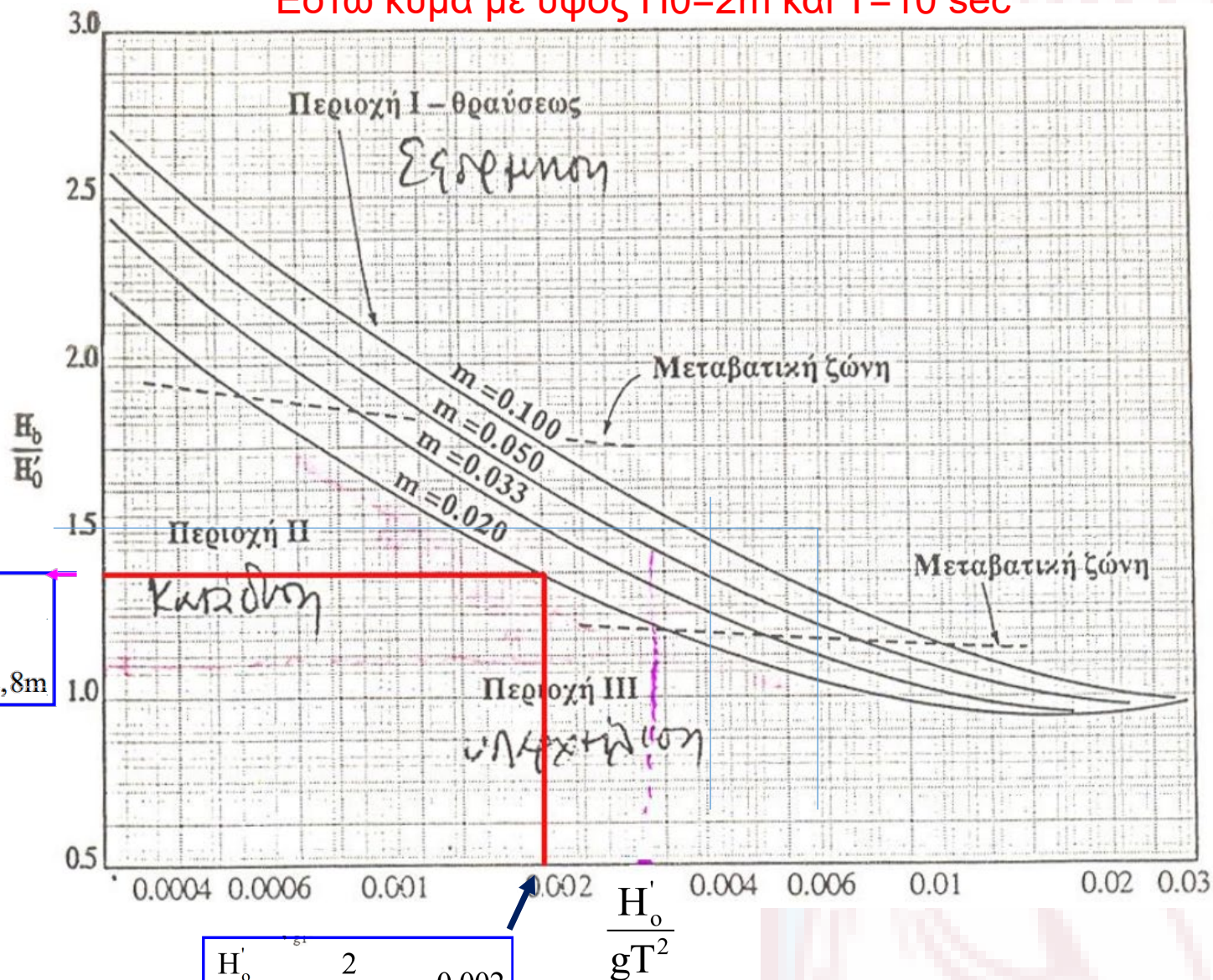


Διάλεξη 3: Υπολογισμός σημείου θραύσης



Υπολογισμός ύψους κύματος στο σημείο θραύσης

Έστω κύμα με ύψος $H_0=2\text{m}$ και $T=10\text{ sec}$



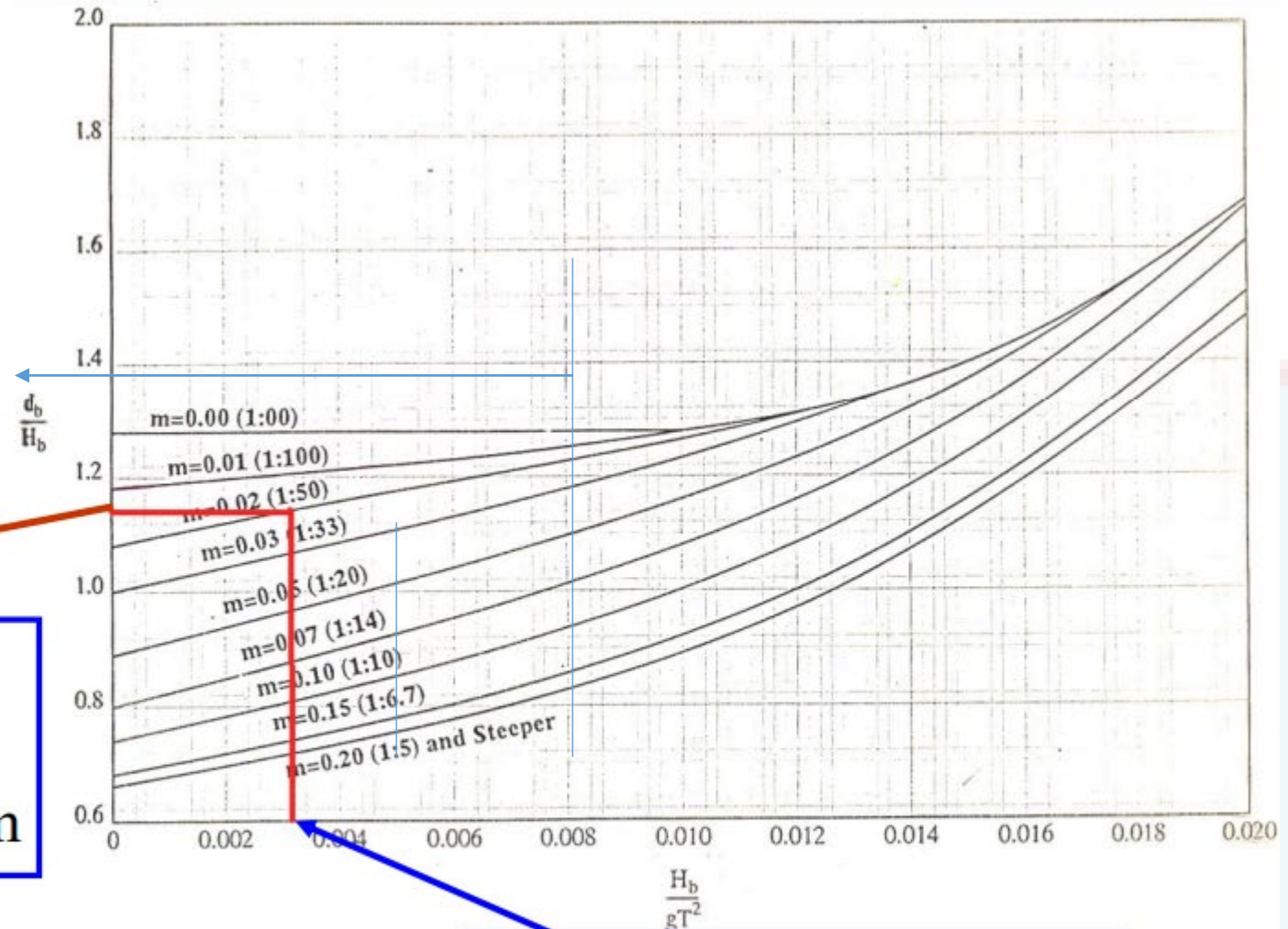
$$\frac{H_b}{H_0} = 1,4 \rightarrow$$

$$H_b = 1,4 \times 2,0 = 2,8\text{m}$$

$$\frac{H_0}{gT^2} = \frac{2}{9,81 \times 10^2} = 0.002$$

ΠΜΠ535 Παράκτια Μηχανική

Υπολογισμός βάθους στο σημείο θραύσης



$$\frac{d_b}{H_b} = 1,15$$
$$\rightarrow d_b = 2,8 \times 1,15 = 3,22\text{m}$$

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{2,8}{9.81 \times 10^2} = 0.0028$$



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Παράκτια ιζήματα

Κάθετη στην ακτή ιζηματομεταφορά

Παράλληλη στην ακτή ιζηματομεταφορά

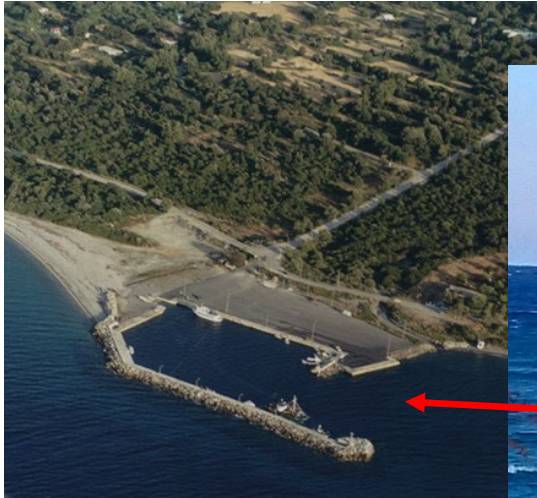
Εισαγωγή

- Οι ακτές και ο πυθμένας των παράκτιων περιοχών μεταβάλλεται συνεχώς κάτω από την επίδραση της θάλασσας. Οι χρονικές κλίμακες μεταβολής ποικίλουν:
 - Βραχύδεις περιοχές → Μεταβολές σε χρονική κλίμακα αιώνων
 - Αμμώδεις περιοχές → Μεταβολή σε κλίμακα ωρών έως αιώνων.
- Η αποσταθεροποίηση των υλικών του πυθμένα από τους κυματισμούς και σε συνέχεια τα κυματογενή ρεύματα μπορούν να προκαλέσουν μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων ιζήματος.

Εισαγωγή

- Τα παράκτια έργα διαταράσσουν τη προυπάρχουσα δυναμική ισορροπία, επηρεάζουν τη φυσική κυκλοφορία και τελικά το ρυθμό της στερεομεταφοράς, με πιθανές δυσμενείς συνέπειες:
 - Τη προσάμμωση ενός λιμενικού έργου
 - Τη διάβρωση μιας ακτής

Εισαγωγή



προσάμμιση



Θέρμα Σαμοθράκης

Εισαγωγή



προσάμμιση

Λιμάνι Λευκίμμης Κέρκυρας

Εισαγωγή



Διάβρωση - προσάμωση



Παράκτια Ιζήματα

Ταξινόμηση

**Μέγεθος
κόκκων**

**Εύρος
Κοκκομετρίας**

**από
Άργιλο**

**έως
Βράχους**

Μέγεθος

Διάμετρος

Διάμετρος

**Μέγεθος οπής
κόσκινου**

**Ταχύτητα
Κατακρήμνισης**

Ταξινόμηση μεγέθους ιζήματος

	<u>Grain size</u>	<u>Boundary</u>
ογκόλιθος	boulder	256 mm
κροκάλα	cobble	64 mm
βότσαλο	pebble	2 mm
άμμος	sand	0.0625 mm
ιλύς	silt	0.004 mm
άργιλος	clay	

Ταξινόμηση μεγέθους ιζήματος

Grain size Boundary

boulder

cobble

pebble

sand

silt

clay

256 mm

64 mm

2 mm

0.0625 mm

0.004 mm

Sediment-Texture
Classification

Particle size Diameter (mm)

Clay άργιλος	Clay	< 0.004
	Very Fine Silt	0.004 - 0.008
	Fine Silt	0.008 - 0.016
	Medium Silt	0.016 - 0.032
	Coarse Silt	0.032 - 0.064
Sand άμμος	Very Fine Sand	0.064 - 0.125
	Fine Sand	0.125 - 0.25
	Medium Sand	0.25 - 0.5
	Coarse Sand	0.5 - 1.0
	Very Coarse Sand	1.0 - 2.0
Gravel χαλίκι	Granule	2.0 - 4.0
	Pebble	4.0 - 64
	Cobble	64 - 255
	Boulder	255 - 1000

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά άμμου

Αναγκαίος χαρακτηρισμός με μια διάμετρο

Χαρακτηριστική διάμετρος κόκκων ή **Διάμεση** διάμετρος
 D_{50}

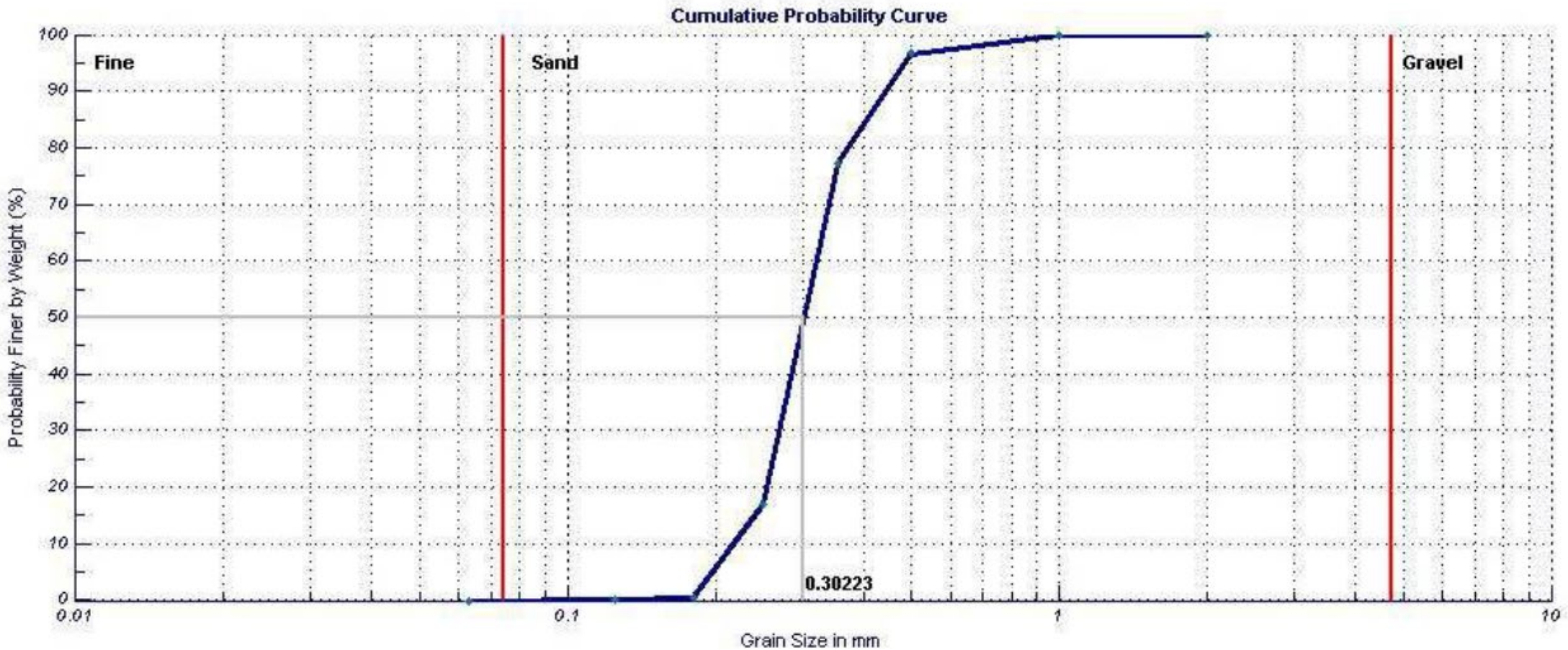
D_{50} είναι η διάμετρος όπου

Τα μισά (σε βάρος)
σωματίδια
μεγαλύτερης
διάμετρο



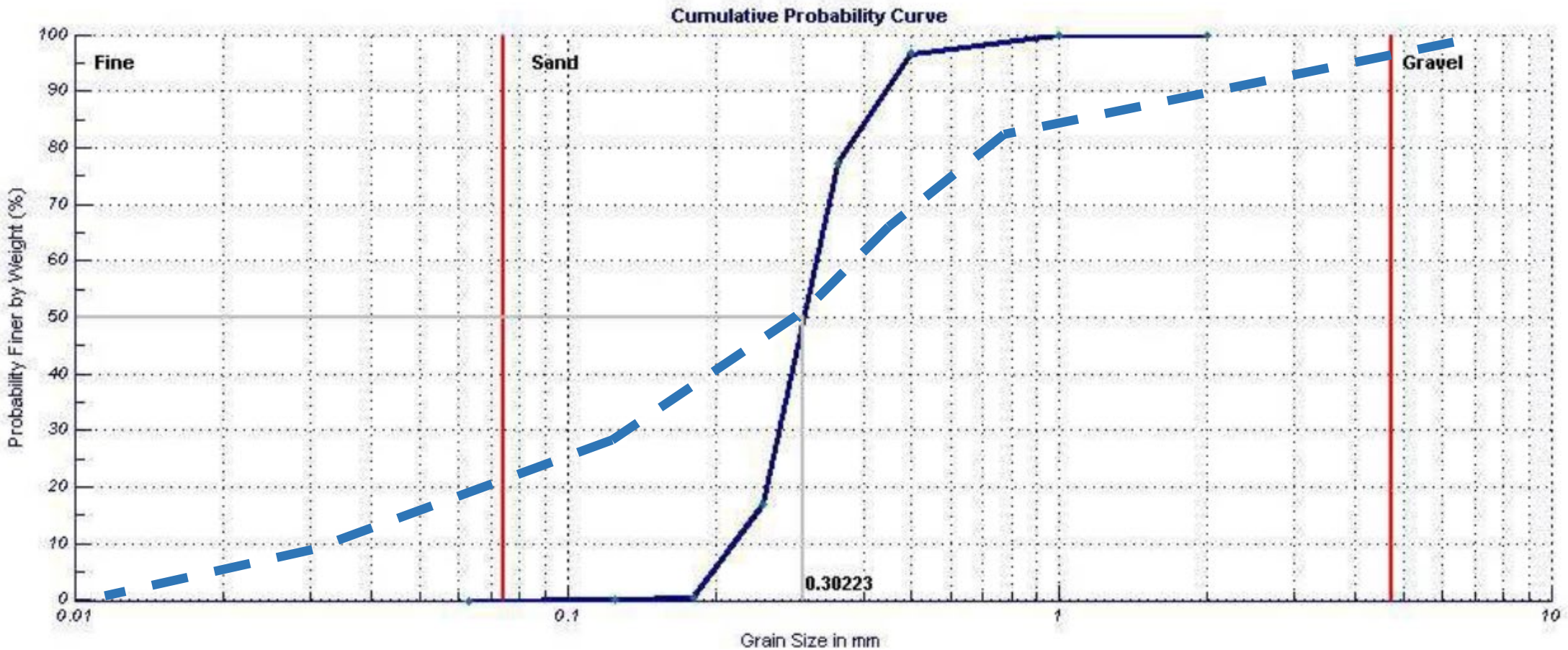
Τα άλλα μισά (σε
βάρος) σωματίδια
μικρότερης
διάμετρο

Δείγμα Ιζήματος Παραλίας Κουμ Καπί, Χανιά 12/2011



$$D_{50} = 0.30mm \quad D_m = 0.30mm$$

Δείγμα Ιζήματος Παραλίας Κουμ Καπί, Χανιά 12/2011



$$D_{50} = 0.30mm \quad D_m = 0.30mm$$

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά άμμου

$$\text{ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ } \varphi = -\log_2(D)$$

$$\varphi_{50} = -\log_2(D_{50})$$

$$\text{Μέση διάμετρος κόκκων } M\varphi = (\varphi_{84} + \varphi_{50} + \varphi_{16}) / 3$$

$$\text{Τυπική απόκλιση κόκκων } \sigma\varphi = (\varphi_{84} - \varphi_{16}) / 2$$

Ταχύτητα καθίζησης

$$W_f = \left(\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) g \right)^{0.7} \frac{D_{50}^{1.1}}{6 \nu^{0.4}}$$

Για $39 < \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1 \right) \frac{g D_{50}^3}{\nu^2} < 10000$

όπου ν είναι το κινηματικό ιξώδες του υγρού

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Πυκνότητα, ρ_s

Άμμος συνήθως
χαλαζιακή

$$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$

Table III-1-4
Densities of Common Coastal Sediments

Mineral	Density kg/m ³
Quartz	2,648
Feldspar	2,560 - 2,650
Illite	2,660
Montmorillonite	2,608
Kaolinite	2,594
Calcite	2,716
Aragonite	2,931
Dolomite	2,866

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Ειδικό βάρος, γ_s

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma_s = 2650 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 = 26000 \text{ kg*m/m}^3\text{s}^2 \text{ ή } 26 \text{ kN/m}^3$$

Εντός του νερού το βάρος αλλάζει λόγω άνωσης

$$\gamma_s - \gamma_{\text{νερού}} = (26 - 10.25) \text{ kN /m}^3 = 15.75 \text{ kN /m}^3$$

Επίσης η άμμος έχει πορώδες n (~ 40% πόροι ανά μονάδα όγκου)

$$\begin{aligned} \text{Βυθισμένο ειδικό βάρος} &= \\ (\gamma_s - \gamma_{\text{νερού}})(1-n) &= (26 - 10.25) * (1-0.4) \\ &= 9.45 \text{ kN /m}^3 \end{aligned}$$

Χαρακτηριστικά του υλικού των ακτών

Ειδική βαρύτητα, s_s

Ειδικό βάρος άμμου / ειδικό βάρος νερού

$$s_s = \rho_s / \rho_w$$

Δειγματοληψία Ιζήματος

Κατανομή
μεγέθους αλλάζει

- Χωρικά
- Χρονικά

Χρονικά

- Χειμερινούς μήνες – Αδρόκοκκες + Ελάχιστα διαβαθμισμένες

Χωρικά,

- Μεγαλύτερη ποικιλότητα σε χαρακτηριστικά σε Παραλία και Υποθαλάσσιες θίνες
- Μικρότερη ποικιλότητα σε χαρακτηριστικά Αμμοθίνες, Ανοιχτά της περιπαράλιας ζώνης

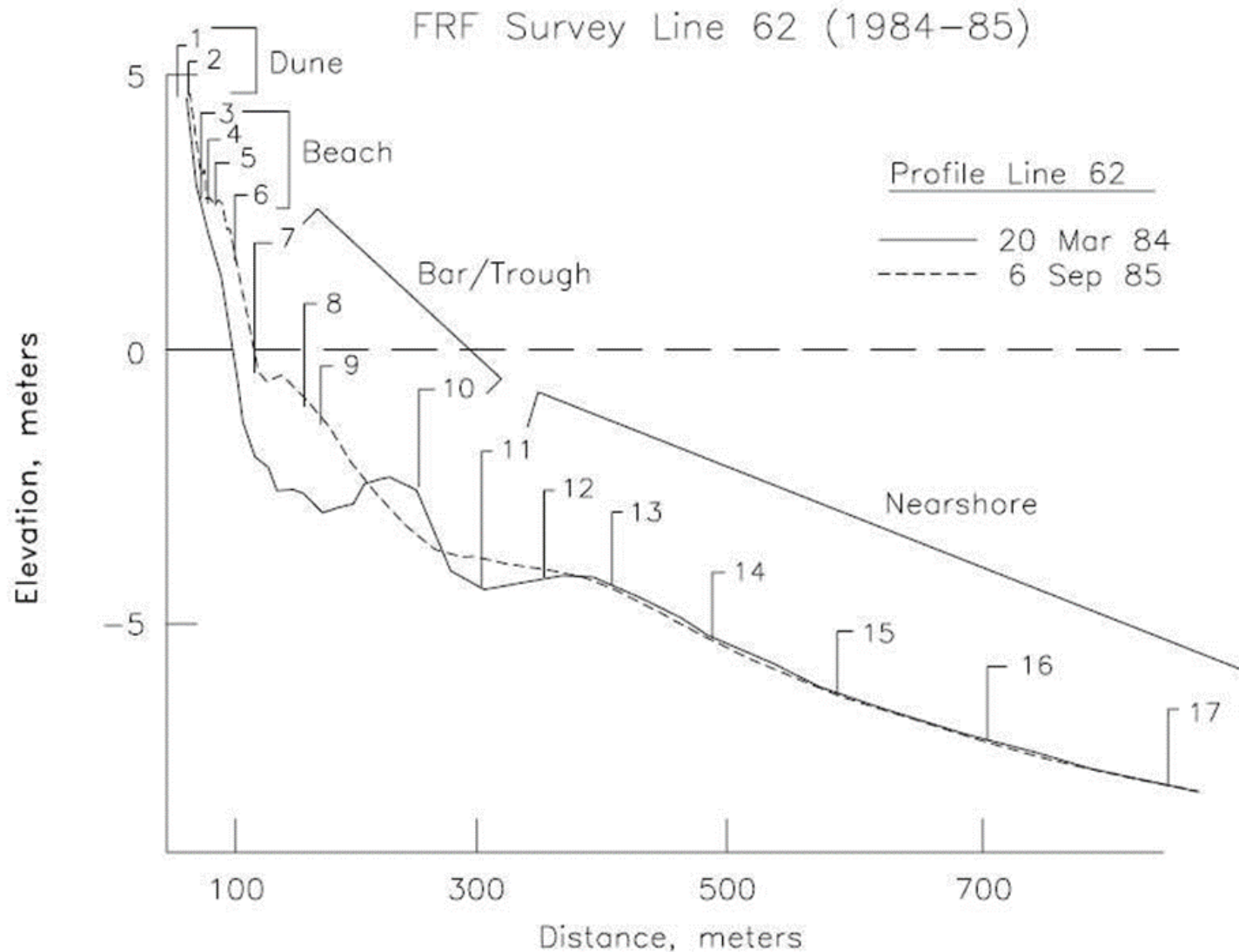
Ένα δείγμα

- «Χοντρικός» χαρακτηρισμός
- Συνήθως ομάδα δειγμάτων

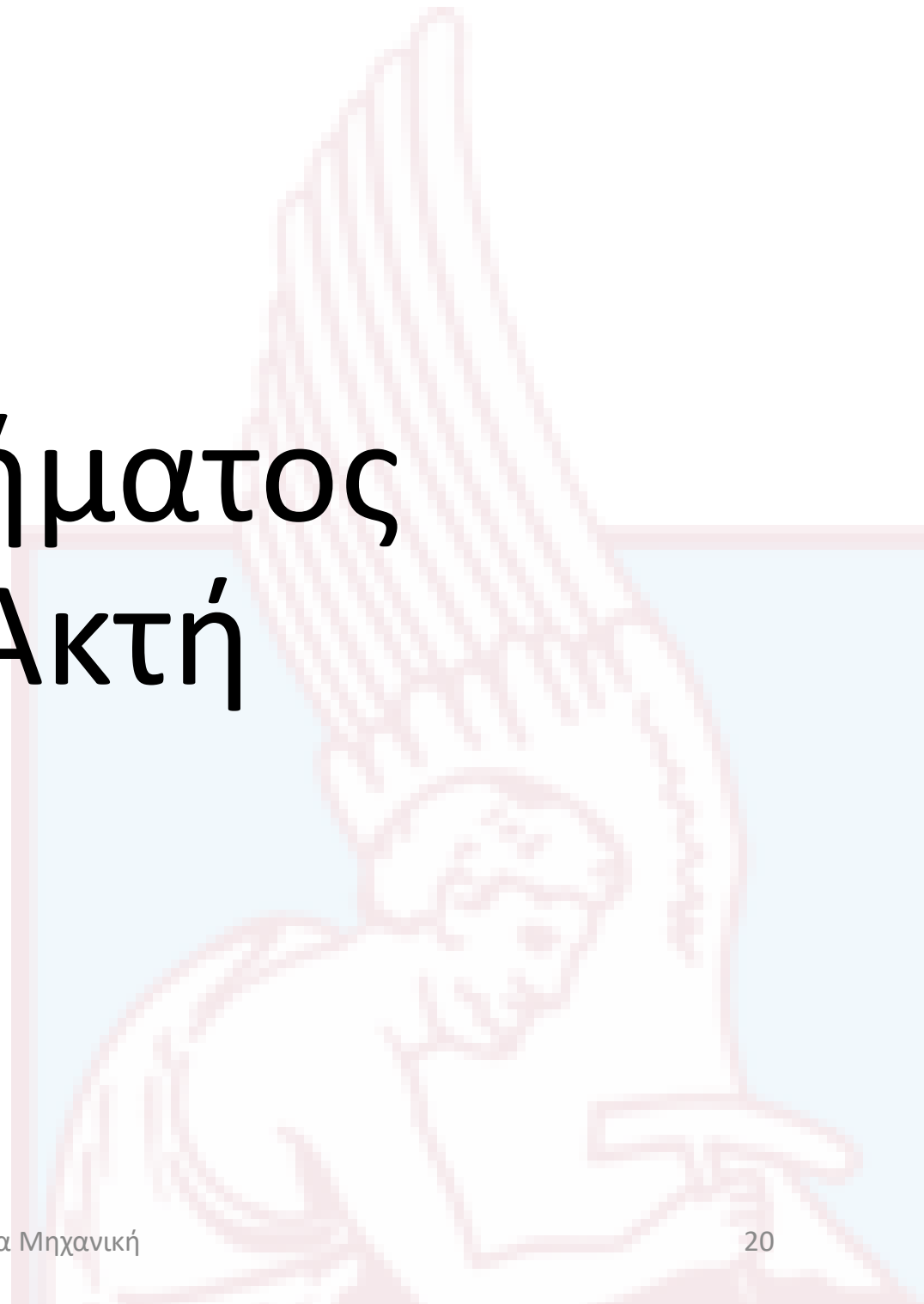
Συνδυασμός
δειγμάτων (κάθετη
τομή παραλίας)

- Μείωση μεταβλητότητας χωρικής κατανομής μεγέθους

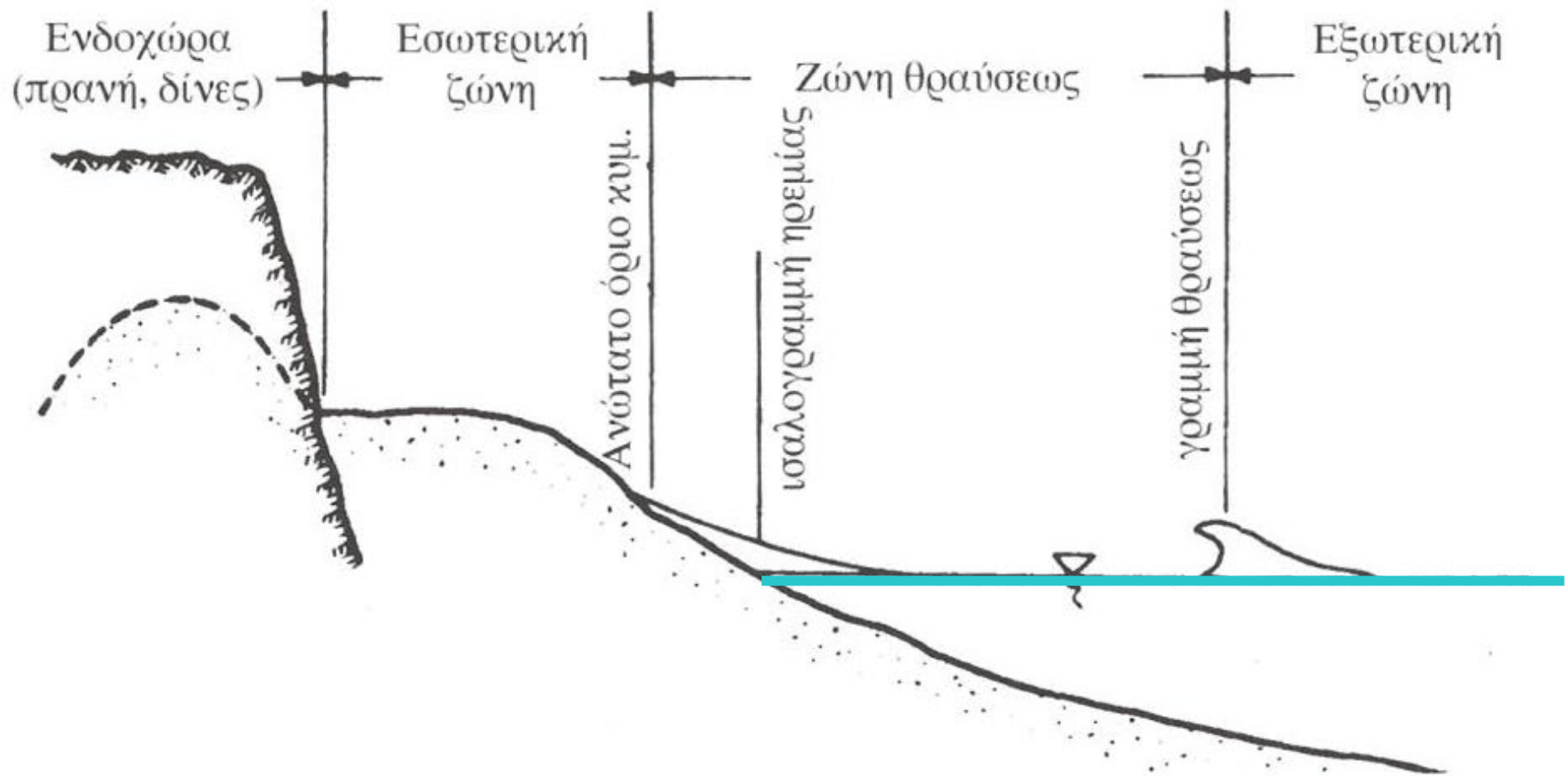
Προτεινόμενες Ομάδες Δειγμάτων Ιζήματος ενός Τυπικού Προφίλ



Μεταφορά Ιζήματος Κάθεται στην Ακτή

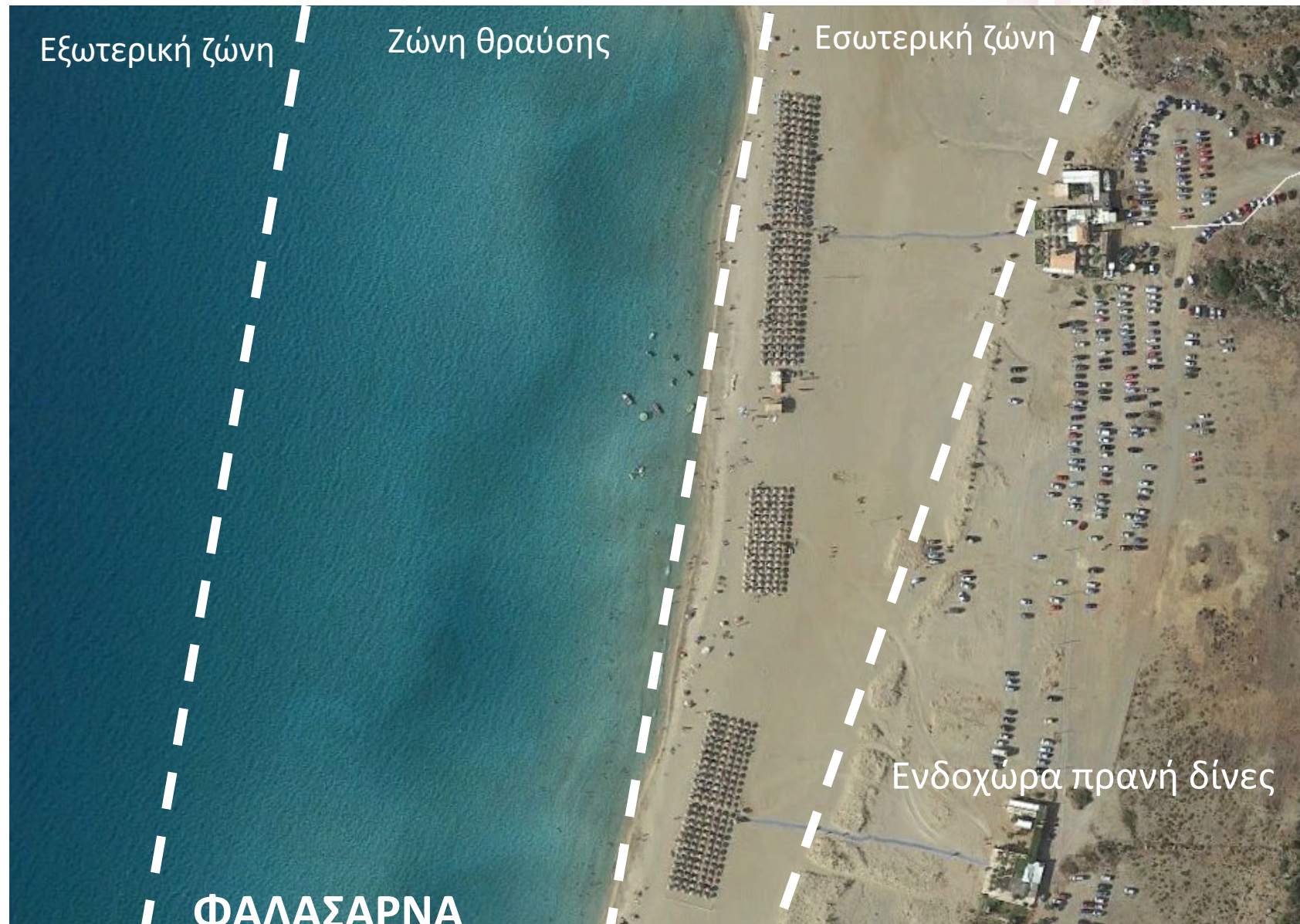


Προφίλ ακτής



Σχ. 10.6.

Προφίλ ακτής



Κάθετη στην Ακτή Ιζηματομεταφορά

Μετακίνηση
του ιζήματος

- Προς τα ανοιχτά
- Προς την ακτή

Προς τα
ανοιχτά

- Καταιγίδες

Προς την
ακτή

- Ήπιες κυματικές συνθήκες

Έννοια - Παραλιακό Προφίλ Ισορροπίας (Equilibrium Beach Profile)

Μεταβολή

- βάθους με απόσταση προς τα ανοιχτά από την ακτογραμμή

Αποτέλεσμα
εξισορρόπησης

- καταστροφικών (destructive)
- δημιουργικών (constructive) δυνάμεων

Καταστροφικές Δυνάμεις του προφίλ

Βαρύτητα

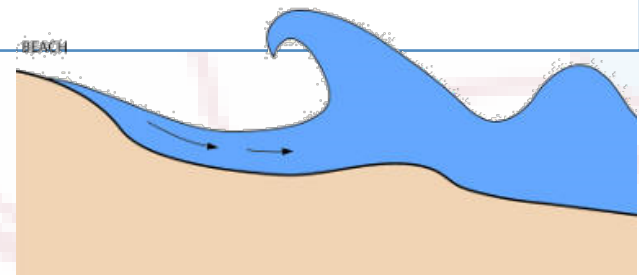
- Κάτω και ανοιχτά
- Ομαλοποιεί ακανόνιστες μορφές
- Οριζόντιο προφίλ ισορροπίας

Τύρβη (ζώνη θραύσης)

- Οργανωμένη κυματική ενέργεια
- Χαοτικές μεταβολές τύρβης
- Σωματίδια ιζήματος πυθμένα προς τα ανοιχτά

Αντιρρέυμα (undertow)

- Προς τα ανοιχτά - αιωρούμενο ίζημα



Δημιουργικές Δυνάμεις του προφίλ

Διατμητικές τάσεις στον πυθμένα προς την ακτή

Περιοδικές αιωρήσεις & επιλεκτική μεταφορά

- Εάν χρόνος κατακρήμνισης $< \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου
- ολική ιζηματομεταφορά (net transport) προς την ακτή

Και γενικότερα

Εάν χρόνος κατακρήμνισης $< \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου

- ολική ιζηματομεταφορά (net transport) προς την ακτή

Εάν χρόνος κατακρήμνισης $> \frac{1}{2}$ κυματικής περιόδου
αλλά μικρότερη από αυτήν $\left(\frac{T}{2} < \frac{H}{w_f} < T \right)$

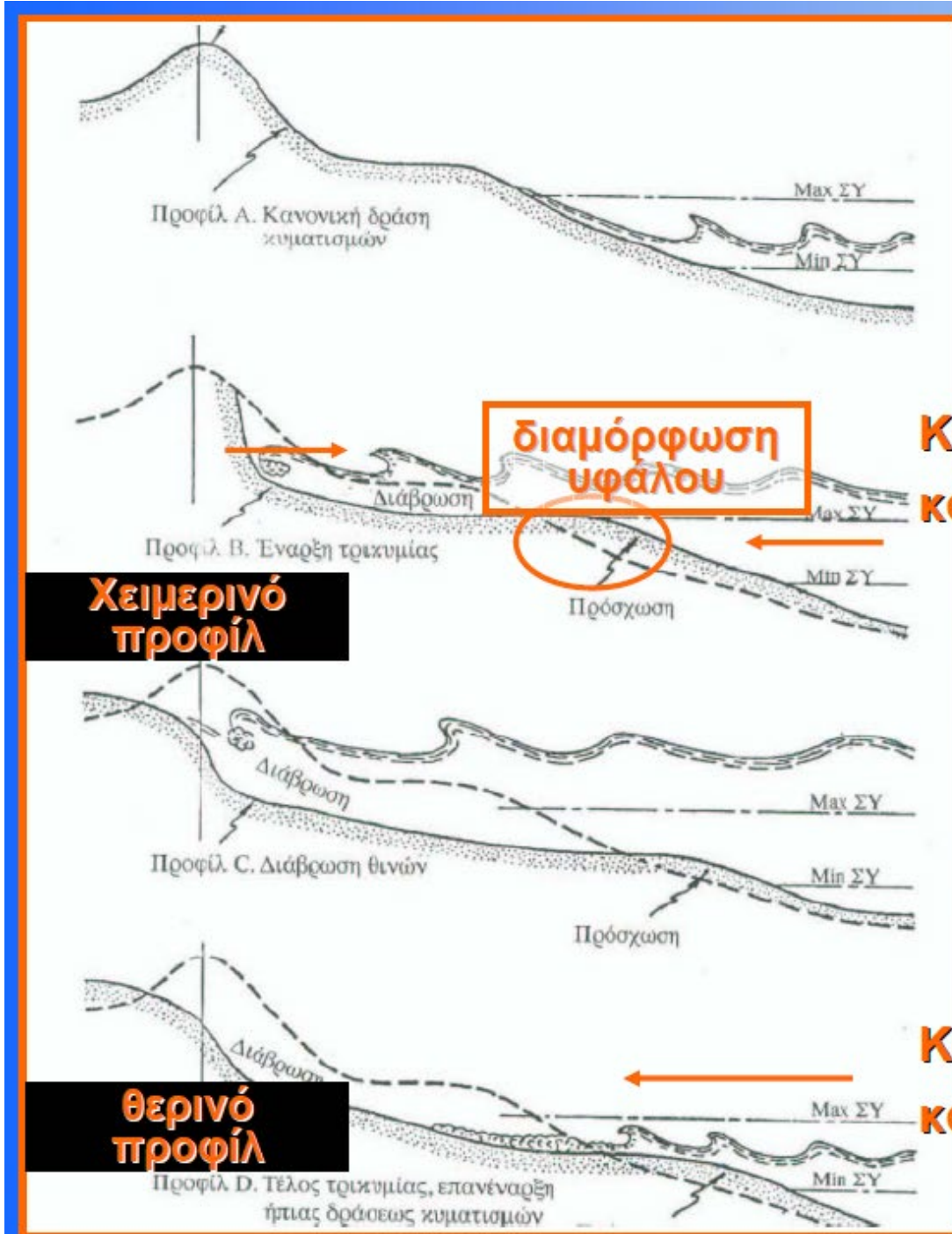
- ολική ιζηματομεταφορά προς τα ανοιχτά

Κάθετη Ιζηματομεταφορά - Προφίλ Ισορροπίας

Διάκριση χειμερινού και θερινού
προφίλ ακτής ανάλογα με την
καμπυλότητα του κύματος
(↑ τον χειμώνα ↓ το θέρος)

Κύματα με μεγάλη
καμπυλότητα H_0/L_0

Κύματα με μικρή
καμπυλότητα H_0/L_0



Βασικά Χαρακτηριστικά του Προφίλ Ισορροπίας

Κοίλο προς τα κάτω

Κλίσεις ηπιότερες στα λεπτόκοκκα ιζήματα

Κλίσεις πιο ομαλές για κυματισμούς μεγάλης κλίσης

Πιο αδρόκοκκα στα ρηχότερα νερά

- ↑ βάθος → λεπτόκοκκα

Ακτογραμμή υποχωρεί απότομα σε έντονα κυματικά γεγονότα

- αυξάνει βαθμιαία με ήπια κυματική δραστηριότητα

Παραδοχές - Επικρίσεις

Έννοια
προφίλ
ισορροπίας

- Επικρίσεις - Φυσικές δυνάμεις αλλάζουν συνεχώς

Βασική
παραδοχή

- απουσία κατά μήκος ιζηματομεταφοράς
- δεν υπάρχει απώλεια ιζήματος μόνο αναδιανομή

Διατήρηση
όγκου
ιζήματος

- διάβρωση παραλιακού μετώπου
 - απόθεση ιζήματος σε βάθος
- πρόσχωση ιζήματος στην παραλία
- διάβρωση ιζήματος στη ζώνη θραύσης

Μέγιστο Βάθος Ανατάραξης Ιζημάτων (Closure Depth, D_{oC})

Ανάγκη οριοθέτησης σημείου

- Σημαντική ιζηματομεταφορά
- Αναπλήρωση ακτών
- Ορισμός closure depth

Ως μέγιστο βάθος ανατάραξης για μια χρονική περίοδο, είναι το πιο κοντινό βάθος στην ακτή πέρα από το οποίο δεν υπάρχει σημαντική αλλαγή στην ανύψωση του πυθμένα και συγχρόνως σημαντική ιζηματομεταφορά (Kraus et al., 1998).

Βάσει του παραπάνω Ορισμού

- Αξιόπιστος προσδιορισμός DoC
 - Παρακολούθηση προφίλ για μερικά χρόνια
- Διαχωρίζει
 - διεργασίες στην παραλία και περιπαράλια
 - διεργασίες στα ανοιχτά και υφαλοκρηπίδα
- Σημαντικότητα του προσδιορισμού εξαρτάται
 - χρονική κλίμακα
 - τοπικούς παράγοντες
 - κυματικό καθεστώς
 - χαρακτηριστικά ιζήματος

Εκτίμηση DoC

- Από εργαστηριακά δεδομένα και μετρήσεις πεδίου, ο Hallermeier (1978, 1981) έδωσε την παρακάτω σχέση για την εκτίμηση του DoC, η οποία ισχύει για αμμώδη ιζήματα σε θαλασσινό νερό,

$$D_c = 2,28H_e - 68,5 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right)$$

- όπου D_c το DoC, H_e **το σημαντικό ύψος κύματος που υπερβαίνεται 12 ώρες το χρόνο** και T_e η αντίστοιχη περίοδος. Το H_e μπορεί να υπολογιστεί μέσω του μέσου ετήσιου κύματος και της τυπικής του απόκλισης από τη σχέση

$$H_e = \bar{H} + 5,6\sigma_H$$

Εκτίμηση DoC

- Ο Birkemeier (1985) αξιολόγησε την σχέση του Hallermeier χρησιμοποιώντας καλύτερης ποιότητας δεδομένα πεδίου και πρότεινε μια ελαφρώς αλλαγμένη εκδοχή

$$D_c = 1,75H_e - 57,9 \left(\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right)$$

- ενώ κατέληξε ότι και η παρακάτω απλοποιημένη προσέγγιση προσαρμοζόταν το ίδιο καλά στα δεδομένα

$$D_c = 1,57H_e$$

Μαθηματική Περιγραφή του Παραλιακού Προφίλ (σχέση απόστασης από την ακτή και βάθους)

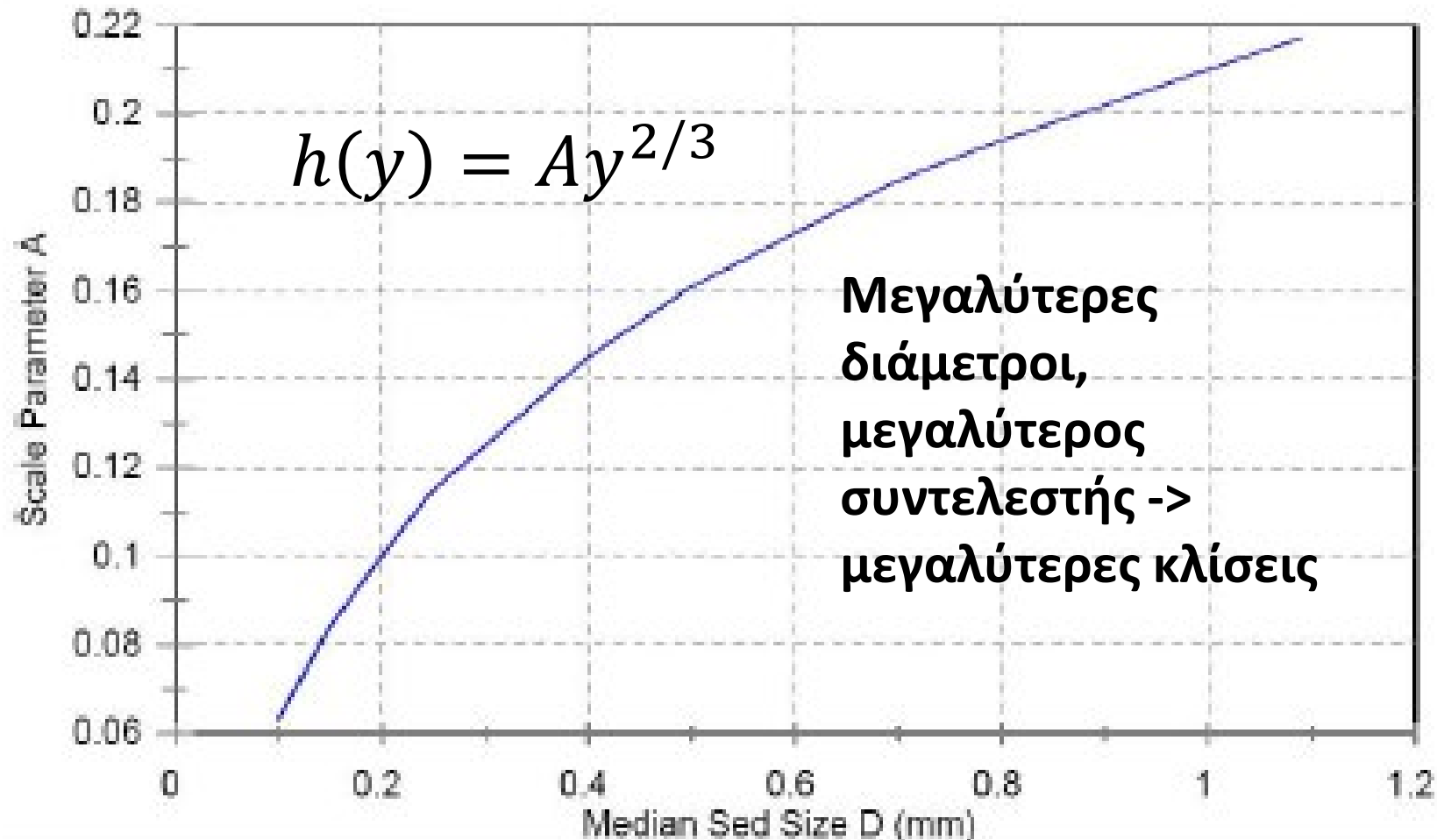
- Ο Bruun (1954) δεδομένα από Δανία και Καναδά πρότεινε

$$h(y) = Ay^{2/3}$$

- όπου h το βάθος σε απόσταση y από την ακτογραμμή και A είναι συντελεστής εξαρτώμενος από την διάμετρο του ιζήματος

Παράμετρος A

Η παράμετρος A ως συνάρτηση του διάμεσου D



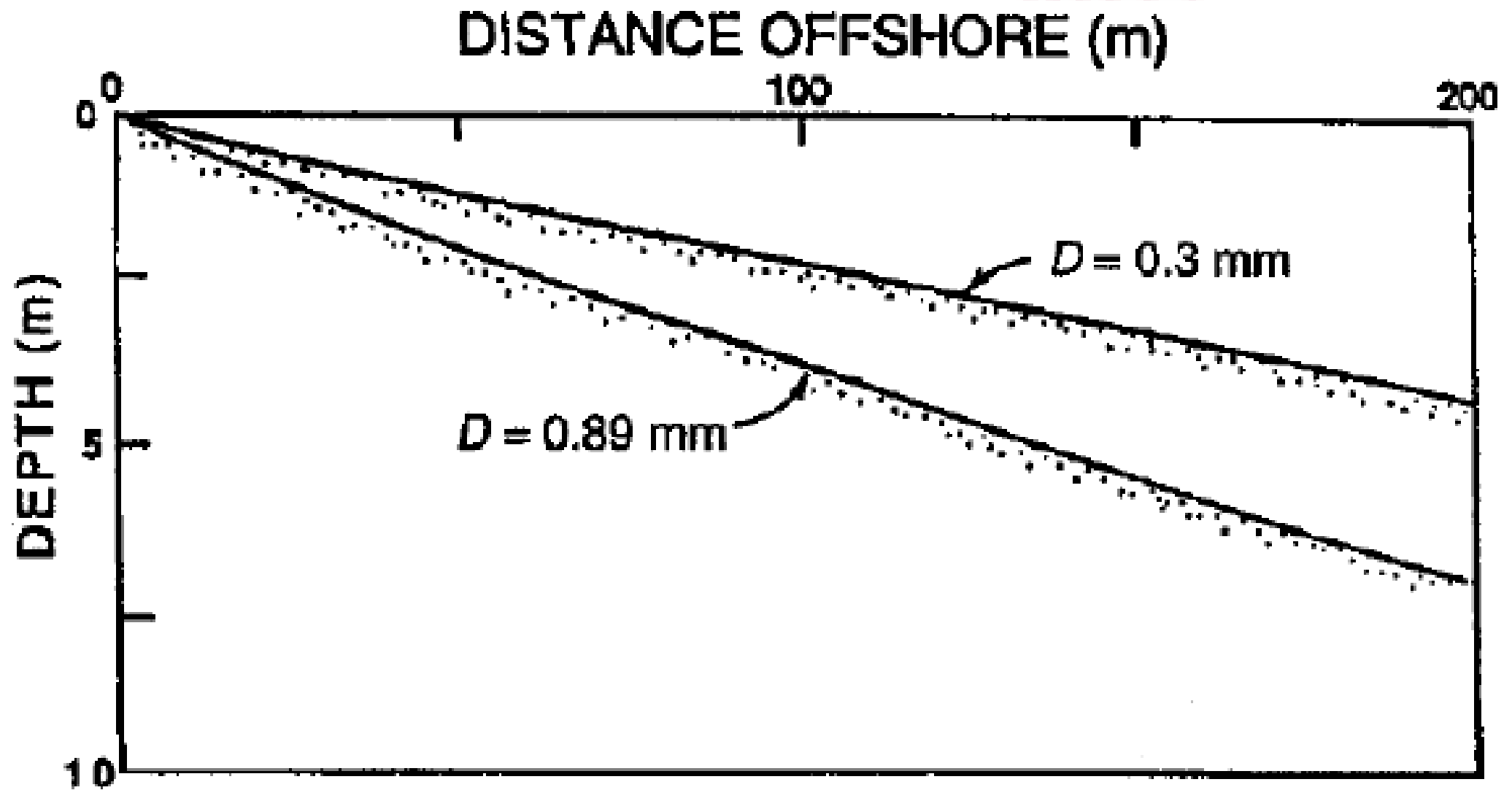
Εκτίμηση A

- Ο Dean (1987) συνέδεσε παράμετρο A και ταχύτητα κατακρήμνισης w_f

$$A = 0,067 w_f^{0,44}$$

- όπου A σε $m^{1/3}$ και w_f σε cm/s

Διαφορά Προφίλ Λεπτόκοκκα – Αδρόκοκκα Ιζήματα



Μεταφορά Ιζήματος **Κ**ατά **Μ**ήκος της **Α**κτής (κμα)

Παράλληλη στην Ακτή Ιζηματομεταφορά

2 μηχανισμοί

Συρόμενη
κίνηση στη
ζώνη
διαβροχής

Μεταφορά
στη ζώνη
θραύσης

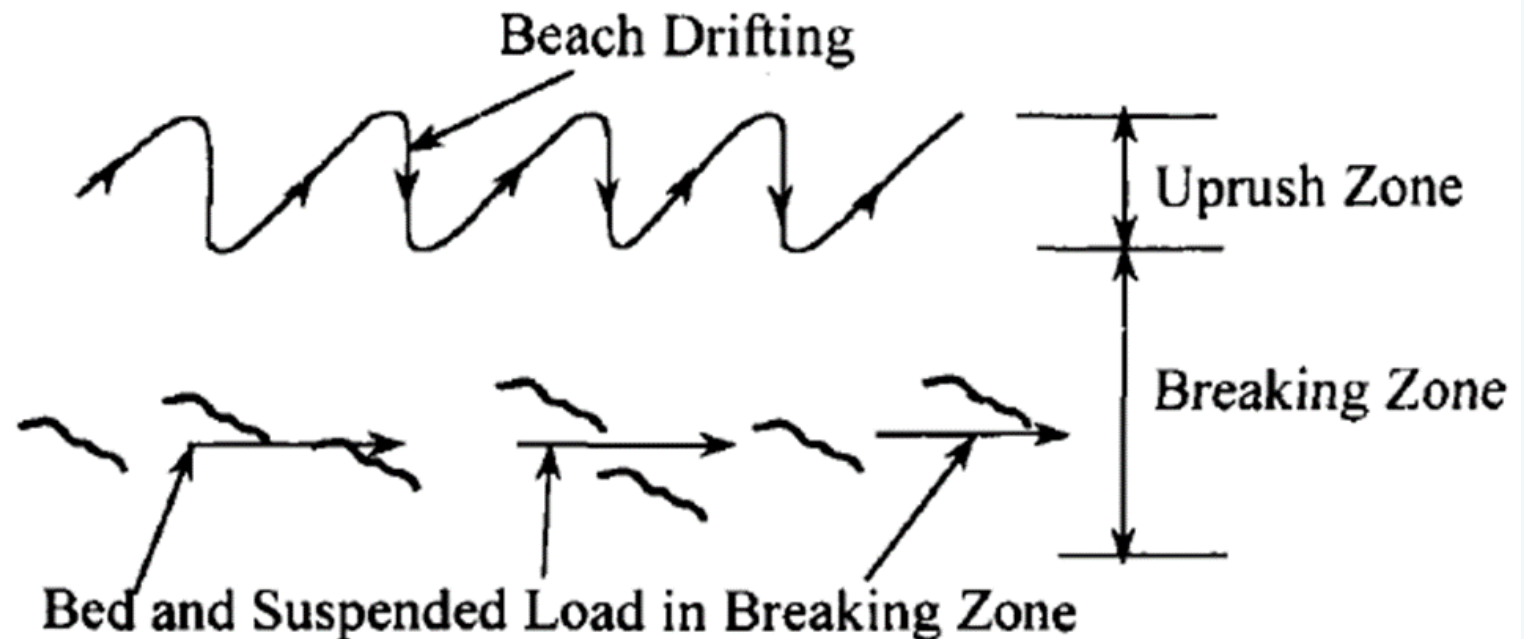
Κυματισμοί



Υπό
γωνία

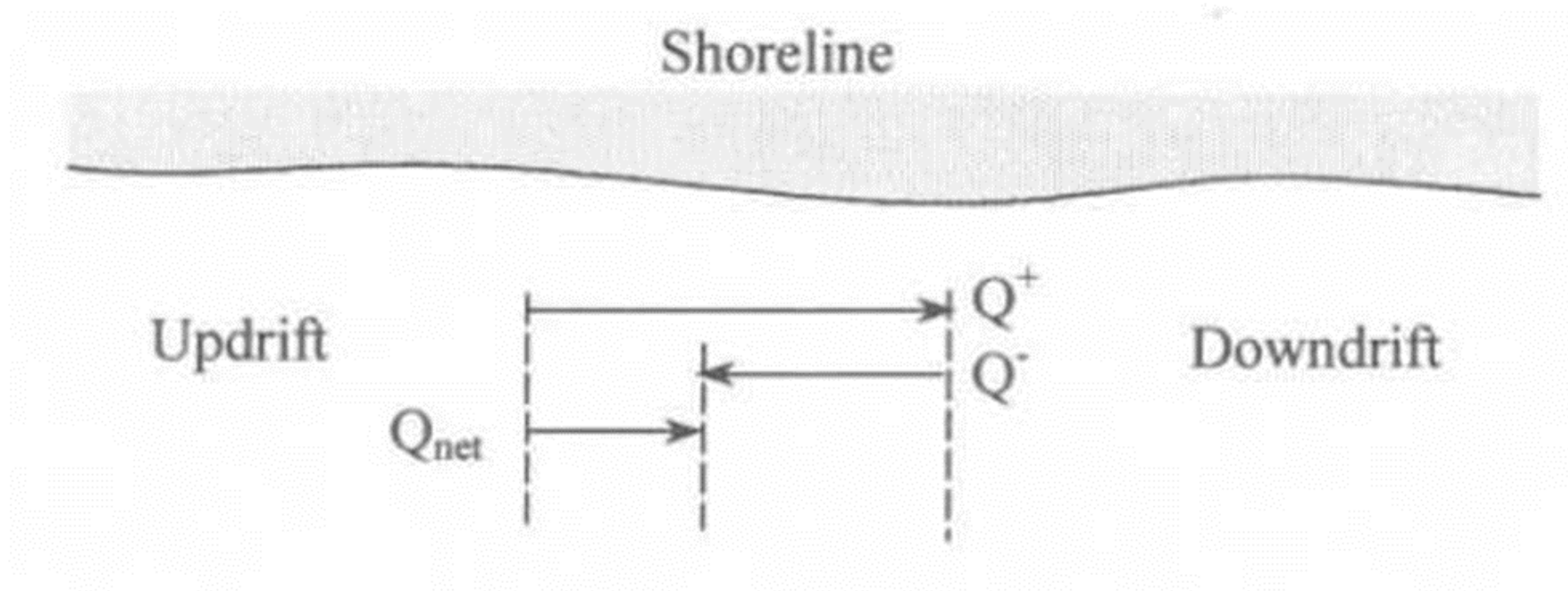


Ίζημα
κμα



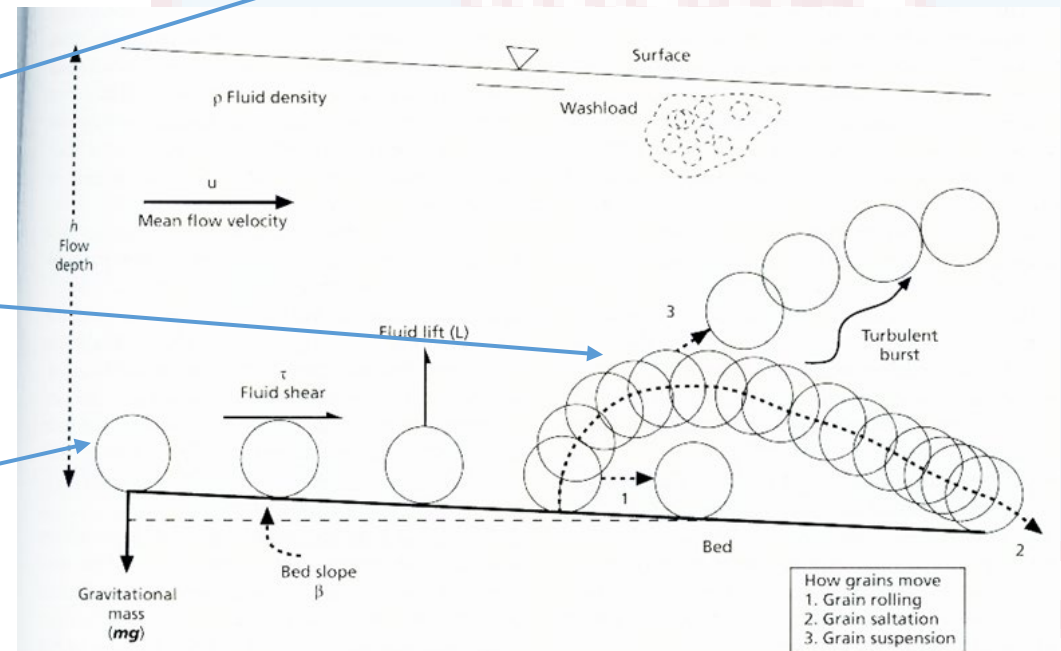
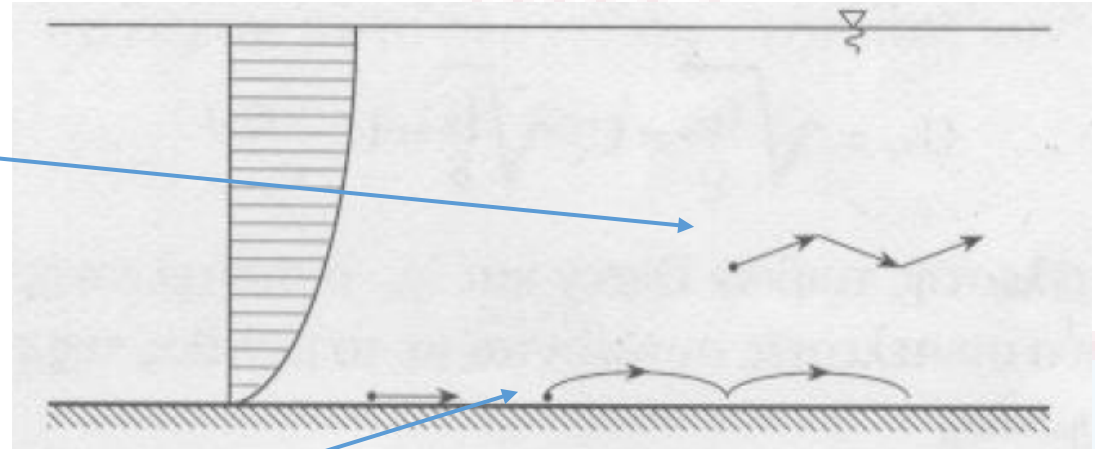
Παράλληλη Ιζηματομεταφορά

- Και προς τις δύο διευθύνσεις
- Έστω θετική φορά προς τα δεξιά, Q^+ αρνητική προς τα αριστερά, Q^-
 - καθαρή μεταφορά (Q_{net}): $Q_{net} = Q^+ + Q^-$
 - ολική μεταφορά (Q_{gross}): $Q_{gross} = Q^+ + |Q^-|$



Τρόποι Ιζηματομεταφοράς

- Υδάτινη στήλη
 - αιώρηση ιζήματος (suspended sediment transport)
 - τυρβοειδείς στρόβιλοι
- Πυθμένα (bed-load sediment transport)
 - μεταφέρονται με άλματα (saltation)
 - κόκκοι κυλίσουν (rolling)



Μετρήσεις πεδίου

- Χρήση ιχνηλατών (tracers) όπως
 - (a) φωσφορίζουσα άμμο (fluorescent sand tracers),
 - (b) χαλίκια αλουμινίου (aluminium pebbles) ($\rho = 2,7 \text{ g/cm}^3$)
 - (c) ηλεκτρονικά χαλίκια (electronic pebbles)

Τοποθετούνται σε συγκεκριμένα σημεία & κατόπιν δείγματα συλλέγονται για να βρεθεί η διασπορά τους και άρα ένταση και διεύθυνση ιζηματομεταφοράς

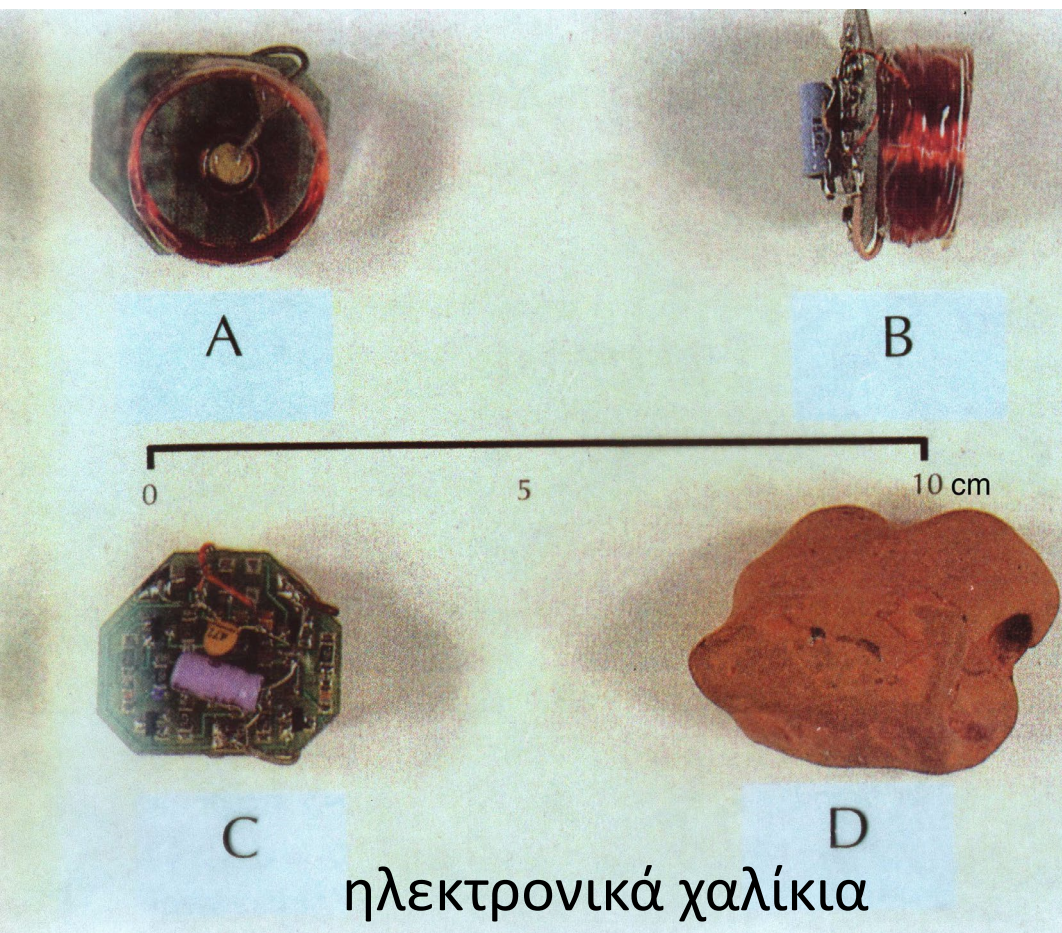
- Ρευματογράφοι
- Κυματομετρητές
- Ιζηματοπαγίδες
- Όργανα που καταγράφουν ιζήματα σε αιώρηση



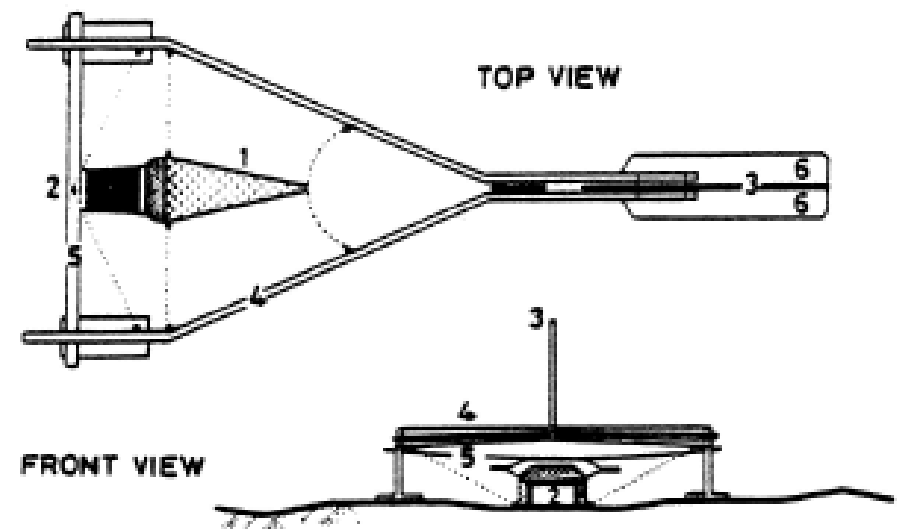
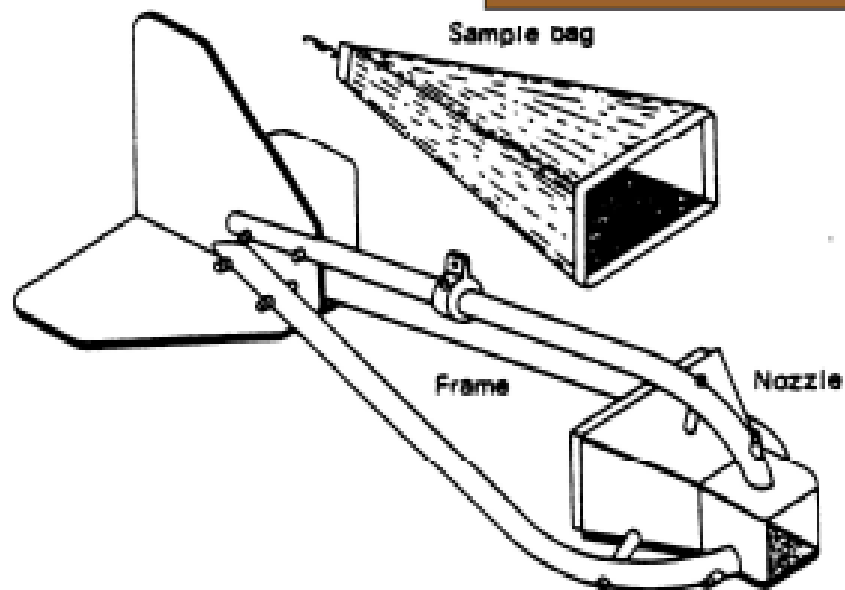
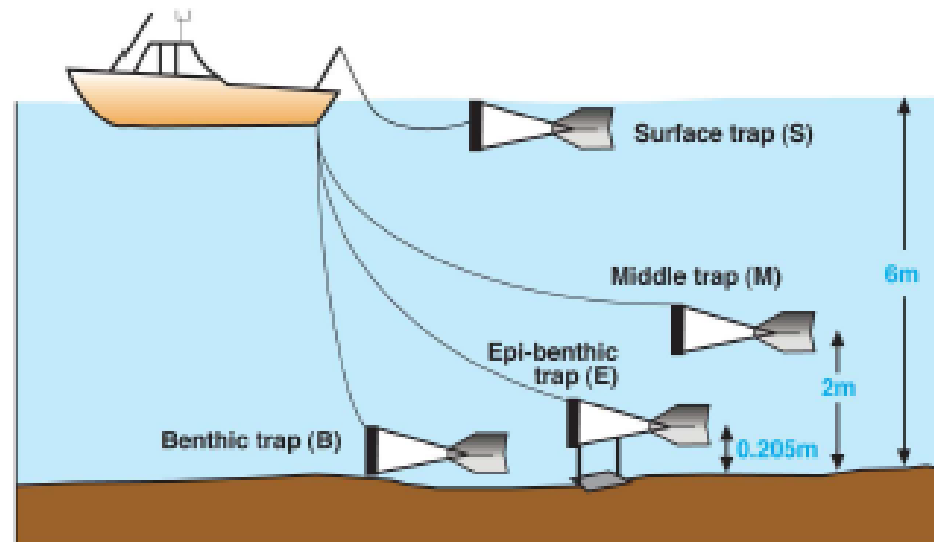
«φωσφορίζουσα» άμμος



χαλίκια αλουμινίου



Ιζηματοπαγίδες



Μέθοδοι υπολογισμού παράλληλης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς

CERC (1984)

- Ρυθμός παράλληλης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς, $Q_{longshore}$

$$Q_l = \frac{I_l}{(\rho_s - \rho)g(1-n)} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

Όπου

- ρ_s πυκνότητα μάζας των κόκκων ιζήματος
- ρ η πυκνότητα μάζας του νερού
- g η επιτάχυνση της βαρύτητας
- n συντελεστής πορώδους του υλικού ($n \sim 0.4$)
- I_l βυθισμένη παροχή βάρους (immersed weight transport rate)

CERC (1984)

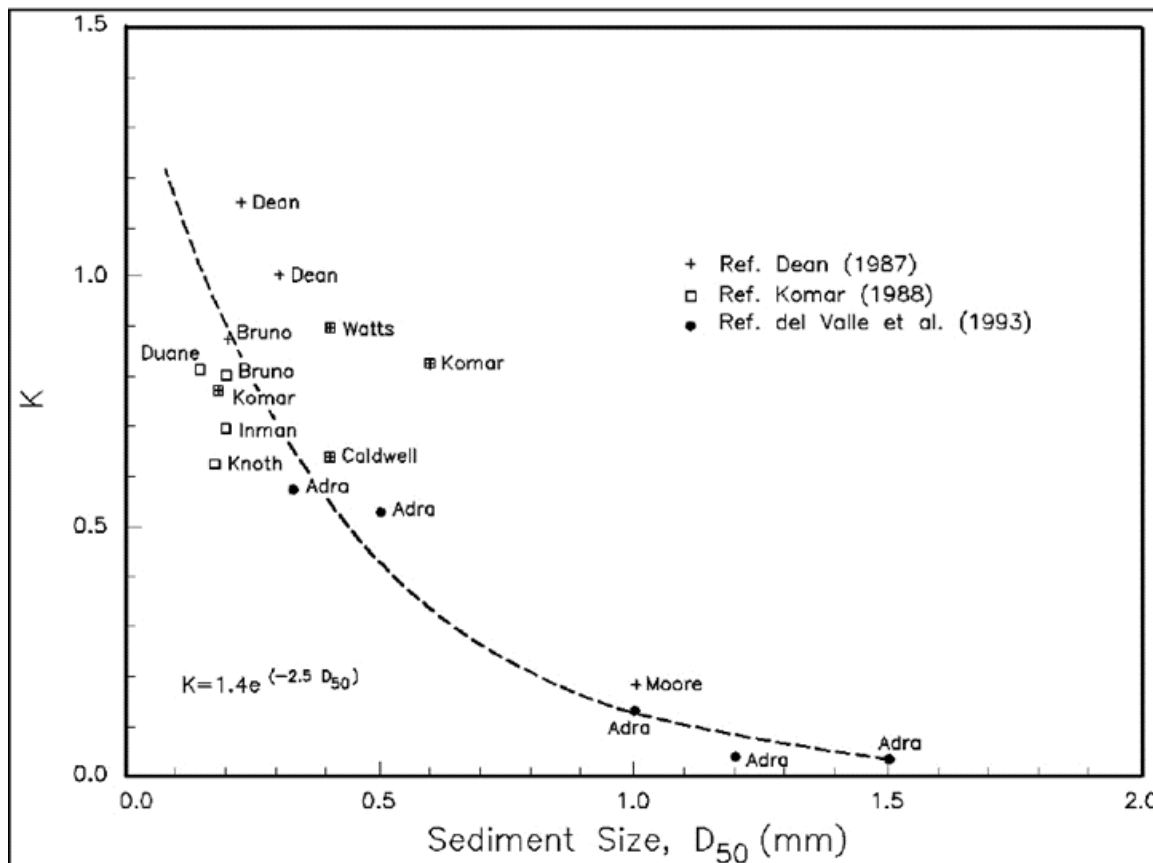
- Η βυθισμένη παροχή βάρους & ροή κυματικής ενέργειας έχουν ίδιες μονάδες (N/s) και συνδέονται μέσω της σχέσης

$$I_l = K P_l$$

- Με K = εμπειρικός συντελεστής αναλογίας της Ιζηματομεταφοράς Παράλληλα στην Ακτή
- P_l = ροή κυματικής ενέργειας παράλληλα στην ακτή (longshore wave energy flux),
$$P_l = (E_b C_g)_b \sin a_b \cos a_b$$
- όπου E_b η κυματική ενέργεια στο σημείο θραύσης, C_{gb} η ταχύτητα κυματικής ομάδας και a_b η γωνία πρόσπτωσης στο σημείο θραύσης
- $C_g = \sqrt{g d_b}$ με d_b το βάθος νερού στο σημείο θραύσης.

Συντελεστής Αναλογίας της Ιζηματομεταφοράς Παράλληλα στην Ακτή [K]

- Η τιμή του είναι πολύ σημαντική και εκτιμάται από δεδομένα πεδίου. Η πλέον συνηθισμένη τιμή που του δίνεται είναι 0,7.
- Εξαρτάται από την διάμετρο των κόκκων



κατά del Valle, Medina,
and Losada (1993)

$$K = 1.4 * e^{(-2.5 * D_{50})}$$

Figure III-2-6. Coefficient K versus median grain size D_{50} (del Valle, Medina, and Losada 1993)

Σχέση Kamphuis (1991)

- Έχει παραμέτρους την κυματική περίοδο και την κλίση πυθμένα

$$Q_s = 2,27 \cdot H_{sb}^2 T_p^{1.5} m_b^{0,75} D^{-0,25} \sin^{0,6} 2\alpha_b$$

Q_s : Βυθισμένη παροχή μάζας ($\frac{\text{kg}}{\text{s}}$)

H_{sb} : ύψος κύματος στο σημείο θραύσης

T_p : περίοδος κυματισμού

m_b : κλίση πυθμένα

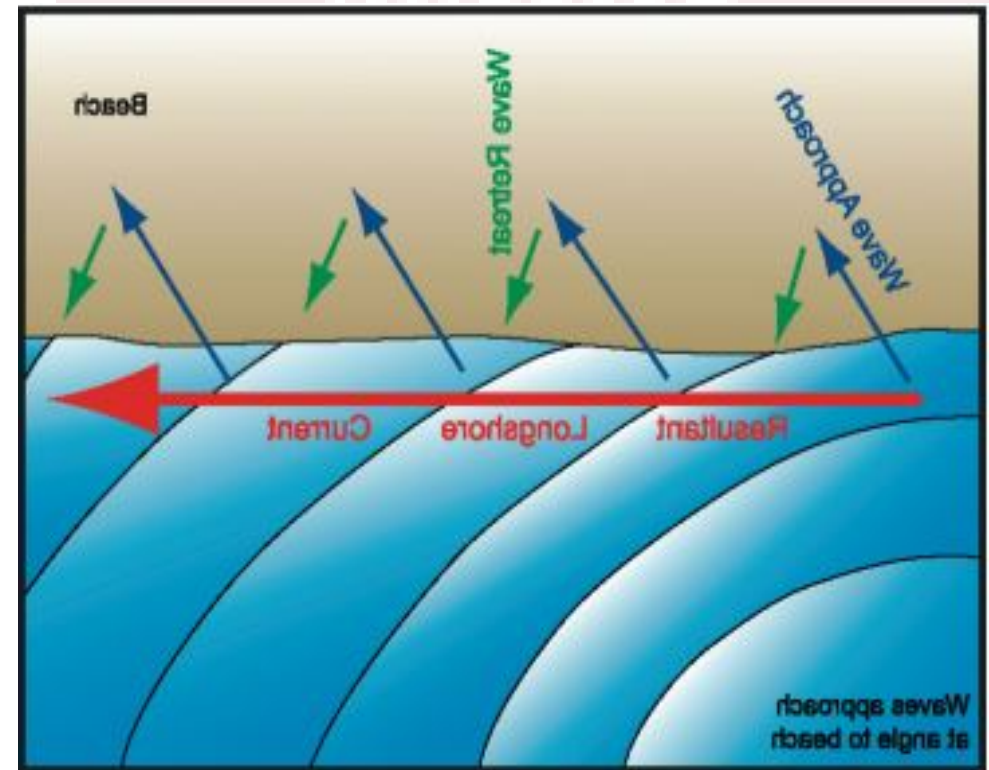
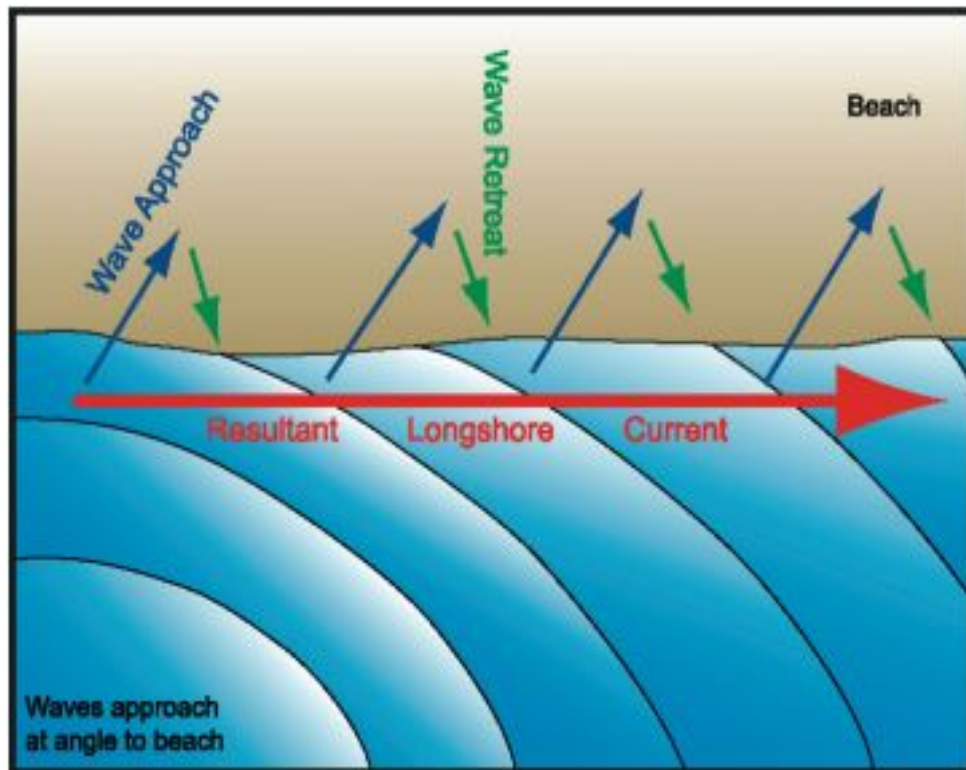
D : διάμετρος κόκκων

Experiment Number	Measured m^3/yr	CERC Formula ($K = 0.39$) m^3/yr	Bailard m^3/yr	Ozhan m^3/yr	Kamphuis m^3/yr	Madsen m^3/yr
1	2 660	21 350	10 660	4 470	2 390	6 630
2	7 040	23 100	14 570	25 830	6 060	8 350
3	1 130	8 400	4 500	3 010	1 010	2 090
4	4 040	12 040	5 250	15 430	3 160	5 000

Η CERC έχει επικριθεί για υπερεκτίμηση της ιζηματομεταφοράς σε συνθήκες υψηλών κυματισμών

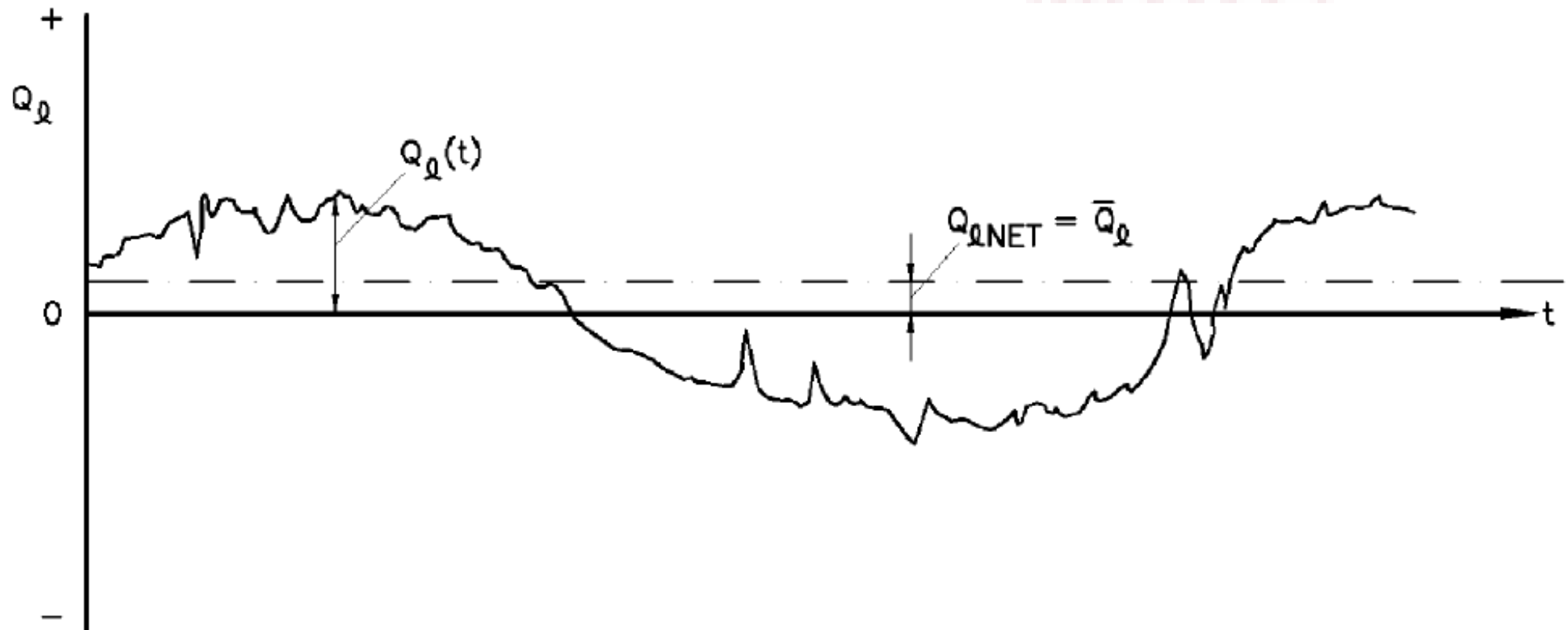
Συνολική στερεομεταφορά ακτής

- Η κατεύθυνση της στερεομεταφοράς αλλάζει ανάλογα τη κατεύθυνση των κυματισμών και συνεπώς της κατεύθυνσης των ρευμάτων παράλληλα στην ακτή.



Συνολική στερεομεταφορά ακτής

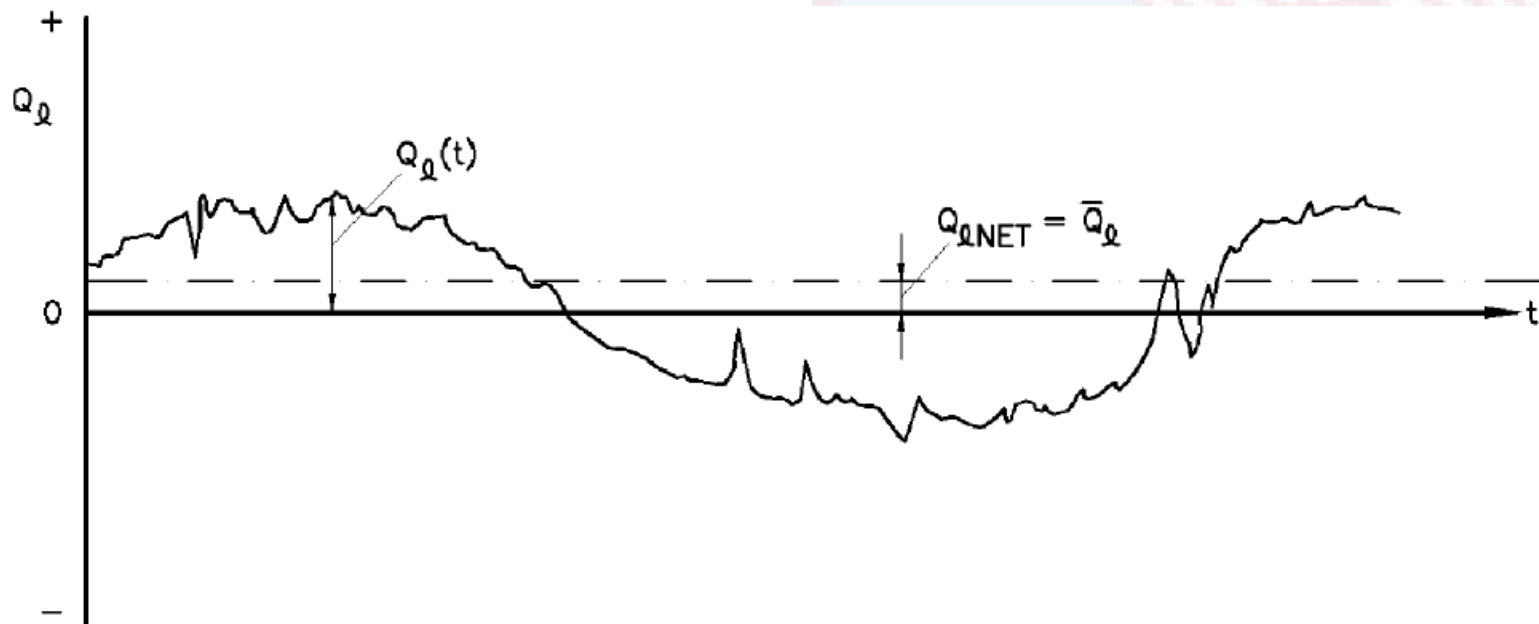
- Έστω ότι θεωρούμε τη μια κατεύθυνση μεταφοράς ως θετική.
- Τότε η στερεομεταφορά για ένα σημείο της ακτής συναρτήσει του χρόνου μπορεί να είναι ως εξής:



Συνολική στερεομεταφορά ακτής

- Τότε η καθαρή στερεομεταφορά για το σημείο αυτό δίνεται από το χρονικό μέσο όρο:

$$Q_{\ell NET} \equiv \overline{Q_{\ell}} = \frac{1}{T_o} \int_0^{T_o} Q_{\ell}(t) dt$$



Βιβλιογραφία [1]

- Birkemeier W.A., 1985, Field Data on Seaward Limit of Profile Change, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.111, 3 , pp.598-602
- Fredsøe J. & Deigaard R., 1992, Mechanics of Coastal Sediment Transport, Advanced series on Ocean Engineering Vol.3, World Scientific Publishing
- Dean R.G., 1991, Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, Journal of Coastal Research, Vol.7, 1, pp.53-84
- Dean R.G., 2002, Beach nourishment: Theory and Practice, Advanced series on Ocean Engineering Vol.18, World Scientific Publishing
- Hallermeier R.J., 1981, A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate, Coastal Engineering, Vol.4, pp.253-277
- Kamphuis J.W., 1991, Alongshore Sediment Transport Rate, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, 6 , pp.624-640
- Kamphuis J.W., 2000, Introduction to Coastal Engineering and Management, Advanced series on Ocean Engineering Vol.16, World Scientific Publishing
- Kraus C.N. et al., 1998, Depth of Closure in Beach Fill Design, CETN II-40, USACE

Βιβλιογραφία [2]

- Larson M. & Kraus C.N., 1994, Temporal and Spatial Scales of Beach Profile Change, Duck, North Carolina, Marine Geology, Vol.117, pp.75-94
- Larson M. & Kraus C.N., 1995, Prediction of Cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales, Marine Geology, Vol.126, pp.111-127
- Nicholls R.J. et al., 1998, Evaluation of Depth of Closure Using Data from Duck, NC, USA, Marine Geology, Vol.148, pp.179-201
- Pikley O.H. et al., 1993, The Concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review, Journal of Coastal Research, Vol.9, 1, pp.255-278
- Smith E., 2006, Longshore Sediment Transport Rate Calculated Incorporating Wave Orbital Velocity Fluctuations, USACE, ERDC/CHL TR- 06-18 (<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA455449>)
- U.S.A.C.E., Coastal Engineering Manual, 2002
- Van Rijn L.C., 2007, Manual Sediment Transport Measurements in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publications (http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/Manual_Sediment_Transport_Measurements_in_Rivers,_Estuaries_and_Coastal_Seas)
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Διάβρωση ακτών - Μέτρα αντιμετώπισης
Σχεδιασμός κυματοθραύστη

Διάβρωση ακτών

Μη αναστρέψιμη
οπισθοχώρηση της
ακτογραμμής

Οφείλεται σε φυσικές
διεργασίες αλλά και
ανθρωπογενείς επεμβάσεις



Morris Island, S. Carolina, USA
ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική

Φυσικές Διεργασίες

Δράση των κυματισμών

Παράκτια ρεύματα

Άνοδος στάθμης θάλασσας

Τεκτονικές κινήσεις

Έλλειμα στο ισοζύγιο ιζημάτων κ.α.

Επηρεάζονται από ανθρωπογενείς επεμβάσεις

Ανθρωπογενείς επεμβάσεις

Έργα διαχείρισης
λεκανών απορροής

Φράγματα

Λιμενοδεξαμενές

Εξαγωγή ιζημάτων

από ποταμούς και παραλίες

Παράκτια οικιστική
ανάπτυξη

Δρόμοι

Κτήρια

Κατασκευή

Λιμένων

Άστοχων έργων προστασίας

Κύριες αρνητικές επιπτώσεις

Απώλεια γης οικολογικής αξίας

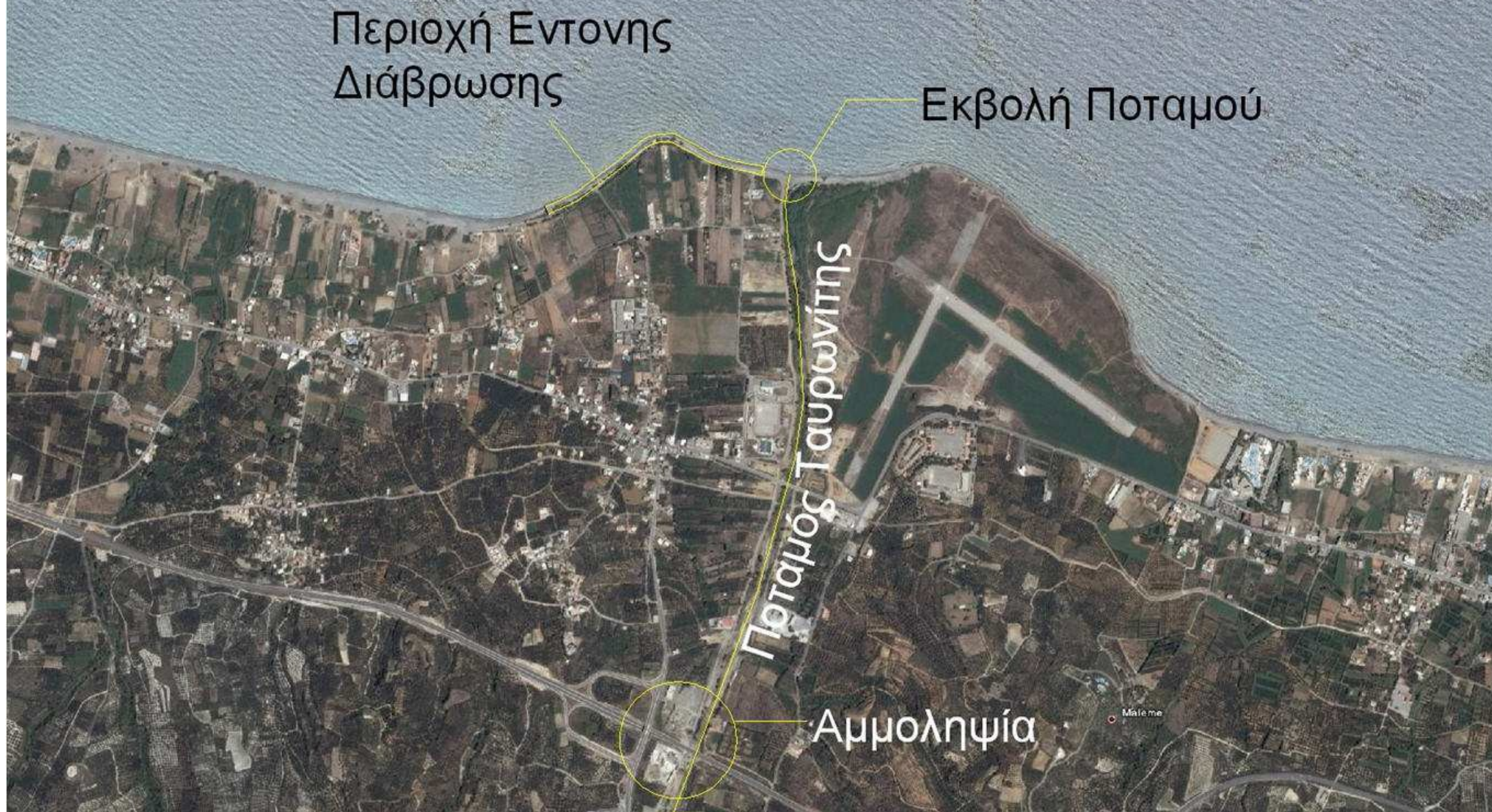
- Υφάλμυρα οικοσυστήματα
- Λιμνοθάλασσες
- Παράκτια έλη
- Αμμοθίνες

Αρνητικές συνέπειες στην οικονομία

- Οικιστική
- Τουριστική
- Δαπανηρές επενδύσεις
- Απώλειες περιουσιών



Ταυρωνίτης, Χανιά





Ταυρωνίτης, Χανιά

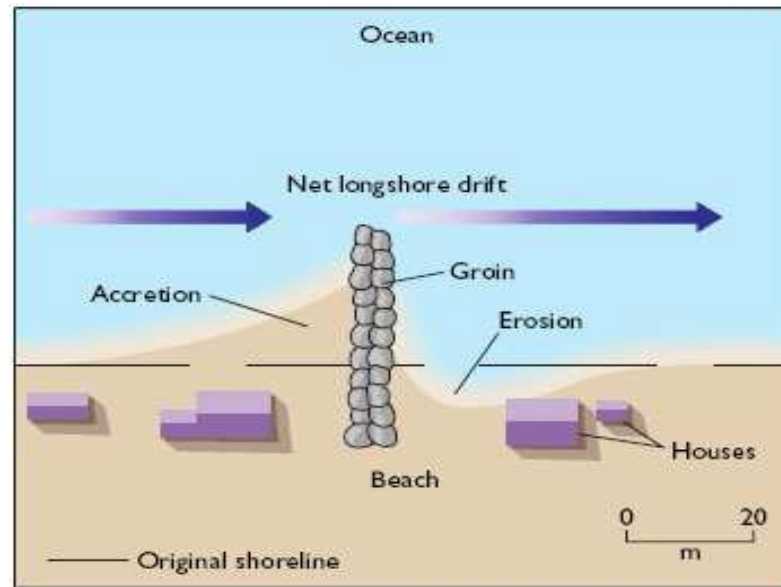


Αμμοληψία στην κοίτη του
ποταμού Ταυρωνίτη

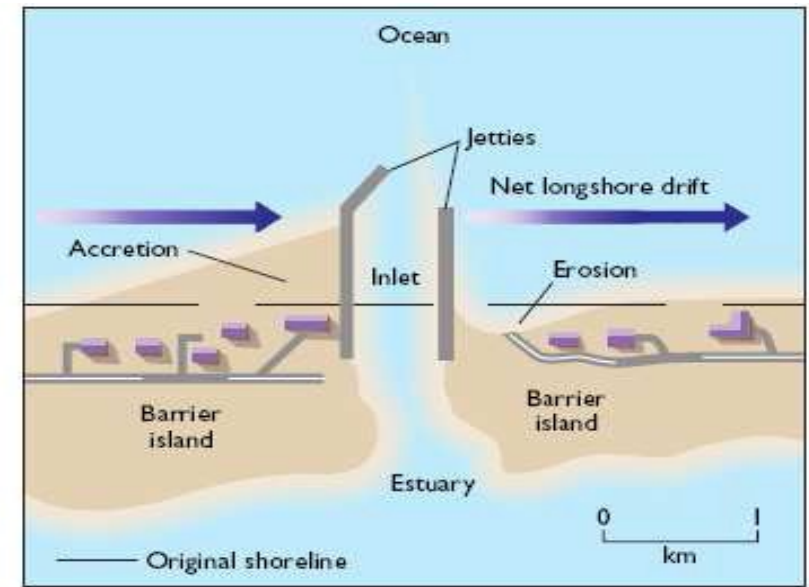
Επίδραση παράκτιων κατασκευών



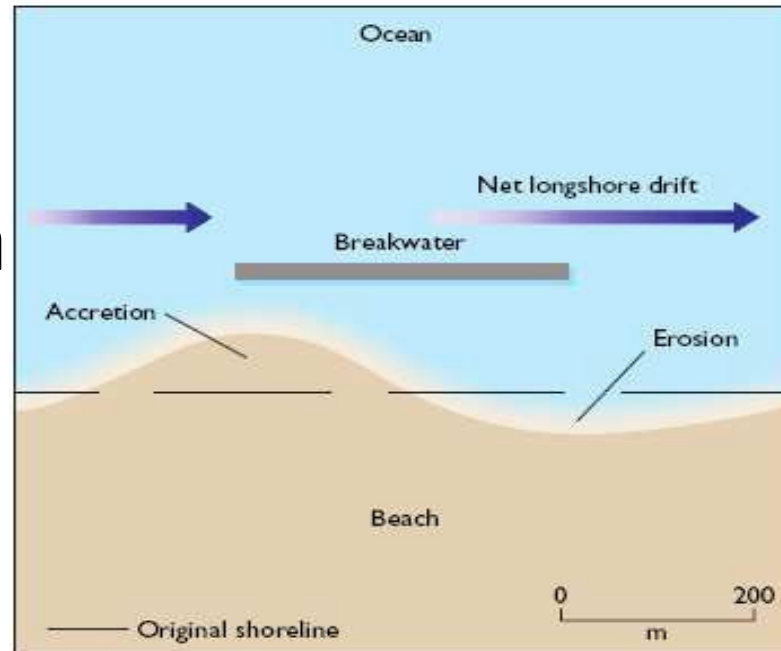
Επίδραση κοντών και μακριών προβόλων



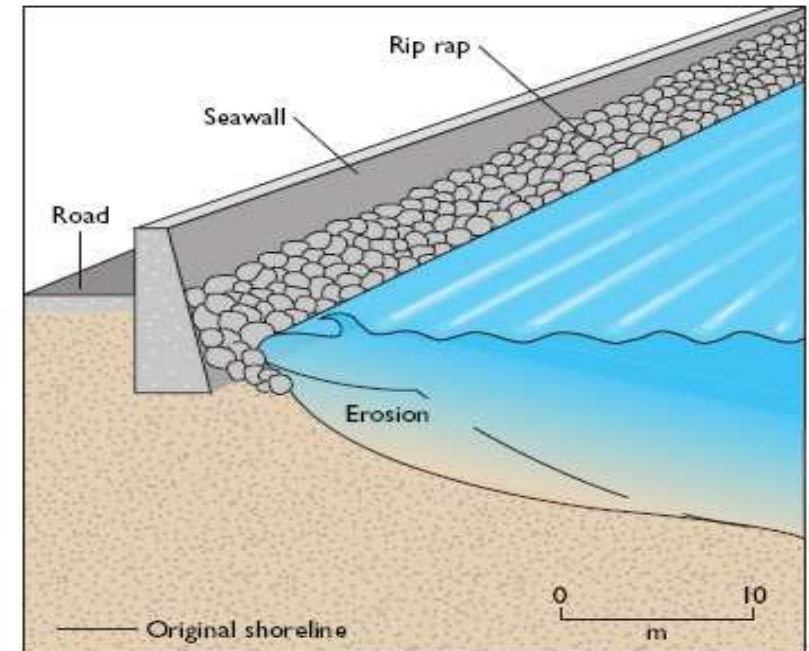
(a) GROIN



(b) JETTIES



(c) BREAKWATER

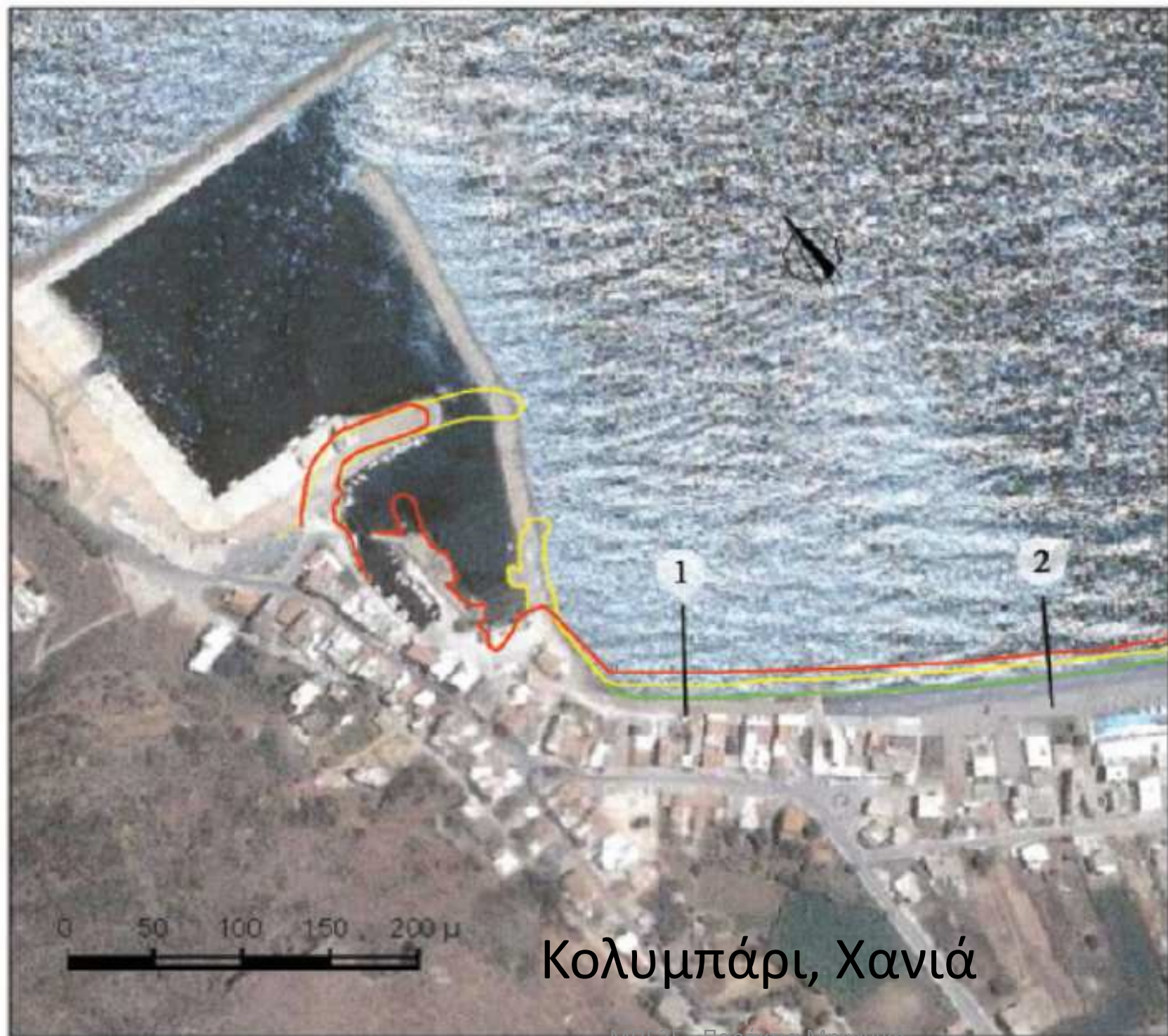


(d) SEAWALL

- Επίδραση κυματοθραύστη
- Επίδραση θαλάσσιου τοίχους

Κολυμπάρι, Χανιά





— έτος 1973
— έτος 1983
— έτος 2005

τομή 1

— 7,3 m
— 8,0 m

τομή 2

— 5,5 m
— 8,5 m

Κολυμπάρι, Χανιά



Κολυμπάρι, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική



Κολυμπάρι, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική



Κολυμπάρι, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική



Κολυμπάρι, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική



Κολυμπάρι, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική

Άνοδος Στάθμης Θάλασσας

Τεκτονικές Κάθετες Γήινες Κινήσεις

Αύξηση της Μέσης Παγκόσμιας Θερμοκρασίας

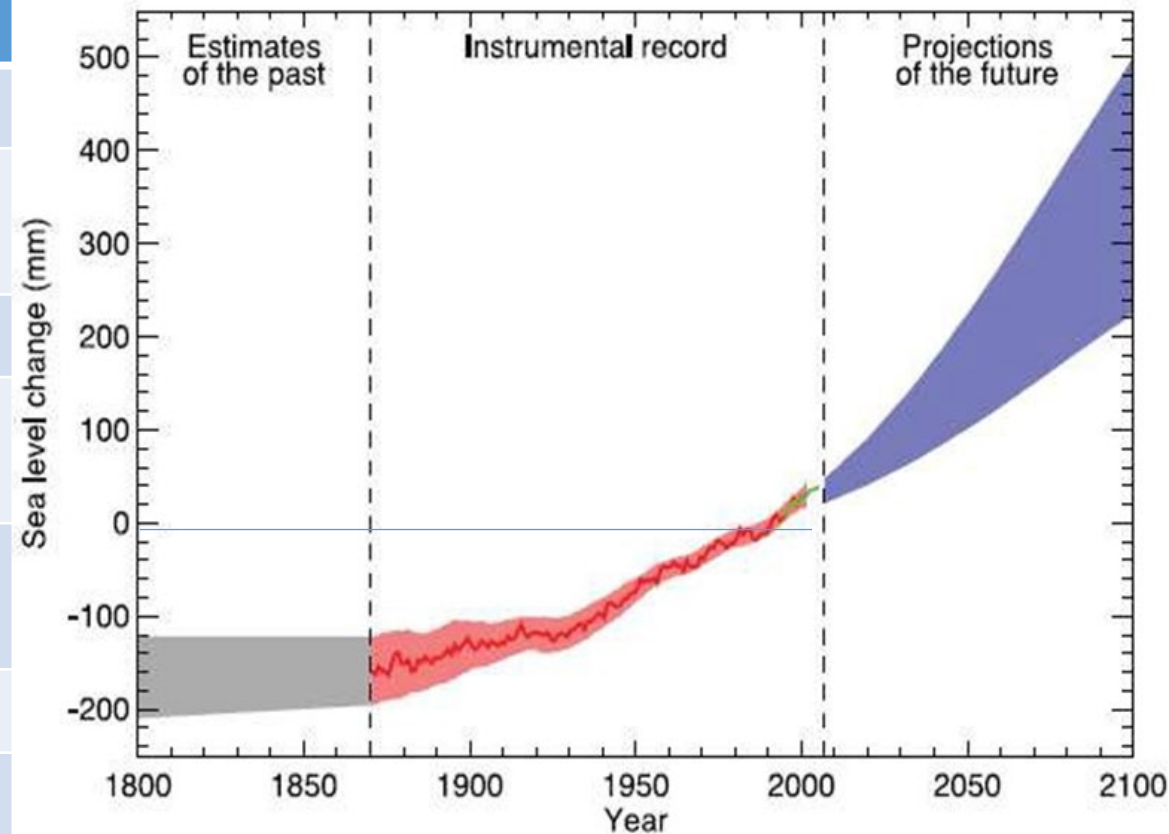
Παλιρροιακά Φαινόμενα και Εποχιακές Κλιματικές διακυμάνσεις

Φουσκοθαλασιές

Παρατηρημένη Αύξηση Στάθμης IPCC, 2007

Αιτία	Ρυθμός Αύξησης [mm/year]	
	1961-2003	1993-2003
Θερμική Διόγκωση	$0,42 \pm 0,12$	$1,6 \pm 0,5$
Παγετώνες	$0,50 \pm 0,18$	$0,77 \pm 0,22$
Πάγοι Γροιλανδίας	$0,05 \pm 0,12$	$0,21 \pm 0,07$
Πάγοι Ανταρκτικής	$0,14 \pm 0,41$	$0,21 \pm 0,35$
Άθροισμα	$1,1 \pm 0,5$	$2,8 \pm 0,7$
Παρατηρημένη	$1,8 \pm 0,5^a$	$3,1 \pm 0,7^a$
Διαφορά	$0,7 \pm 0,7$	$0,3 \pm 1,0$

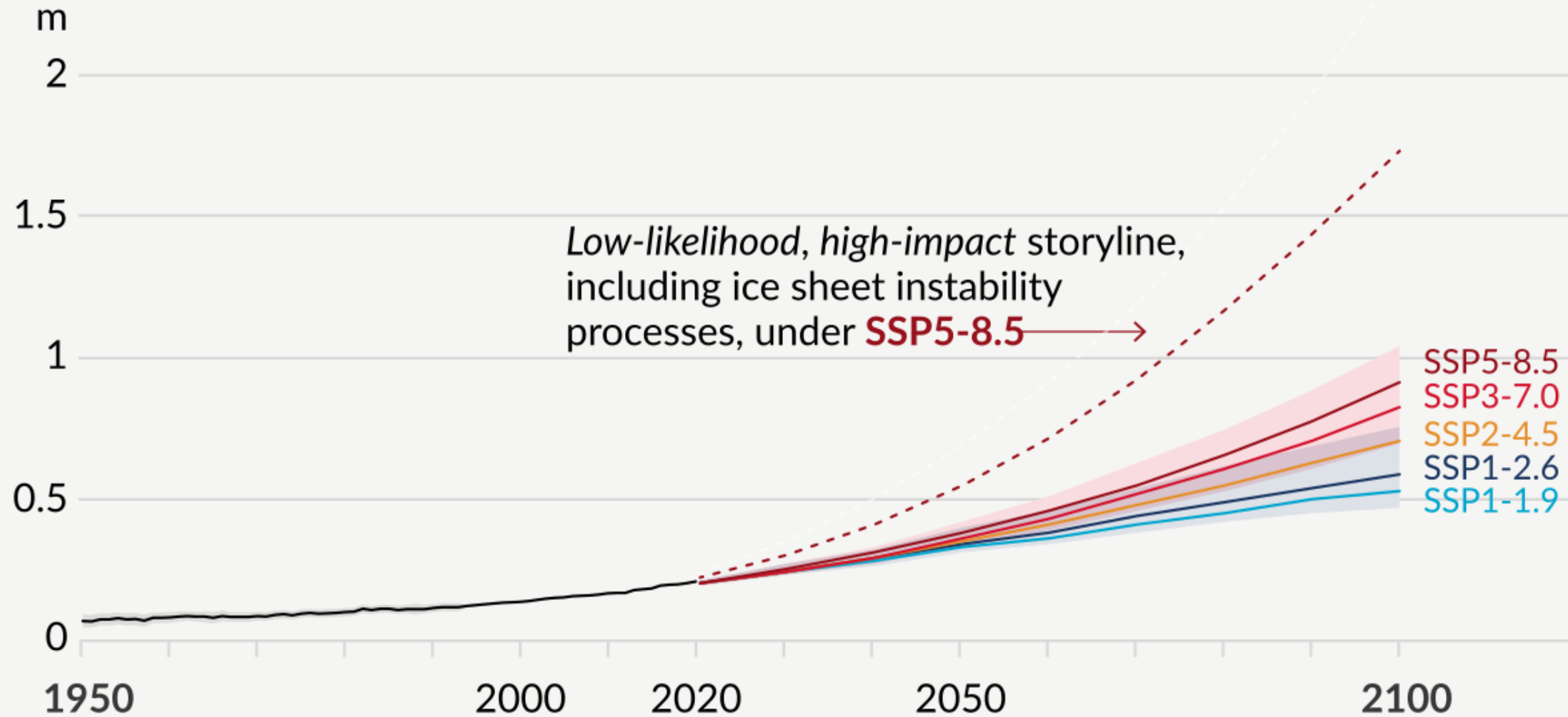
^a Μετρήσεις πριν το 1993 από σταθμούς παλίρροιας, ενώ μετά το 1993 από δορυφόρους



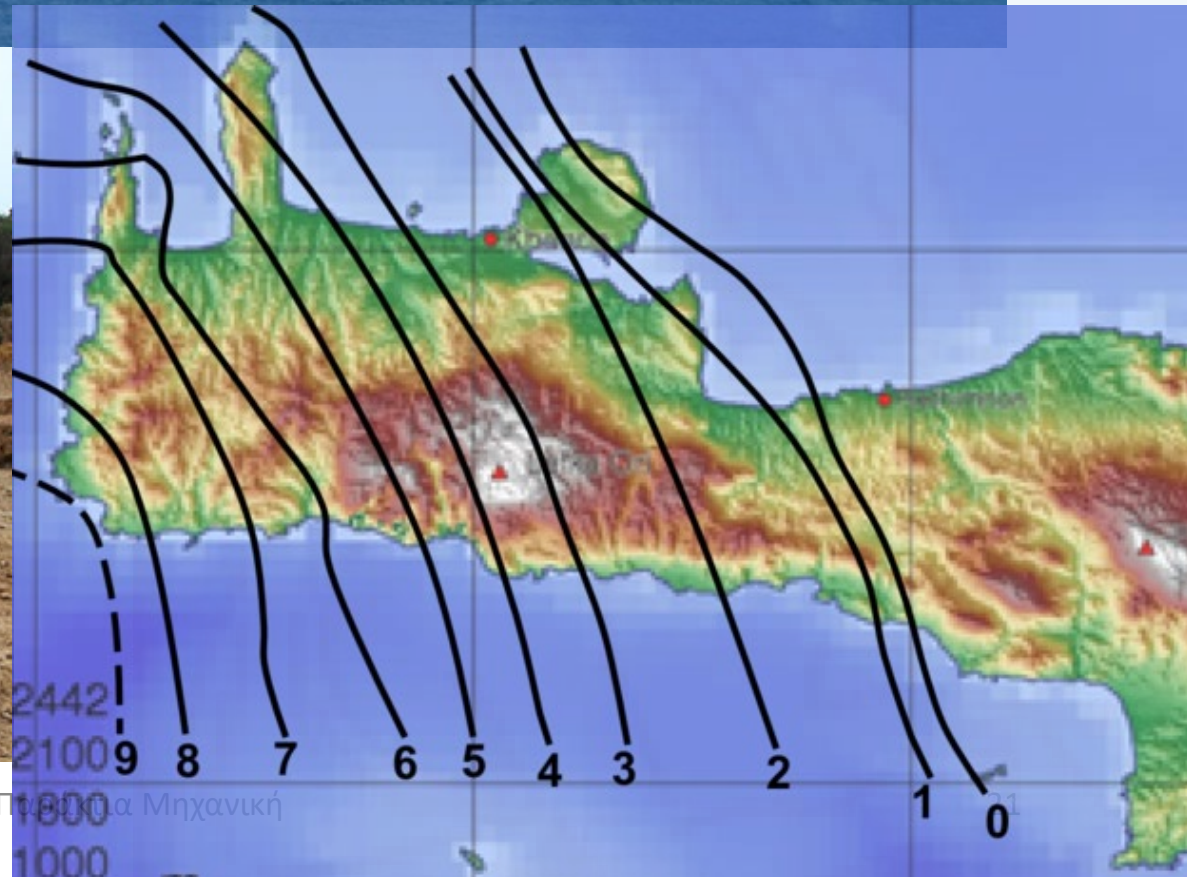
Παρατηρημένες τιμές και εκτιμήσεις

Αύξηση Στάθμης – σενάρια - IPCC, 2021

d) Global mean sea level change relative to 1900



Κάθετες τεκτονικές κινήσεις



Μείωση παροχής ιζημάτων



Η παροχή ιζημάτων στις παραλίες γίνεται από:

Ποταμούς / χείμαρρους

- προϊόντα διάβρωσης γεωλογικών σχηματισμών

Διάβρωση παρακτίων βραχωδών ακτών

- άμμο και ιζήματα σε γειτονικές παραλίες

Γειτονικές παραλίες

- κατά μήκος ακτής ιζηματομεταφορά

Μεταφορά υποθαλασσίων παρακτίων ιζημάτων

- constructive swells

Ανθρώπινες παρεμβάσεις

- εμπλουτισμός

Ιζηήματα χάνονται από τις παραλίες λόγω

Δράσης θυελλωδών κυμάτων

- Απομάκρυνση προς την ανοικτή θάλασσα

Αιολικής απομάκρυνσης τους προς την ενδοχώρα

Κατά μήκος ακτής μεταφορά προς γειτονικές παραλίες

Ανθρώπινων παρεμβάσεων

- Κατασκευή άστοχων παράκτιων έργων
- Εξόρυξη ποταμίων και παραλιακών ιζημάτων
- Παγίδευσης ιζημάτων ανάντη σε ποτάμια

Παγίδευση ιζημάτων σε φράγμα

WESTERN WATER

How a useless dam nearly destroyed an iconic beach

Jeremy P. Jacobs, E&E News reporter • Published: Wednesday, August 23, 2017



Local groups, including outdoor gear maker Patagonia, have been pushing to remove Matilija Dam in Ventura County for decades. Built in the 1940s, the dam no longer serves any purpose other than blocking sand that would otherwise reach the beach downstream. Anti-dam activists painted the scissors and dashes. Jeremy P. Jacobs/E&E News

Παγίδευση ιζήματος σε φράγμα

Ventura, CA, USA, 1994



2019



Μέτρα αντιμετώπισης της διάβρωσης

Μη δράση

Υποχώρηση και επανεγκατάσταση

Σκληρά μέτρα προστασίας

Ήπια μέτρα προστασίας (αναπλήρωση ακτών)

Μη δράση

Απλή επιλογή

- κανένα μέτρο προστασίας από διάβρωση

Ενώ η ακτογραμμή θα οπισθοχωρήσει

- η παραλία παραμένει περίπου η ίδια
- απλή μετατόπιση παραλίας και ιζημάτων

Όπου δεν υπάρχουν οικονομικά συμφέροντα

Όμως λόγω συνήθους οικοδομικής ανάπτυξης

- αδύνατη η εφαρμογή της μη δράσης

Υποχώρηση και επανεγκατάσταση

Οπισθοχώρηση πληθυσμών στα ενδότερα

- σε περιοχές μακριά από την ακτή

Υποδομές εγκαταλείπονται, άλλες (μεγάλης πολιτιστικής ή/και συναισθηματικής αξίας) μεταφέρονται

Μερικές φορές είναι η καλύτερη δυνατή στρατηγική

- από οικονομική και αισθητική άποψη
- δεν είναι πάντα εφικτή λόγω κυρίως κοινωνικών και οικονομικών λόγων

Σκληρά μέτρα προστασίας

Αδιαπέρατο όριο θάλασσας - ξηράς

Αντιστέκονται στην ενέργεια των κυματισμών

Προτιμώνται συχνά ως η μόνη εφικτή λύση

Ο τύπος εξαρτάται από

- τοπικές συνθήκες
- ικανότητα μελετητών και κατασκευαστών
- οικονομικές και πολιτικές πιέσεις

Πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα

Τύποι παράκτιων έργων προστασίας

Παράκτιοι τοίχοι (seawalls and revetments)

Πρόβολοι

- (κάθετα έργα στην ακτογραμμή) (groynes/jetties)

Σταθεροποίηση κρημνών

- (cliff stabilisation)

Κυματοθραύστες

- (απομακρυσμένοι από την ακτή – παράλληλα στην ακτογραμμή έργα) (offshore breakwaters)

Παράκτιοι τοίχοι

Κατασκευές παράλληλες και πάνω στην παραλία

Προστατεύουν ενδοχώρα & υποδομές από διάβρωση

Τείνουν να εξαφανίζουν την παραλία

- λόγω θραύσης και αναρρίχησης κυμάτων

Συνήθως μειώνει το πλάτος της παραλίας

- ή συνεισφέρει σε περαιτέρω διάβρωση

Παράκτιοι τοίχοι

Περιορίζουν την πρόσβαση στην παραλία

Αισθητικά ασύμβατοι με το περιβάλλον

Αλλάζουν τα παράκτια ενδιαιτήματα

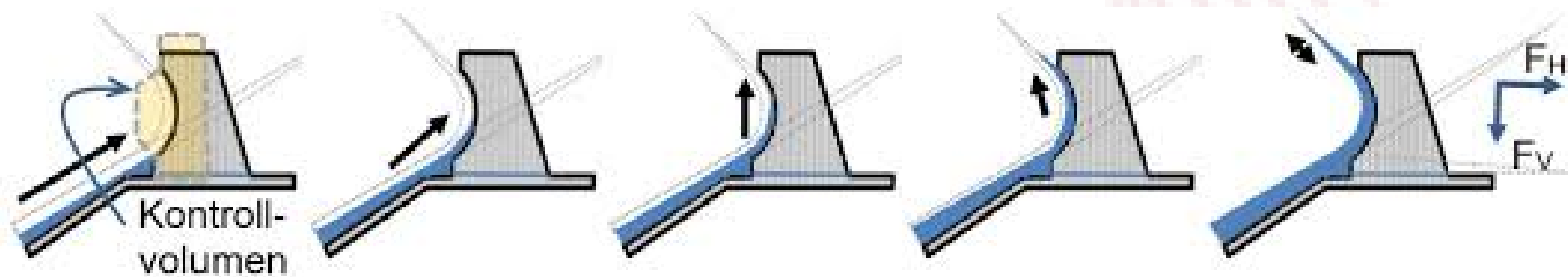
Αλλάζουν το τοπικό κυματικό καθεστώς

Περιορίζουν την παροχή ιζήματος προς την παραλία





Εκτροπείας κυμάτων



Πρόβολοι

Κάθετοι στην ακτή

Συγκρατούν ιζήματα και εμποδίζουν διάβρωση

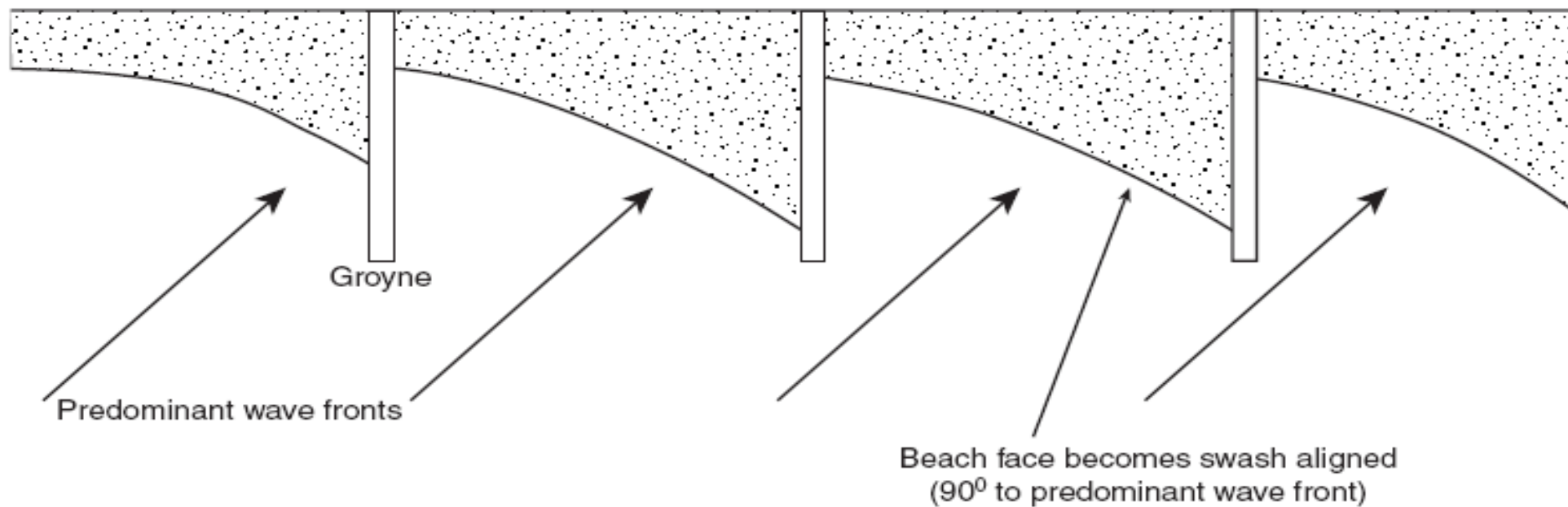
Αποσβένουν κυματική ενέργεια λόγω πρόσχωσης

Επιτυγχάνουν μόνο τοπικά αποτελέσματα

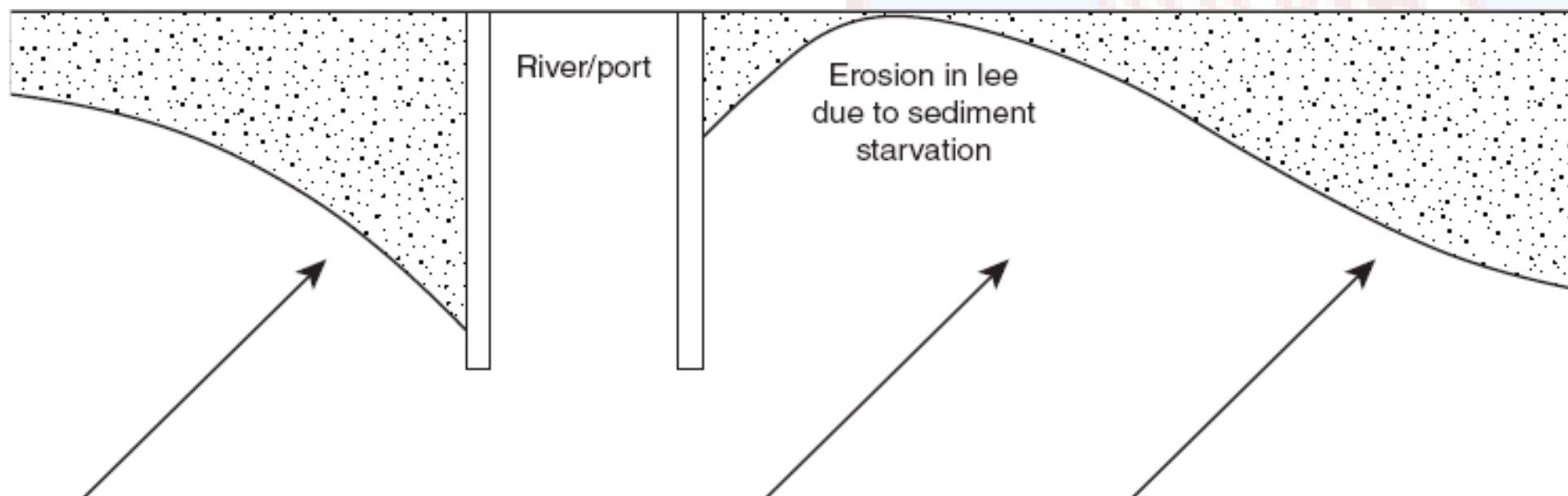
- Απόθεση Ανάντη - Διάβρωση Κατάντη

Πολύπλοκη μελέτη κατασκευής

- Μήκος
- Ύψος
- Απόσταση από ακτή
- Διαστήματος μεταξύ τους



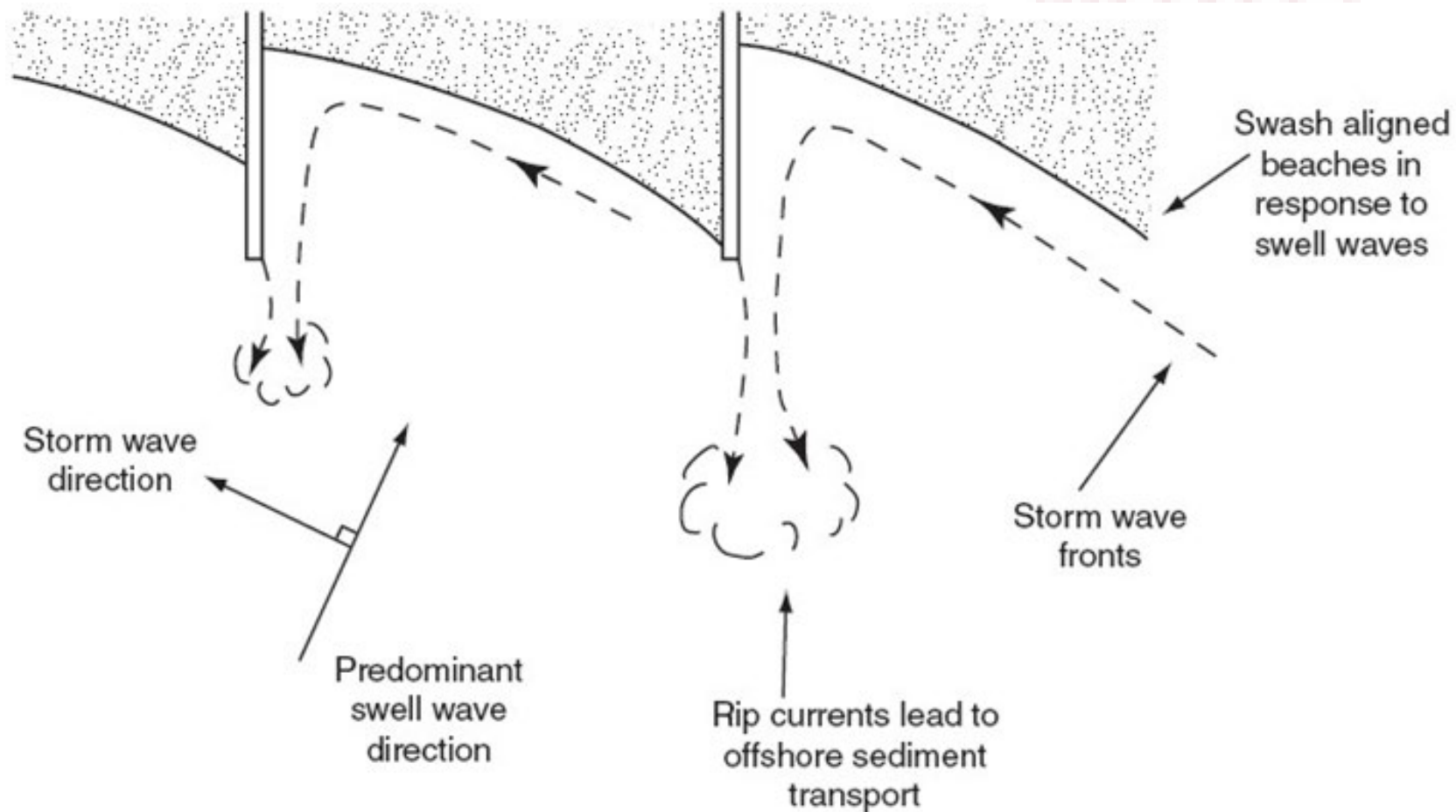
French P., 2001

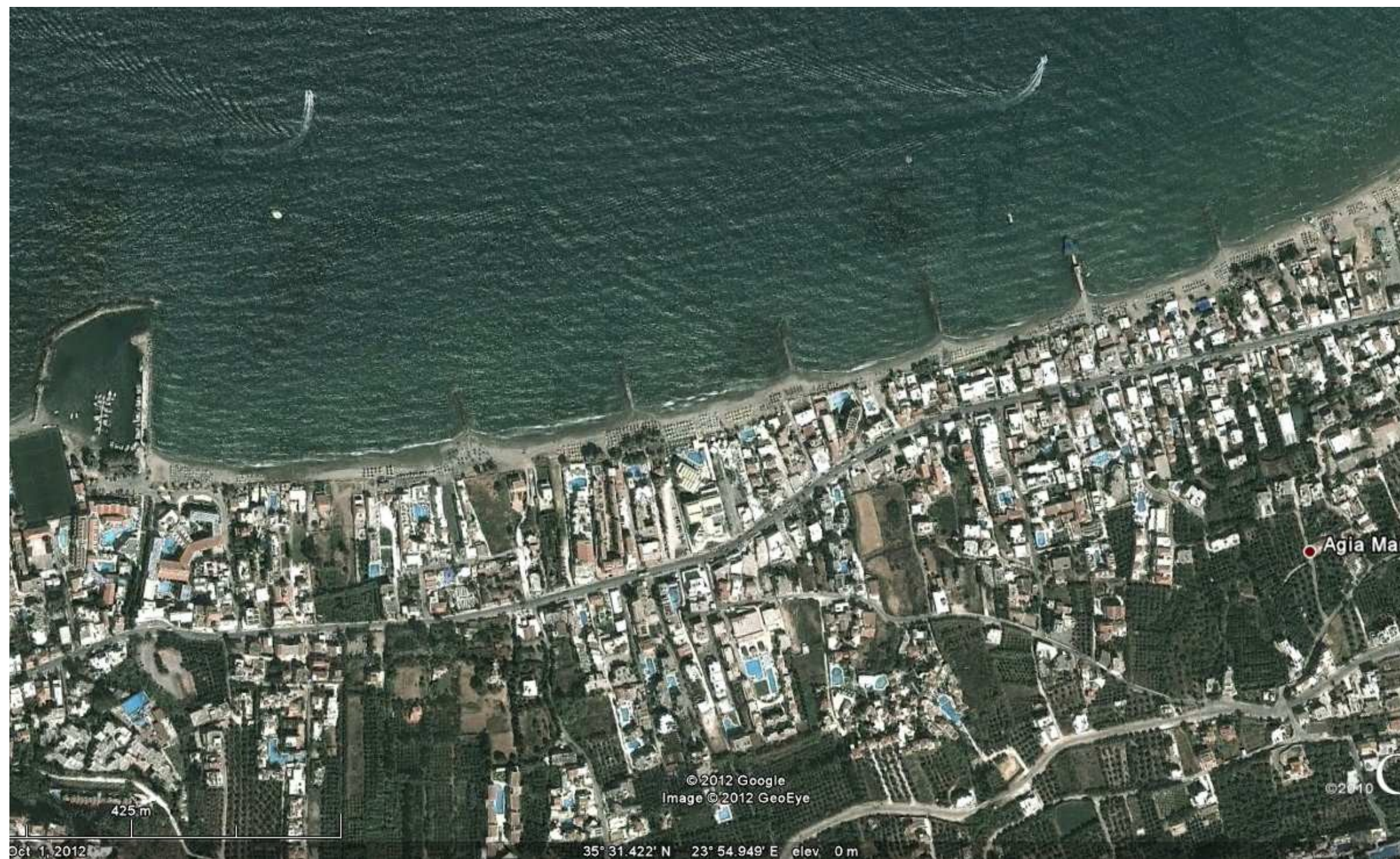


Απώλειες λόγω Προβόλου

Παρεμπόδιση παράλληλης προς την ακτή στερεομεταφοράς

Απώλεια ιζημάτων προς τα ανοιχτά λόγω ρευμάτων





Πλατανιάς, Χανιά

ΜΠ535 - Παράκτια Μηχανική



Κυματοθραύστες

Κυματοθραύστες (απομακρυσμένοι από την ακτή – παράλληλα στην ακτογραμμή έργα)

Πιο συνηθισμένες κατασκευές

Σκοπός: κυματική θραύση μακριά από παραλία

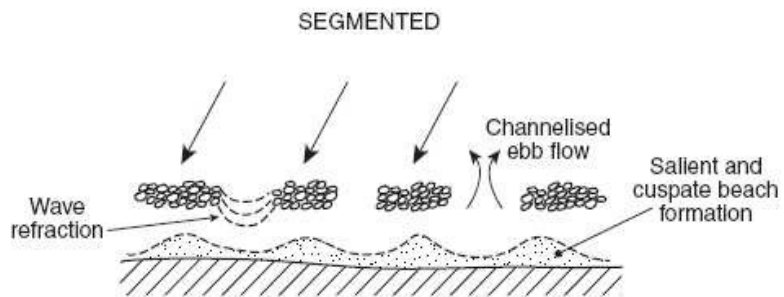
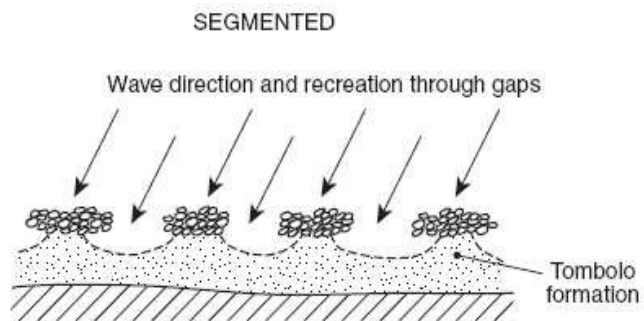
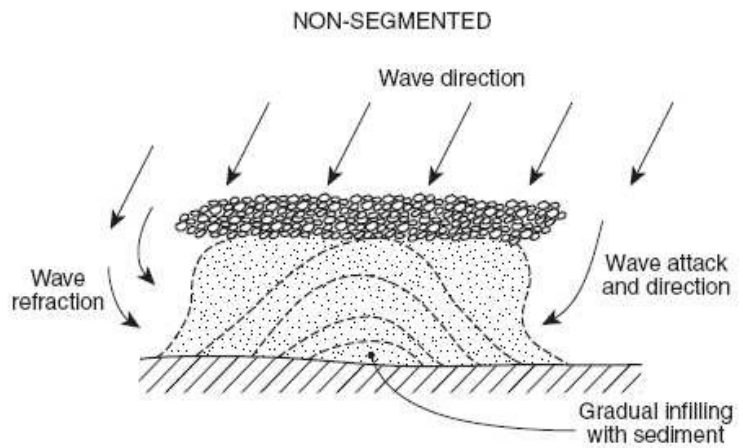
- Μείωση προσπίπτουσας κυματική ενέργεια

Λόγω κυματικής περίθλασης

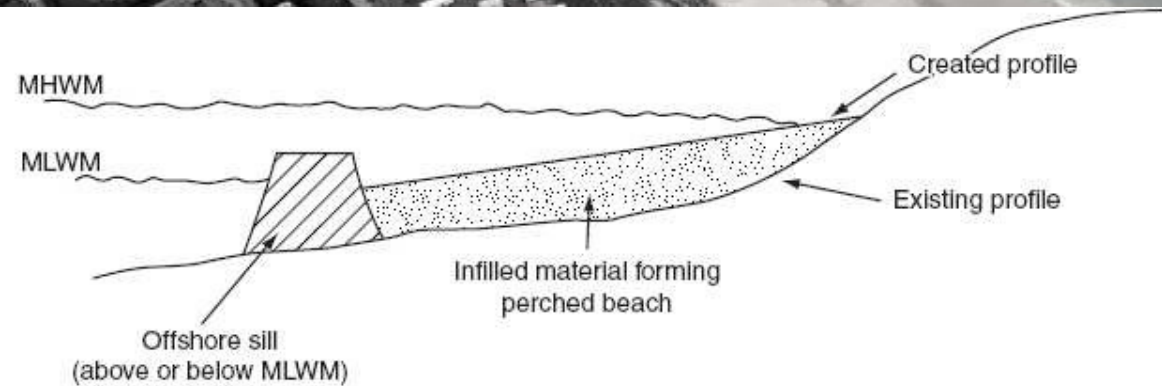
- Σύγκλιση ιζηματομεταφοράς στην 'σκιά' της κατασκευής
- Πιθανή διάβρωση στα κατάντη.

Περίπλοκη μελέτη κατασκευής

- σχεδιασμός μήκους, ύψους απόστασης από ακτογραμμή και διαστήματος μεταξύ διαδοχικών



French P., 2001



Ύφαλος κυματοθραυστής -> Η κατασκευή και η στέψη της βρίσκονται μέσα στη θάλασσα

Ίσαλος κυματοθραυστής ->
Η κατασκευή βρίσκεται μέσα στη θάλασσα και η στέψη της βρίσκεται στην επιφάνεια.



Έξαλλος κυματοθραυστής ->
Η στέψη εξέχει της επιφάνειας της θάλασσας.



Κυματοθραύστης – Μόλος

Παρόμοιες έννοιες – παρόμοιος αντικειμενικός σκοπός

- **Μόλοι**
 - Έργα προστασίας από κυματισμούς και δημιουργία λιμενολεκανών.
 - Επιμήκη έργα, με αφετηρία εγκάρσια στην ακτή.
- **Κυματοθραύστες:**
 - Έργα παράλληλα στην ακτή.
 - Προστασία από κυματισμούς των θαλασσίων εκτάσεων πίσω τους
 - προστασία ακτών από διάβρωση.
 - Διατομές όμοιες με αυτές των μόλων

Κυματοθραύστης – Μώλος



Ήπια μέτρα προστασίας

Εμπλουτισμός
παραλίας

- Καλύτερη ψυχαγωγική ακτή
- Προστασία ενδοχώρας

Βασικό
πλεονέκτημα

- Αισθητική

Ακριβή

- Μεγάλη προσοχή στον σχεδιασμό

Επανεμπλουτισμός

- Ακριβή λύση και μακροπρόθεσμα

Απαιτείται προσεκτική επιλογή υλικών

Καλύτερη επιλογή

- Θαλάσσια ιζήματα μακριά από την ακτή

Διάμεση διάμετρος και εύρος ιζημάτων

- Μεγαλύτερα των ιζημάτων της παραλίας

Απαιτούνται εμπεριστατωμένες μελέτες

- Κύματος
- Ιζήματος
- Προφίλ παραλίας
- Ρεύματα
- Χρήση αξιόπιστων αριθμητικών μοντέλων

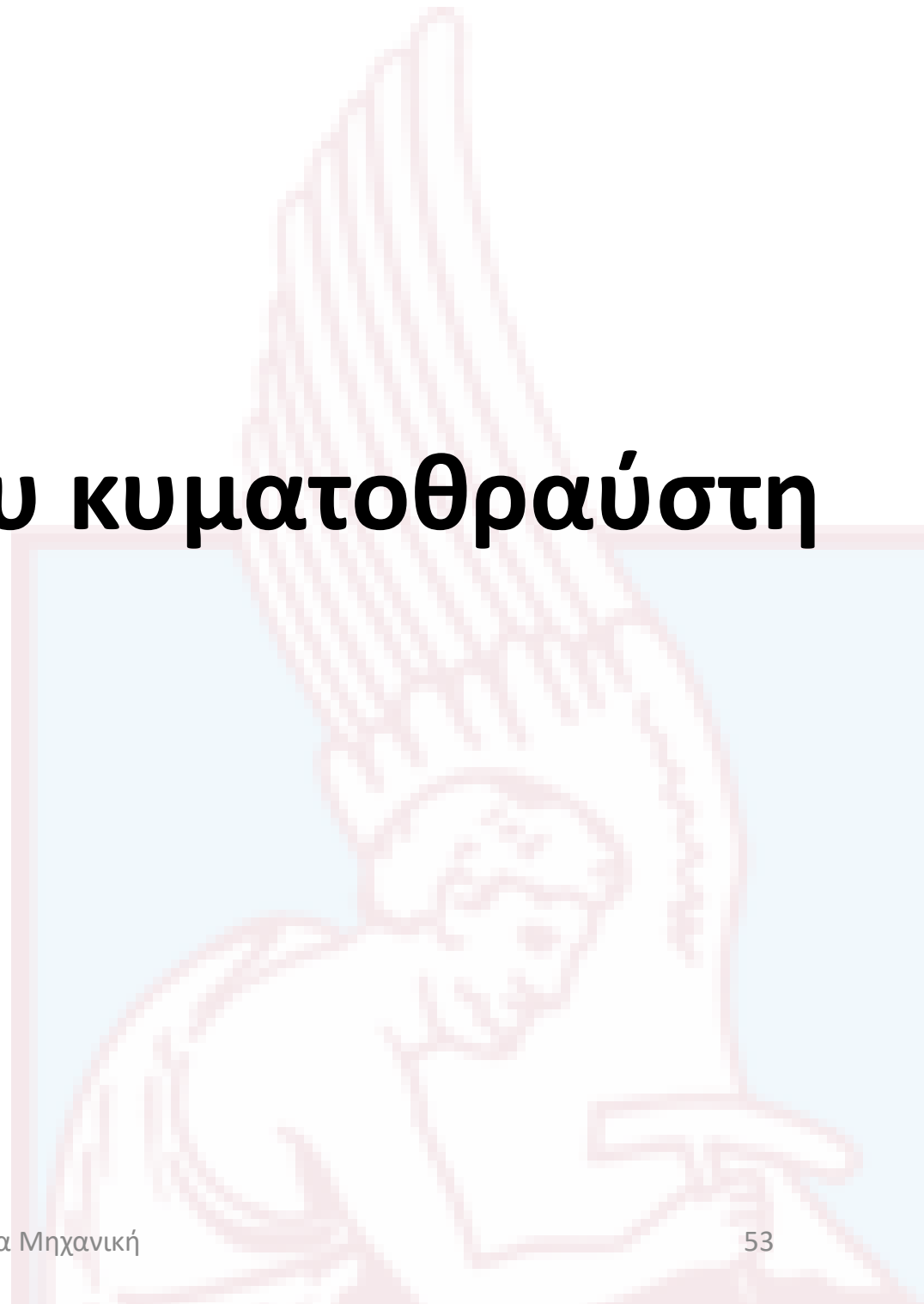




Figure Beach replenishment in Miami, Fla. This project restored a declining tourist industry and paid for itself in revenue.

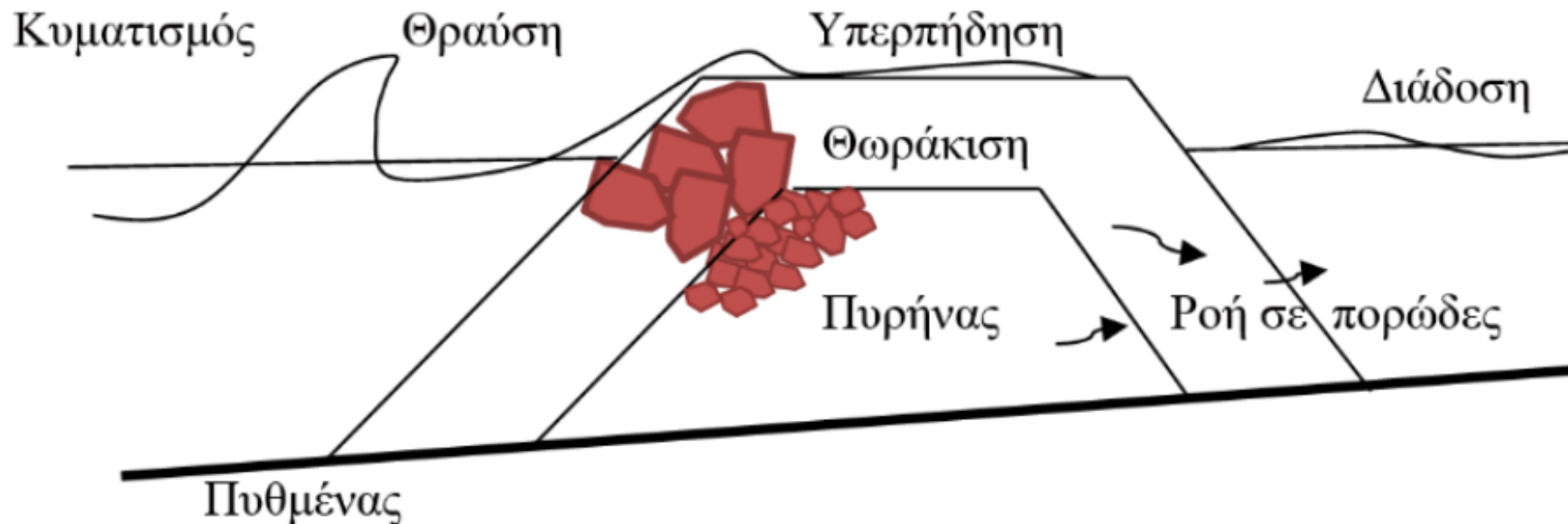


Σχεδιασμός έξαλλου κυματοθραύστη



Σχεδιασμός κυματοθραύστη

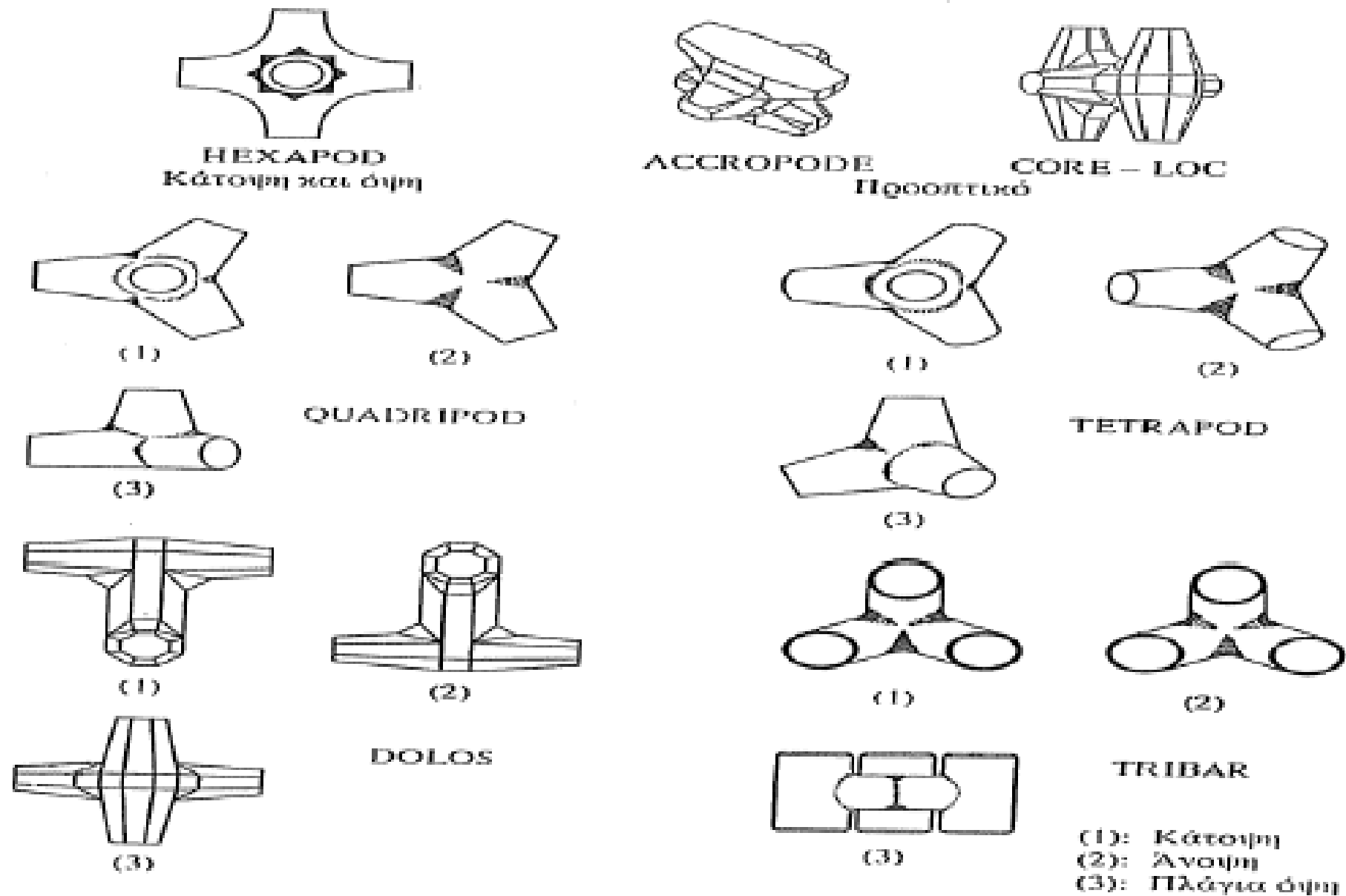
- Οι έξαλλοι κυματοθραύστες κατασκευάζονται με ύψος στέψης πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας (Μ.Σ.Θ.) μεγαλύτερο των 2 m περίπου.
- Σχεδιάζονται ώστε, κάτω από συνήθεις κυματικές συνθήκες, να τους διαπερνά ένα μικρό μέρος της κυματικής ενέργειας
 - είτε με την υπερπήδηση κυματισμών είτε με τη μετάδοσή τους μέσα από το πορώδες της κατασκευής



Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Οι κυματοθραύστες με κεκλιμένες παρειές διαμορφώνονται από λιθορριπές και ογκολίθους
 - (φυσικούς ή τεχνητούς ή συνδυασμό και των δύο)
- Οι τεχνητοί ογκόλιθοι κατασκευάζονται με κοινό άοπλο σκυρόδεμα και μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα
- Επίσης, χρησιμοποιούνται τεχνητοί ογκόλιθοι ειδικής μορφής από σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.
 - δίποδο (STABIT)
 - το τρίποδο (TRIBAR)
 - Γαλλικό τετράποδο (TETRAPOD)
 - Αμερικανικό τετράποδο (QUADRIPOD)
 - Άγκυρα (DOLOS),
 - εξάποδο κ.α.

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

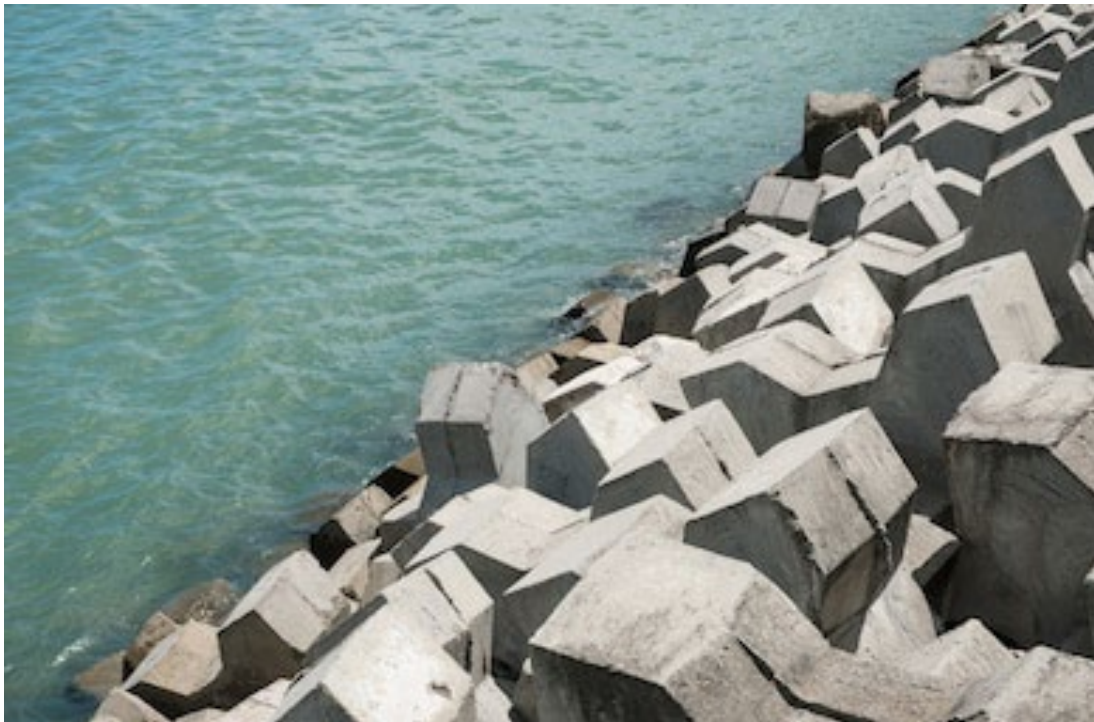


Σχήμα 11. Μερικοί τύποι τεχνητών ογκολίθων (Μέμος, 2008)

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

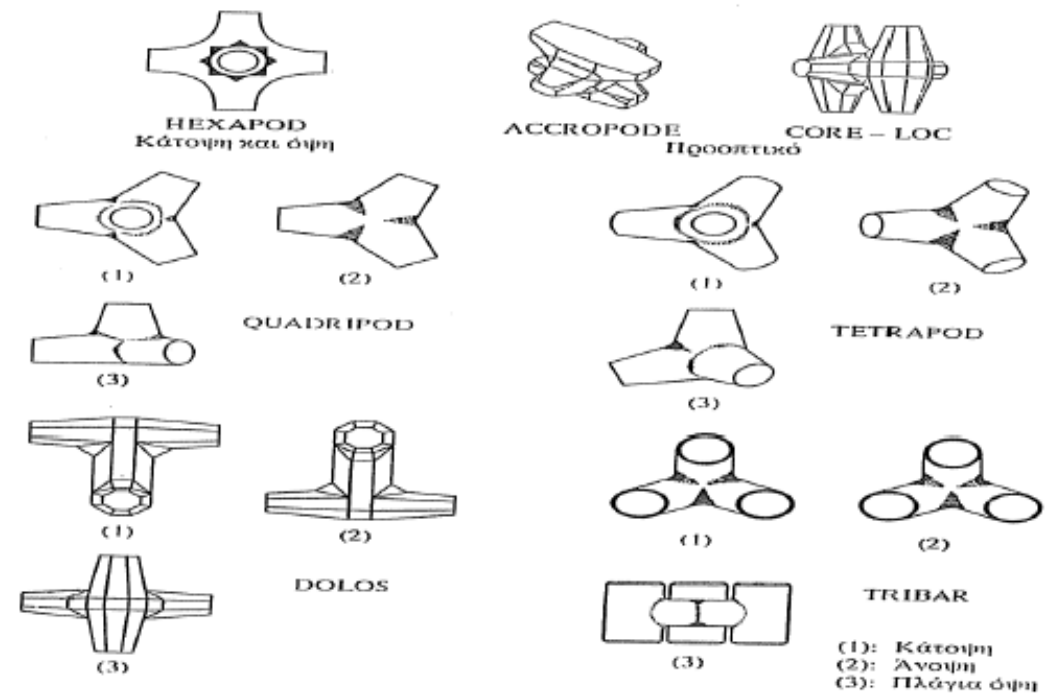


Σχεδιασμός κυματοθραύστη



Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Οι τεχνητοί ογκόλιθοι της στρώσης θωράκισης παρουσιάζουν καλύτερη αλληλοεμπλοκή:
 - Συντελεστής ευστάθειας είναι μεγαλύτερος από των φυσικών ογκολίθων.
- **Όμως είναι πιο ευαίσθητοι σε θραύση**
- Η κύρια αιτία επιλογής τεχνητών ογκολίθων θωράκισης: η απαίτηση βάρους λίθων πάνω από τις δυνατότητες των τοπικών λατομείων.

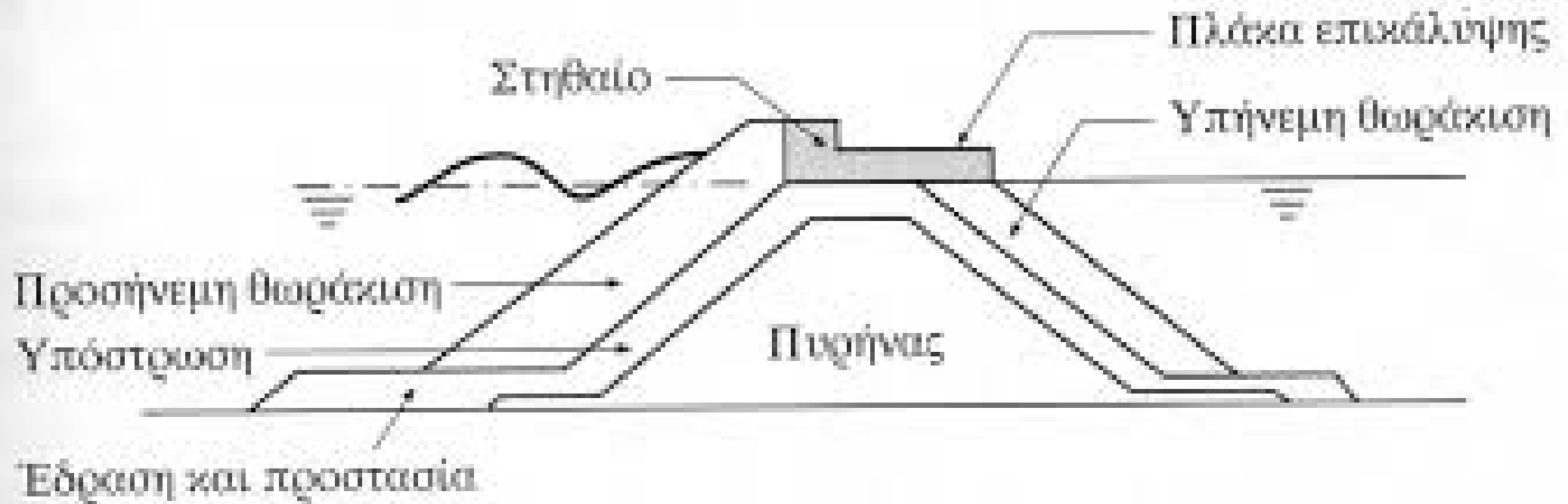


Σχήμα 11. Μερικοί τύποι τεχνητών ογκολίθων (Μέμος, 2008)

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Η κατασκευή της διατομής των κυματοθραυστών με **κεκλιμένα μέτωπα** γίνεται κατά **καπελωτά στρώματα** με υλικά κατά κανόνα **διαφορετικής διαβάθμισης σε βάρος**.
 - Το πιο εσωτερικό στρώμα λέγεται πυρήνας.
 - Τα επόμενα στρώματα ονομάζονται ενδιάμεσα ή δευτερεύοντα στρώματα,
 - Το ανώτατο πάνω λέγεται εξωτερικό στρώμα ή μανδύας.
- Οι δυνάμεις του κύματος διασκορπίζονται και καταστρέφονται πάνω στον προσήνεμο μανδύα (θώρακα).

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

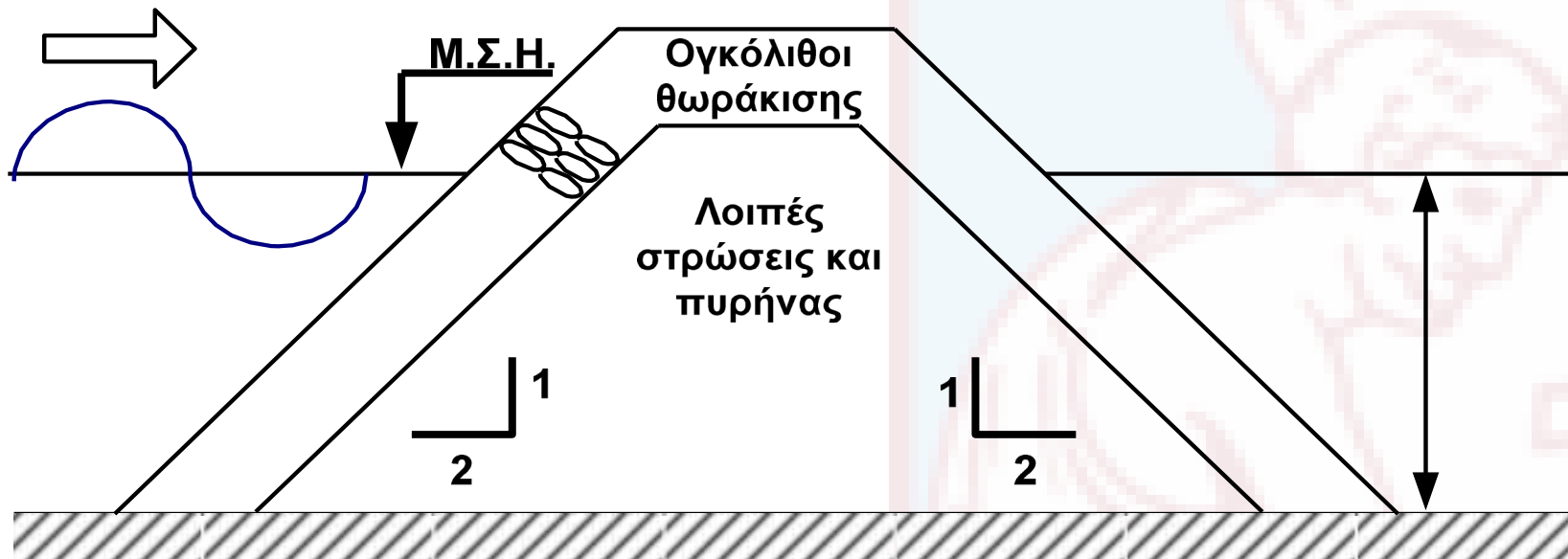


(β) Εξωτερικό έργο με πράνη και πλάκα επικάλυψης

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Για τον σχεδιασμό ενός έξαλλου κυματοθραύστη με πρηνή είναι απαραίτητος ο καθορισμός μερικών βασικών παραμέτρων όπως:
 - Η αναρρίχηση του κύματος
 - Η γεωμετρία της διατομής
 - Υπολογισμός βάρους ογκολίθων

Διεύθυνση πρόσπτωσης
κυματισμών



Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Τύποι υπολογισμού:
 - Υπολογισμός απαιτούμενου βάρους ογκολίθων θωράκισης, Τύπος Hudson

$$W_r = \frac{\gamma_s H i^3 \tan \theta}{k_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3}$$

W_r = το απαιτούμενο μέσο βάρος του ογκολίθου στη στρώση θωράκισης,

γ_s = ειδικό βάρος του πετρώματος των ογκολίθων

$H i$ = ύψος κύματος σχεδιασμού (μαζί με την αναρρίχηση στο πρανές)

$\tan \theta$ = κλίση πρανών κυματοθραύστη, (οπωσδήποτε πάνω από 1.5, καλύτερα 2 ή μεγαλύτερη)

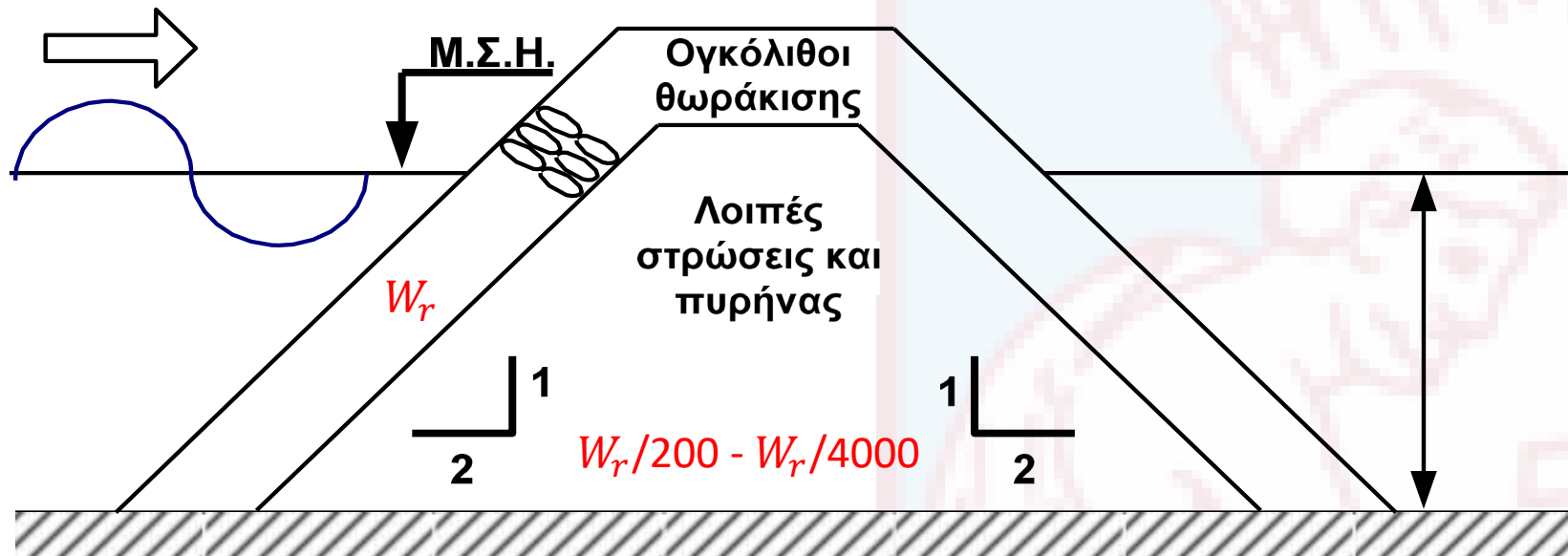
K_D = συντελεστής ευστάθειας, εξαρτάται από το σχήμα των ογκολίθων και την δυνατότητα αλληλοεμπλοκής των μονάδων θωράκισης (δίνεται από Πίνακα)

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

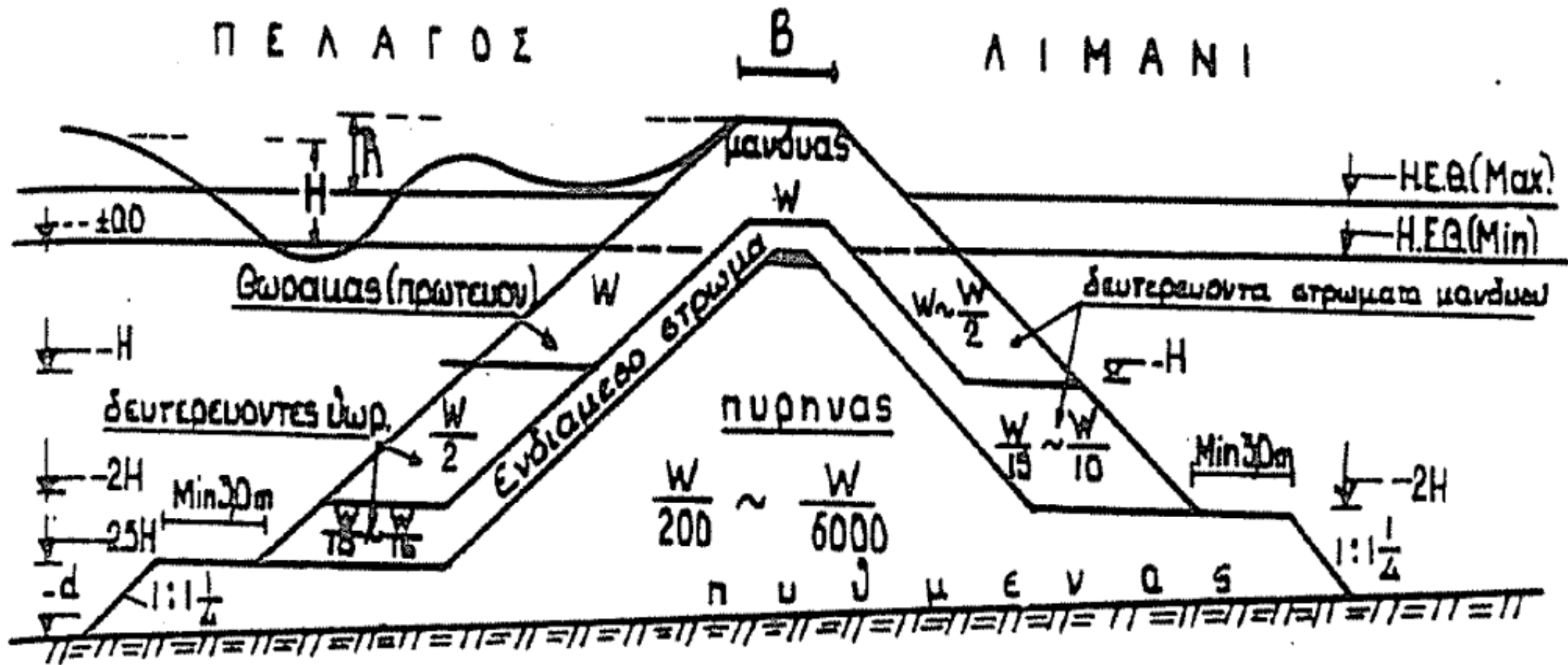
- Τύποι υπολογισμού:
 - Υπολογισμός απαιτούμενου βάρους ογκολίθων θωράκισης, Τύπος Hudson

$$W_r = \frac{\gamma_s H i^3 \tan \theta}{k_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3}$$

Διεύθυνση πρόσπτωσης
κυματισμών



Σχεδιασμός κυματοθραύστη



Σχεδιασμός κυματοθραύστη

• K_D

$$\text{Cot}\theta = 1/\tan\theta = 1/\kappa\lambda\acute{\iota}\sigma\eta$$

Τύπος ογκολίθου	Πάχος στρώσεως	Κορμός έργου		Ακρομώλιο		cotθ
		Θραυτόμενο	Μη θραυτόμενο	Θραυτόμενο	Μη θραυτόμενο	
1. Φυσικοί λίθοι Λεία επιφάνεια	>2	1.5	3.0	1.2	2.0	1.5
Αδρή γωνιώδης επιφάνεια	2	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
Παραλληλεπίδα	2	7.0 - 20.0	8.5 - 2.4	—	—	5
2. Τετράποδα	2	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
3. Τρίραβδα	2	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
4. Δόλοι	2	15.8	31.8	8.0	16.0	2
5. Τροποιημένοι κύβοι	2	6.5	7.5	5.0	7.0	5
6. Εξάποδα	2	8.0	9.5	5.0	7.0	5
7. Τοσχάνες	2	11.0	22.0	—	—	5

πλήθος λίθων κατά το πάχος της θωράκιση

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

- Τύποι υπολογισμού:
 - Αναρρίχηση κυματισμού στο πρανές

$$\frac{R}{H} = \frac{2,3 * \tan \theta}{\frac{8}{T} \sqrt{\frac{H}{2g}}} * r$$

R αναρρίχηση κυματισμού

H ύψος κύματος σχεδιασμού

θ κλίση πρανούς (συνήθως 0.5 ή μεγαλύτερη)

T περίοδος κυματισμού

r μείωσης αναρρίχησης (για λιθορριπή r= 0.5)

Σχεδιασμός κυματοθραύστη

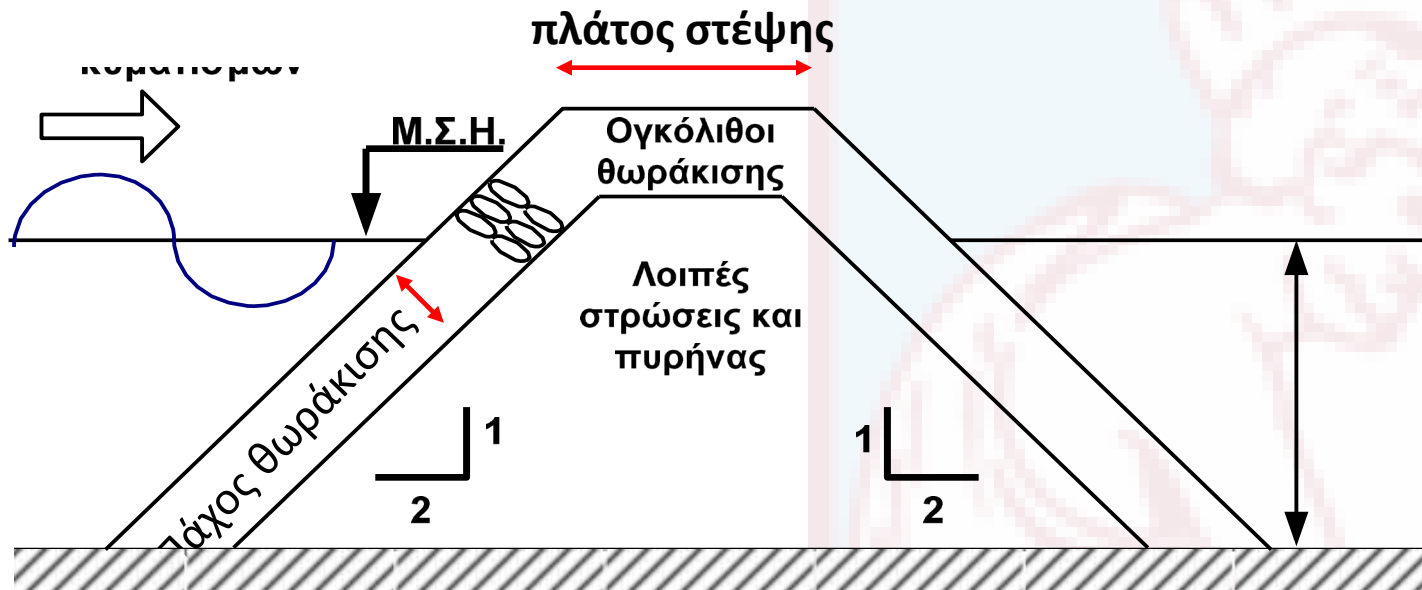
- Τύποι υπολογισμού:
 - Πάχος θωράκισης:

$$D = n \cdot k \cdot \left(\frac{W_r}{\gamma_s} \right)^{\frac{1}{3}} \Rightarrow$$

n από προηγούμενο πίνακα (συνήθως $n = 2$)

k συντελεστής μεταξύ **0,95** και **1,15** (ανάλογα τον τύπο ογκολίθου, συνήθως λαμβάνεται = 1)

Ο ίδιος τύπος υπολογίζει και το πλάτος στέψης θέτοντας $n \geq 3$.



Βιβλιογραφία

- Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A. Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley and A. Unnikrishnan, 2007: Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Dean R.G., 2002, Beach nourishment: Theory and Practice, Advanced series on Ocean Engineering Vol.18, World Scientific Publishing
- French P.W., 2001, Coastal Defences: Processes, problems and solutions, Routledge, London
- U.S.A.C.E., 2002, Coastal Engineering Manual
- Κουτίτας Χ., 1998, Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα, Εκδόσεις Ζήτη
- Schwartz M.L., 2005, Encyclopedia of Coastal Science, Springer



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Ανάμιξη αιωρημάτων και διαλυμάτων

ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΙΩΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ



ΑΝΑΜΙΞΗ ΑΙΩΡΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ

- Ανάμιξη και μεταφορά διαλυμένων και αιωρούμενων ουσιών έχουν μεγάλη σημασία στον παράκτιο χώρο γιατί:
 - η εκούσια διάθεση διαλυμάτων, πχ αστικών λυμάτων – άλμης, επιβαρύνει σημαντικά το παράκτιο περιβάλλον
 - σε ακτές με λεπτόκοκκα ιζήματα μέρος της στερεομεταφοράς γίνεται με μορφή αιωρημάτων.

Εκροή διαλύματος σε παράκτια περιοχή



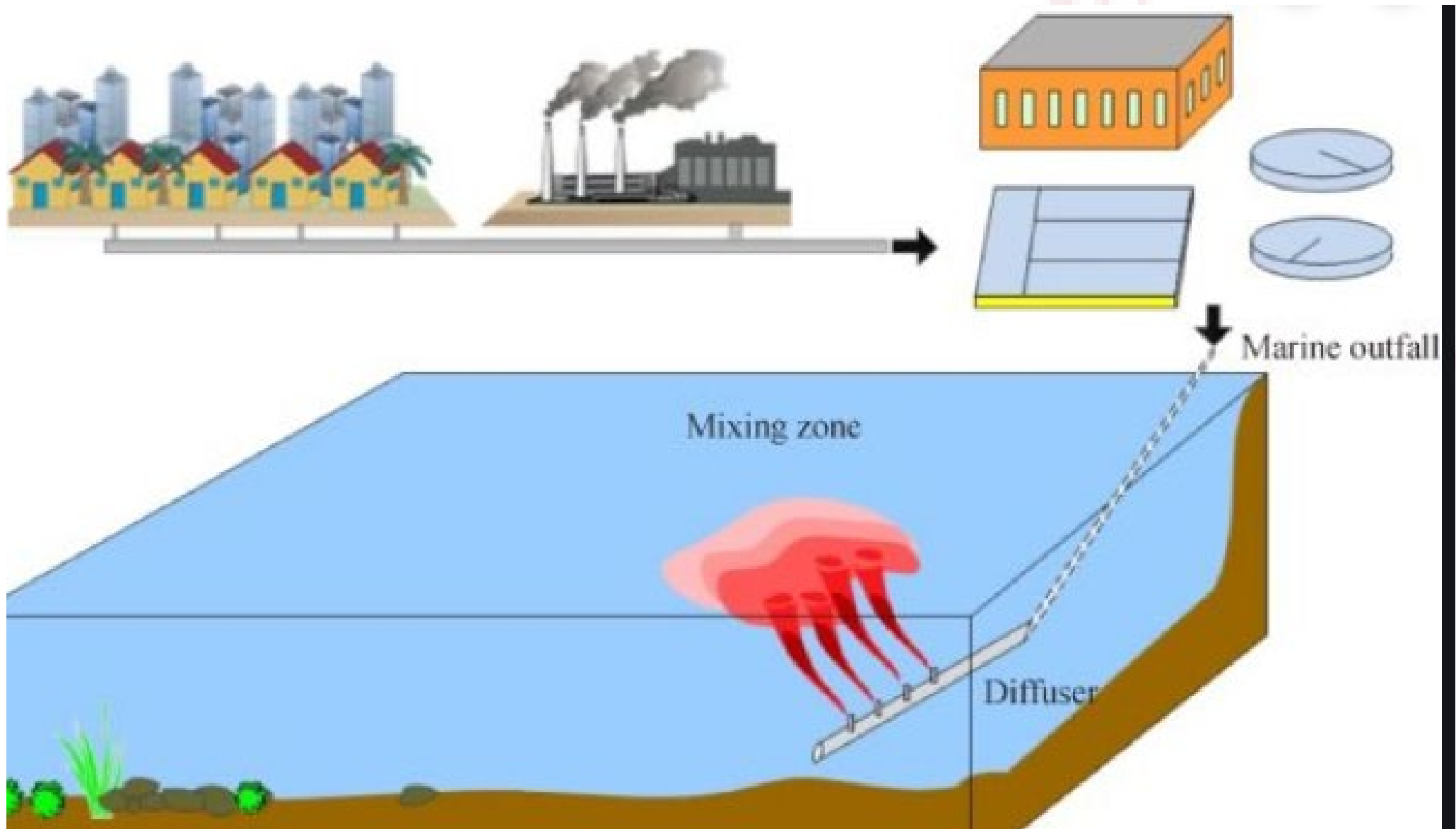
Εκροή νερού από ψύξη εγκατάστασης σε παράκτια περιοχή



Υποβρύχια εκροή ενός σημείου



Υποβρύχια εκροή με διαχυτή



Διαχυτές



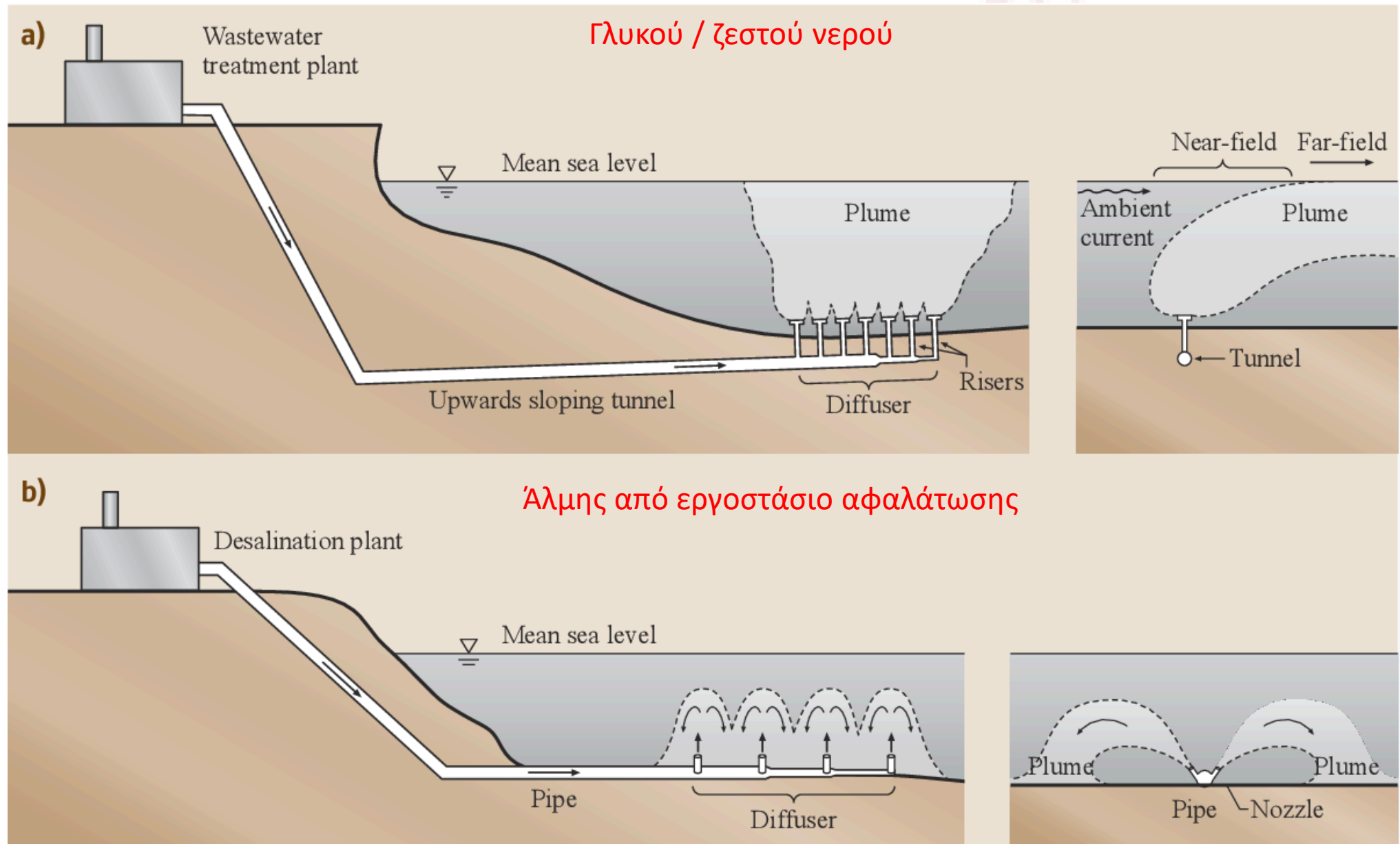
Διαχυτές



Διαχυτές



Διάχυση ρύπου διαφορετικής πυκνότητας



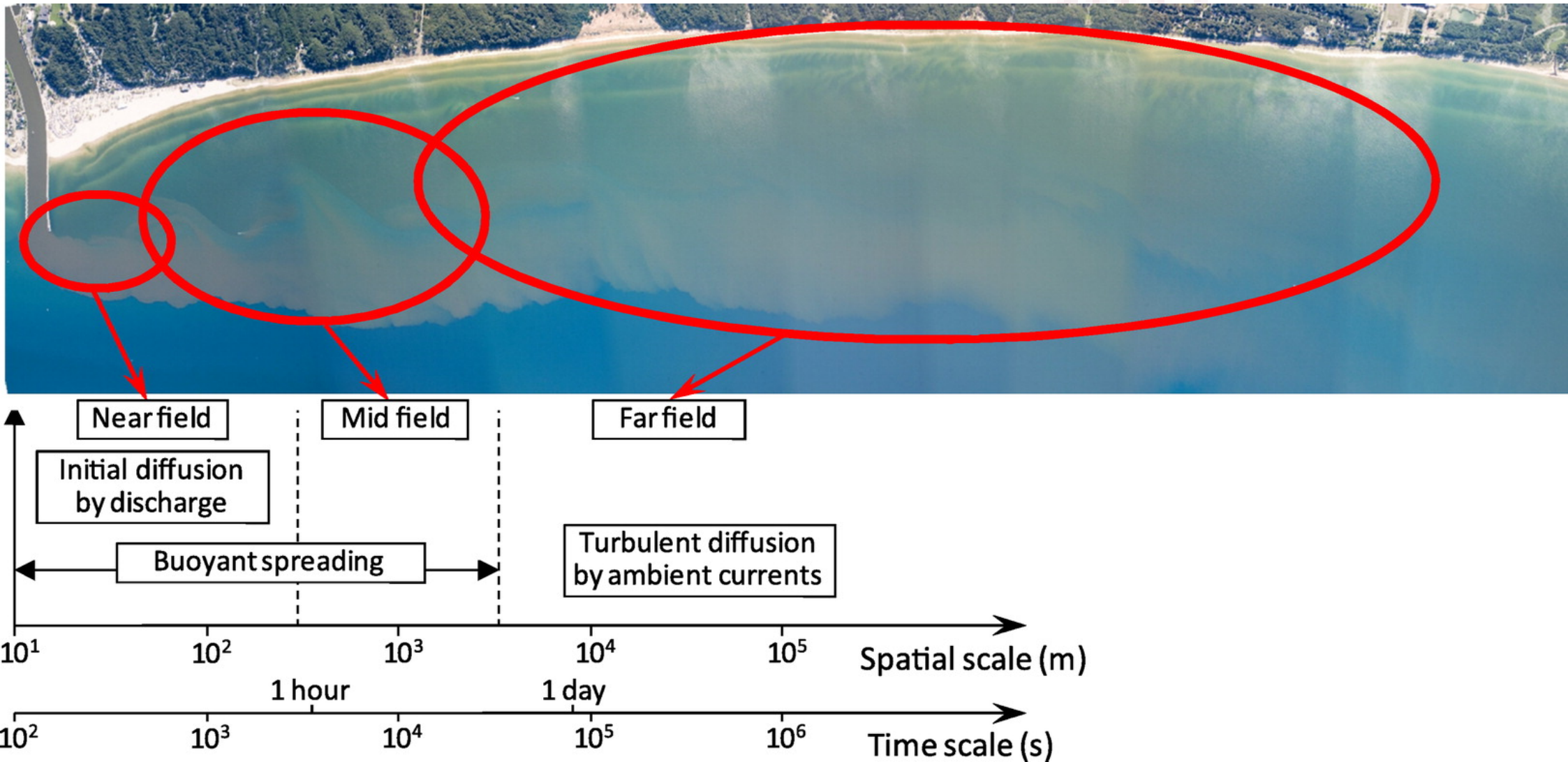
Ο ρόλος του σχεδιασμού

- Το μηχανικό πρόβλημα στη διάχυση ρύπων σε υδάτινους αποδέκτες, είναι η επίτευξη της εκροής με τέτοιο τρόπο ώστε να πληρούνται τα όρια συγκεντρώσεων του ρύπου που θέτει η νομοθεσία ή οι περιβαλλοντικοί όροι.
- Δεύτερο μηχανικό πρόβλημα είναι η επίτευξη της εκροής με τρόπο ώστε να αποφεύγονται οι επικαθίσεις εντός του δικτύου σωλήνων, ή με την ελάχιστη απώλεια ενέργειας.

Οι τρεις φάσεις στην εκροή

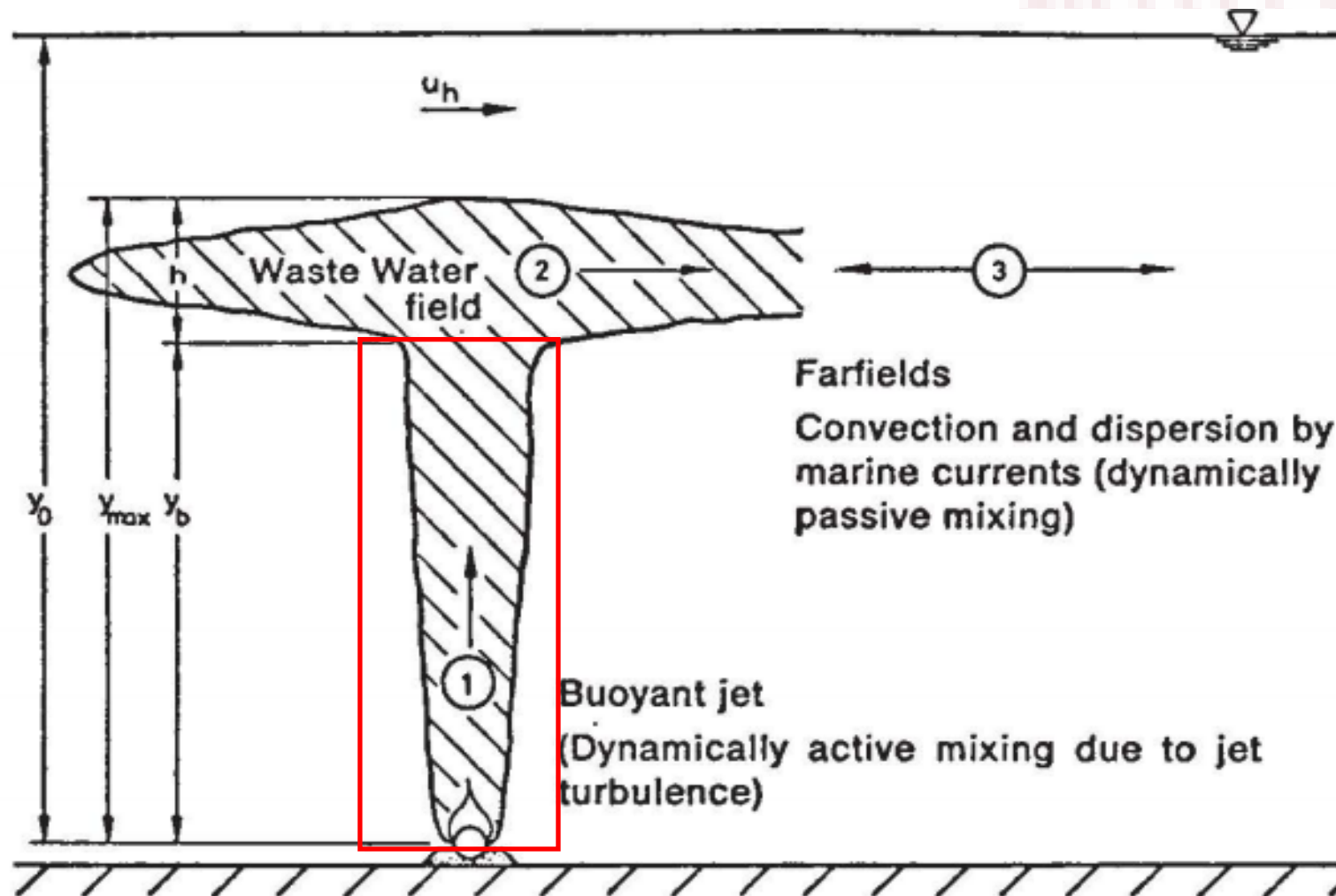
- Η εκροή διακρίνεται σε τρεις διαδοχικές φάσεις που χαρακτηρίζονται από διαφορετική ένταση ανάμιξης και την αύξηση των διαστάσεων στο χώρο και στο χρόνο που πραγματοποιείται η ανάμιξη:
 - Περιοχή κοντινής ανάμιξης
 - Ενδιάμεση περιοχή
 - Περιοχή μακρινής ανάμιξης

Οι τρεις φάσεις στην εκροή



Οι τρεις φάσεις στην εκροή

- **Περιοχή κοντινής ανάμιξης (near field):**
- Κατά την έξοδο της, η εκροή διαθέτει κινητική ενέργεια από την ταχύτητα εξόδου, καθώς και δυναμική ενέργεια από τη διαφορά πυκνότητας της εκροής και του θαλασσινού νερού.

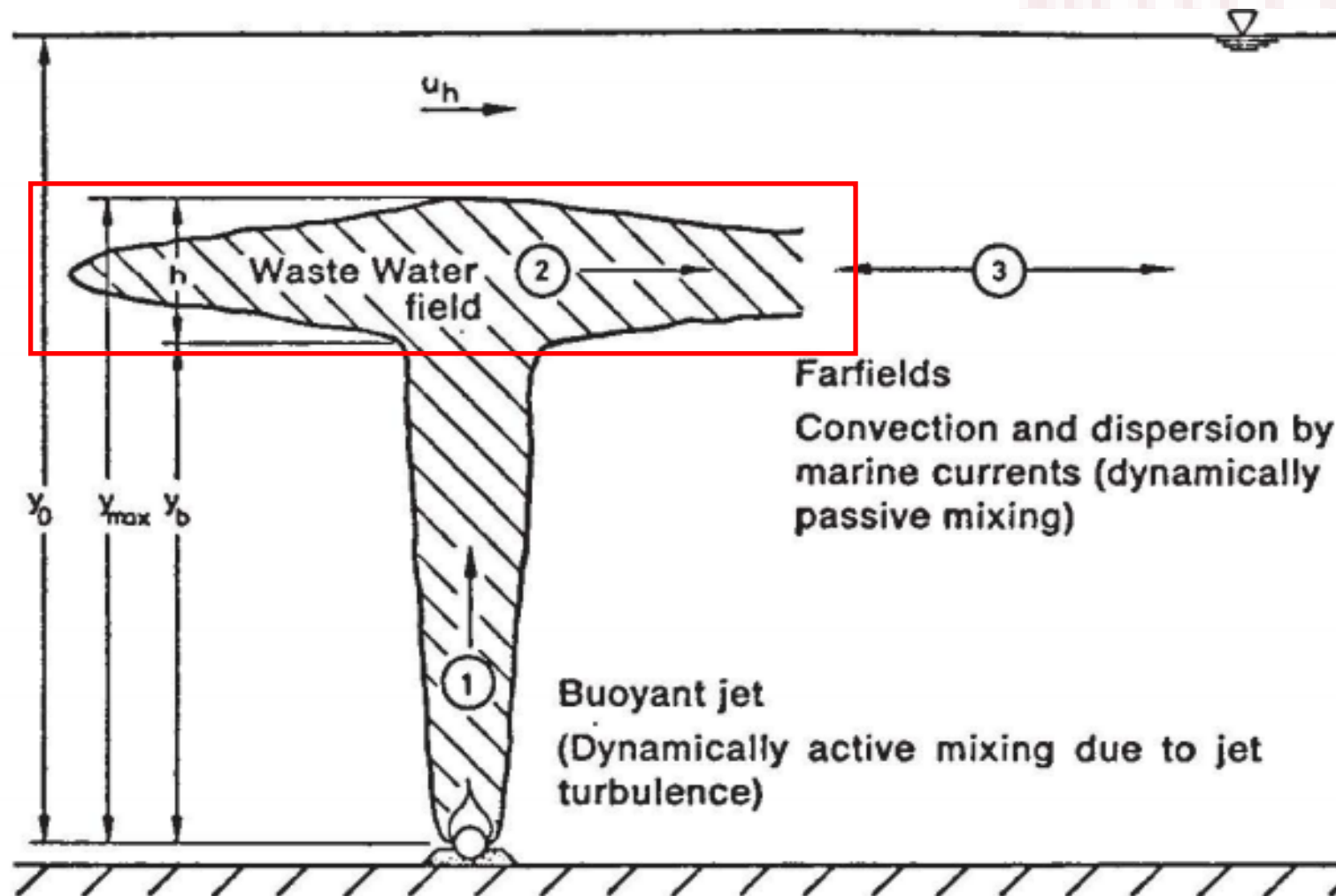


Οι τρεις φάσεις στην εκροή

- **Περιοχή κοντινής ανάμιξης (near field):**
- Στην περιοχή αυτή, η ορμή και άνωση κυριαρχούν καθώς ρευστό κινείται με μεγάλη ταχύτητα σε σχέση με το περιβάλλον. Λόγω ταχύτητας **δημιουργείται τύρβη** που παράγει εγκάρσια ανάμιξη, καθώς υγρό από το περιβάλλον εισέρχεται στο ρευστό.
- Στην κοντινή περιοχή προκαλείται αυξημένη αραίωση
- Βασικός μηχανισμός διάλυση: τυρβώδης διάχυση

Οι τρεις φάσεις στην εκροή

- **Ενδιάμεση περιοχή:**
- Καθώς η ταχύτητα μειώνεται και η διάλυση αυξάνεται, η ορμή και η άνωση αρχίζουν να φθίνουν, ενώ οι δρώσες δυνάμεις του περιβάλλοντος έχουν αυξανούσα σημασία.

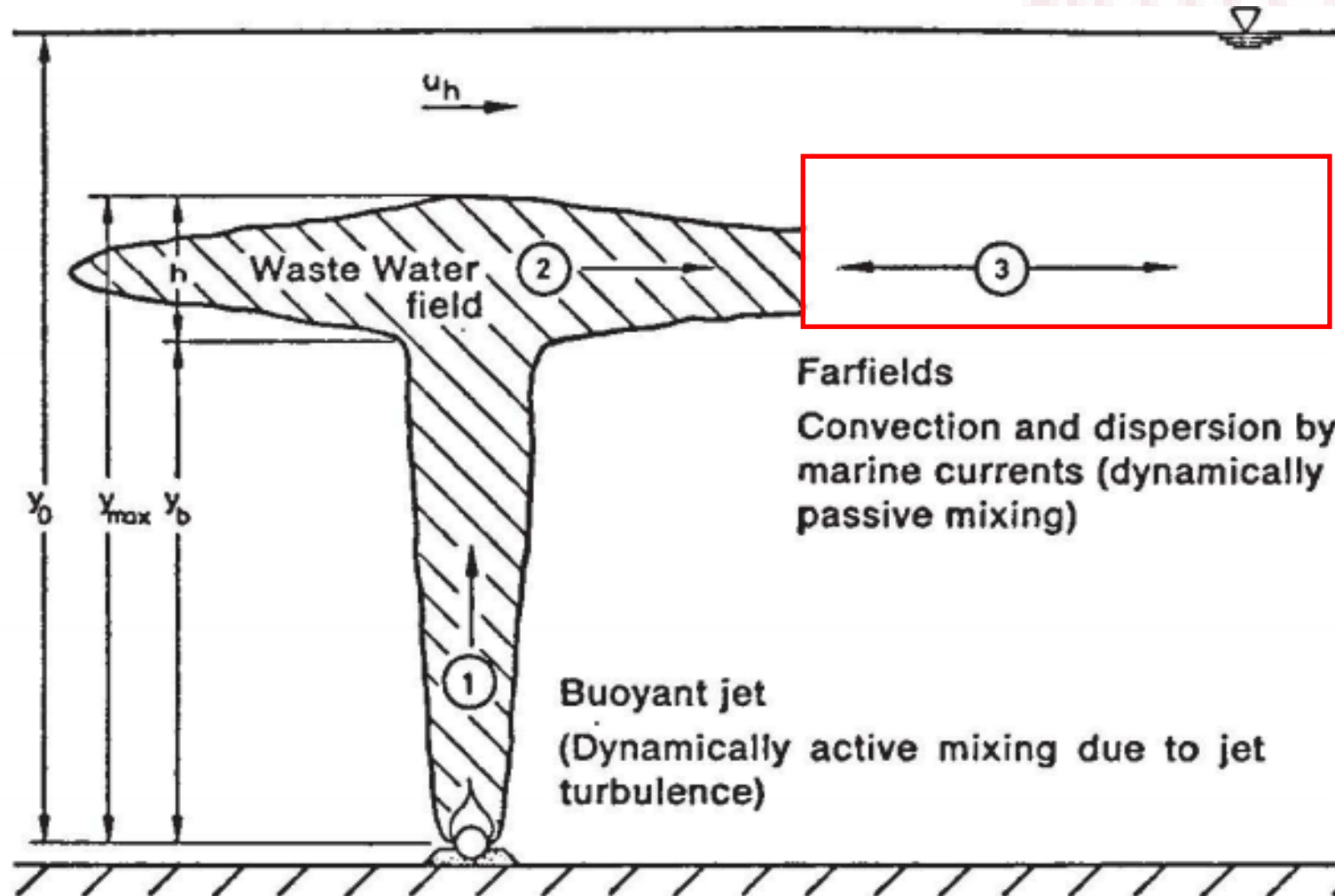


Οι τρεις φάσεις στην εκροή

- **Ενδιάμεση περιοχή :**
- Έτσι, τα αραιωμένα απόβλητα διασκορπίζονται οριζόντια - είτε στην επιφάνεια είτε σε άλλον στρώμα ανάλογα τη συσχέτιση της πυκνότητας της διαλυμένης εκροής με τη πυκνότητα περιβάλλοντος.
- Με την οριζόντια εξάπλωση του πλουμίου, αυτό τείνει να μειώνεται σε πάχος.

Οι τρεις φάσεις στην εκροή

- **Περιοχή μακρινής ανάμιξης (far field):**
- Στη περιοχή αυτή το πλούμιο έχει αποκτήσει σε μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος και συμπεριφέρεται όπως αυτό.



Οι τρεις φάσεις στην εκροή

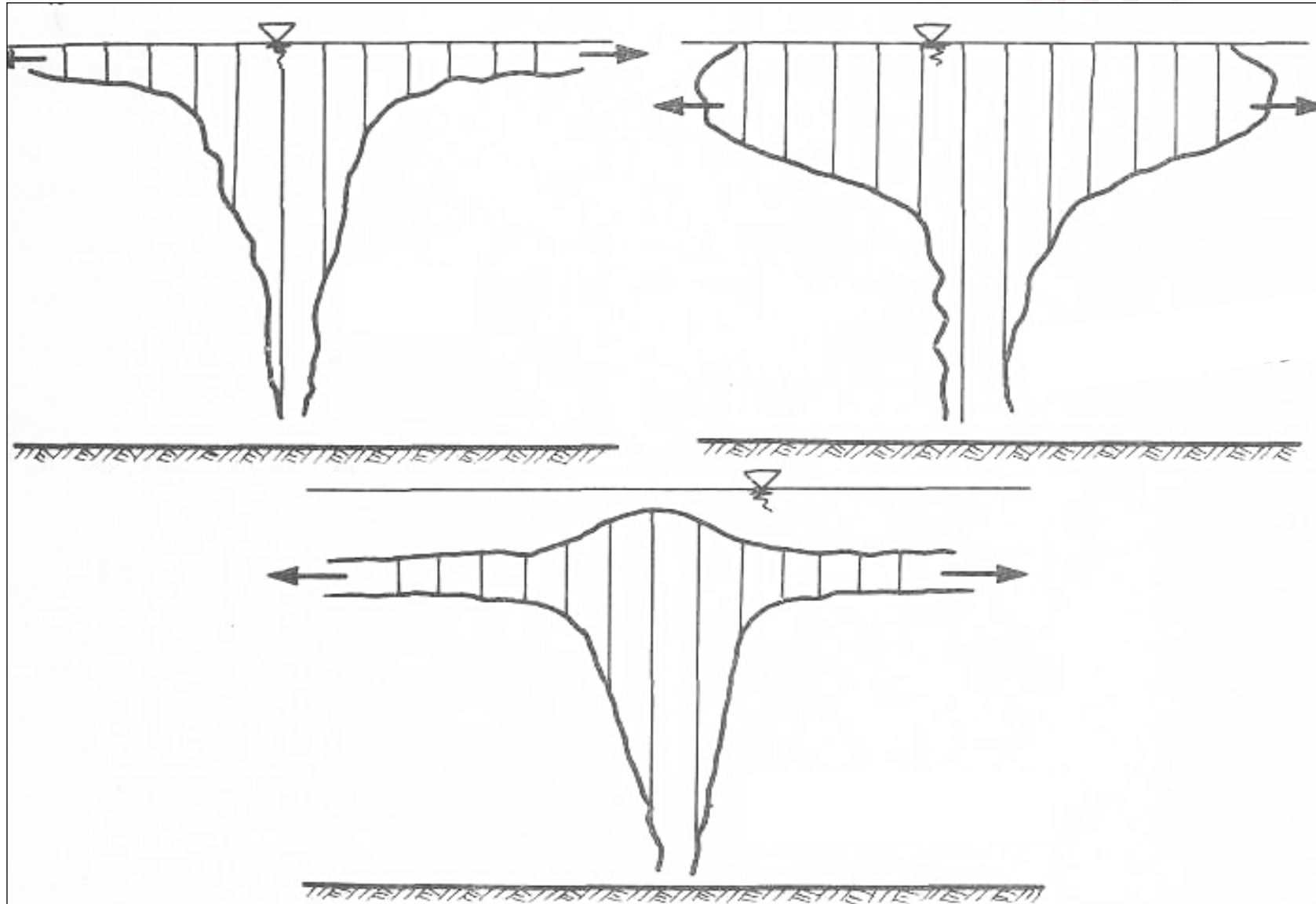
- **Περιοχή μακρινής ανάμιξης (far field):**
- Οι διαφορές θερμοκρασίας και πυκνότητας έχουν εξομαλυνθεί, η ταχύτητα είναι αυτή του περιβάλλοντος.
- Η ανάμιξη σε αυτό το στάδιο είναι πολύ μικρή.

Οι τρεις φάσεις στην εκροή

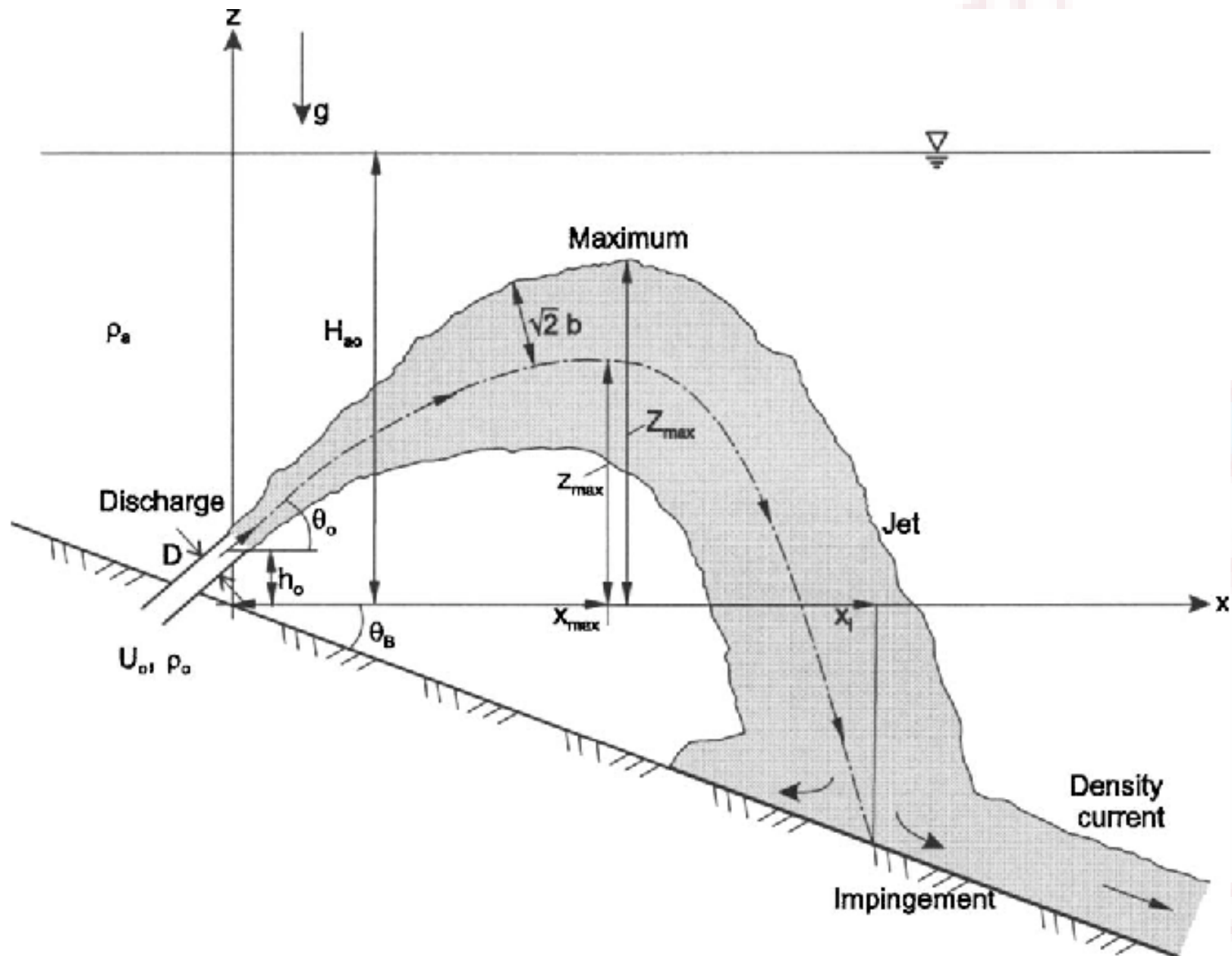
Κοντινή Περιοχή	Διάλυση λόγω τυρβώδους διάχυσης	-Χωρίς διαχυτήρα -Με διαχυτήρα	$S = 2$ έως 100^* 10 έως 1000^*
Ενδιάμεση περιοχή 1000m	Διάλυση από διασπορά		$S = 5$ έως 20
Μακρινή περιοχή	Διάλυση	μετά από 3h μετά από 6- 8h μετά από 10-15h	10 100 1000

S = λόγος διάλυσης

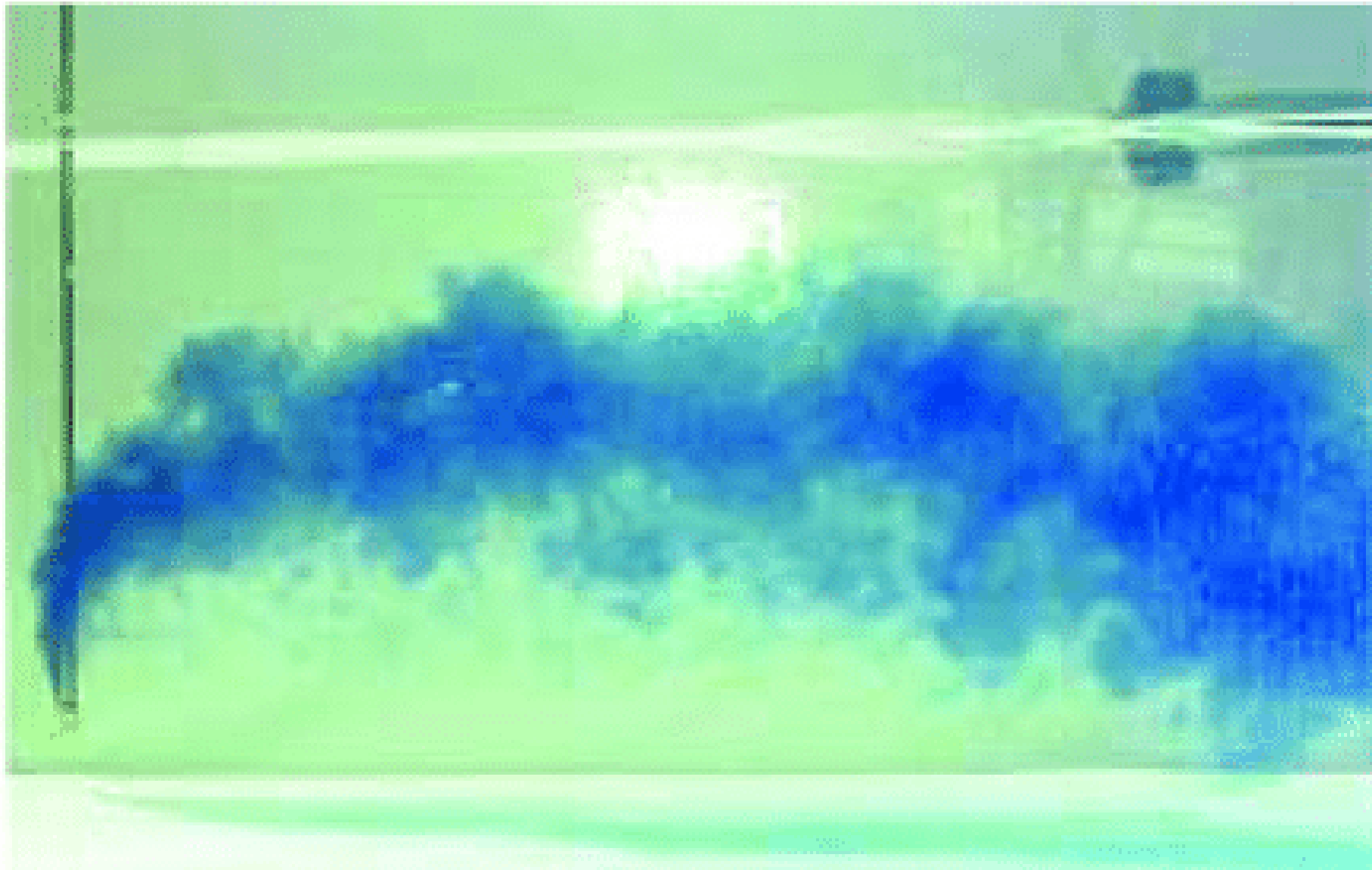
Σχηματισμός πλουμίων



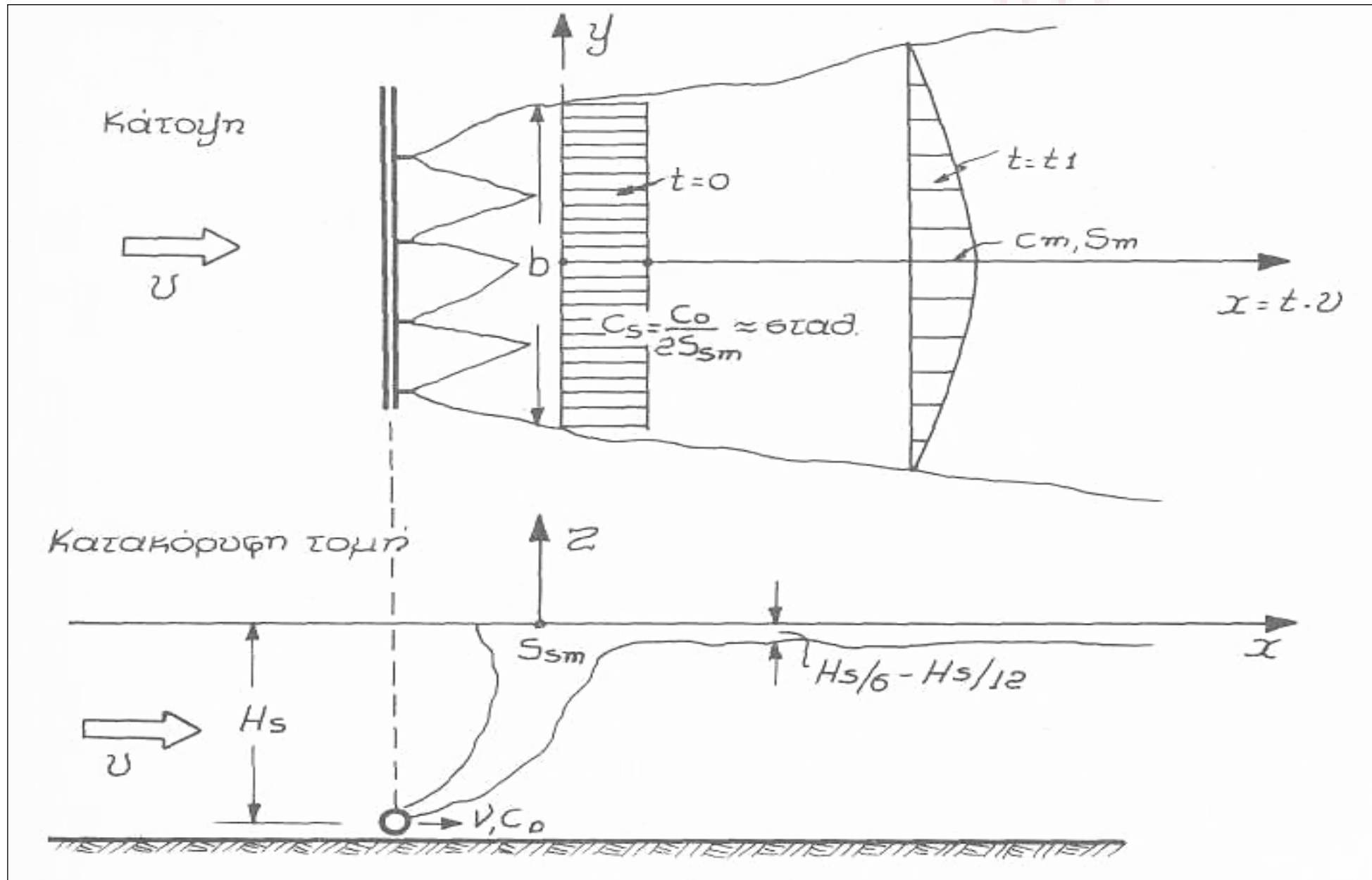
Σχηματισμός πλουμίων



Σχηματισμός πλουμίων



Σχηματισμός πλουμίων σε περιοχή με ρεύμα



Σημαντικά μεγέθη:

Διάλυση S: ορίζεται ως ο λόγος της αρχικής συγκεντρώσεως προς την τελική:

$$S = \frac{C_{\text{αρχική}}}{C_{\text{τελική}}}$$

Πυκνομετρικός αριθμός Froude

$$N_F = \frac{u_o}{\sqrt{\frac{\Delta\rho}{\rho_o} g D_o}}$$

όπου

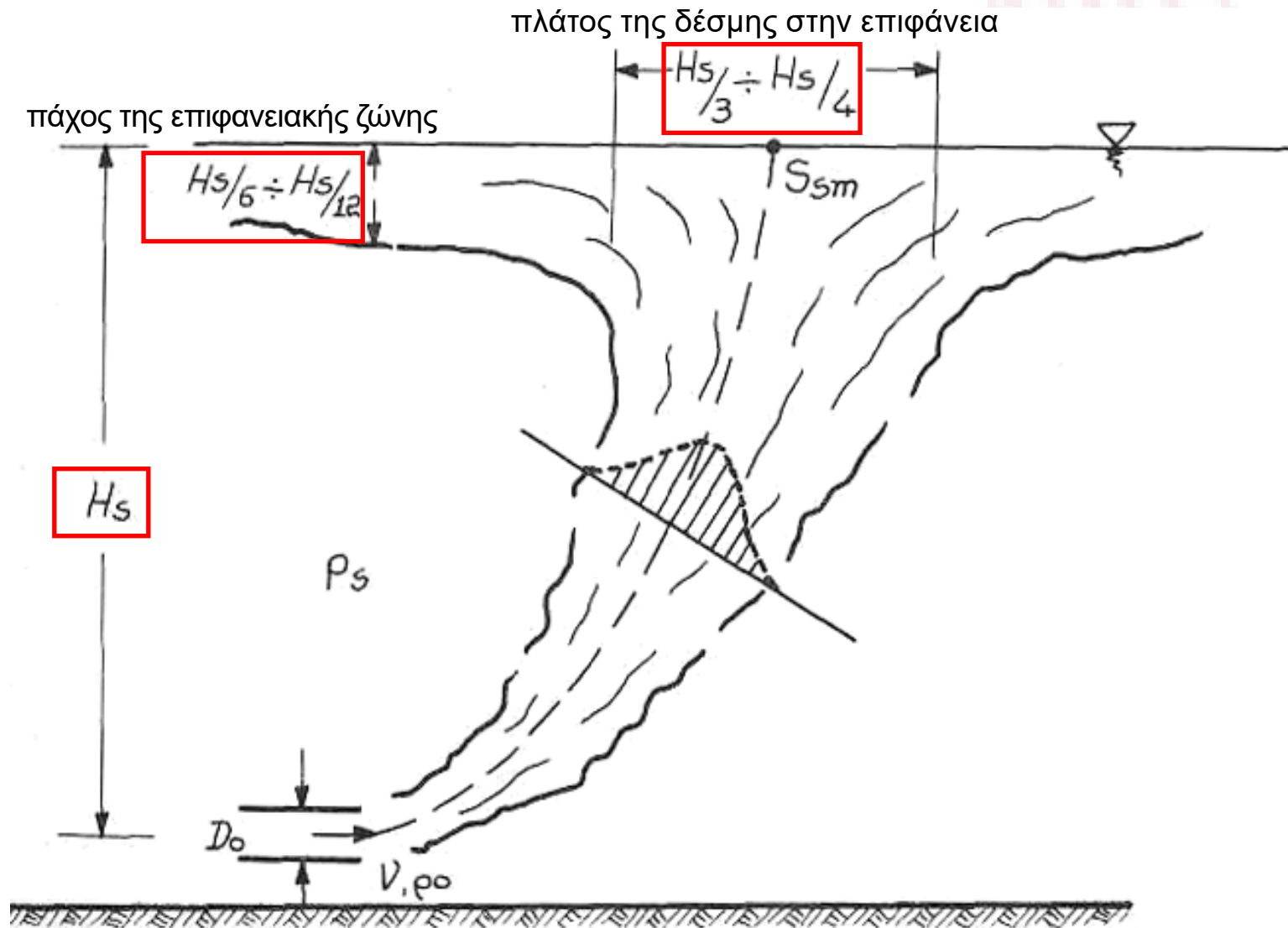
U_o είναι η ταχύτητα εκροής

D_o είναι η διάμετρος του αγωγού

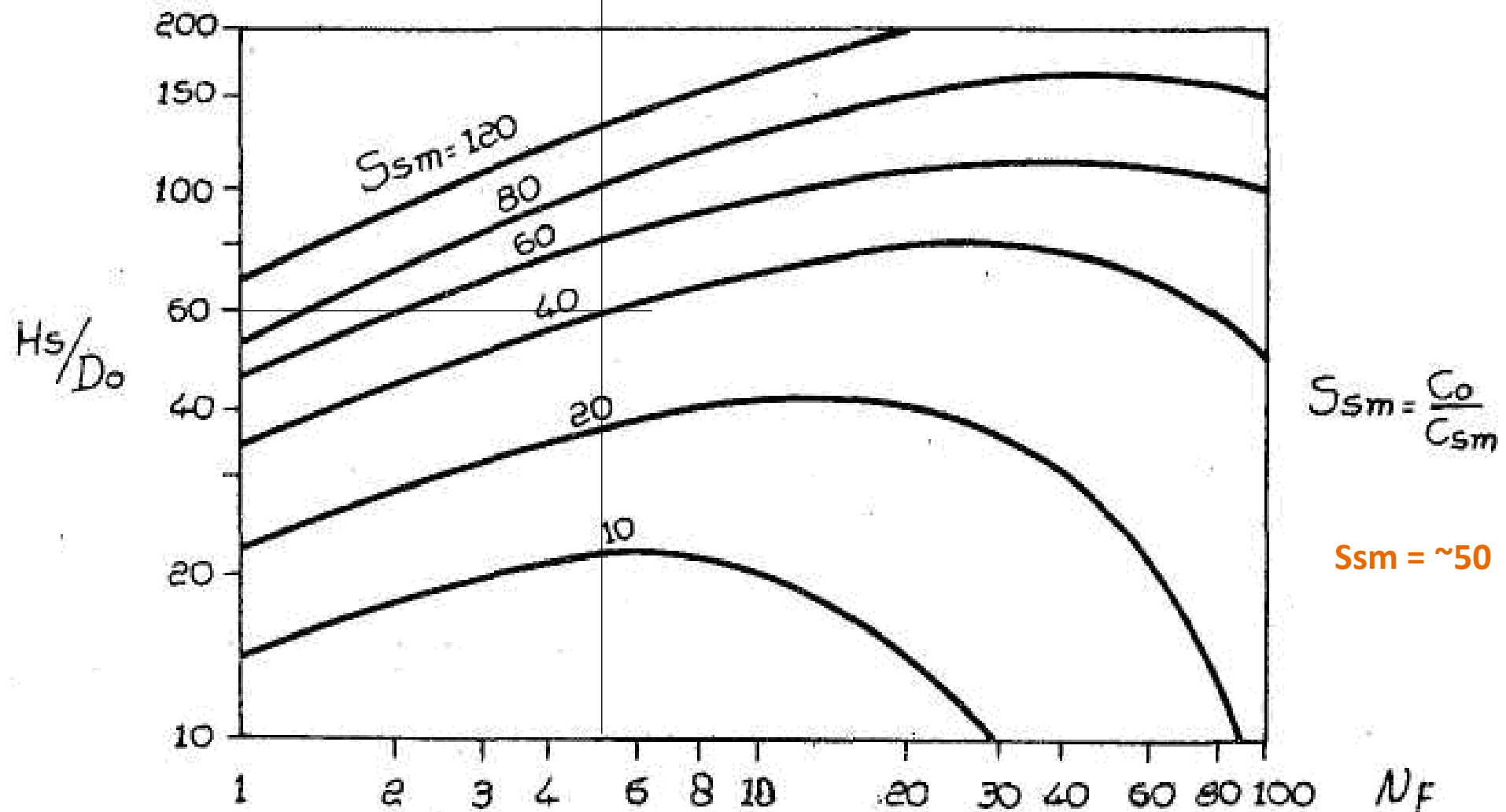
$\Delta\rho = \rho_s - \rho_o$ (διαφορά πυκνότητας περιβάλλοντος ρευστού (ρ_s) και λυμάτων (ρ_o)).

ΕΚΡΟΗ ΣΕ ΠΥΚΝΟΤΕΡΟ ΡΕΥΣΤΟ (πχ λύματα σε θαλασσινό νερό)

Σε περίπτωση οριζόντιας εκροής σε πυκνότερο ρευστό, πειραματική έρευνα οδήγησε στις προσεγγιστικές διαστάσεις της ανερχόμενης προς την επιφάνεια δέσμης:



Διάλυση ουσίας

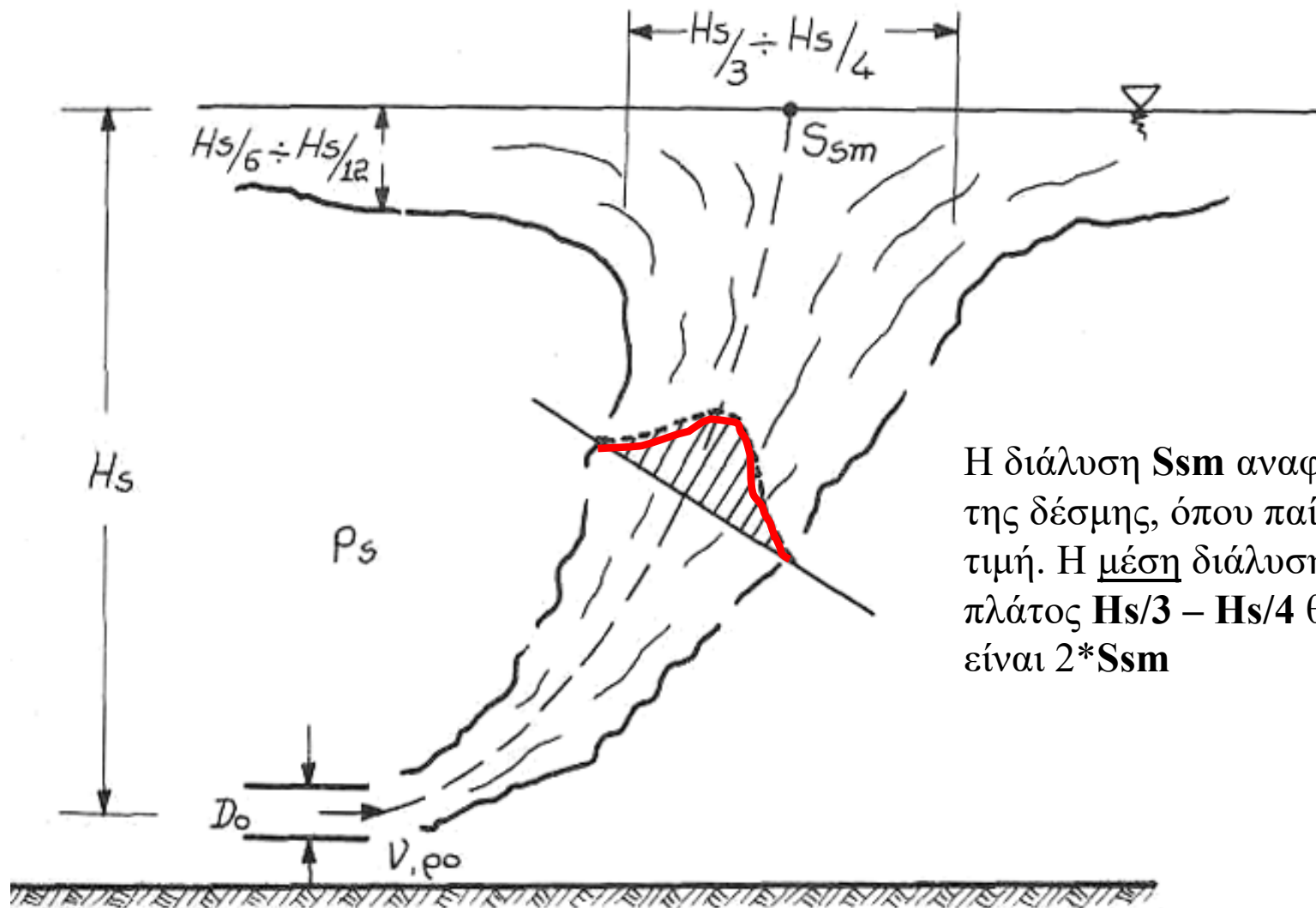


Νομογράφημα 1: απεικονίζει την αύξηση διαλύσεως της ουσίας, αυτή δίνεται σαν συνάρτηση του βάθους εκροής H_s της διαμέτρου του αγωγού D_o και του πυκνομετρικού αριθμού Froude

$$N_F = \frac{u_o}{\sqrt{\frac{\Delta \rho}{\rho_o} g D_o}}$$

ΕΚΡΟΗ ΣΕ ΠΥΚΝΟΤΕΡΟ ΡΕΥΣΤΟ (πχ λύματα σε θαλασσινό νερό)

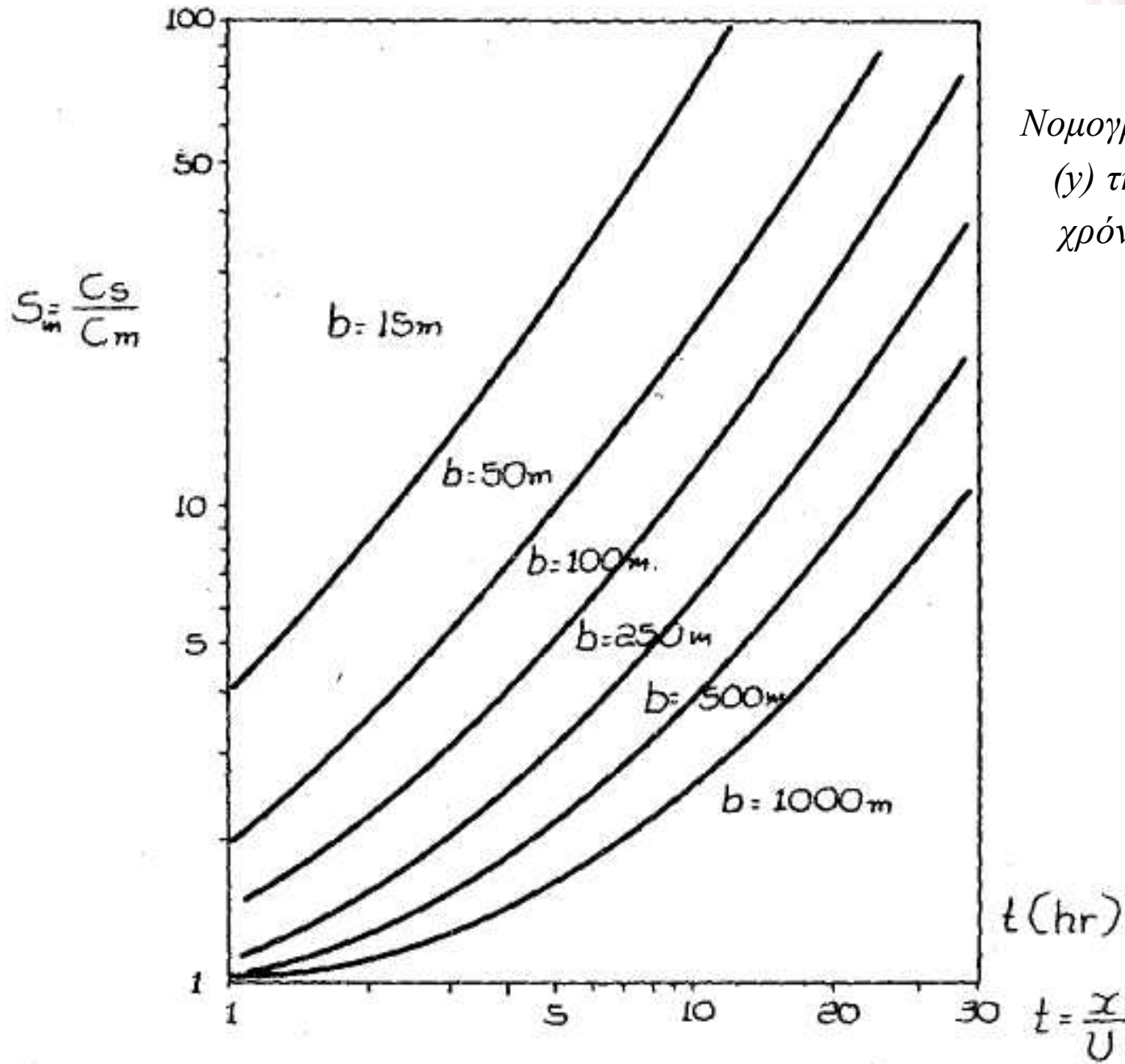
Μέση συγκέντρωση στην επιφάνεια:



Η διάλυση **S_{sm}** αναφέρεται στο μέσο της δέσμης, όπου παίρνει τη μέγιστη τιμή. Η μέση διάλυση σε όλο το πλάτος **$H_s/3 - H_s/4$** θεωρείται ότι είναι **$2 \cdot S_{sm}$**

ΕΚΡΟΗ ΣΕ ΠΥΚΝΟΤΕΡΟ ΡΕΥΣΤΟ

Διάλυση επιφανειακού πλουμίου ανάλογα το πλάτος επιφάνειας και την ώρα

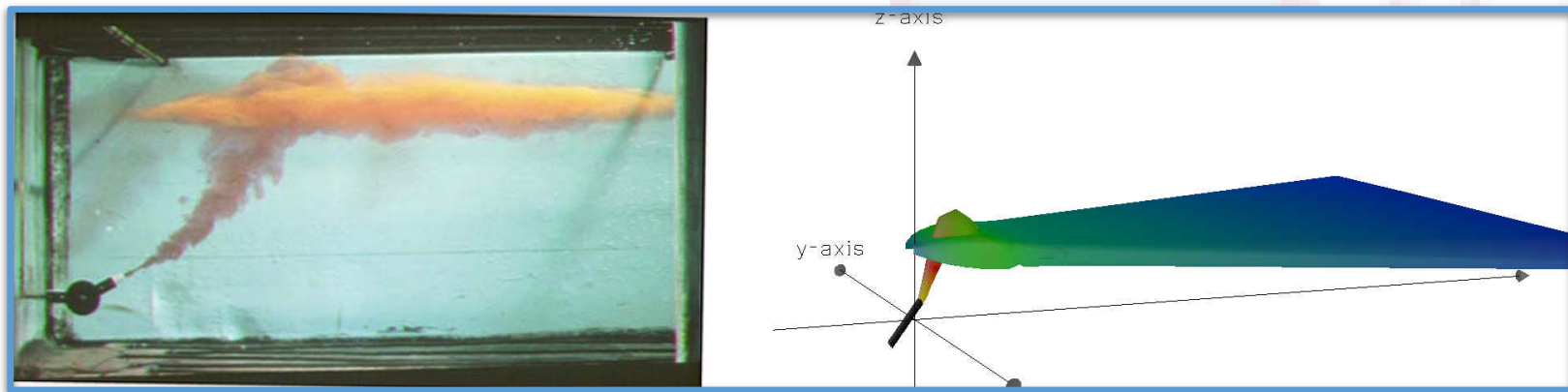


Νομογράφημα 2: Διάγραμμα διάλυσης (y) της ουσίας σε συνάρτηση με το χρόνο και το αρχικό επιφανειακό πλάτος του πλουμίου.

Προσομοίωση εκροής σε υδάτινο αποδέκτη

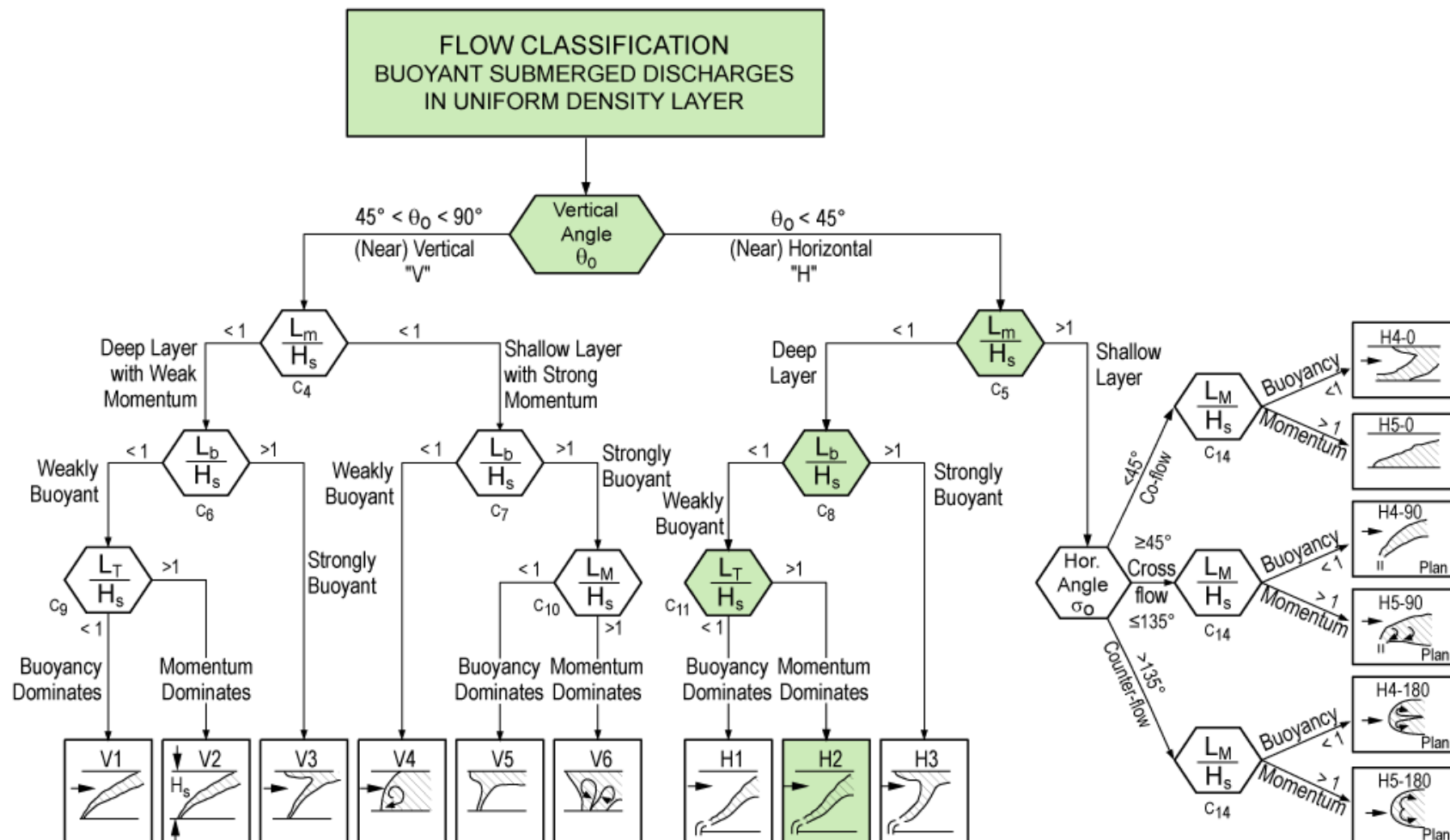
• Ένας γρήγορος τρόπος προσομοίωσης της εκροής είναι τα συστήματα πρόβλεψης, όπως το CORMIX που μπορεί να προβλέψει τη συμπεριφορά μίας απορροής σε έναν αποδέκτη.

- Το πρόγραμμα κατέχει μία βάση δεδομένων από πειράματα διάθεσης εκροής σε αποδέκτη, τα οποία έχουν εκτελεστεί υπό κλίμακα σε εργαστήριο.
- Το σύστημα λαμβάνει υπόψη τα δεδομένα που χαρακτηρίζουν το περιβάλλον της εκροής (π.χ. ποτάμι, λίμνη, θάλασσα) και τα δεδομένα της εκροής (π.χ. εκροή από επεξεργασμένο νερό ενός βιολογικού καθαρισμού).
- Έπειτα, ανατρέχει στην βάση και βρίσκει το πείραμα που αντιστοιχεί στα δεδομένα που του εισήχθησαν. Έτσι, υπολογίζει αναλογικά το αποτέλεσμα που θα δώσει η εκροή των δεδομένων μας.

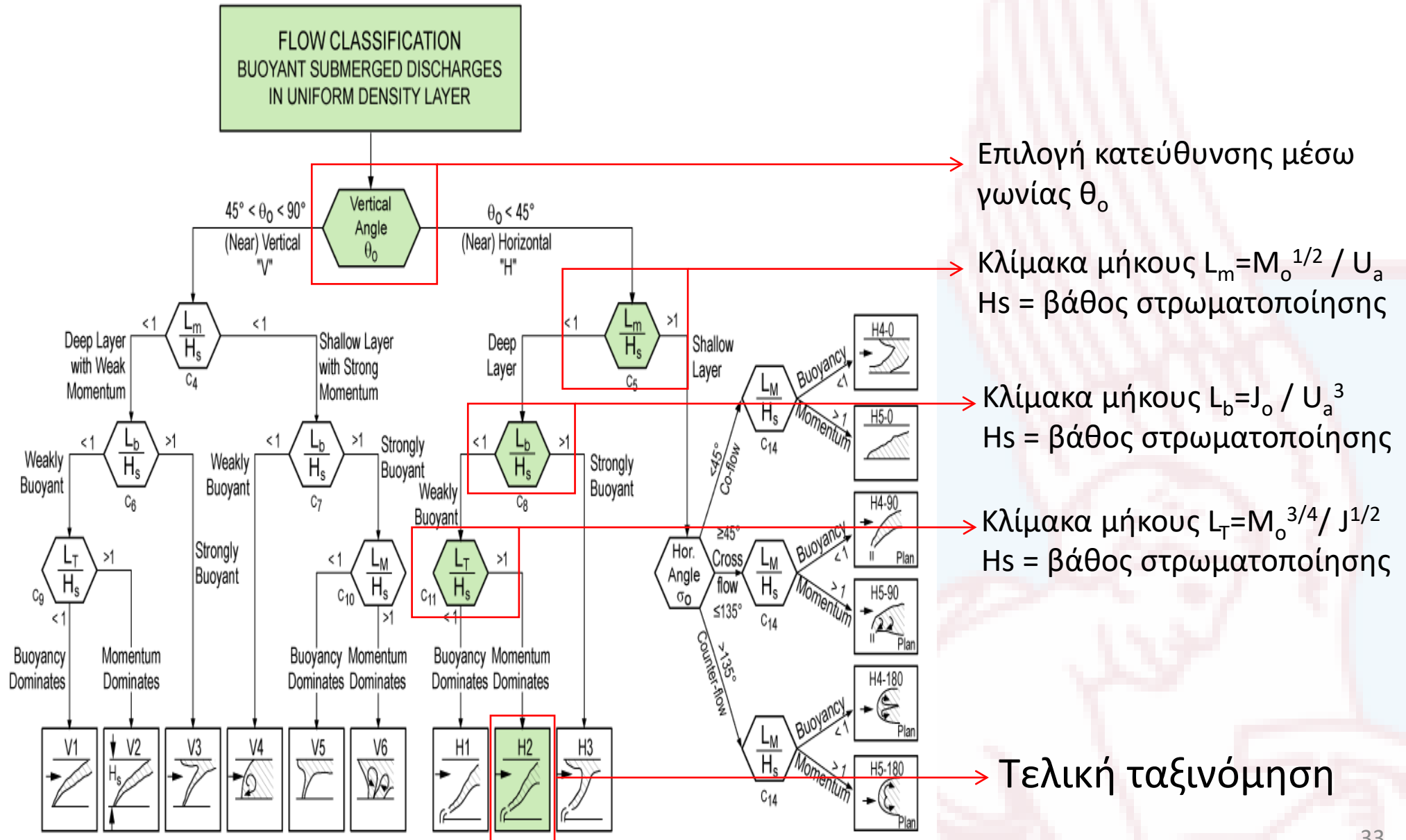


Εκροή από μία υποβρύχια έξοδο (Cormix 1)

- Το CORMIX υπολογίζει κάποιες παραμέτρους βάσει των δεδομένων εισόδου που του παρέχονται. Οι παράμετροι αυτές ονομάζονται «κλίμακες μήκους» (λόγω του ότι έχουν μονάδες μήκους). Η συσχέτιση μεταξύ των μηκών δίνει την ταξινόμηση της ροής μέσω μιας διαδικασίας δενδροειδούς ταξινόμησης.



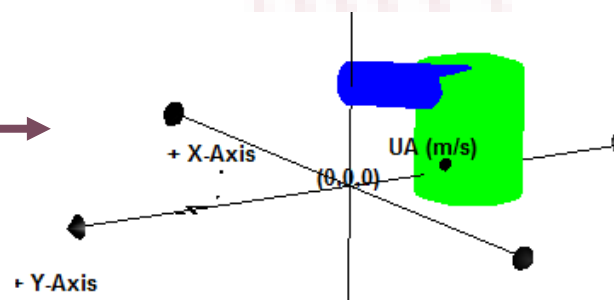
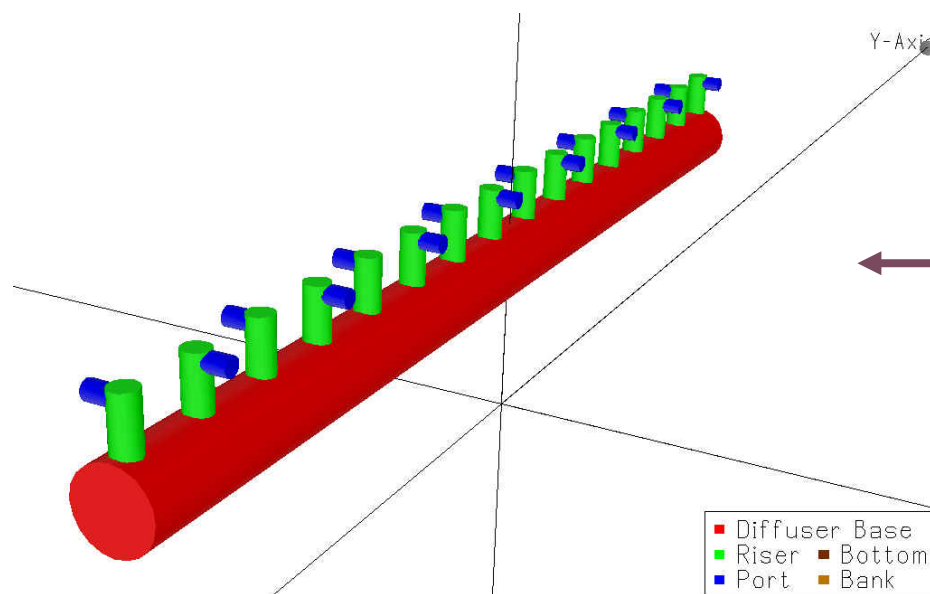
Εκροή από μία υποβρύχια έξοδο (Cormix 1)



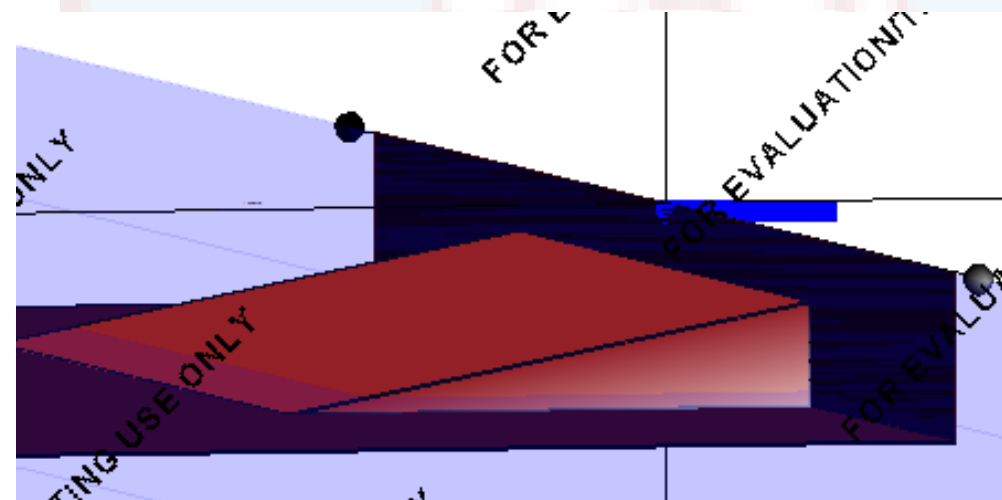
CORMIX 1-2-3

• Το πρόγραμμα έχει τρεις εκφάνσεις, ανάλογα τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η εκροή:

• **CORMIX 1:** Υποβρύχια εκροή από μία έξοδο (single port discharge)



• **CORMIX 2:** Υποβρύχια εκροή από πολ-λαπλές εξόδους (multiple port discharge)



• **CORMIX 3:** Επιφανειακή εκροή (surface discharge)

Εφαρμογές του συστήματος CORMIX

- Το CORMIX είναι εφαρμόσιμο σε μια ευρεία σειρά προβλημάτων, από ένα απλό ενιαίο βυθισμένο σωλήνα σε μικρά ρεύματα με γρήγορη διαμήκη μίξη μέχρι περίπλοκες εγκαταστάσεις διαχυτήρων σε βαθιά στρωματοποιημένα παράκτια νερά.



Παραδείγματα διαχυτήρων: α) Μονού (CORMIX-1), β) πολλαπλών σημείων (CORMIX-2), γ) επιφανειακών πηγών (CORMIX-3) και δ) απόθεσης στερεών (DHYDRO)



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Ταξινόμηση - Μορφολογία ακτών

Ταξινόμηση ακτών

Ακτή

- Όριο ξηράς & θάλασσας

Το όριο μπορεί να μεταβάλλεται συνεχώς

- Παλιρροιακά περιβάλλοντα ή
- Έντονη υδροδυναμική ενέργεια

Τύποι ταξινομήσεων

Περιγραφικές

- Σύσταση ιζημάτων
- Μορφολογία
- Υδροδυναμικές δυνάμεις

Γενετικές

- Τρόπος γένεσης ακτών

Περιγραφική Ταξινόμηση Ακτών

Βάσει σύστασης, μορφολογίας, άλλων χαρακτηριστικών

Περιγραφική Ταξινόμηση [1]

Βάσει της σύστασης των ιζημάτων

- Ακτές από πηλούς και αργίλους, $< 0.063\text{mm}$ (mud coasts)
- Αμμώδεις ακτές, $0.063\text{-}2\text{mm}$ (sand coasts)
- Χαλικώδεις ακτές, $2\text{-}64\text{mm}$ (gravel/shingle coasts)
- Βραχώδεις ακτές, $> 64\text{mm}$ (rock/cliff coasts)

Σύσταση ιζημάτων	% Ακτών Παγκοσμίως
Άργιλος / Ιλύς	5-10%
Άμμος	10-15%
Χαλίκια / Βράχοι	75-85%

Περιγραφική Ταξινόμηση [2]

Βάσει τυπικών μορφολογικών χαρακτηριστικών

Δελταϊκές ακτές

Κοραλλιογενείς ακτές

Κρημνώδεις ακτές

Ακτές φραγματικών νησιών

Ακτές όπου κυριαρχούν αμμοθίνες

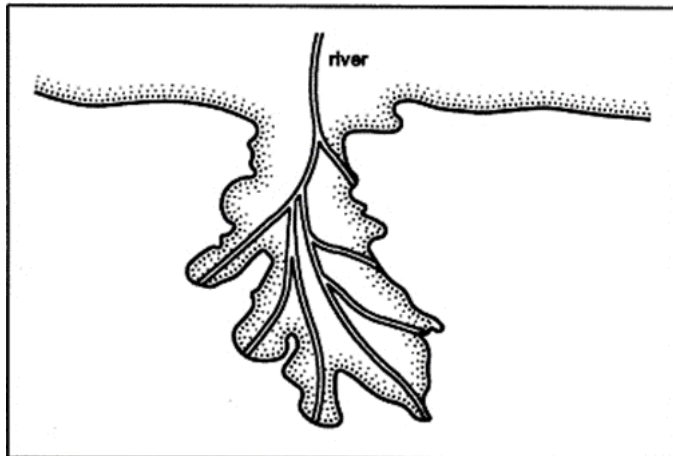
Δελταϊκή ακτή Νείλου



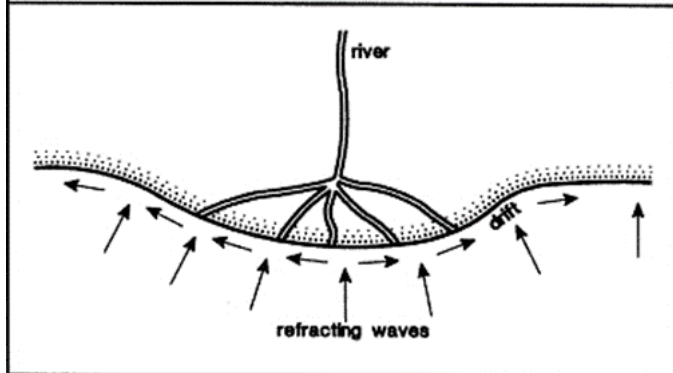
Δελταϊκή ακτή Μισισιπή



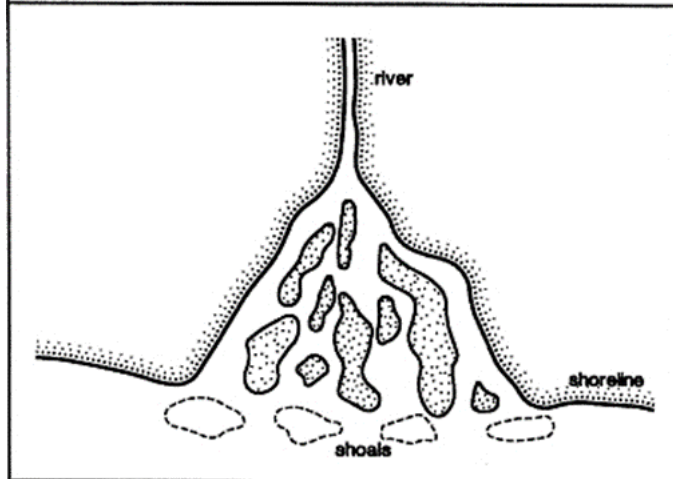
Τύποι Δελταϊκών Ακτών



Κυριαρχεί το Ποτάμι



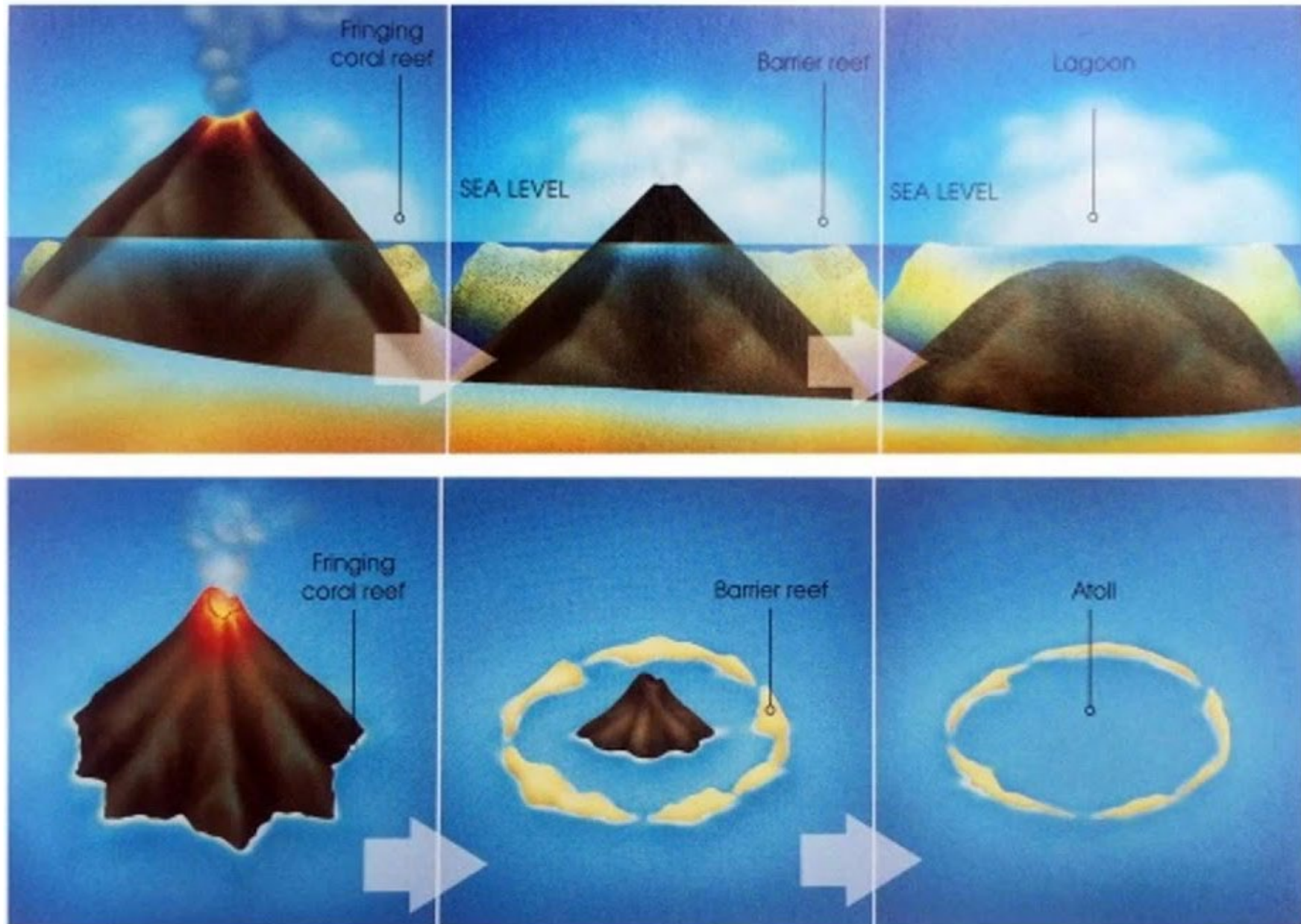
Κυριαρχούν τα Κύματα



Κυριαρχεί η Πλημμύρα

Van Rijn, 1999

Σχηματισμός κοραλλιονενών ακτών



Περιγραφική Ταξινόμηση [2] Βάσει τυπικών μορφολογικών χαρακτηριστικών

Διαφορετικές μορφολογίες κοραλλιογενών ακτών



Περιγραφική Ταξινόμηση [2] Βάσει τυπικών μορφολογικών χαρακτηριστικών

Διαφορετικές μορφολογίες κοραλλιογενών ακτών



Κρημνώδεις Βραχώδεις Ακτές



Κρημνώδεις ακτές χαλαρών ιζημάτων

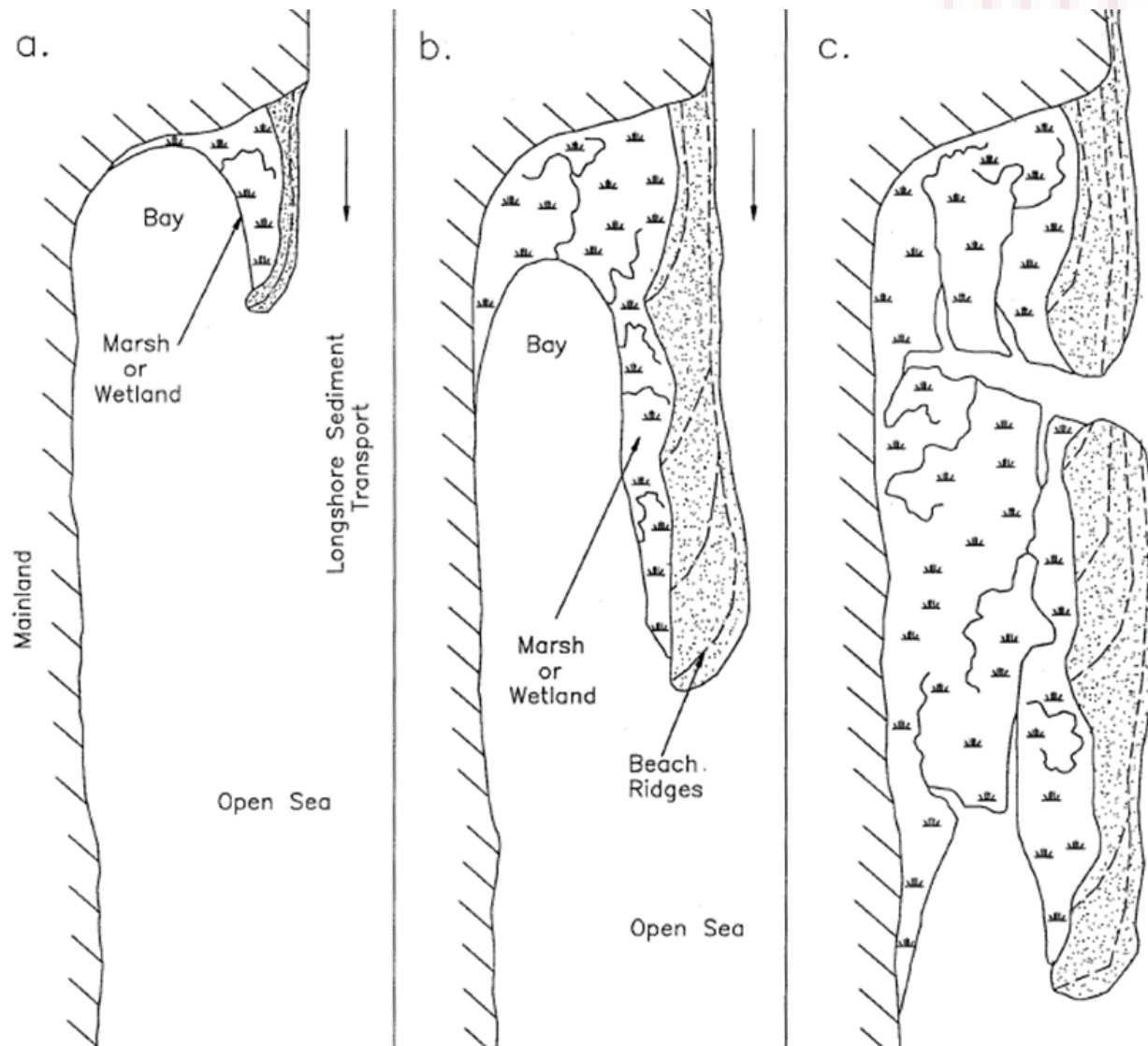


CEM, 2002

Ακτές φραγματικών νησιών

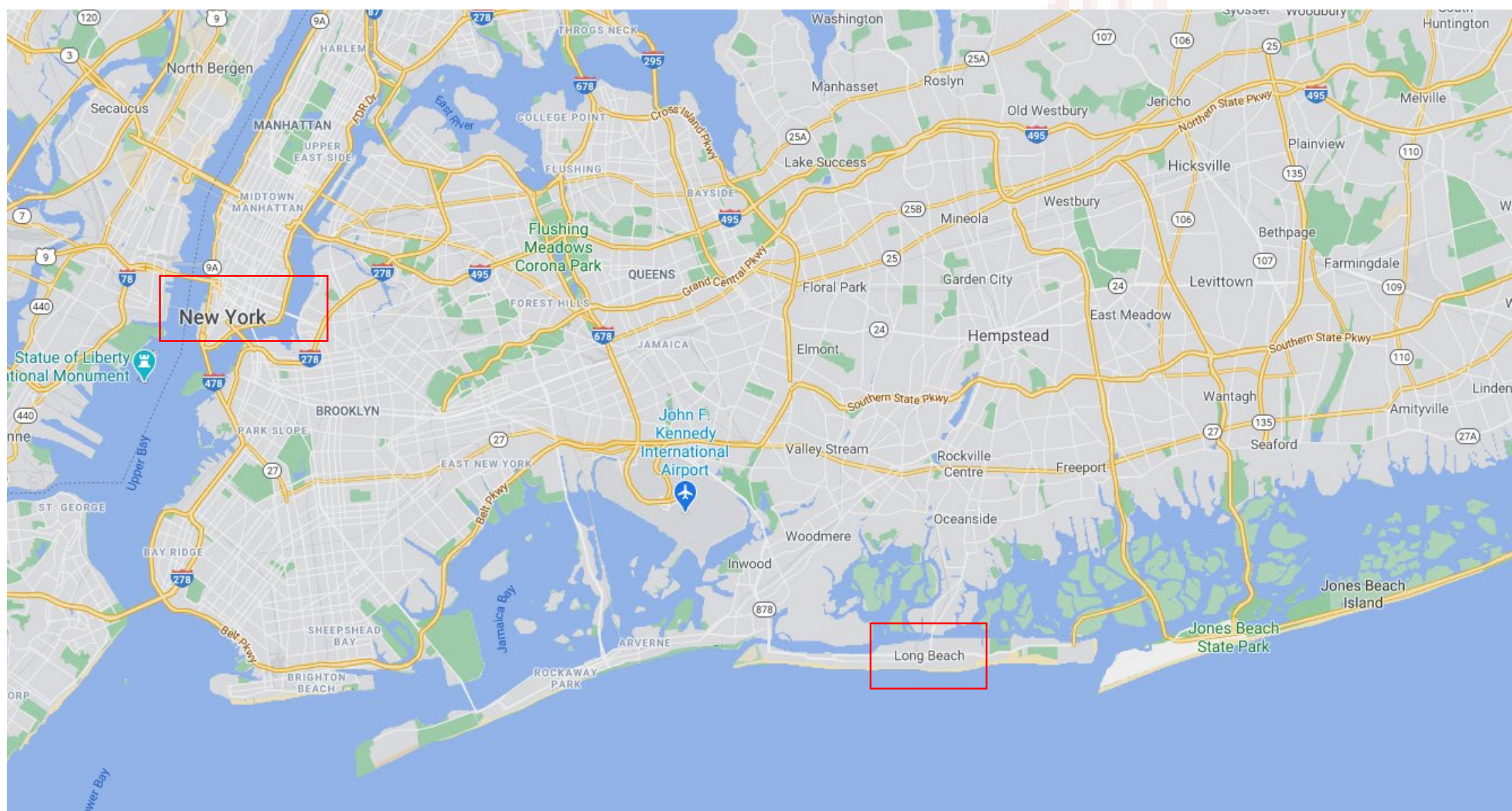


Διαμόρφωση ακτών φραγματικών νησιών



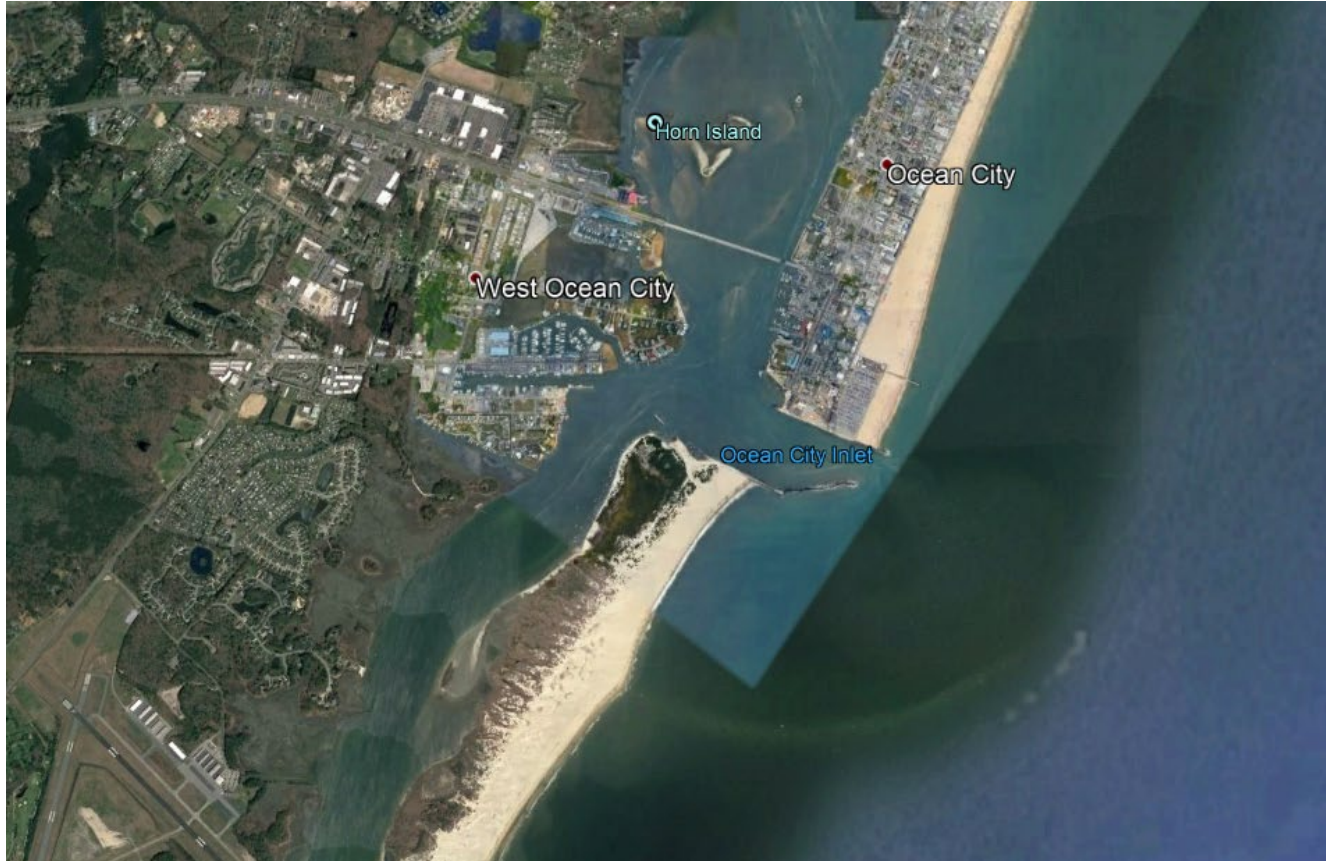
CEM, 2002

Φραγματικά νησιά

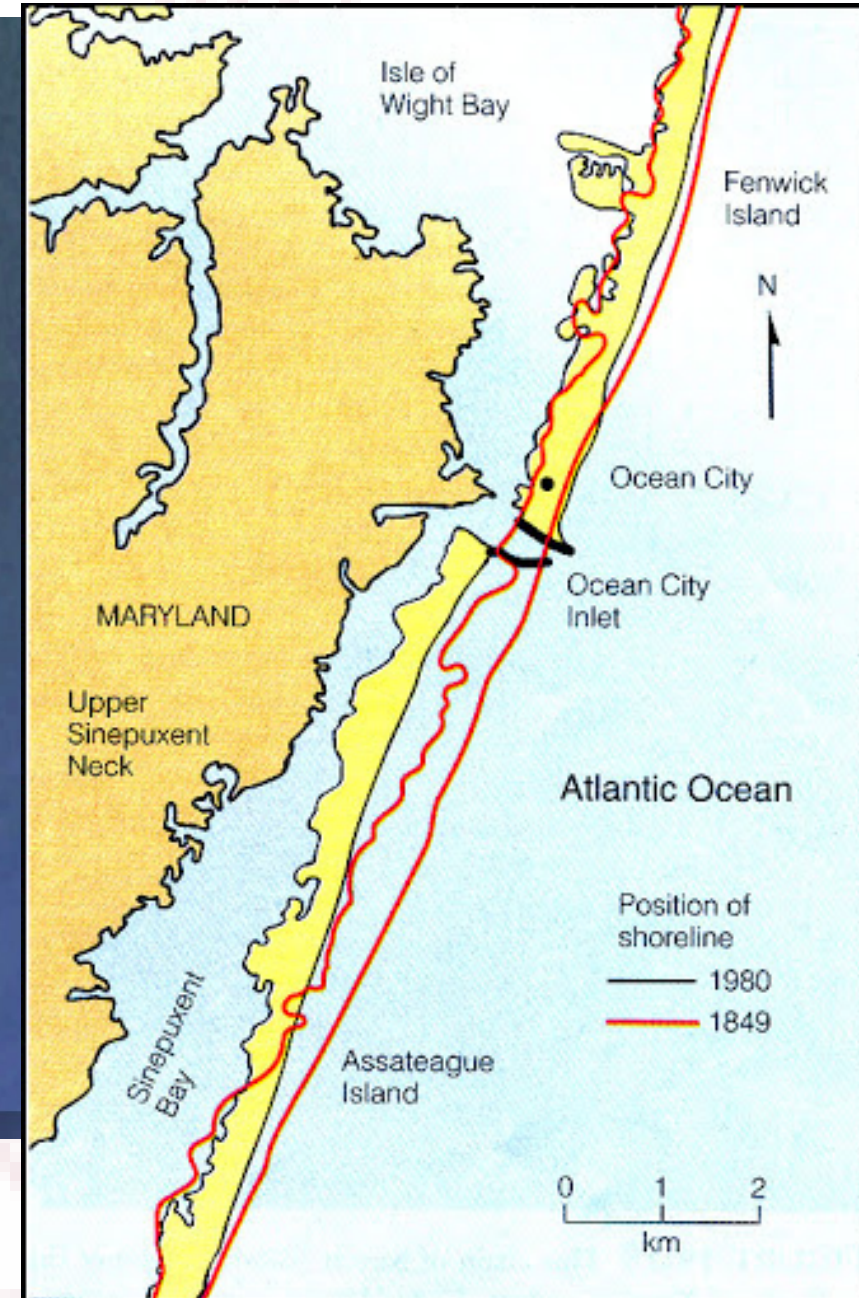


CEM, 2002

Φραγματικά νησιά



© 2020 Google
Image © 2020 TerraMetrics
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO



Ακτή διαμορφώμενη από αμμοθίνες



CEM, 2002

Περιγραφική Ταξινόμηση [3]

Ταξινόμηση βάσει δυνάμεων
μετακίνησης ιζήματος

Παροχής ιζήματος από ποτάμια

Κυματικής δραστηριότητας (H)

Παλιρροιακών φαινομένων (Tidal
range)

Παραποτάμιες ακτές

- Διαμορφώνεται από ύδατα & ιζήματα από ποτάμια

Ακτές που διαμορφώνονται από Κυματική Δραστηριότητα

- $(0.5 < TR/H < 1)$ ($TR = tidal\ range$)
- Κύριο ίζημα άμμος
- Μεταφέρεται λόγω κυματικής δραστηριότητας
- Εύρος παλίρροιας $< 2m$

Ακτές που διαμορφώνονται από Παλιρροιακή Δραστηριότητα

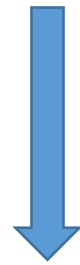
- $(TR/H > 3)$
- Ιζήματα μεταφέρονται μέσω ισχυρών παλιρροιακών ρευμάτων, το παλιρροιακό εύρος είναι μεγαλύτερο των 2m

από Συνδυασμό Κυματικής & Παλιρροιακής Δραστηριότητας

- $(1 < TR/H < 3)$

Μειονέκτημα περιγραφικών ταξινομήσεων

Βασικό μειονέκτημα των περιγραφικών ταξινομήσεων είναι η έλλειψη σαφούς αναφοράς στον τρόπο γένεσης της ακτής.



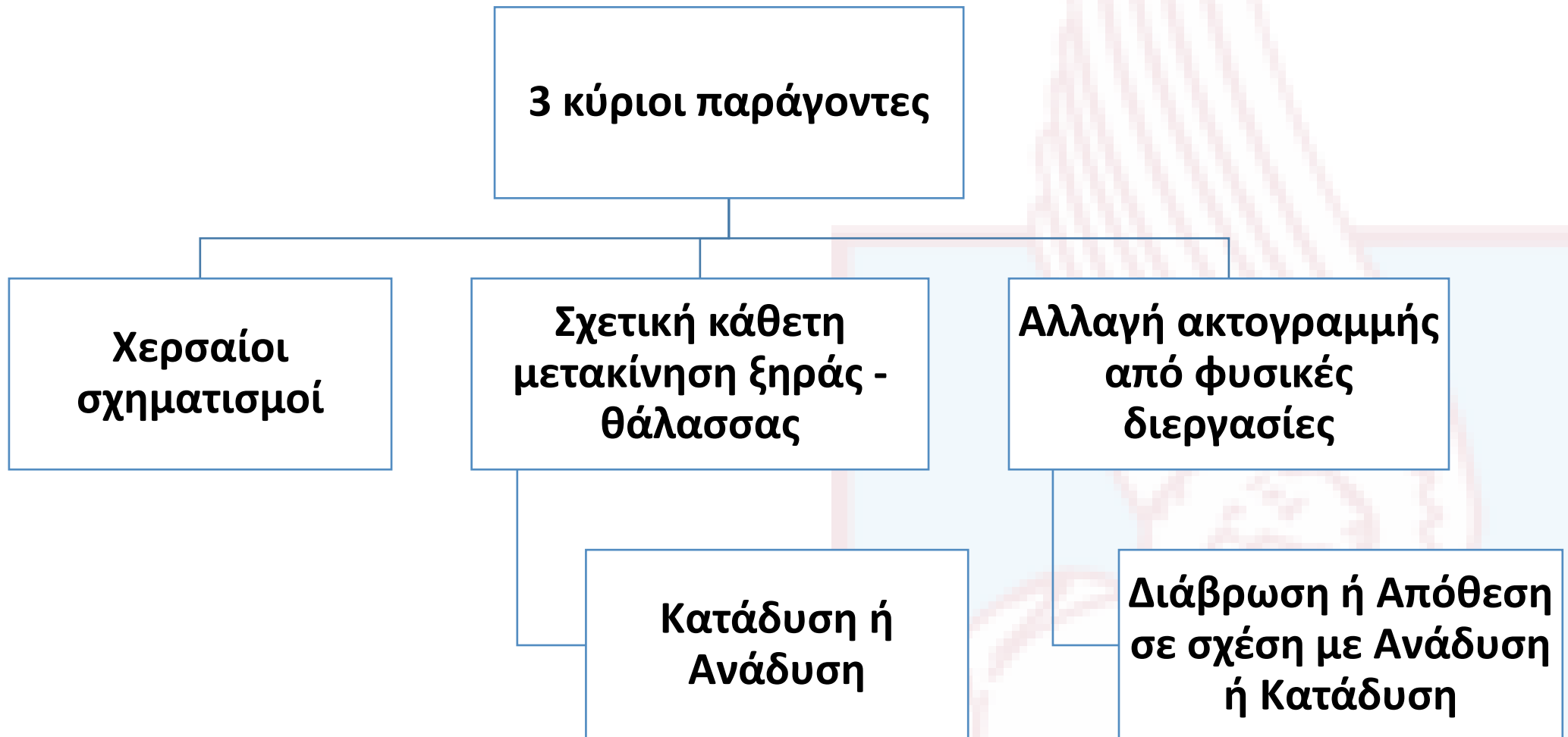
δεν ισχύει για τις κοραλλιογενείς ακτές

Γενετική ταξινόμηση

Βάσει τρόπου γένεσης των ακτών



Γενετική ταξινόμηση



Γενετική ταξινόμηση κατά Johnson (1919, 1925)

Βυθιζόμενες (submerging coasts)

- Ανύψωση στάθμης ή Βύθιση ξηράς
- Ανώμαλες ακτογραμμές

Αναδυόμενες (emerging coasts)

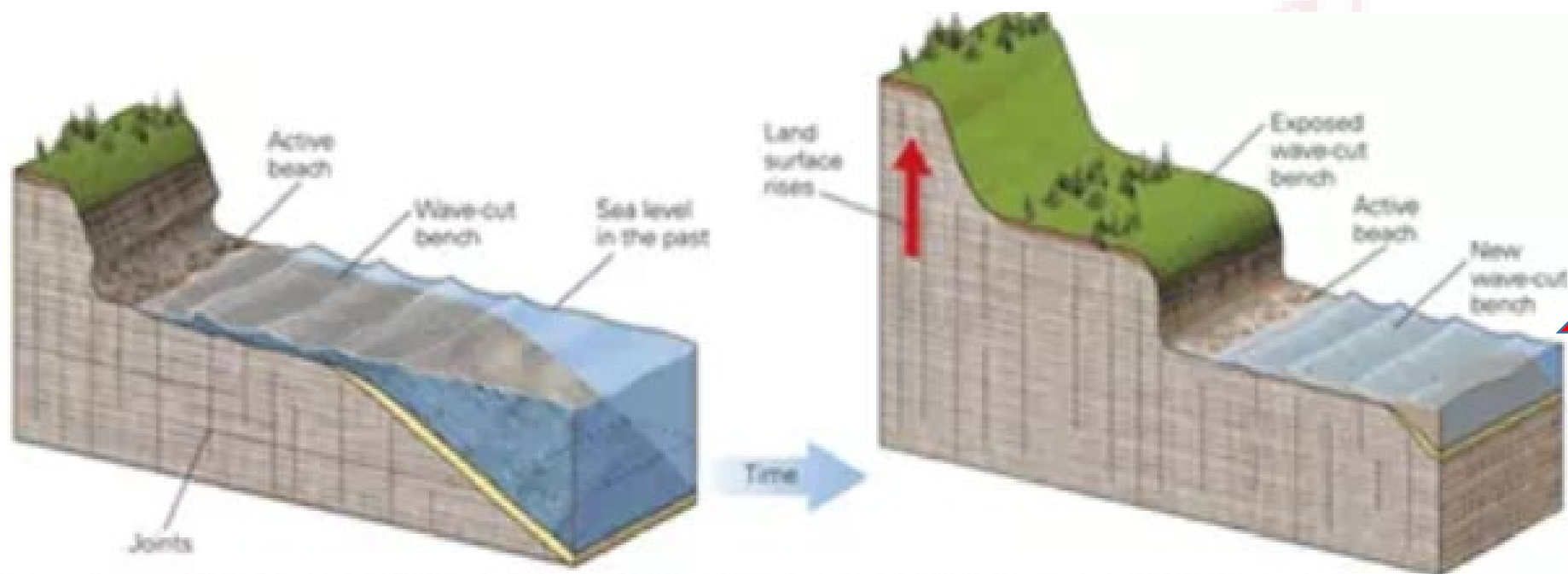
- Ανύψωση της ξηράς ή Ταπείνωση στάθμης θάλασσας
- Ευθείες χαμηλού αναγλύφου με παρουσία αναβαθμίδων

Σταθερές ακτογραμμές (neutral coasts)

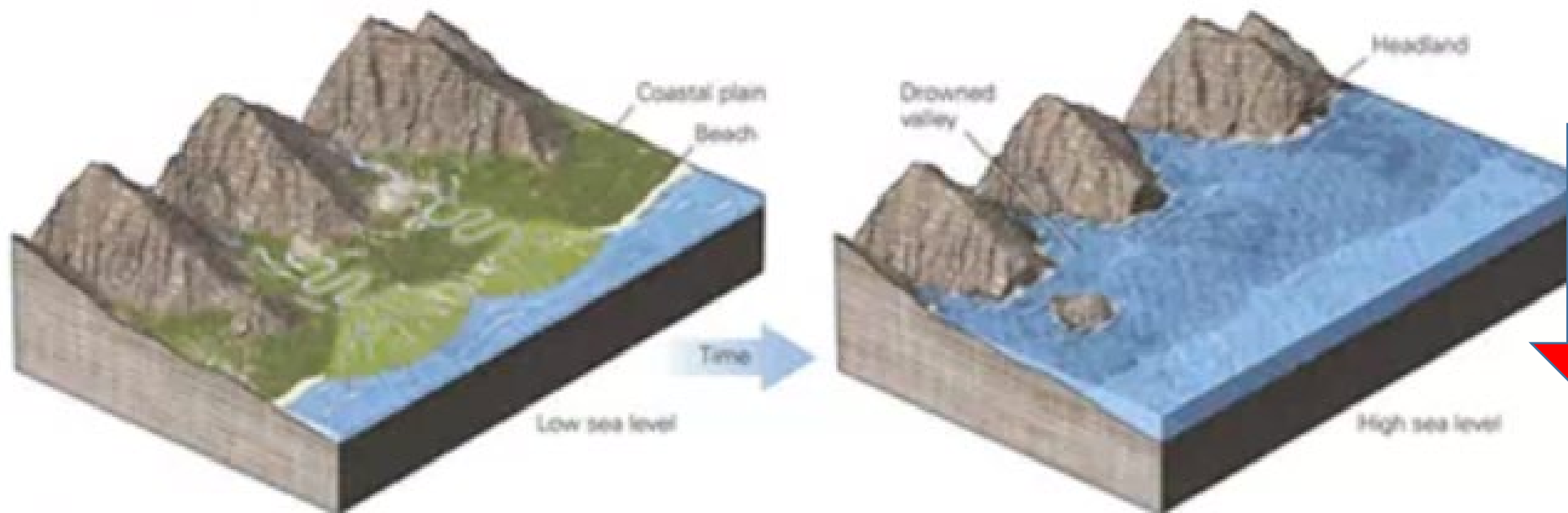
- Δελταϊκές, Ηφαιστειακές, Κοραλλιογενείς

Σύνθετες ακτογραμμές (compound coasts)

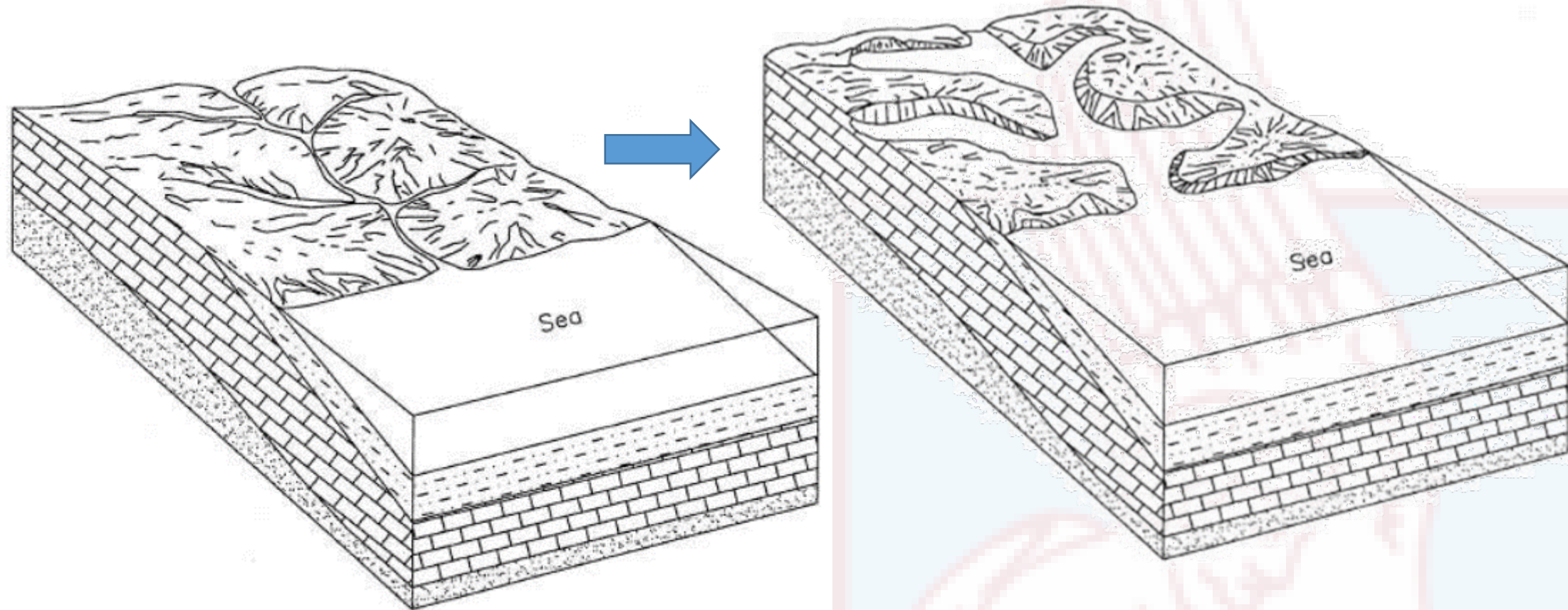
- Συνδυασμός προηγούμενων κατηγοριών



(a) Emergent coasts: Wave erosion produces a wave-cut bench along an emergent coast. As the land rises, the bench becomes a terrace, and a new wave-cut bench forms.



Βύθιση ακτής λόγω καθίζησης ή ανόδου στάθμης



CEM, 2002

Ταξινόμηση κατά Johnson (1919, 1925)

Προβλήματα αυτής της ταξινόμησης

Οι περισσότερες ακτές
στην κατηγορία
Βυθιζόμενων ακτών

Πολλές ακτές στη
Σύνθετη κατηγορία

Εκτός αν
ανάδυση ξηράς >
ανύψωσης στάθμης

Ταξινόμηση κατά Valentin (1952)

Ακτές Προέλασης
(advanced coasts)

Ξηρά → Θάλασσα

Προέλαση ξηράς προς
τη θάλασσα

Είτε λόγω ανάδυσης
(ταπείνωση στάθμης)

Είτε λόγω προσχωτικών
διεργασιών

Ακτές Υποχώρησης
(retreated coasts)

Θάλασσα → Ξηρά

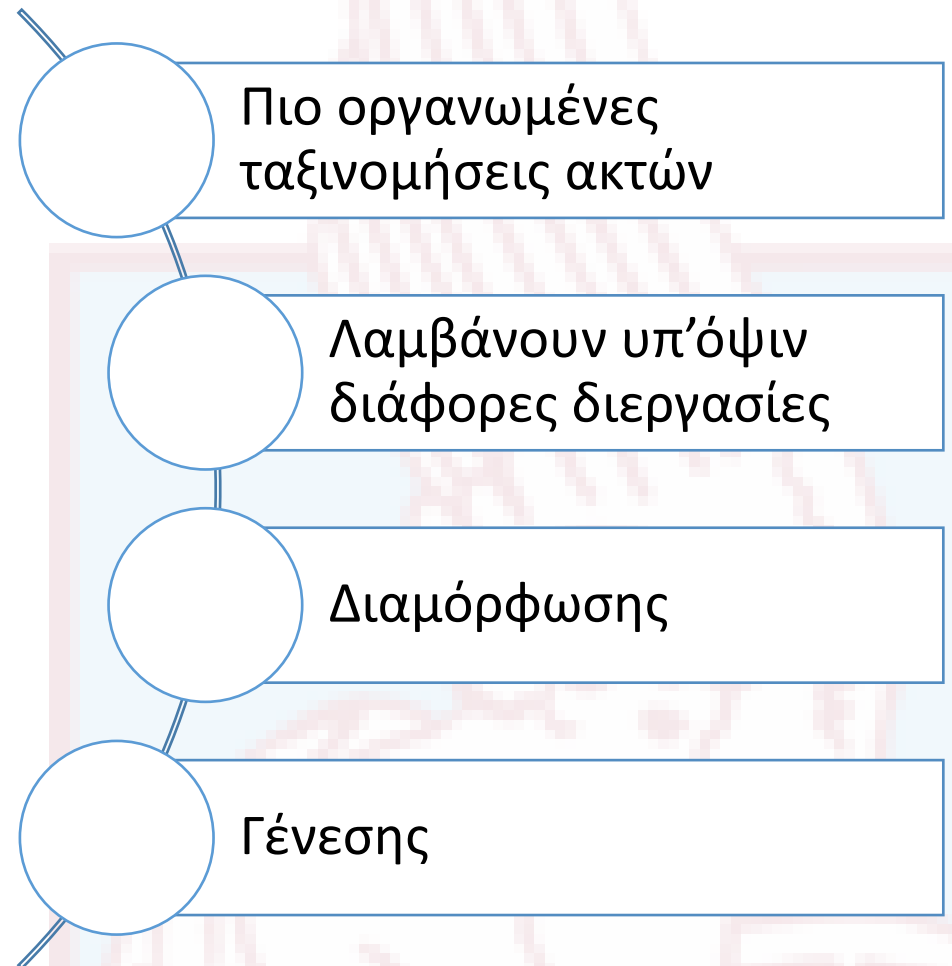
Υποχώρηση ξηράς προς
την ενδοχώρα

Είτε λόγω βύθισης
(ανύψωση της στάθμης)

Είτε λόγω διαβρωτικών
διεργασιών

Σύγχρονες Ταξινομήσεις

- **Fairbridge R.W. (2004):** *“Coastal classification has been made needlessly complicated in the past by failure to concentrate on directly observable attributes and by the need to constrain deductive reasoning to the known framework of established geologic and palaeoclimatic history.”*
- **Finkl C.W. (2004)**



Ταξινόμηση κατά **Fairbridge R.W. (2004)**

- Υλικών
 - Χαλαρών
 - Ελαφρώς ενοποιημένων
 - Εύκολα διαβρώσιμων
 - Σκληρών υλικών π.χ. βράχοι
- Φυσικό τοπίο
 - Κλίμα
 - Μήκος αναπτύγματος
 - Βαθυμετρία
 - παρουσία παλιρροιακών φαινομένων
- Διαβρωτικοί παράγοντες
 - Φυσικοί
 - Χημικοί
- Ιστορικές αλλαγές σε διάφορες κλίμακες χρόνου

Βιβλιογραφία

- Bird E., 2008, Coastal Geomorpholgy (2nd edition), John Wiley & Sons, Ltd
- Davis R.A. & Miles O.A., 1984, What is a wave dominated coast?, Marine Geology, 60, pp.313-329
- Elba L. Rodríguez and Robert G. Dean, 2009, A Sediment Budget Analysis and Management Strategy for Fort Pierce Inlet, Florida, Journal of Coastal Research, 254, pp.870-883
- Fairbridge R.W., 2004. Classification of coasts. Journal of Coastal Research, 20(1), pp.155–165.
- Finkl C.W., 2004. Coastal classification: Systematic approaches to consider in the development of a comprehensive system. Journal of Coastal Research, 20(1), pp.166–213.
- Rosati J.D., 2005, Concepts in sediment budgets. Journal of Coastal Research, 21(2), pp.307–322
- U.S.A.C.E., 2002, Coastal Engineering Manual
- Van Rijn L., 1999, Principles of Coastal Morphology, Aqua Publications
- Woodroffe C.D., 2008, Reef-island topography and the vulnerability of atolls to sea-level rise, Global and Planetary Change, 62, pp.77–96
- Wright L.D. & Short A.D., 1984, Morphodynamic variability of surf zones and beaches- A synthesis, Marine Geology, 56, pp.93-118



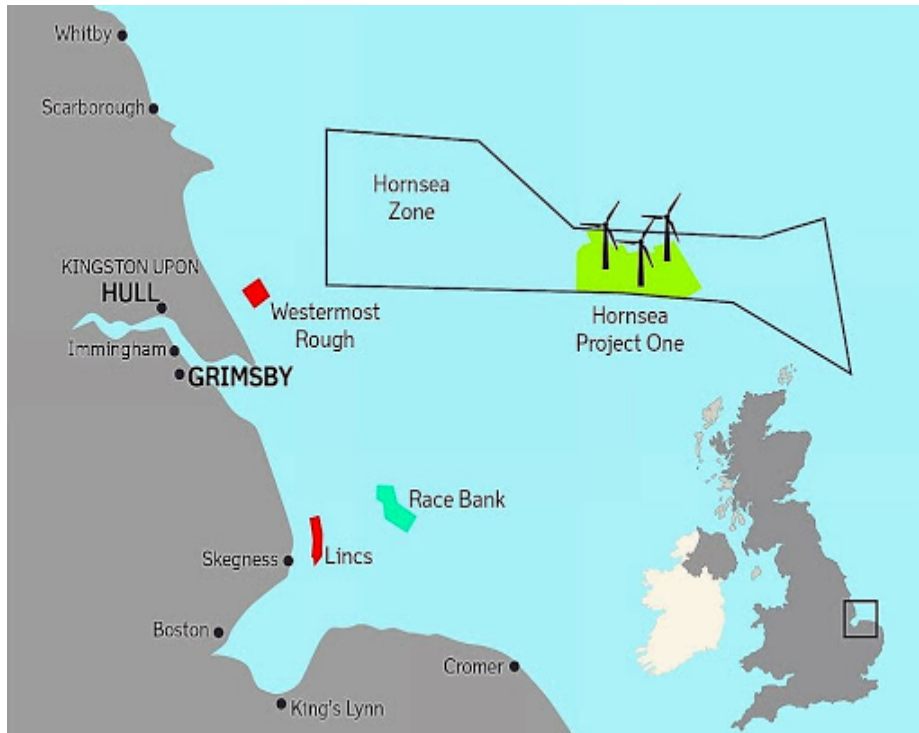
Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Στοιχεία υδροστατικής και υδροδυναμικής
σε υπεράκτιες κατασκευές

Υπεράκτια αιολικά

- Η ανάγκη για φτηνή - ανανεώσιμη ενέργεια έχει οδηγήσει σε κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων.



Συγκριτικά, το μεγαλύτερο υδροηλεκτρικό συγκρότημα στην Ελλάδα (6 φράγματα μαζί στο ρου του Αχελώου) έχουν 925MW.

Υπεράκτια αιολικά

naftemporiki.gr N•studio N•εκπαίδευση N•conference

Premium services - Newsroom Video Πρωτοσέλιδα Real Time | Χ.Α. My Βαρόμετρο Κίνηση Καιρός Σεισμοί Ca

Οικονομία & Αγορές Πολιτική Κοινωνία Κόσμος Αθλητικά Απόψεις Πολιτισμός Περι

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ε.Ε.: Αύξηση κατά 25 φορές της απόδοσης υπεράκτιων αιολικών πάρκων έως το 2050

Πέμπτη, 19 Νοεμβρίου 2020 23:02



EPA/PATRICK PLEUL

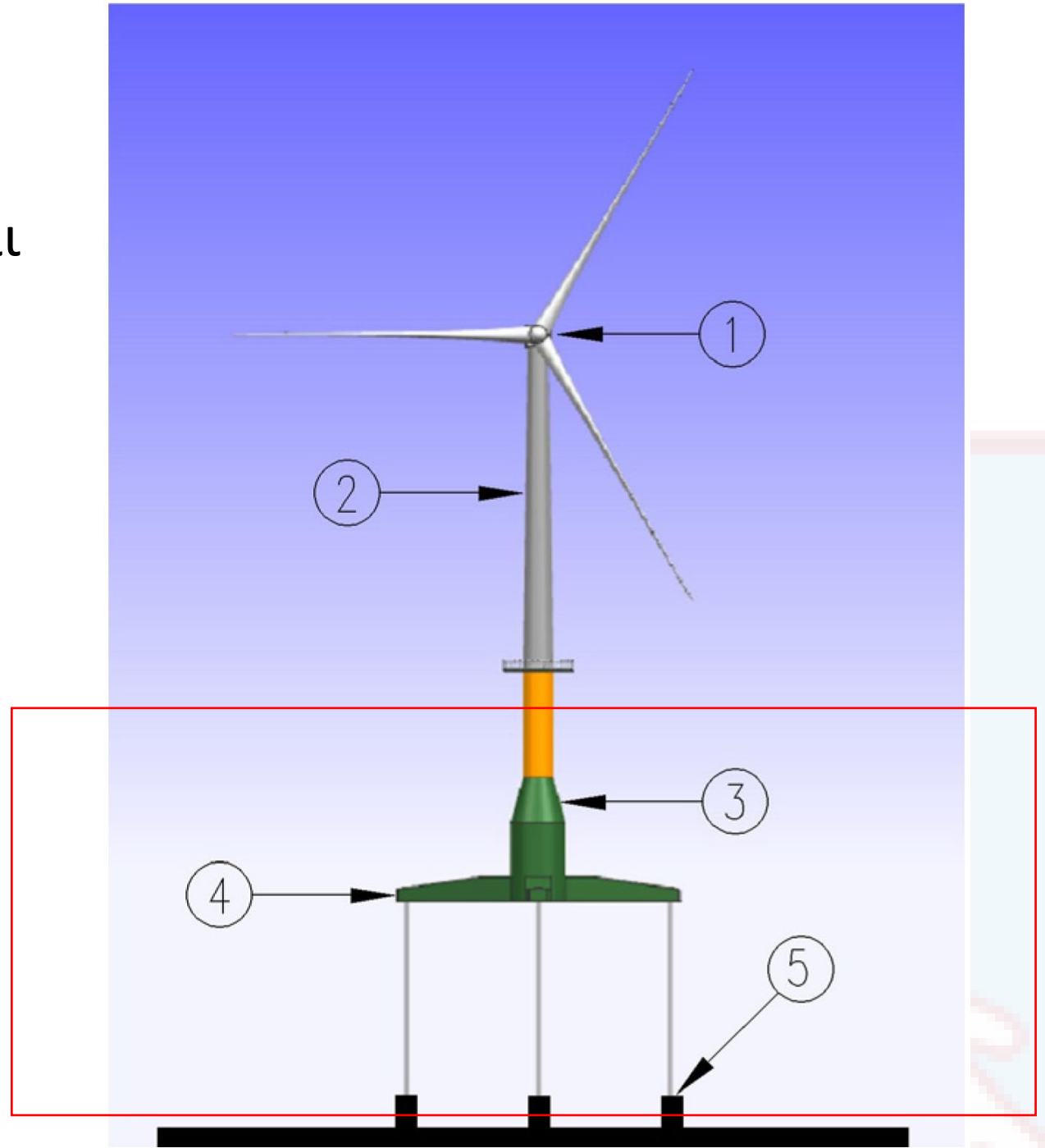
Υπεράκτια αιολικά

- Η ιδέα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας δεν είναι νέα...:



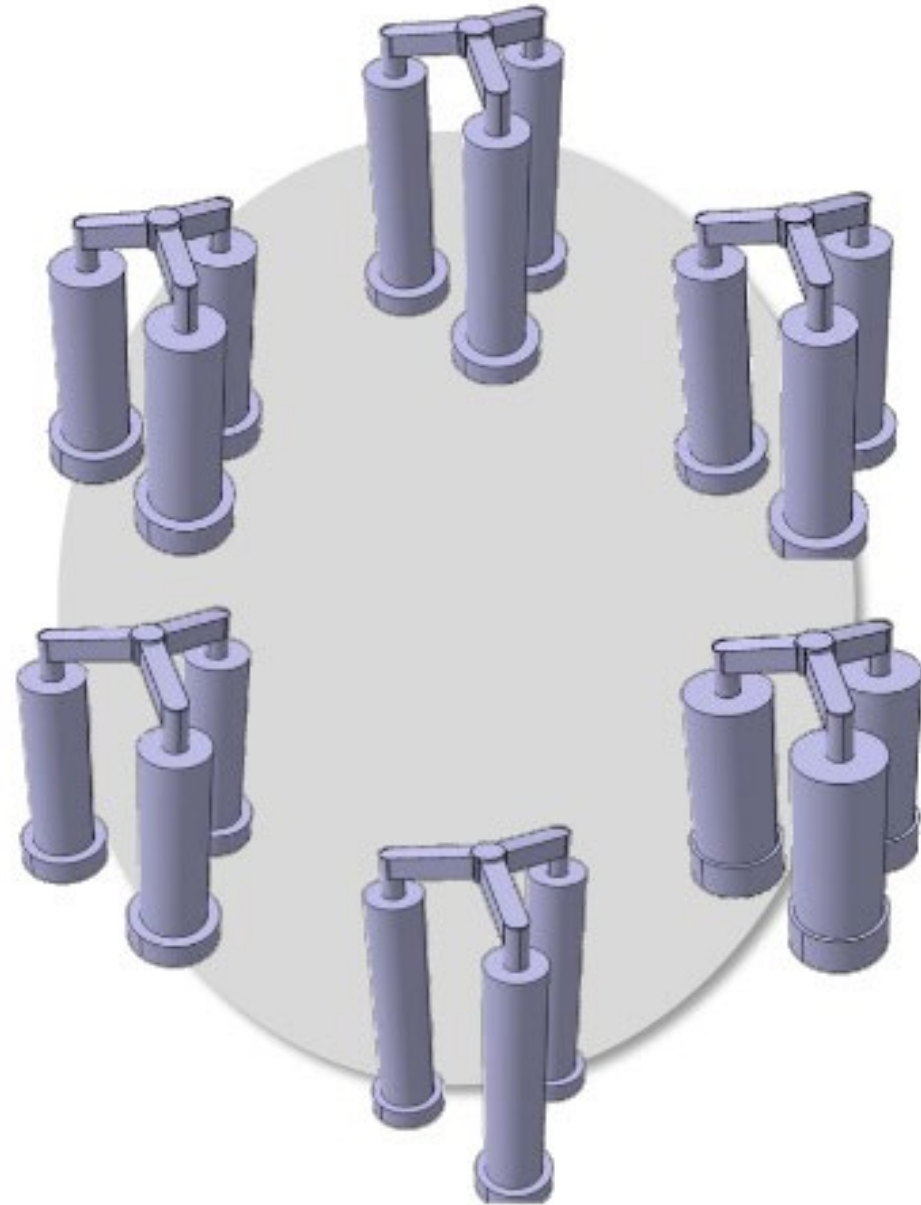
Υπεράκτια αιολικά

Σε όχι πολύ βαθιά νερά, οι ανεμογεννήτριες εδράζονται πάνω σε σταθερές βάσεις που ο τύπος τους ποικίλει από το βάθος έδρασης.



Υπεράκτια αιολικά

Έδραση αιολικών
σε ρηχά νερά

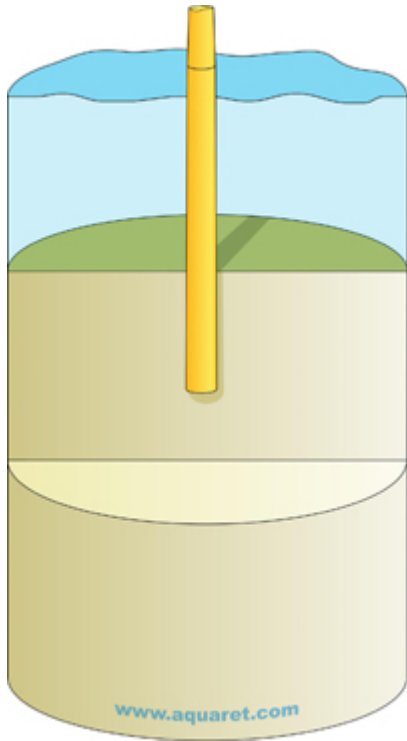


Υπεράκτια αιολικά

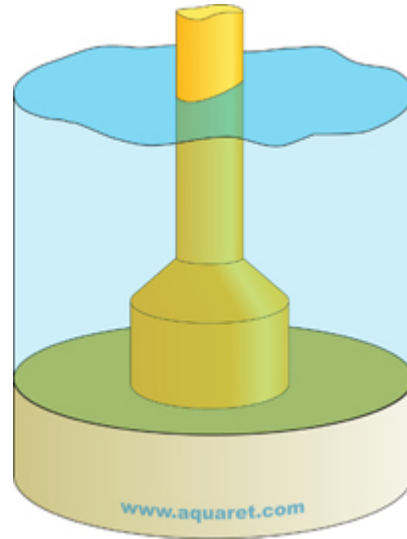
Έδραση αιολικών σε ρηχά νερά



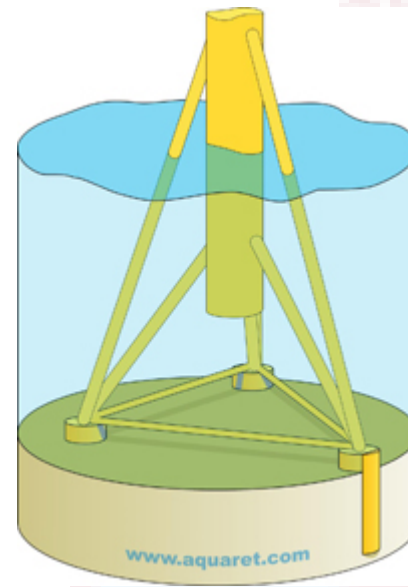
Υπεράκτια αιολικά



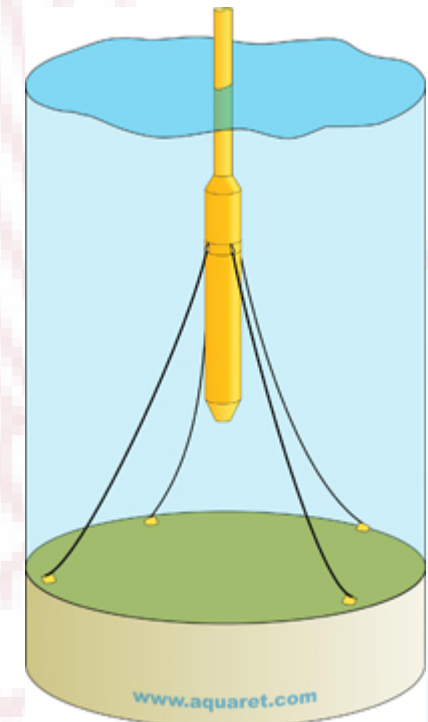
Κατασκευή έδρασης
μονού πυλώνα



Κατασκευές που
βασίζονται στη
βαρύτητα



Κατασκευή έδρασης
σε πολλούς πυλώνες



Πλωτή κατασκευή
έδρασης

Υπεράκτια αιολικά



01 MONOPILE

Depth

Less than 15 metres.

Structure

Thick steel cylinder, buried down to a depth of 30 metres to support the tower.

Ground

Sandy-clayey.



02 GRAVITY

Depth

Less than or equal to 30 metres.

Structure

Concrete or steel platform with an approximate diameter of 15 metres.

Ground

Requires the previous preparation of the terrain.



03 JACKET

Depth

Over 30 metres.

Structure

Structure with 3 or 4 anchoring points. Reaches a length of almost 60 metres.

Ground

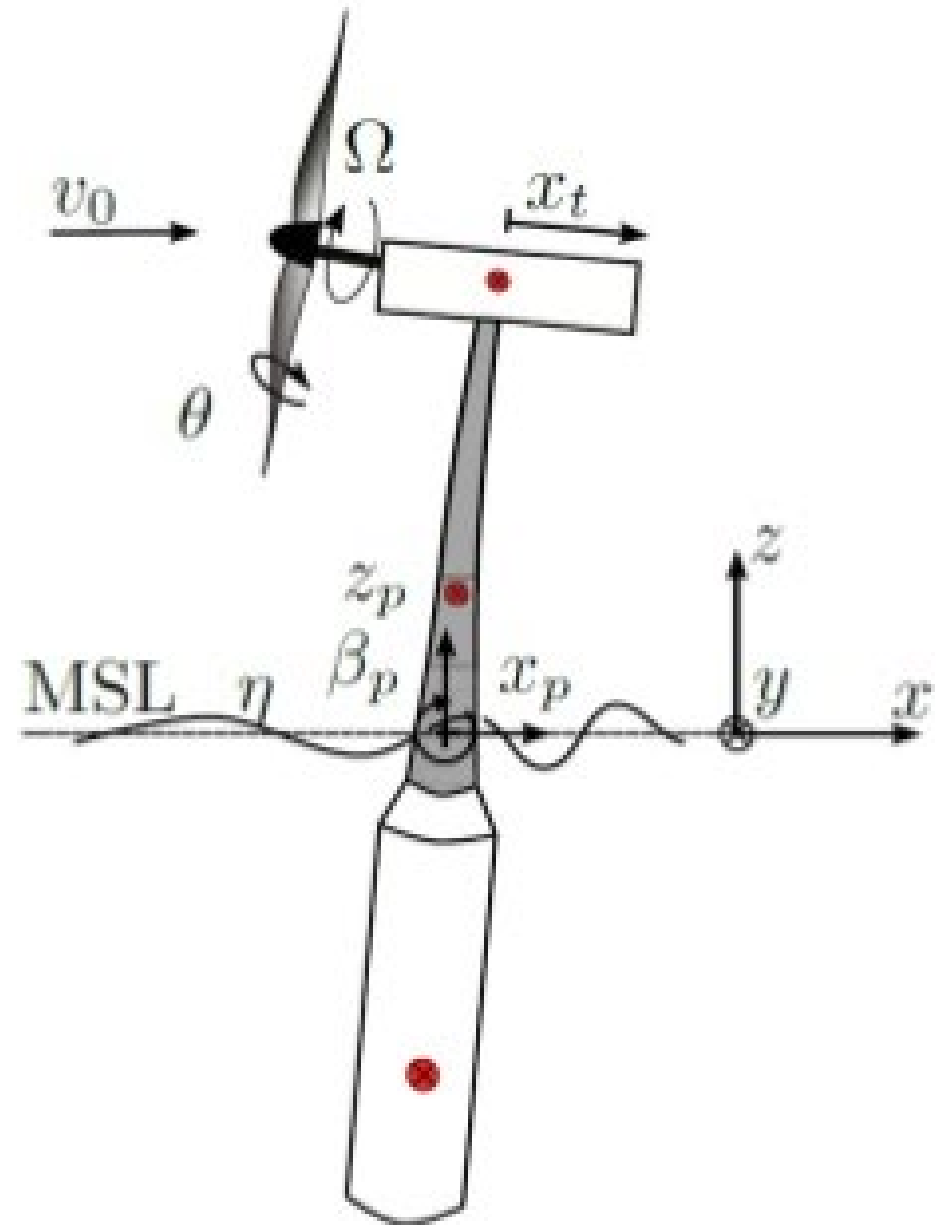
Different types of soils (non-rocky).

Υπεράκτια αιολικά



Υπεράκτια αιολικά

Στις πλωτές
κατασκευές η
επίδραση των
δυνάμεων είναι πιο
περίπλοκη

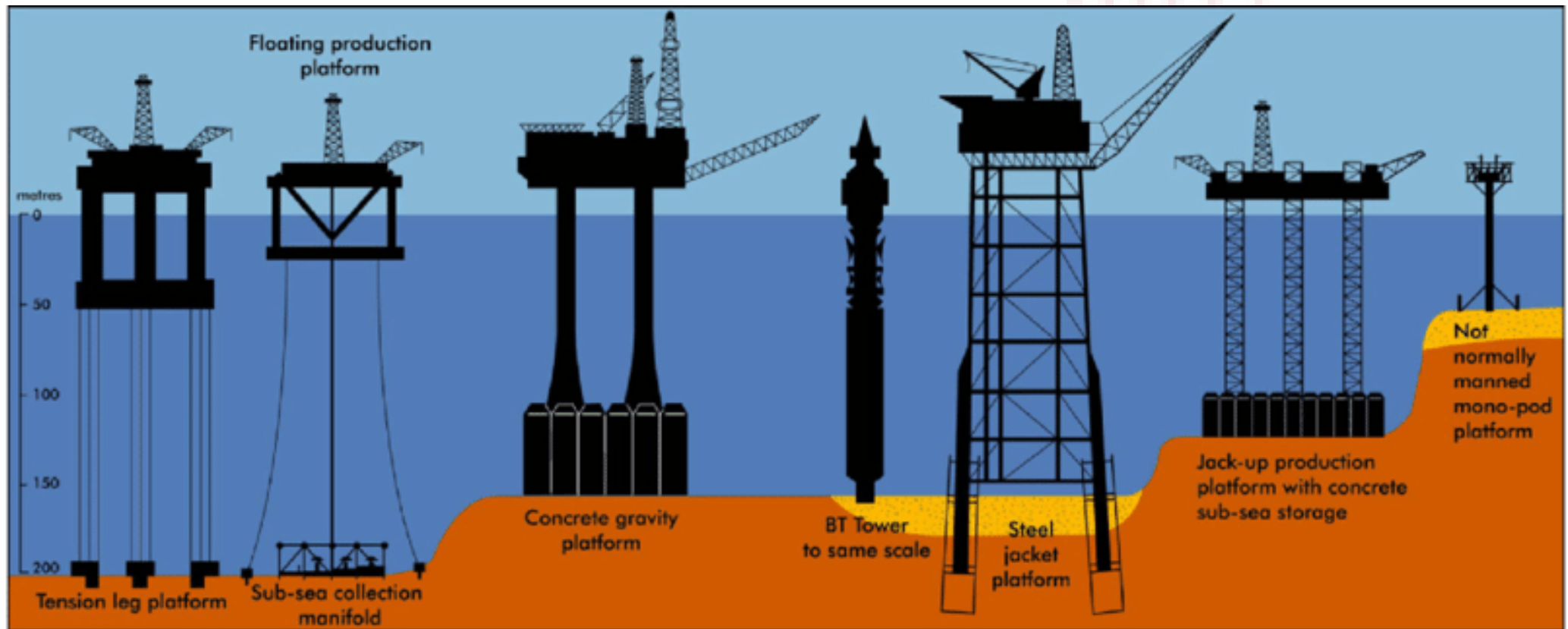


Υπεράκτια αιολικά

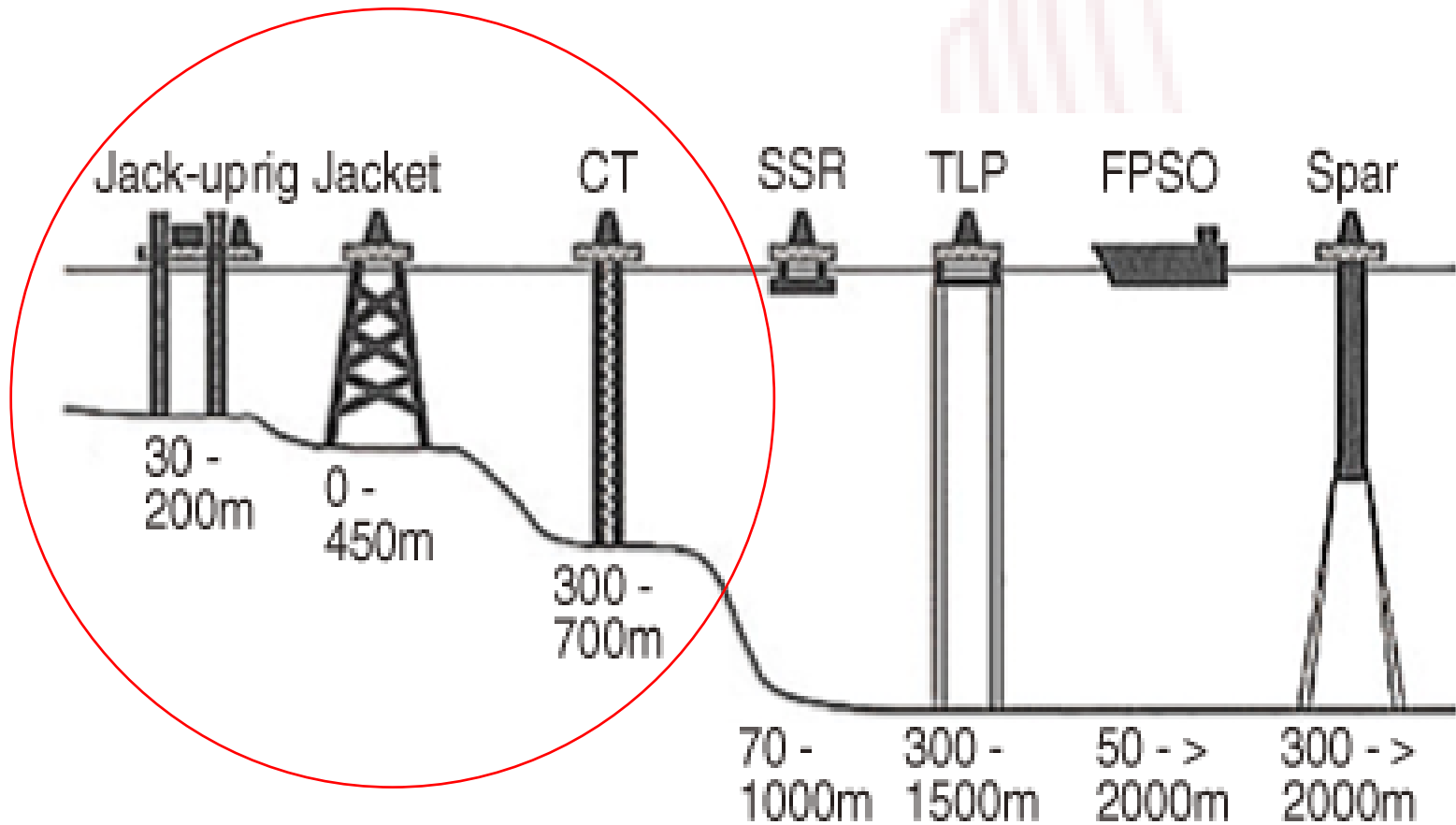
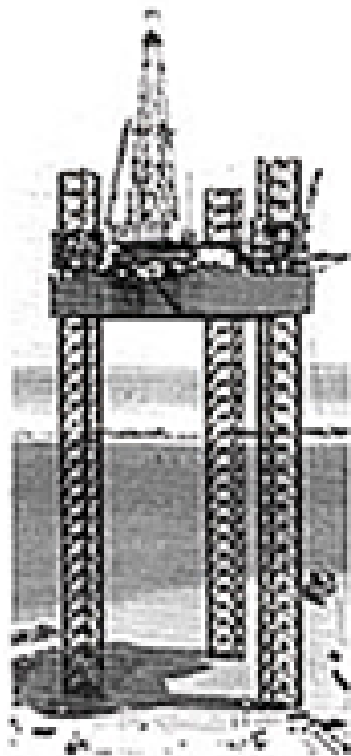
Κατασκευή
ομοιώματος υπό
κλίμακα



Άλλες υπεράκτιες κατασκευές



Άλλες υπεράκτιες κατασκευές



Δυνάμεις που επιδρούν σε κατασκευές στη θάλασσα



Δυνάμεις που επιδρούν σε κατασκευές στη θάλασσα

- Άνωση
 - Ευστάθεια
- Κύματα
- Ρεύματα
- Άνεμος



Άνωση – νόμοι της άνωσης

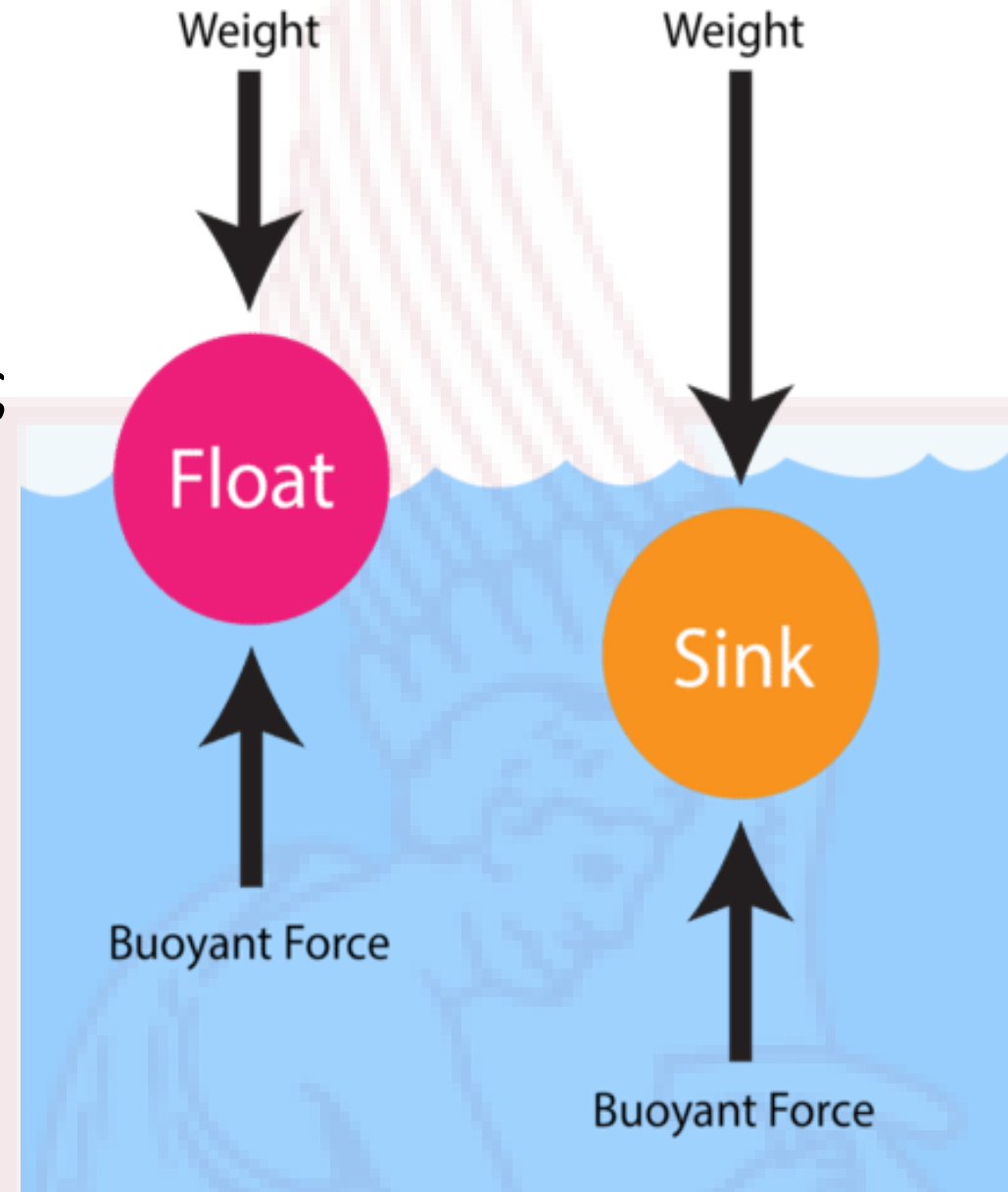
Σε ένα επιπλέον (η βυθισμένο) αντικείμενο ασκείται άνωση.

Ένα επιπλέον αντικείμενο εκτοπίζει ένα όγκο υγρού του οποίου το βάρος ισούται με το βάρος του αντικειμένου (ισορροπία άνωσης – βάρους).

Η δύναμη της άνωσης ισούται με το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού:

$$F = \gamma_{\text{νερού}} * \text{όγκος της σφαίρας}$$

$$F = \rho_{\text{νερού}} * g * \frac{4}{3} * \pi r^3$$



Σε οποιοδήποτε επιπλέον αντικείμενο

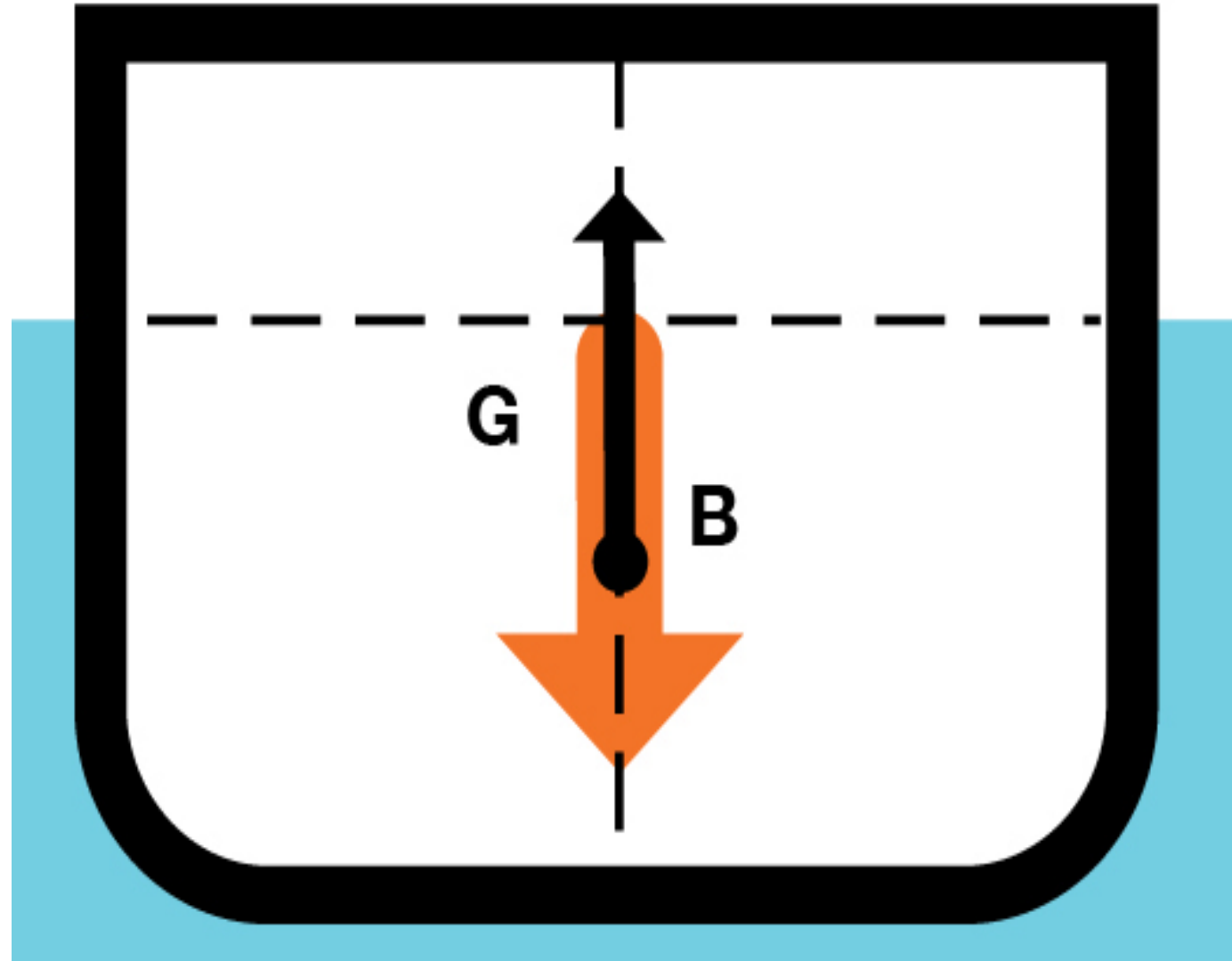
Δρουν τουλάχιστον
δύο δυνάμεις:

A) Άνωση

B) Βαρύτητα

Σημαντική παράμετρος:

Το σημείο που ασκούνται
οι δυνάμεις αυτές.

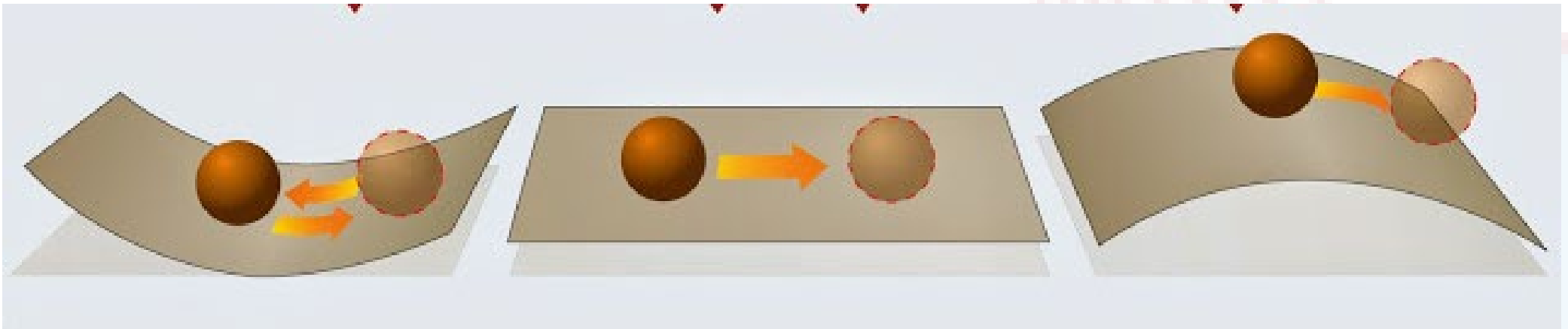


Τύποι ισορροπίας

Ευσταθής
ισορροπία

Αδιάφορη
ισορροπία

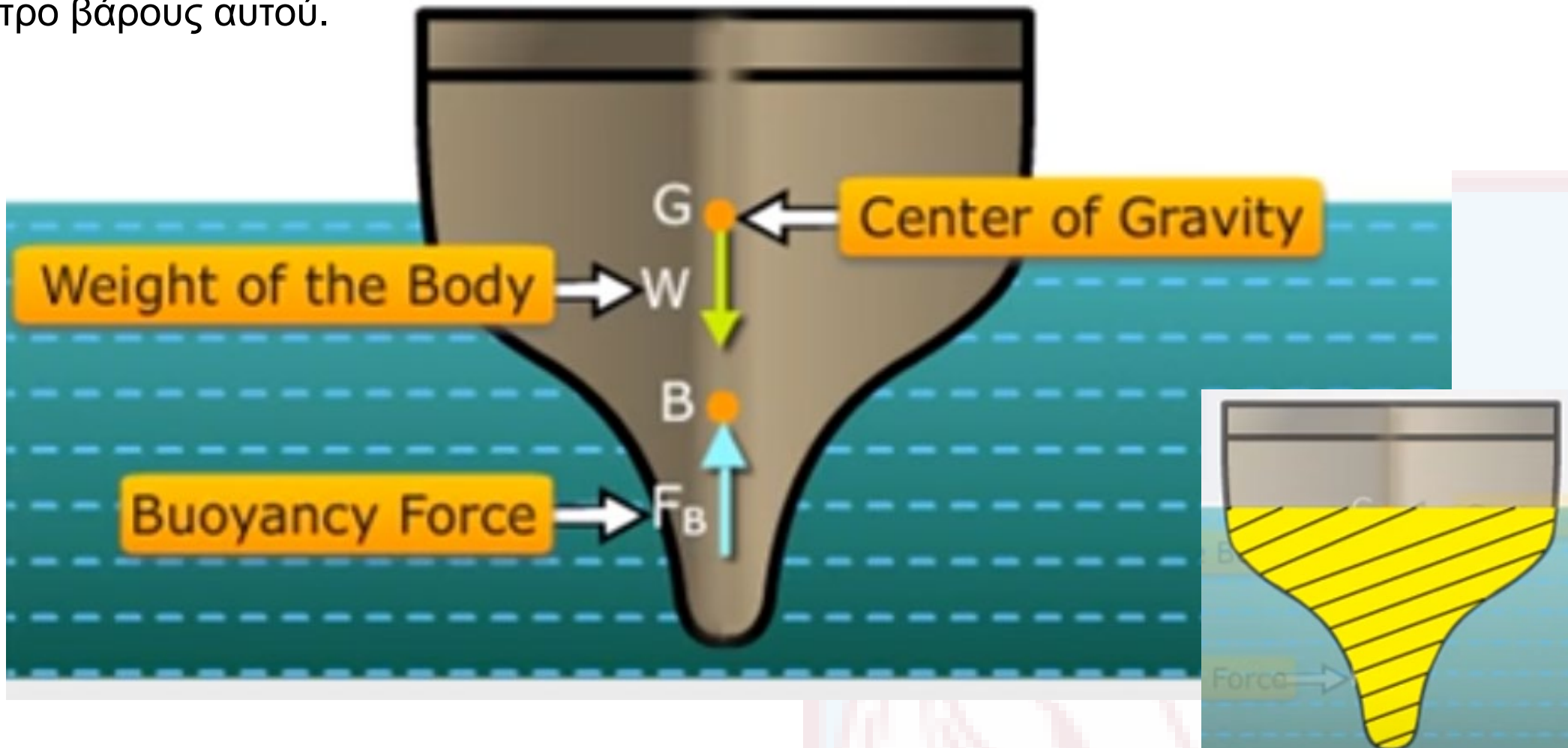
Ασταθής
ισορροπία



Δράση δυνάμεων

Η δύναμή του βάρους ισούται με το βάρος της κατασκευής, και ασκείται στο κέντρο βάρους της κατασκευής.

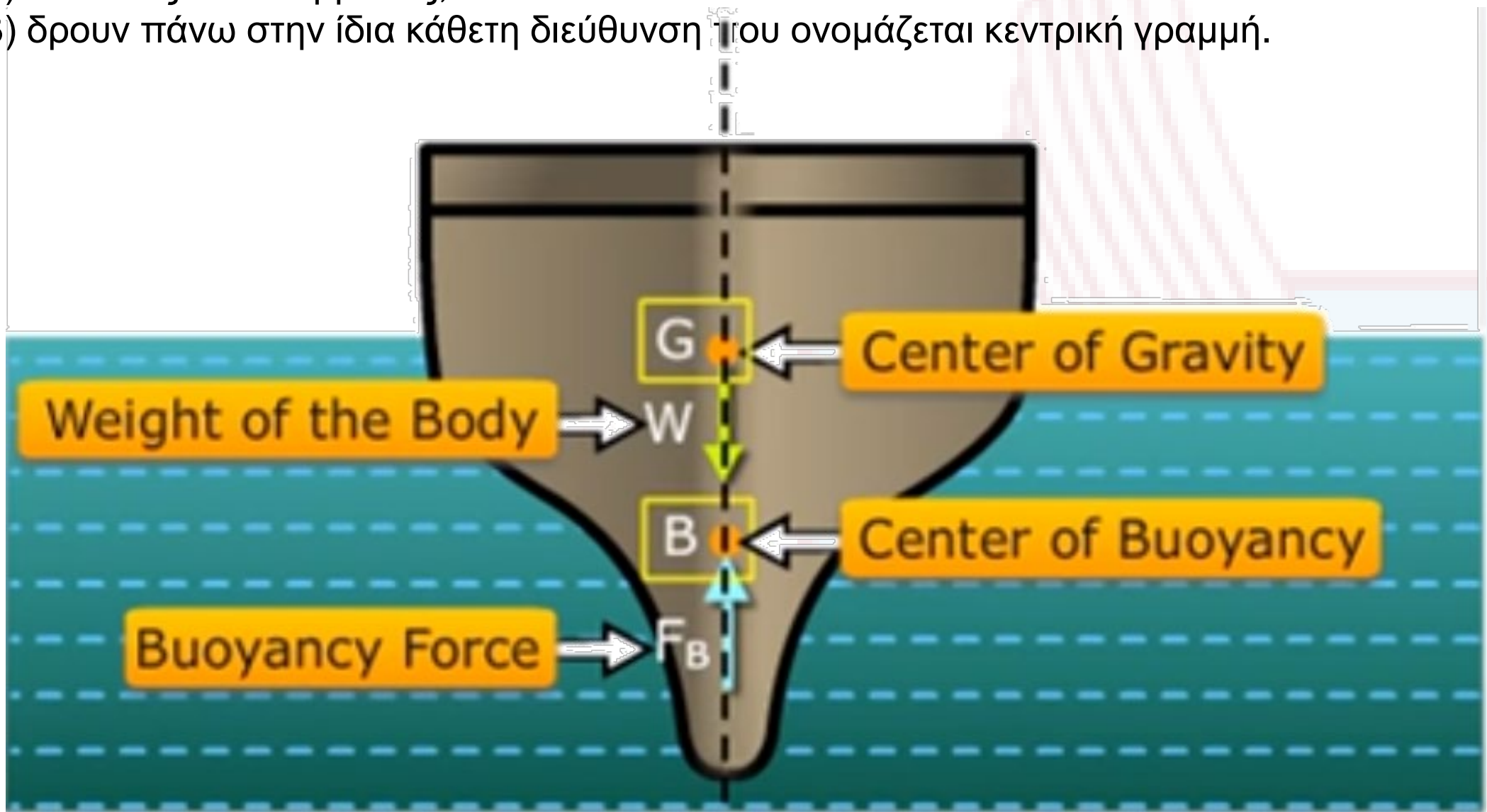
Η δύναμη της άνωσης ισούται με το βάρος του εκτοπιζόμενου υγρού και ασκείται στο κέντρο βάρους αυτού.



Δράση δυνάμεων

Όταν η κατασκευή βρίσκεται σε ισορροπία, οι δύο δυνάμεις:

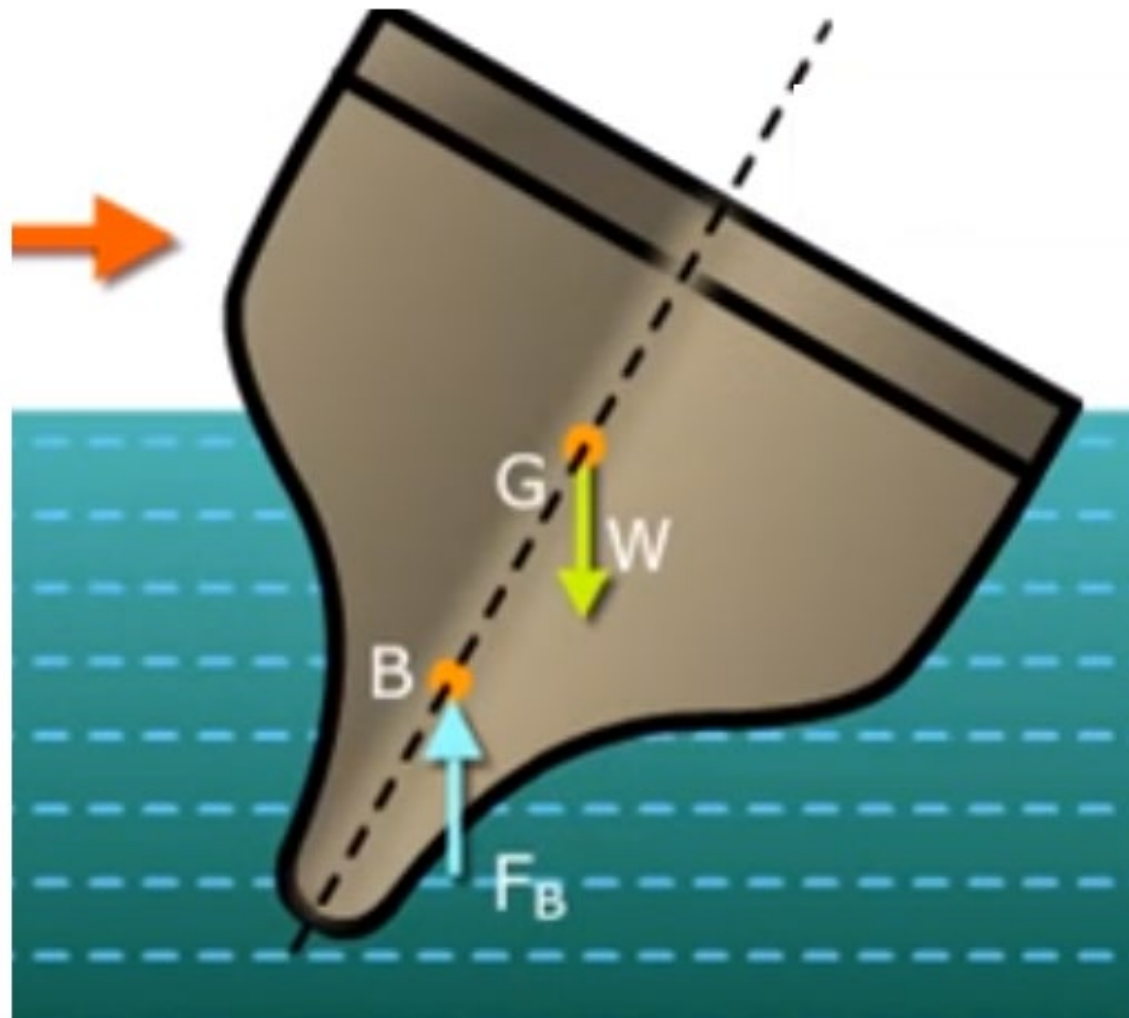
- α) είναι ίσες και αντίρροπες,
- β) δρουν πάνω στην ίδια κάθετη διεύθυνση που ονομάζεται κεντρική γραμμή.



Δράση δυνάμεων

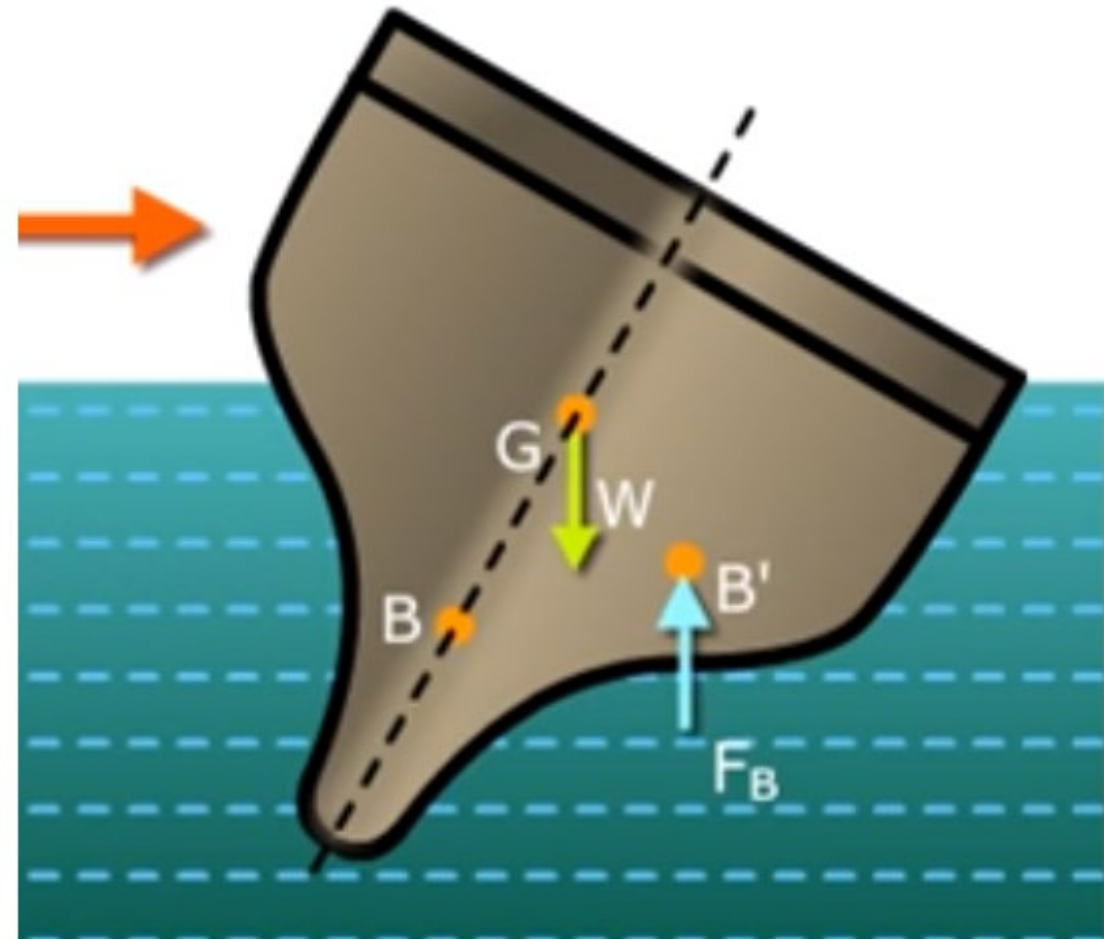
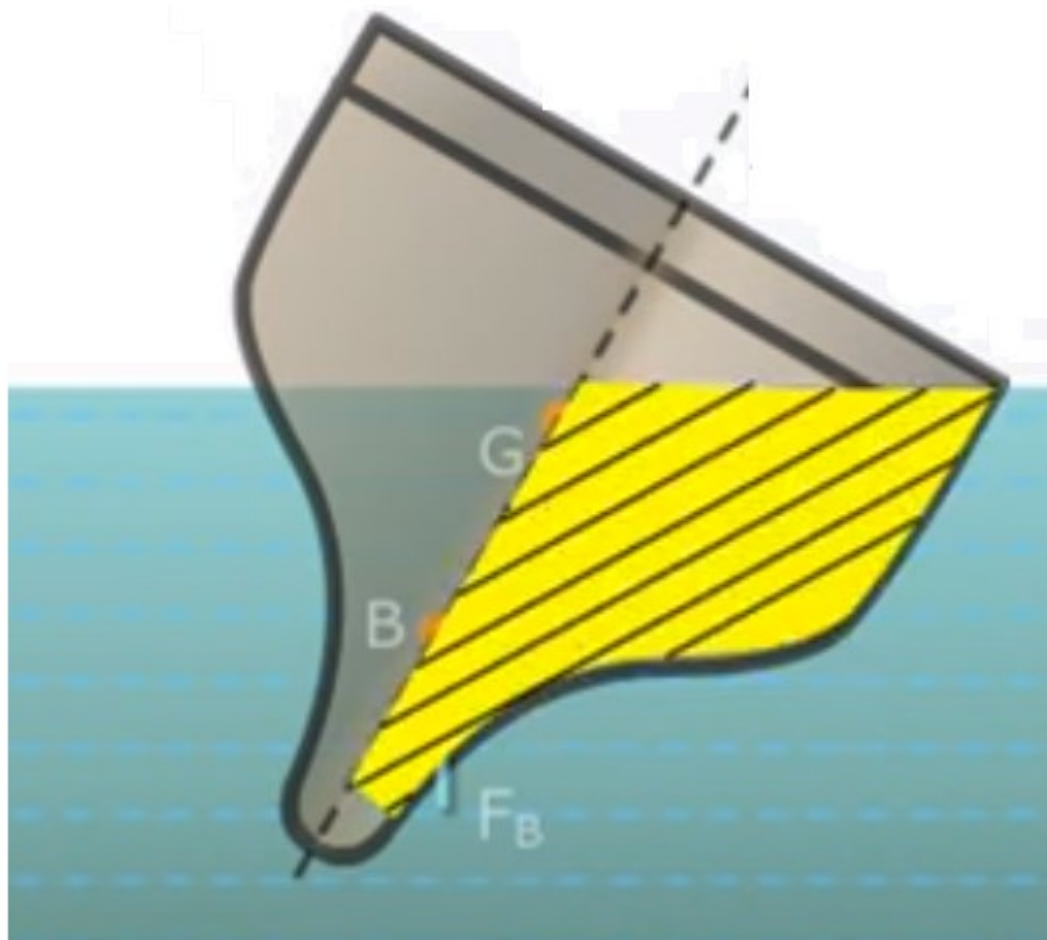
Όταν μία πλευρική δύναμη δώσει κλίση στην κατασκευή, τότε

α) η δύναμη του βάρους θα συνεχίσει να ασκείται στο ίδιο σημείο αλλά με κατεύθυνση εκτός της κεντρικής γραμμής ώστε να παραμείνει κάθετη



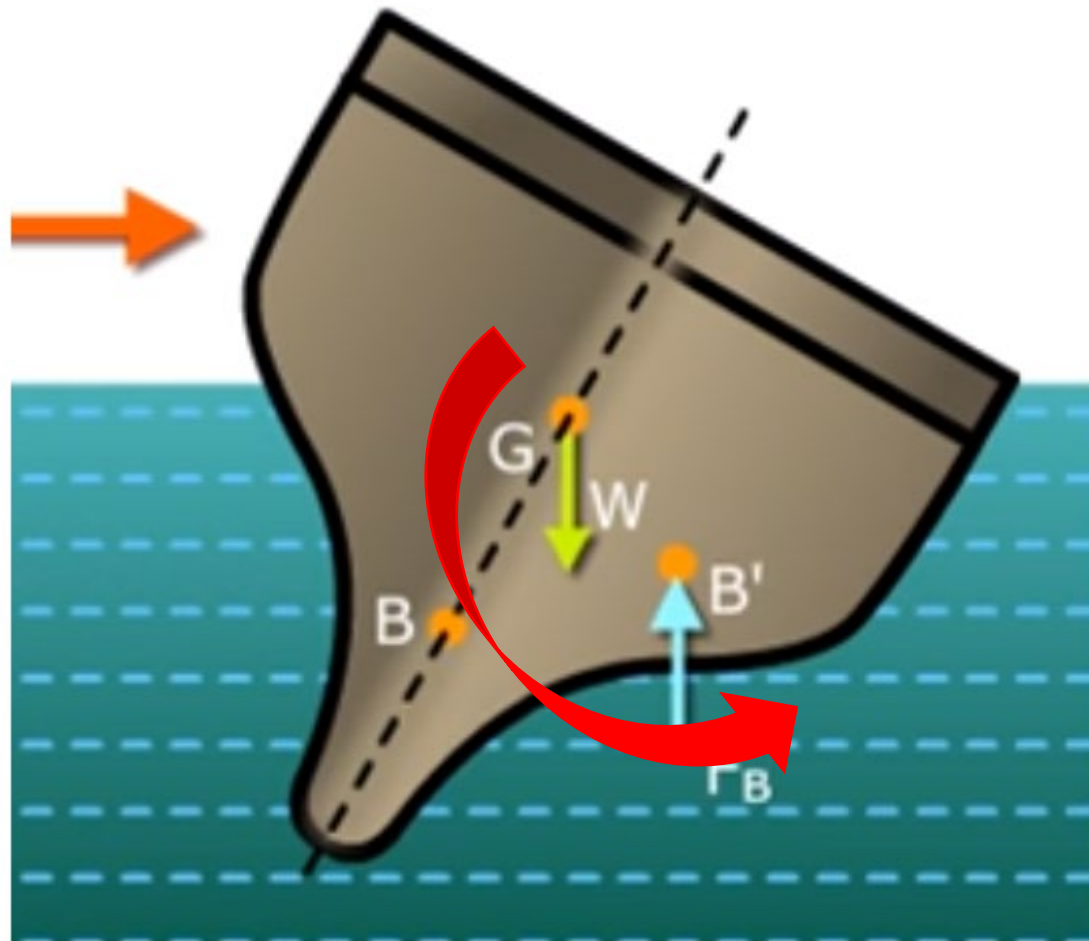
Δράση δυνάμεων

Όταν μία πλευρική δύναμη δώσει κλίση στην κατασκευή, τότε
β) το κέντρο βάρους του εκτοπιζόμενου υγρού αλλάζει, άρα αλλάζει και το σημείο που ασκείται η άνωση:



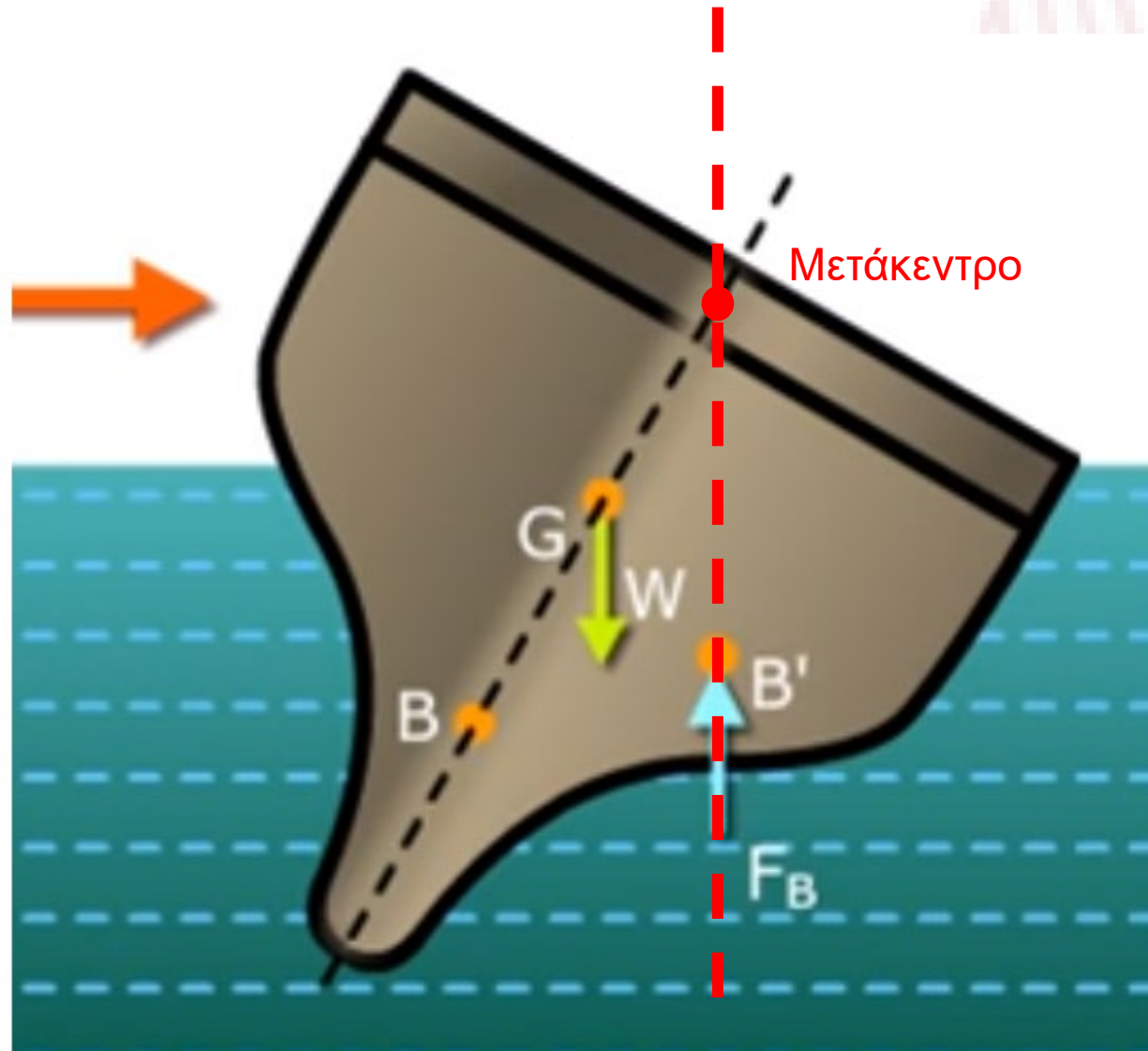
Δράση δυνάμεων

Έτσι δημιουργείται μια ροπή που τείνει να επαναφέρει τη κατασκευή στο σημείο ισορροπίας:

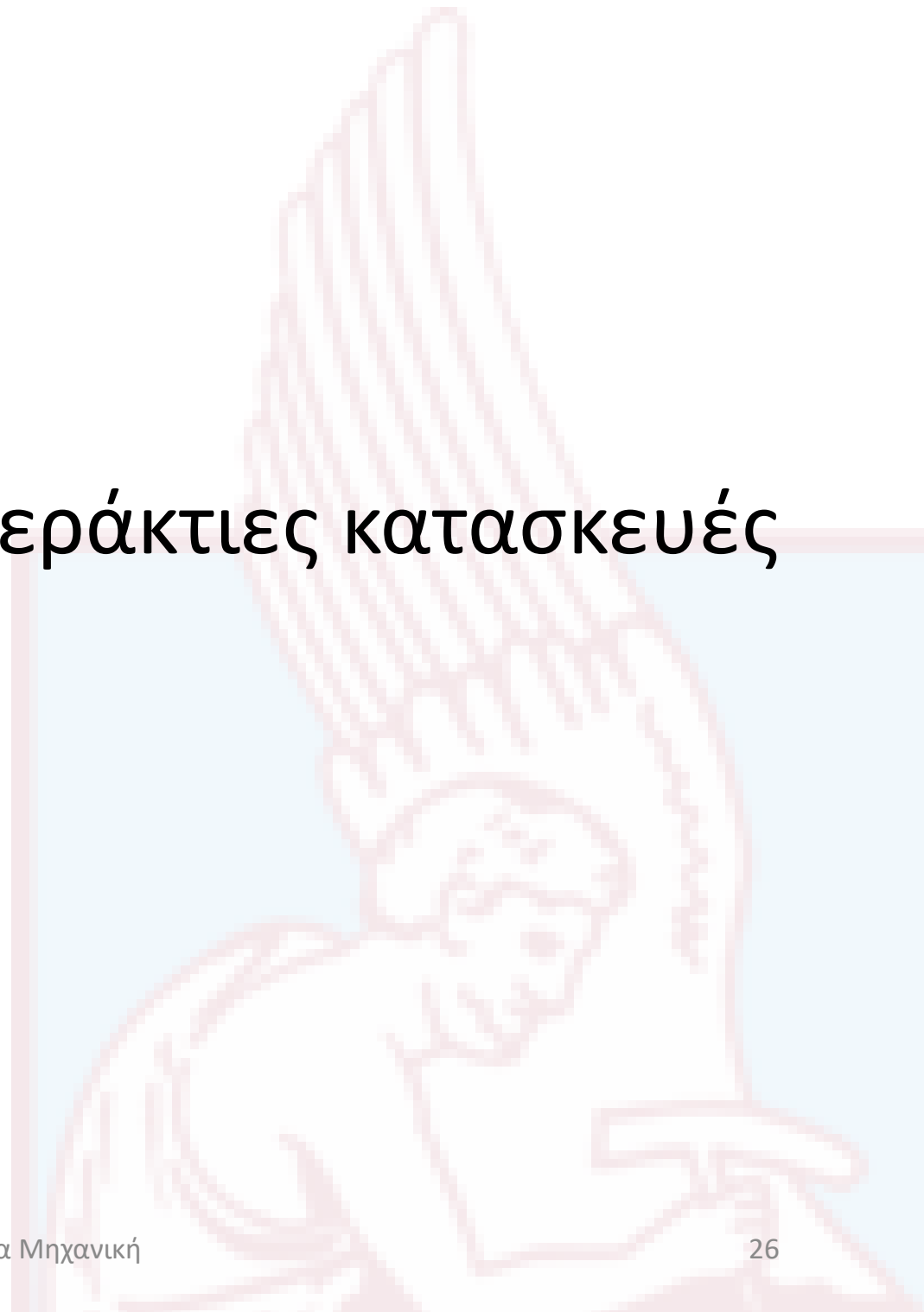


Δράση δυνάμεων

Το σημείο τομής της κεντρικής γραμμής με τη κατεύθυνση της άνωσης λέγεται Μετάκεντρο



Επίδραση κυμάτων σε υπεράκτιες κατασκευές



Επίδραση κυμάτων σε υπεράκτιες κατασκευές

Στο θαλάσσιο περιβάλλον, οι δυνάμεις που ασκούνται σε μια κατασκευή ποικίλουν, και ως προς τη γέννησή τους, αλλά και ως προς τη φύση τους.

Το θαλάσσιο περιβάλλον είναι ιδιαίτερα εχθρικό για οποιαδήποτε κατασκευή λειτουργεί σε αυτό και επάγει πολλές και απρόβλεπτες δράσεις.

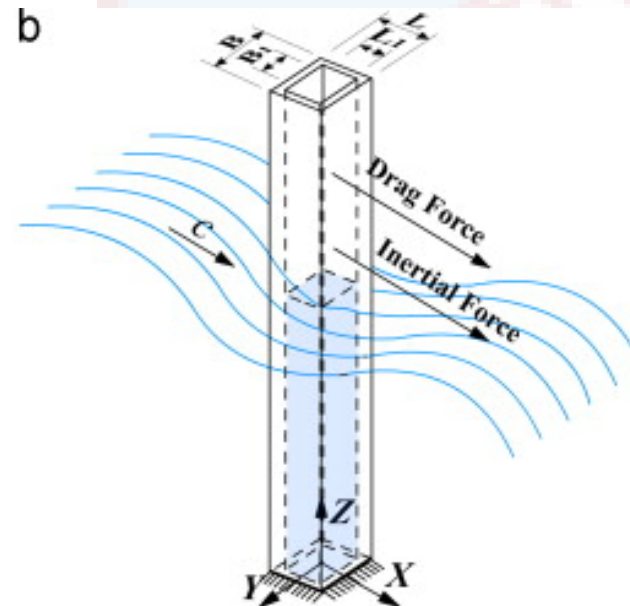
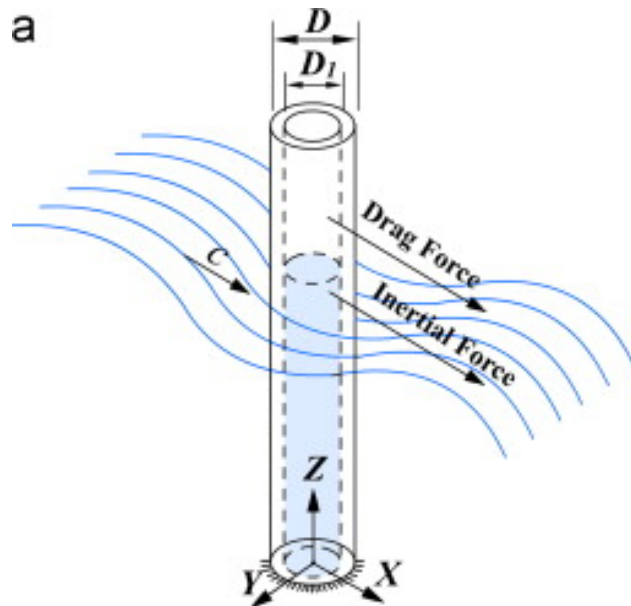
Δυνάμεις που ασκούνται:

- Βάρος
- Άνωση
- Κυματισμοί
- Άνεμος
- Σεισμογενείς δυνάμεις

Επίδραση κυμάτων σε υπεράκτιες κατασκευές

Οι κυματισμοί ασκούν δυνάμεις πάνω στις κατασκευές που συνήθως συνοψίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Δυνάμεις αντίστασης λόγω της τριβής καθώς το κύμα περνά από το τη κατασκευή
 - Δυνάμεις αδράνειας λόγω της πρόσθετης μάζας που φορτίζει τη κατασκευή
- > Επίσης δυνάμεις ασκούνται από τα θαλάσσια ρεύματα.



Εξίσωση Morison

Σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις και κατασκευές με «υδροδυναμικώς λεπτά» κατασκευαστικά στοιχεία (πάσσαλοι, υποστυλώματα εξεδρών, σχοινιά, δικτυώματα), τα φορτία μπορούν να υπολογιστούν από την εξίσωση Morison.

Η εξίσωση συνοψίζει τις δυνάμεις αδράνειας και δυνάμεις αντίστασης που αναπτύσσονται πάνω σε λεπτές κατασκευές.

Πεδίο εφαρμογής της εξίσωσης

Ως «λεπτή» κατασκευή ορίζεται κατασκευή με «χαρακτηριστικό μήκος» (πλάτος) μικρότερο από το 20% του μήκους κύματος.

Κατασκευές με μεγαλύτερο χαρακτηριστικό μήκος δημιουργούν περίθλαση των κυματισμών που συνεισφέρει σε μεγάλο βαθμό στη φόρτιση της κατασκευής και δεν μπορεί να προσεγγιστεί με την εξίσωση.

Ως χαρακτηριστικό μήκος μπορεί να θεωρηθεί η διάμετρος ενός σωλήνα που δέχεται τις δυνάμεις του κύματος.

Η εξίσωση ισχύει για περιπτώσεις μη θραυσμένων κυματισμών.

Εξίσωση Morison

Η εξίσωση παίρνει τη μορφή:

$$F = \frac{1}{2} \rho C_d D v |v| + \rho C_m \frac{\pi D^2}{4} \dot{v}$$

Όρος αντίστασης

Όρος αδράνειας

Όπου

F = η στιγμιαία συνολική δύναμη [σε N],

ρ = πυκνότητα του νερού,

D = εξωτερική διάμετρος του κυλίνδρου,

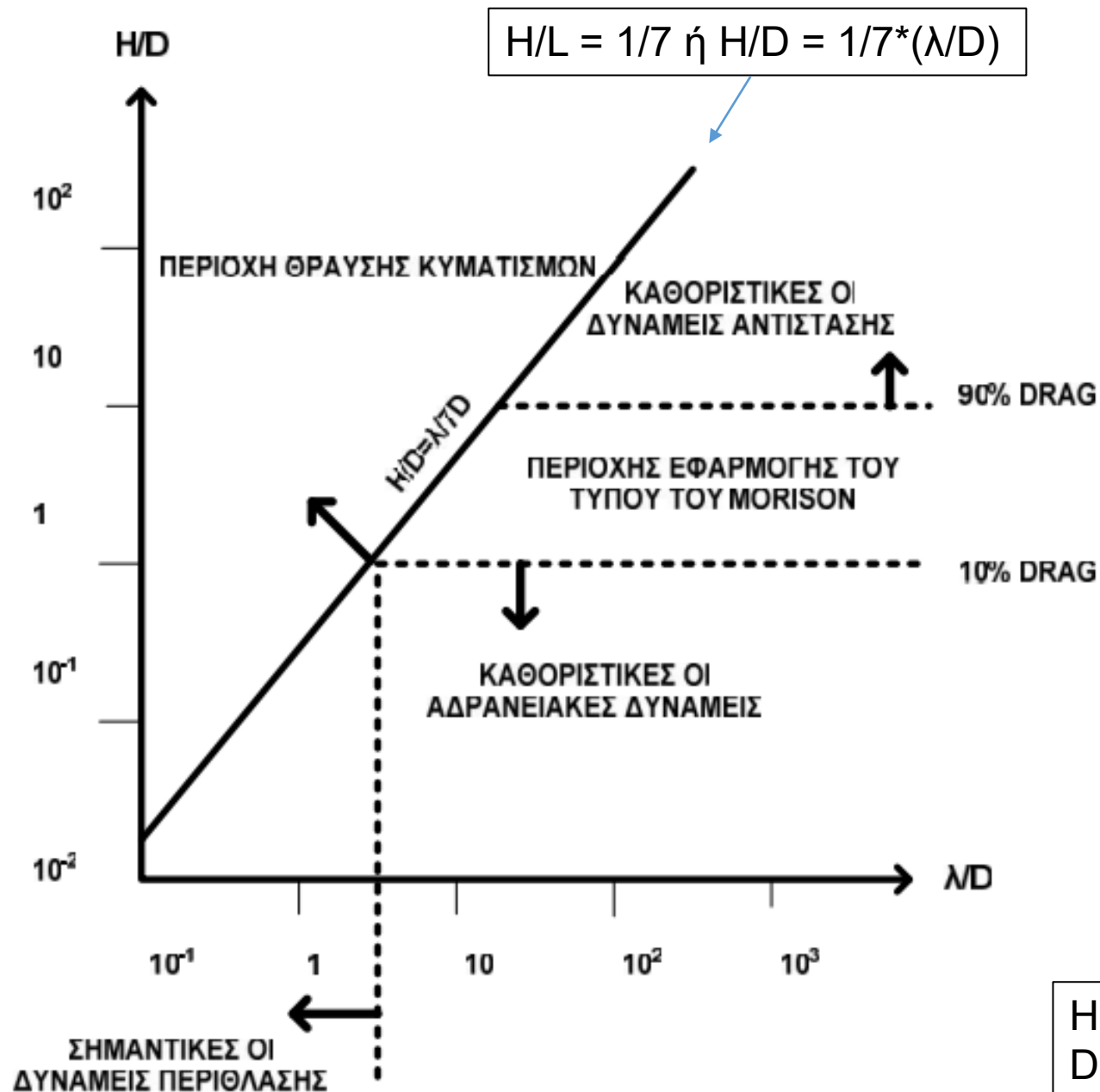
V = η στιγμιαία ταχύτητα των σωματιδίων του ρευστού,

$\dot{V}$ = η στιγμιαία επιτάχυνση των σωματιδίων του ρευστού,

C_m , C_d = αδρανειακός συντελεστής και συντελεστής αντίστασης.

Οι συντελεστές C_m και C_d προσδιορίζονται μέσω πειραματικών μετρήσεων.

Πεδίο εφαρμογής της εξίσωσης



$$\frac{dF}{dz} \approx \frac{1}{2} \rho C_d D u |u|$$

$$\frac{dF}{dz} \approx \rho C_m \frac{\pi D^2}{4} \dot{u}$$

H = ύψος κύματος
 D = διάμετρος κατασκευής

Δυνάμεις που ασκούνται από ρεύματα

Αντίστοιχα:

$$F = 0.5 \rho C_D A_p V_C |V_C|$$

Όπου

F = η στιγμιαία συνολική δύναμη [σε N],

ρ = πυκνότητα του νερού,

A_p = επιφάνεια που ασκείται η δύναμη,

V_C = ταχύτητα σταθερού θαλασσίου ρεύματος,

C_d = συντελεστής αντίστασης.

Ο συντελεστής C_d προσδιορίζεται μέσω πειραματικών μετρήσεων.

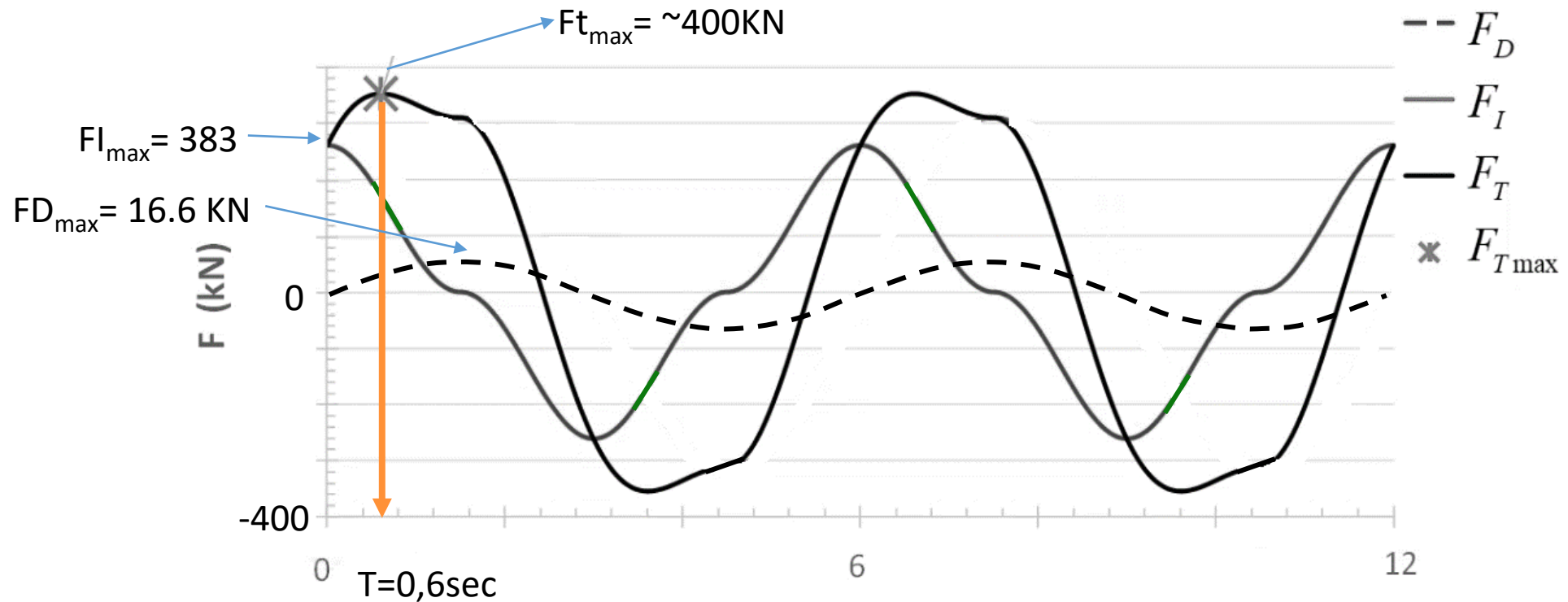
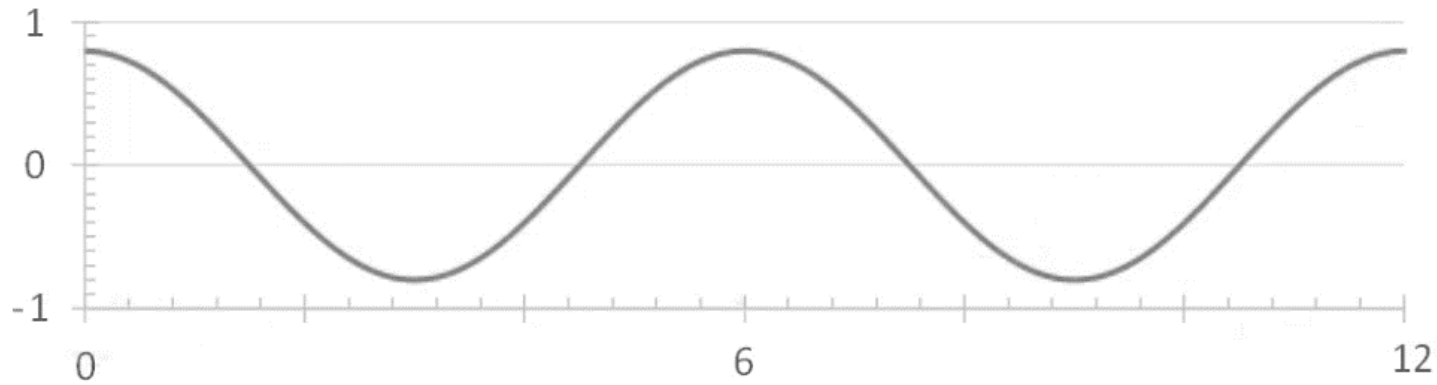
Fin!



Βιβλιογραφία

- Χατζηγεωργίου, Ι. 2015. Διανεμημένες Δυνάμεις - Υδροδυναμικές Φορτίσεις. [Κεφάλαιο Συγγράμματος]. Στο Χατζηγεωργίου, Ι. 2015. Δυναμική των αγωγών μεταφοράς ρευστών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. κεφ 3. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/506>
- Dragonfly Education
- <https://www.iberdrola.com/sustainability/offshore-wind-turbines-foundations>

Άσκηση 20



Άσκηση 20

