



Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος

ΜΠ535 – Παράκτια Μηχανική

Παράκτια ρεύματα

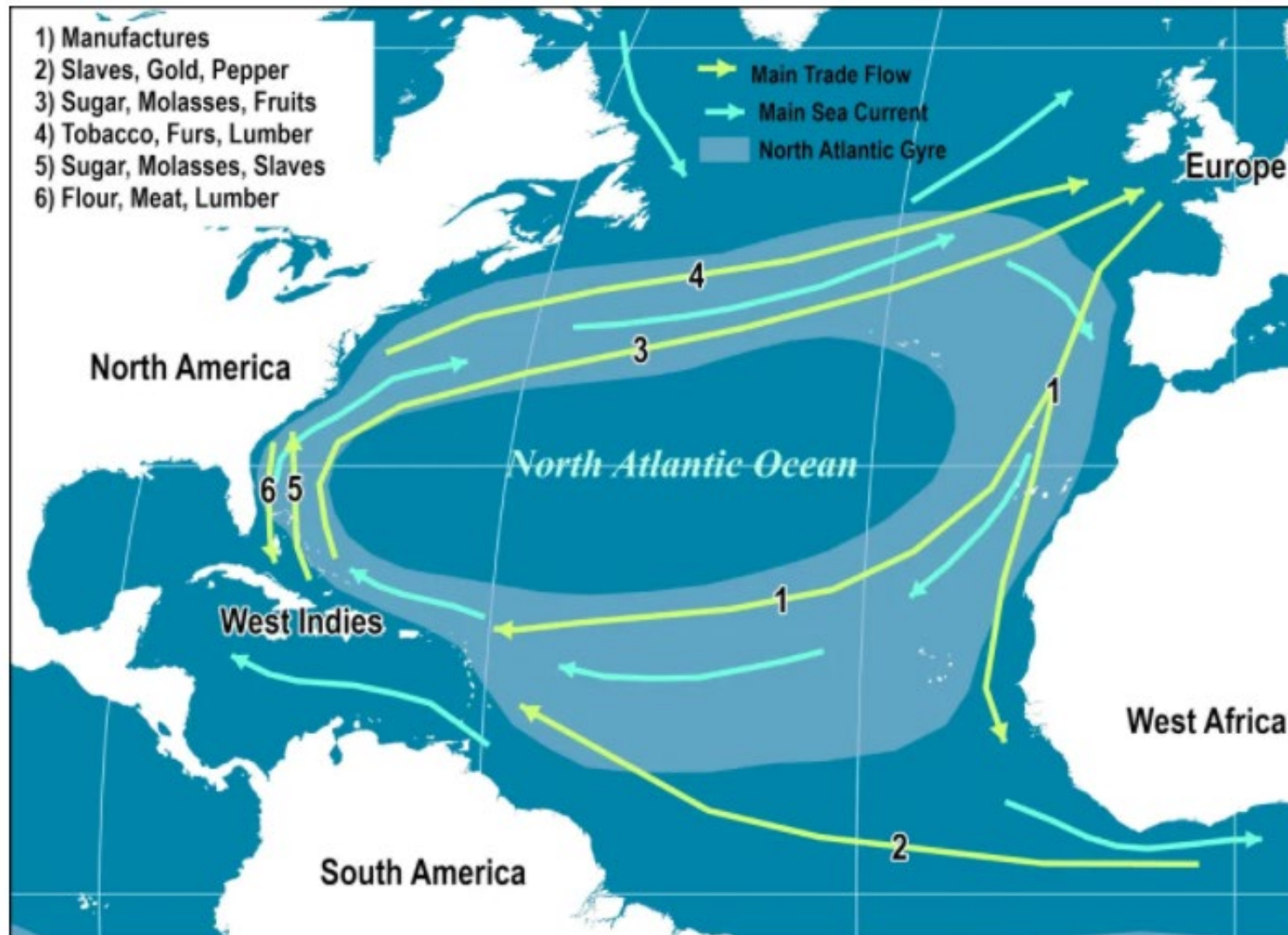
Θαλάσσια Ρεύματα

- 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

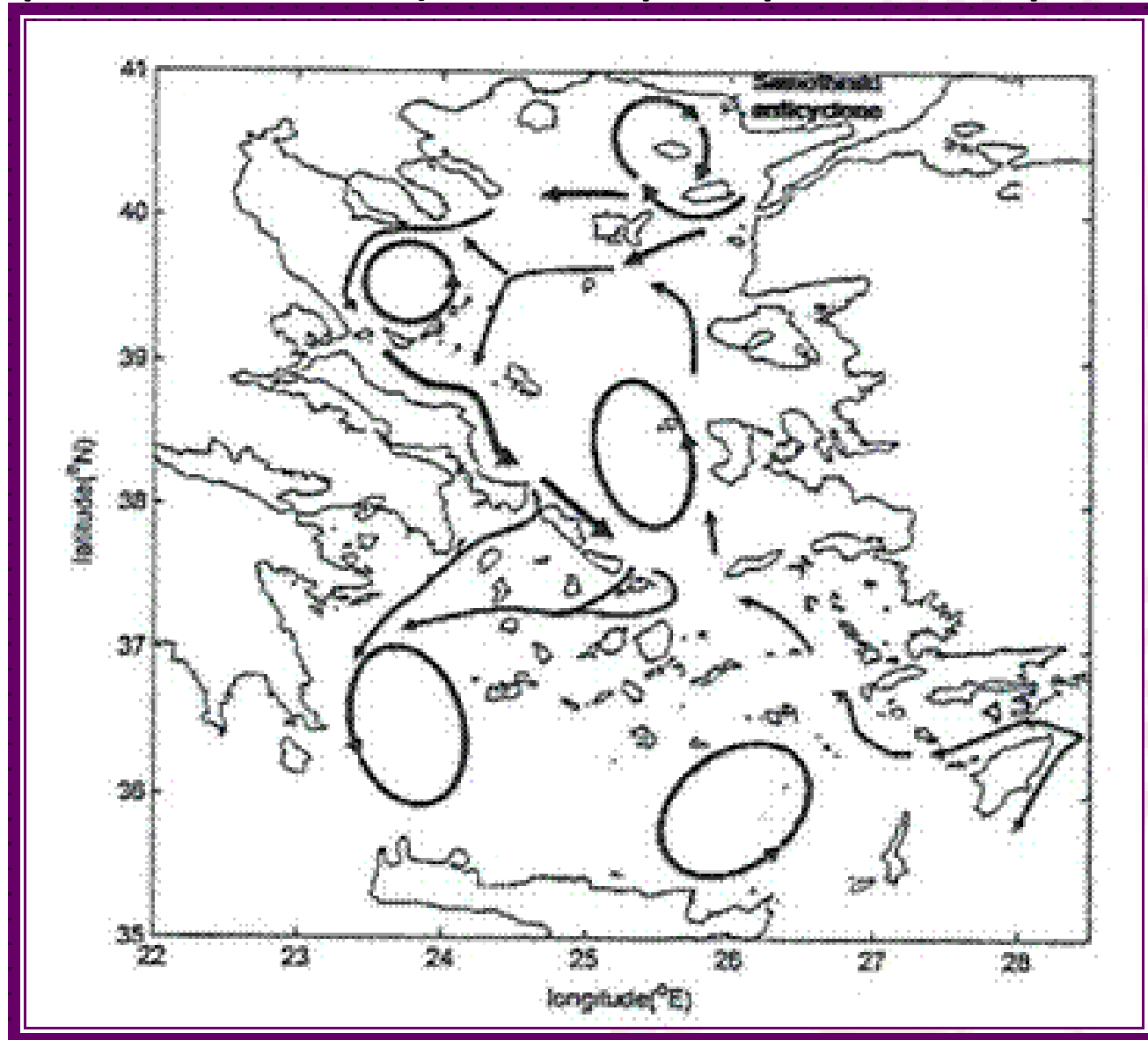
- Περιγράφονται και ως «ποτάμια μέσα στη θάλασσα»

18th Century



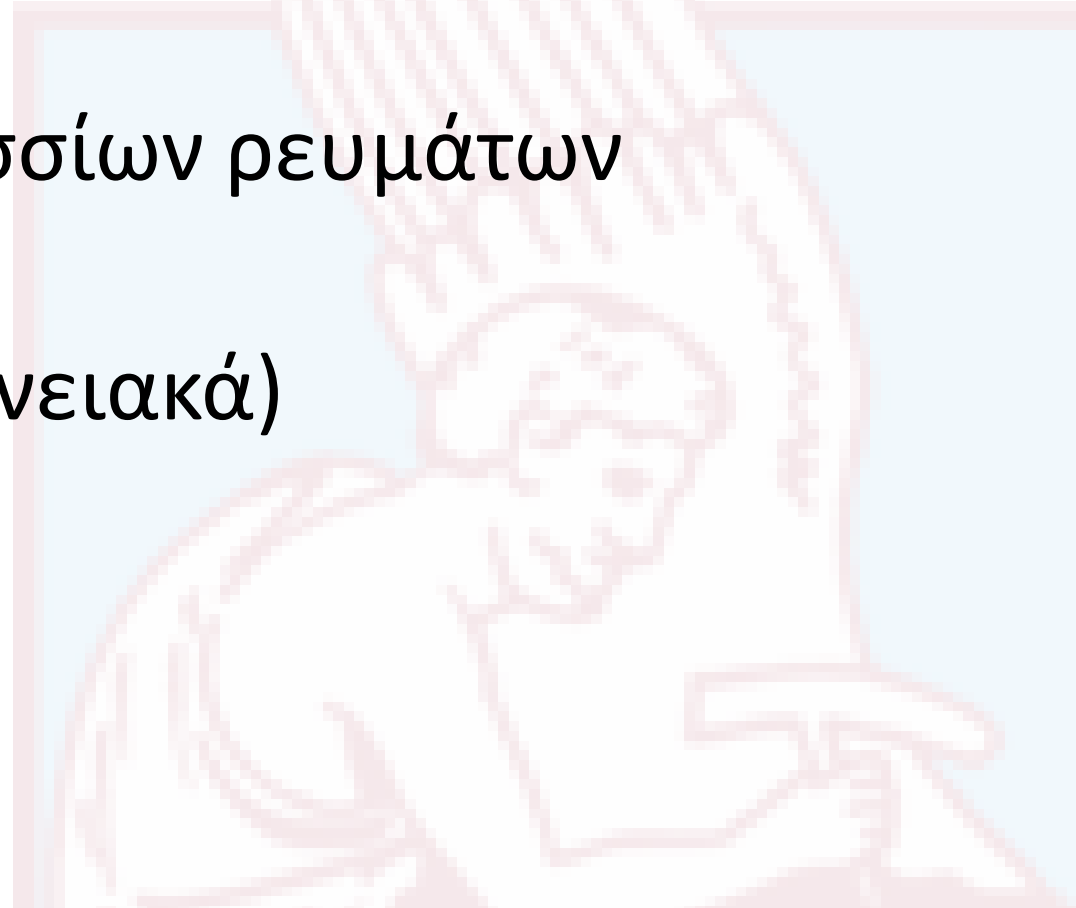
Θαλάσσια Ρεύματα

- 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)



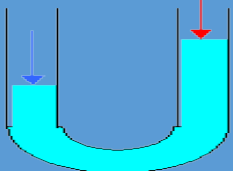
Θαλάσσια Ρεύματα – φυσικά αίτια



1. Άνεμος



2. Παλίρροιες



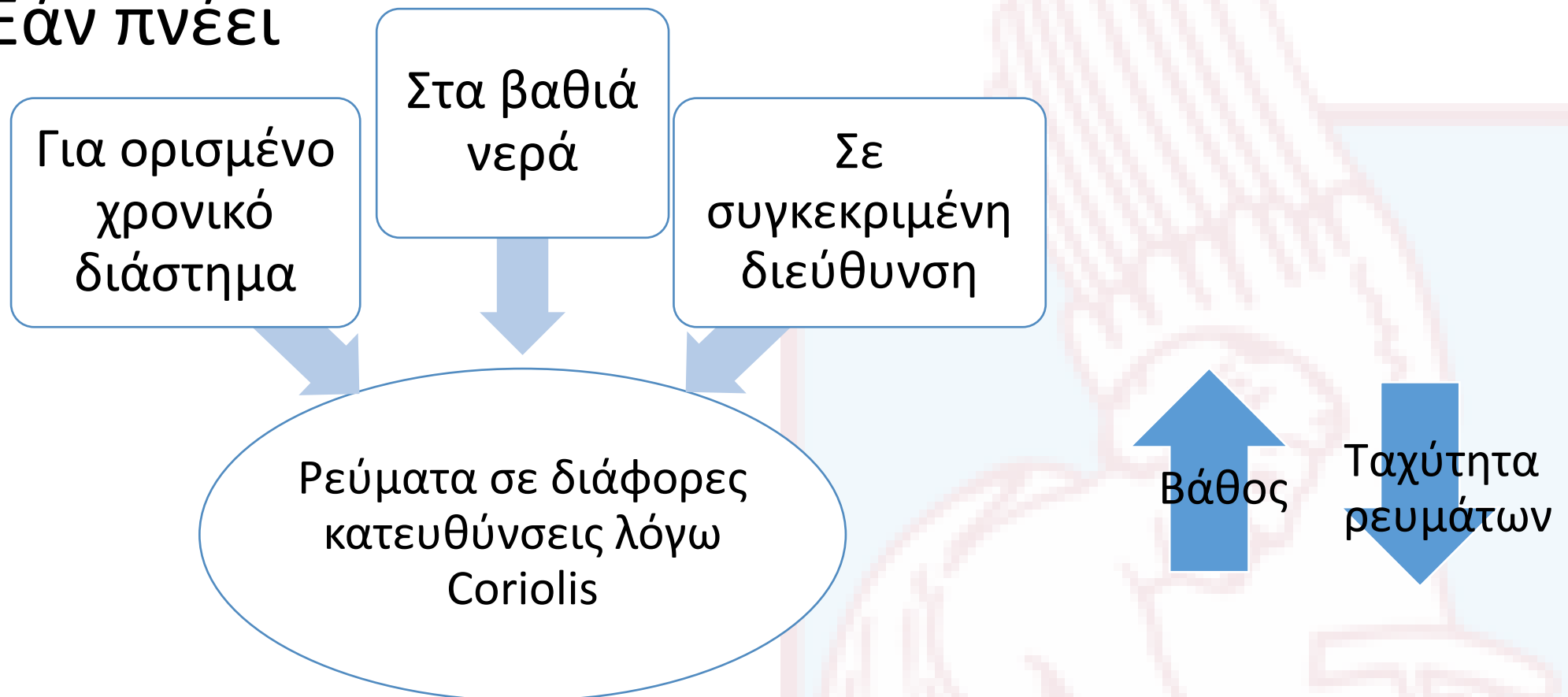
3. Διαφορές Υδροστατικής Πίεσης



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

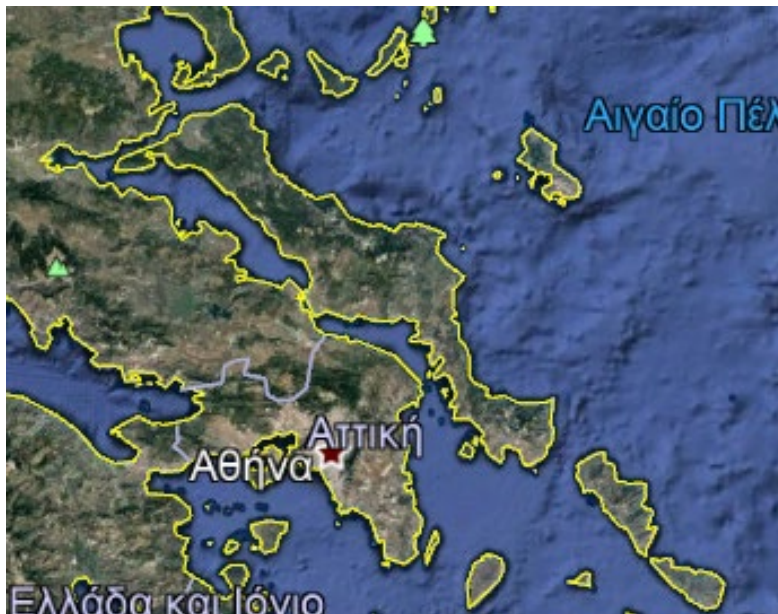
- μπορεί να προκαλέσουν πολύ ισχυρά ρεύματα κατά τις φάσεις της άμπωτης και της πλημμυρίδας



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)

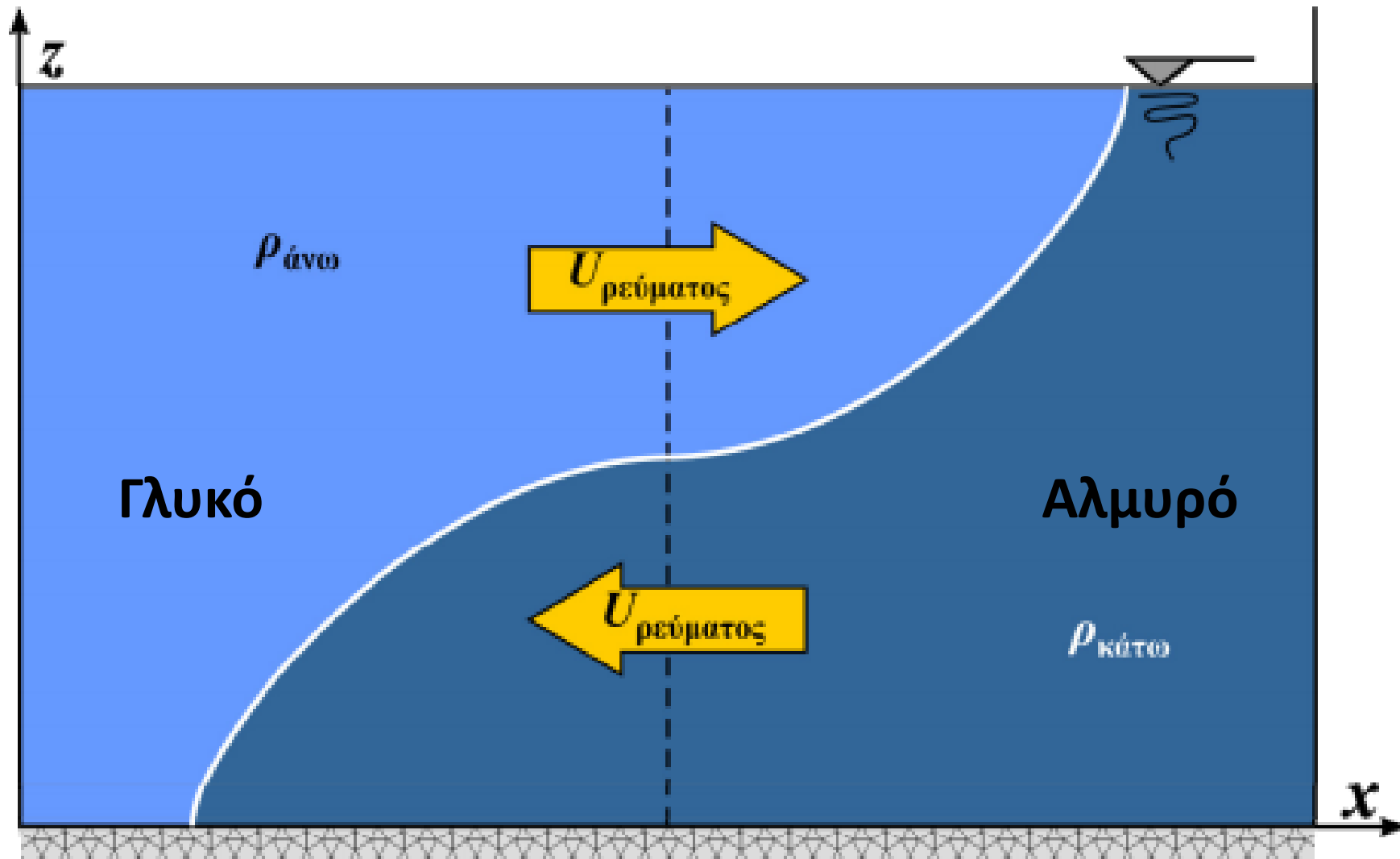
ποτάμιες απορροές

γλυκό νερό πυκνότητας
(1000 kg/m^3)

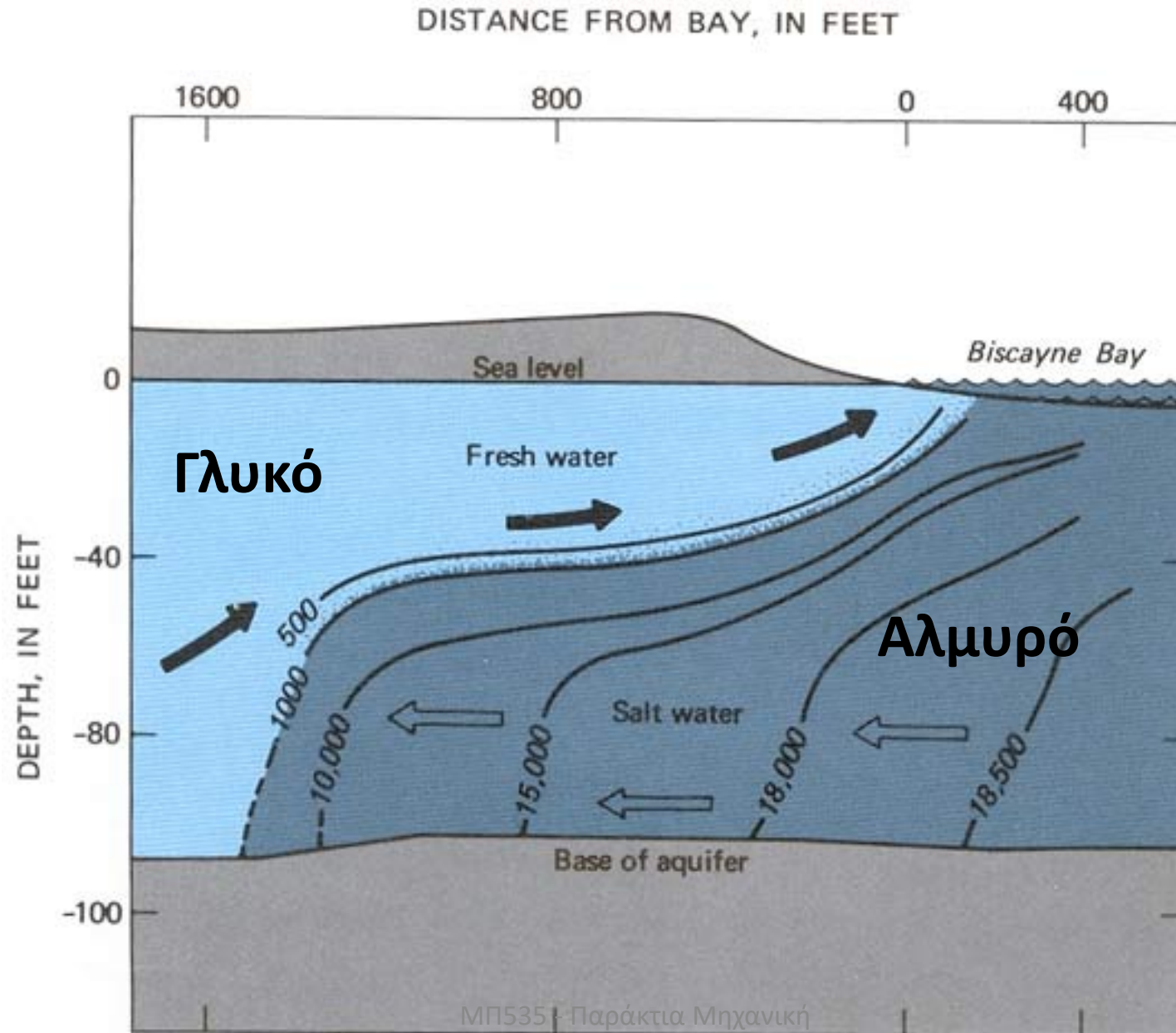
συναντά

θαλασσινό νερό
($1024\text{-}1027 \text{ kg/m}^3$)

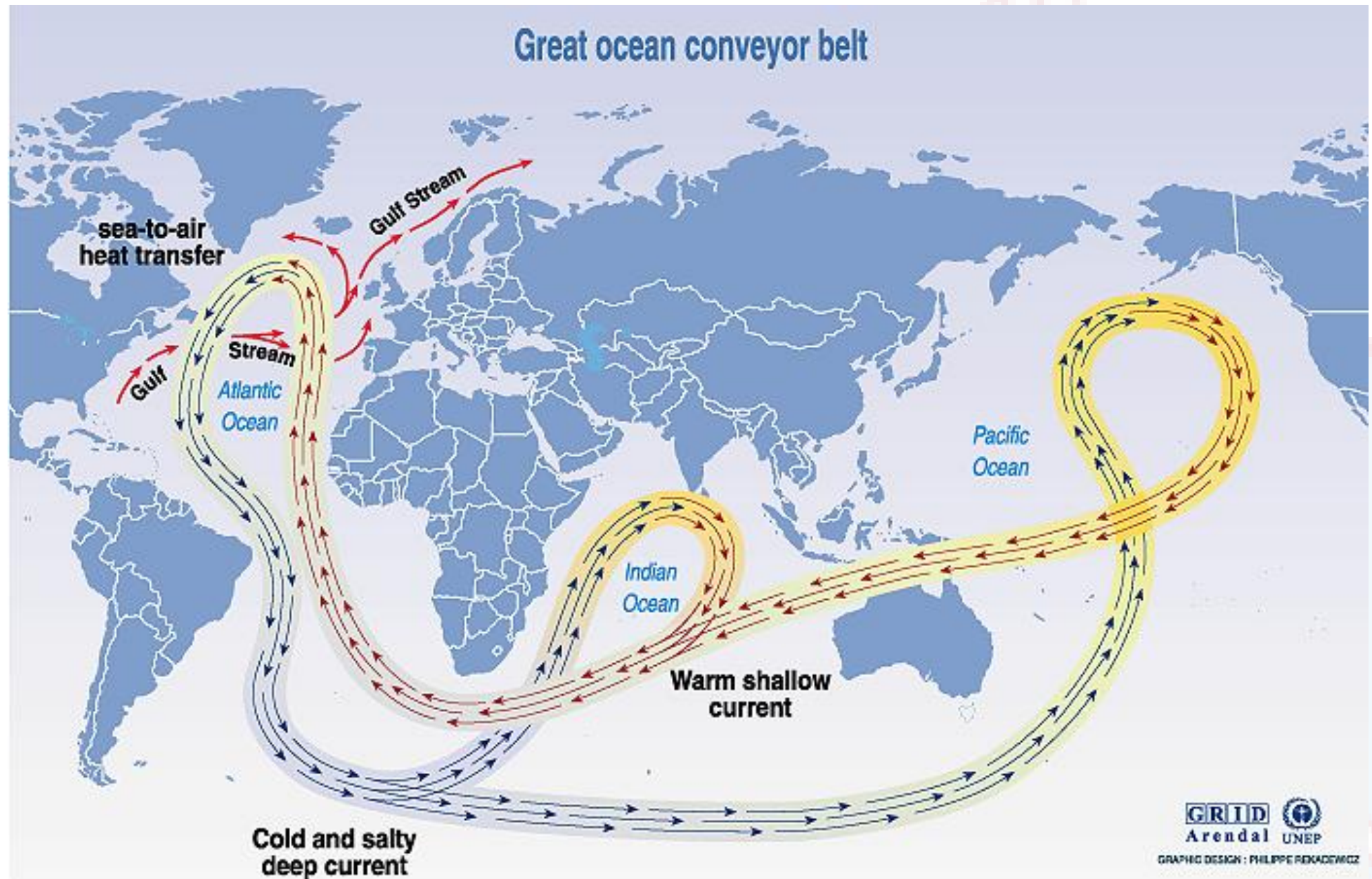
Ανάμιξη Γλυκού-Αλμυρού (ή ζεστού κρύου) νερού



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

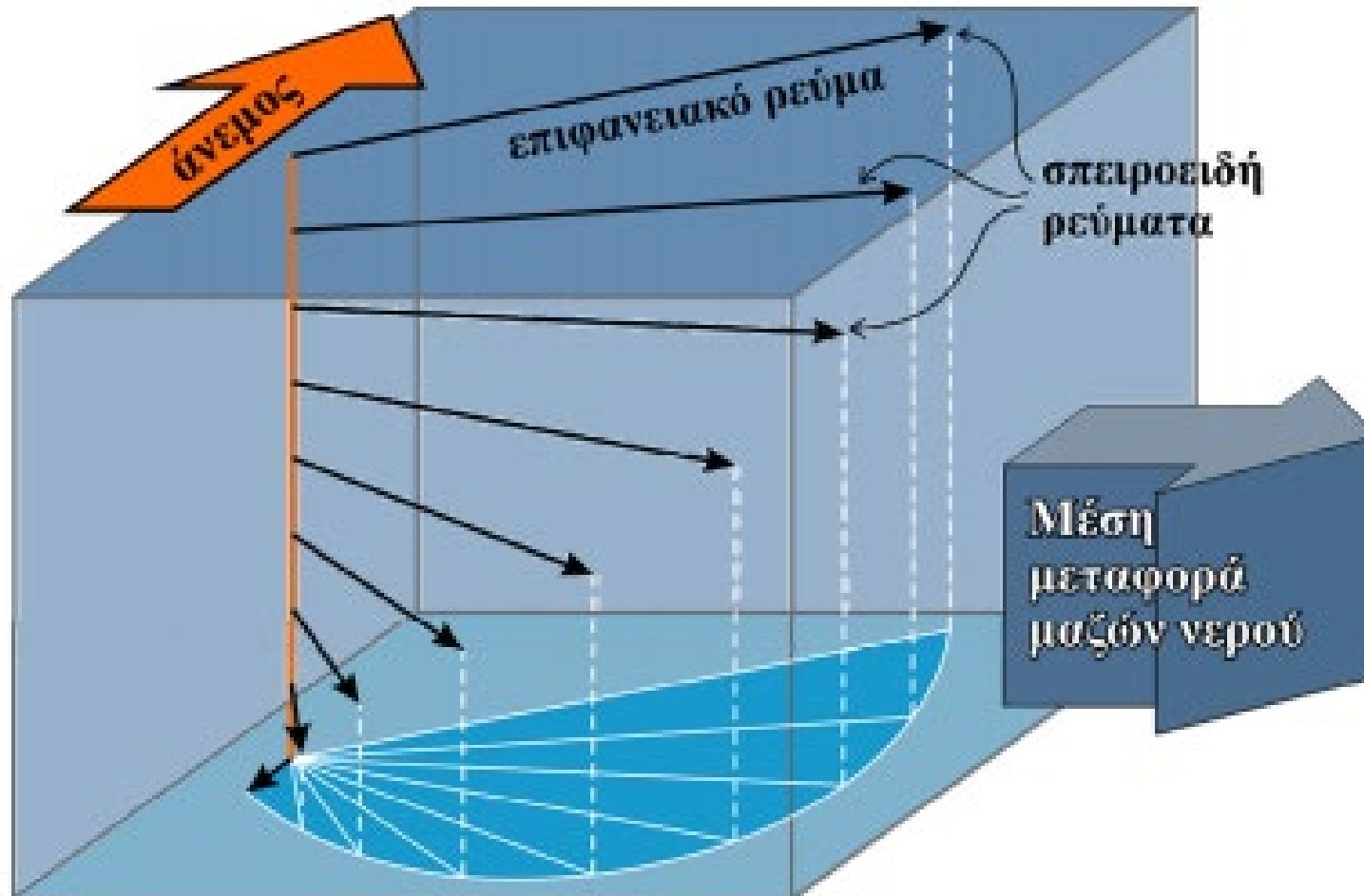
y = απόσταση

4) Περιστροφή της Γης - Coriolis

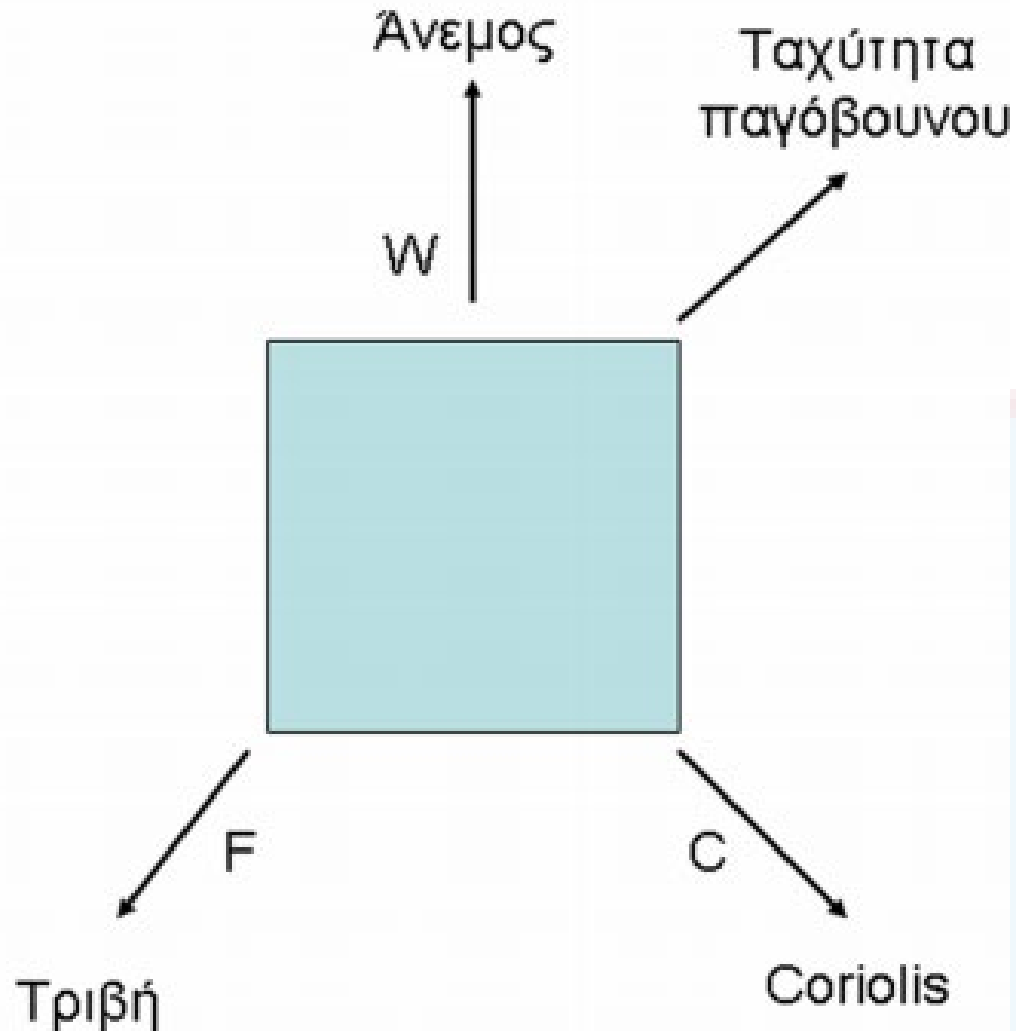
Οι γεωστροφικές εξισώσεις ισχύουν κάτω από τις παραδοχές:

- 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

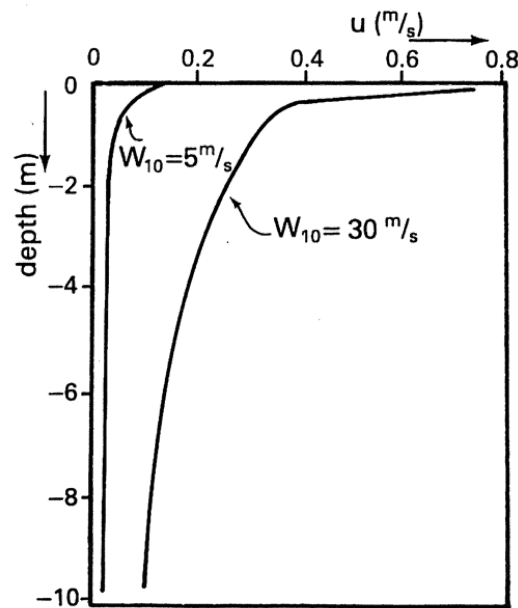


Ο Ekman (1905) διατύπωσε τη θεωρία σχετικά με τη δημιουργία των ανεμογενών ρευμάτων στην προσπάθειά του να εξηγήσει το γεγονός ότι τα παγόβουνα στην περιοχή του Αρκτικού Ωκεανού δεν κινούνται στη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου, αλλά σε διεύθυνση που σχηματίζει γωνία $20-40^\circ$ δεξιά από αυτήν.

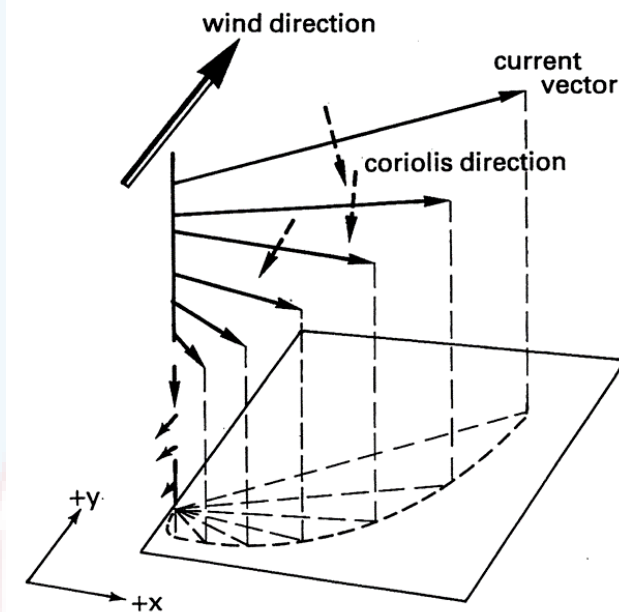
Φαινόμενο Ekman

- 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

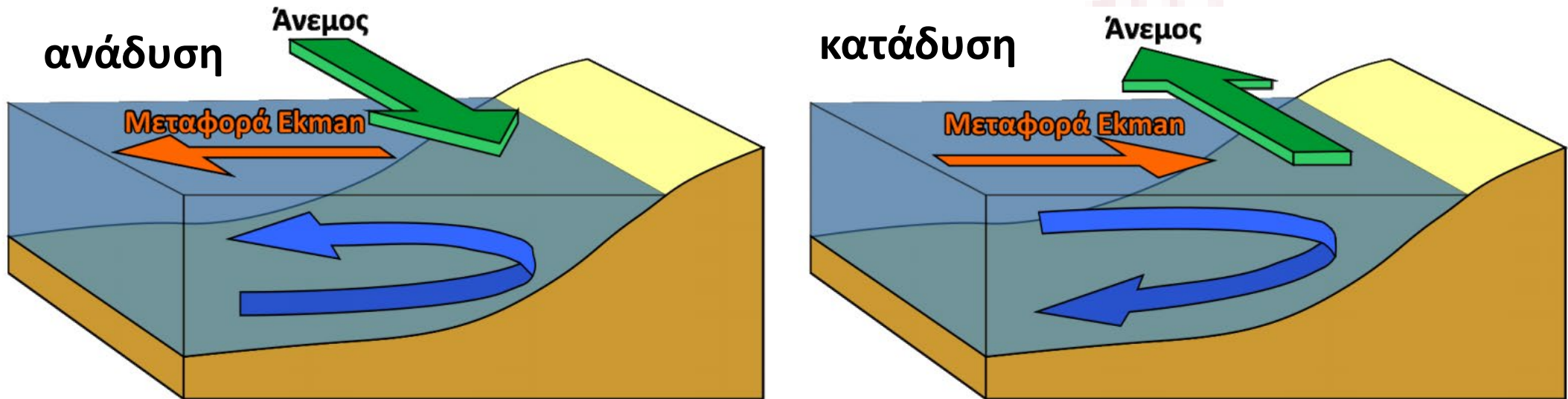
Ταχύτητα ρεύματος σε βαθιά νερά



Σπείρα Ekman



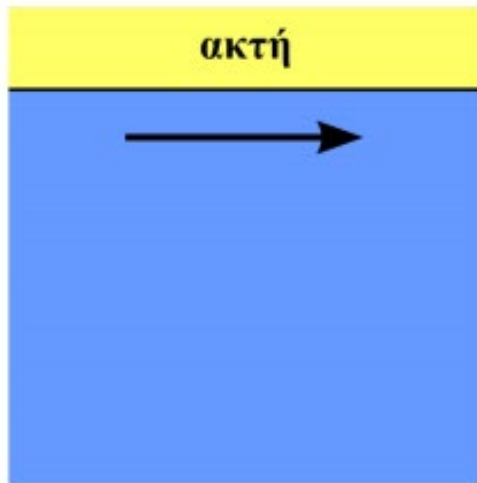
Φαινόμενο Ekman - Παράκτια ανάδυση



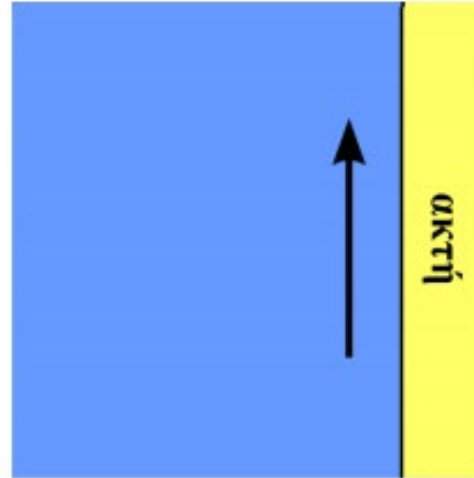
- Πνοή ανέμων παράλληλα με την ακτογραμμή προκαλείται κίνηση των επιφανειακών νερών.
- Επιτρέπει την ανάδυση και συνήθως πυκνότερων νερών, τα οποία αντικαθιστούν τα απομακρυνόμενα νερά στα επιφανειακά στρώματα της θάλασσας.
- Τα βαθύτερα νερά, έχουν διαφορετικά φυσικά χαρακτηριστικά (π.χ. χαμηλότερες 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

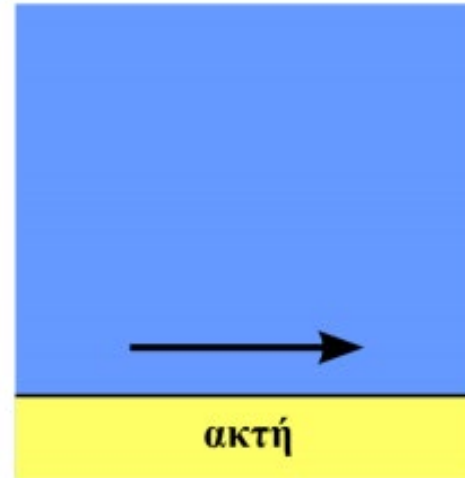
“Τα παρακάτω σχήματα αφορούν ακτές μεγάλου μήκους στο **νότιο** ημισφαίριο που βρίσκονται κάτω από την επίδραση ανέμων με διεύθυνση που συμβολίζεται με το βέλος. Εκτιμήστε αν οι παράκτιες ζώνες πλεονεκτούν για αλιεία ή όχι”.



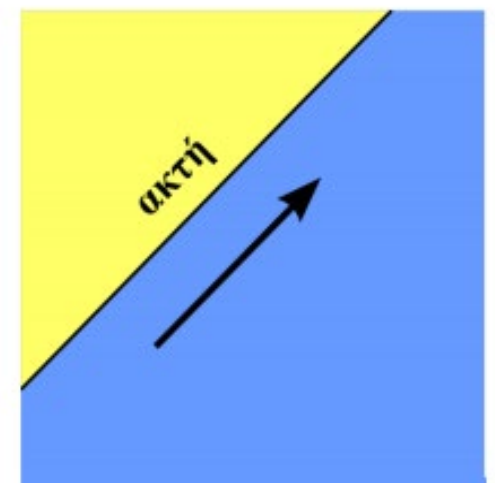
(Α)



(Β)



(Γ)

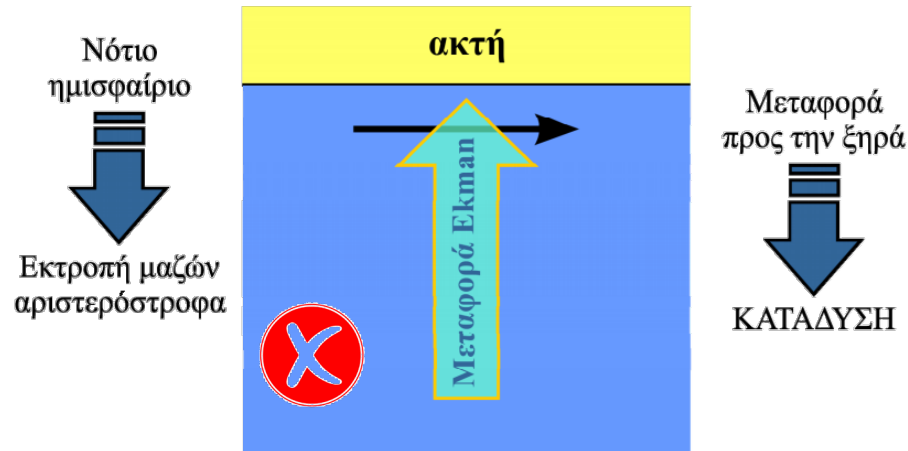


(Δ)

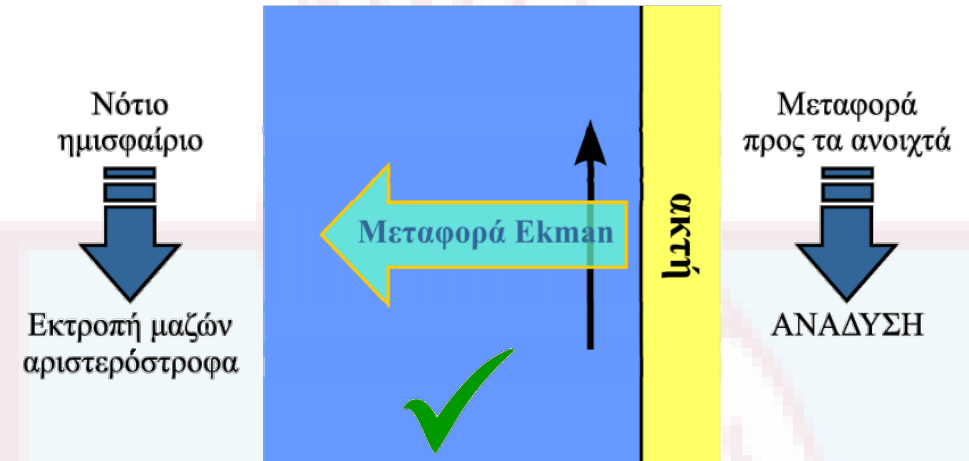
Φαινόμενο Ekman - Παράκτια ανάδυση

“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”.

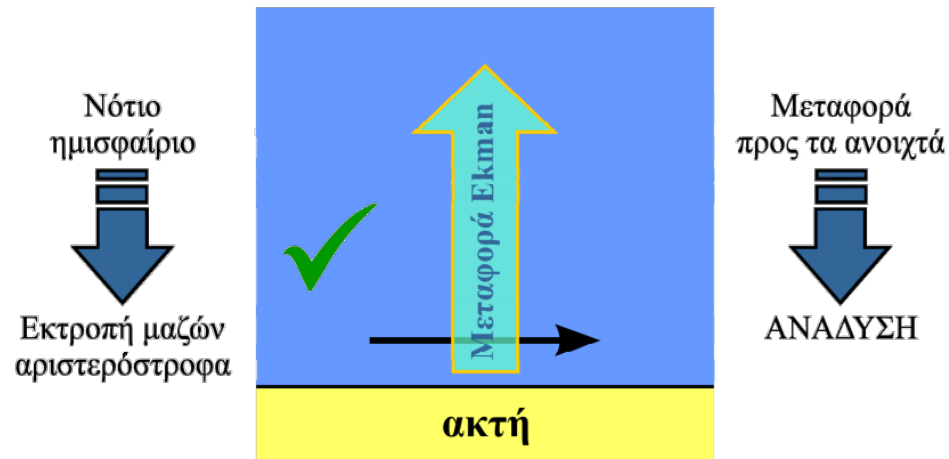
(Α) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με δυτικό άνεμο



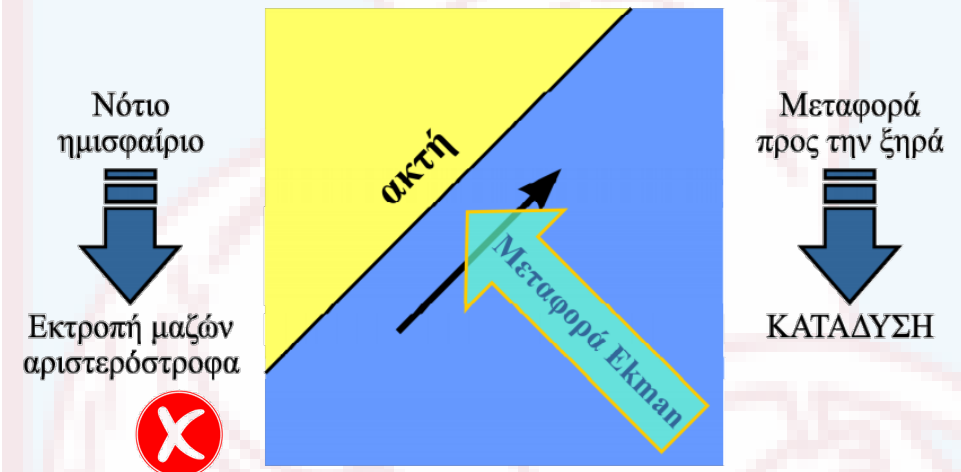
(Β) Ακτή μεγάλου μήκους στο νότιο Ημισφαίριο με νότιο άνεμο



(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 ιζημάτων & 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

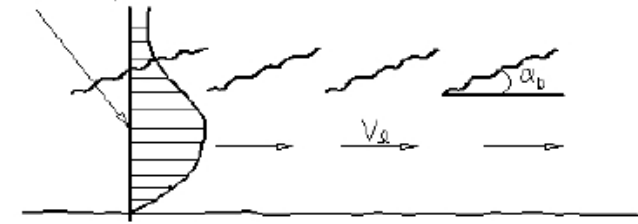
Συμμετρικό κυτταρικό σύστημα κυκλοφορίας

- κάθετη πρόσπτωση κυματισμών

Ασύμμετρο κυτταρικό σύστημα κυκλοφορίας

- μικρή γωνία πρόσπτωσης

TYPICAL CURRENT DISTRIBUTION (PLANE BEACH)



A. OBLIQUE (α_b LARGE)



Ρεύματα διαφυγής

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

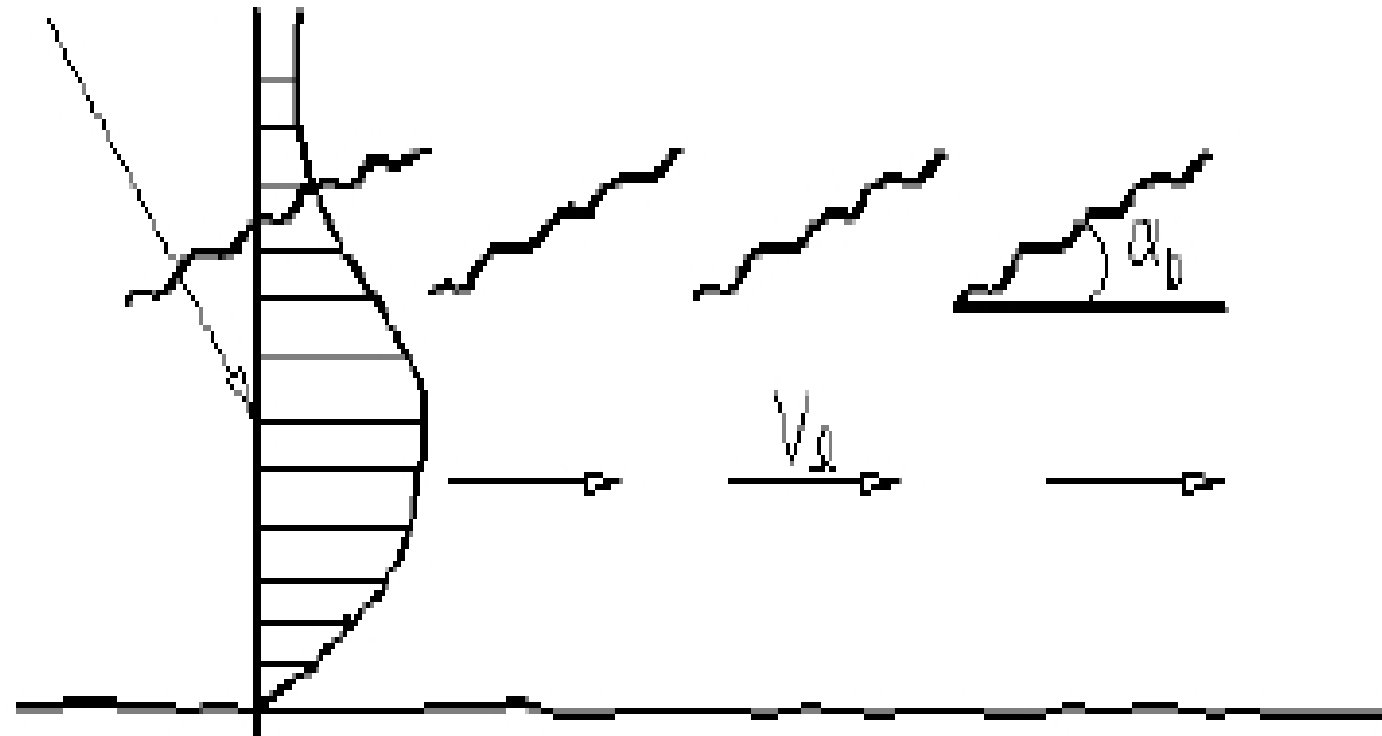


Ρεύματα διαφυγής

C. SLIGHTLY OBLIQUE (α_b SMALL)

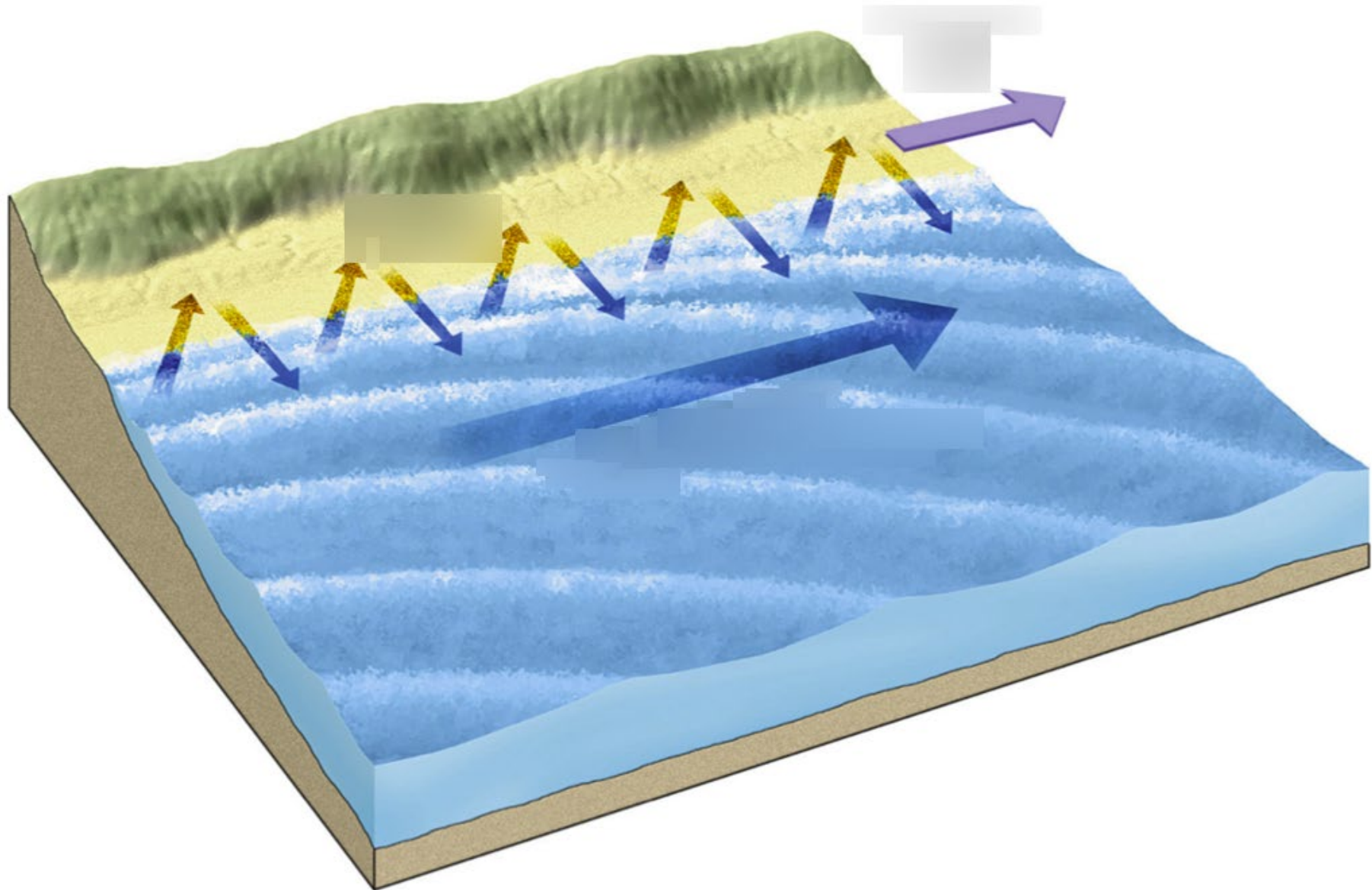
Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

TYPICAL CURRENT
DISTRIBUTION
(PLANE BEACH)



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

Longshore current



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

Longshore current



Επίμηκες παράκτιο ρεύμα

(not so) **longshore current**



Επιμήκη Ρεύματα

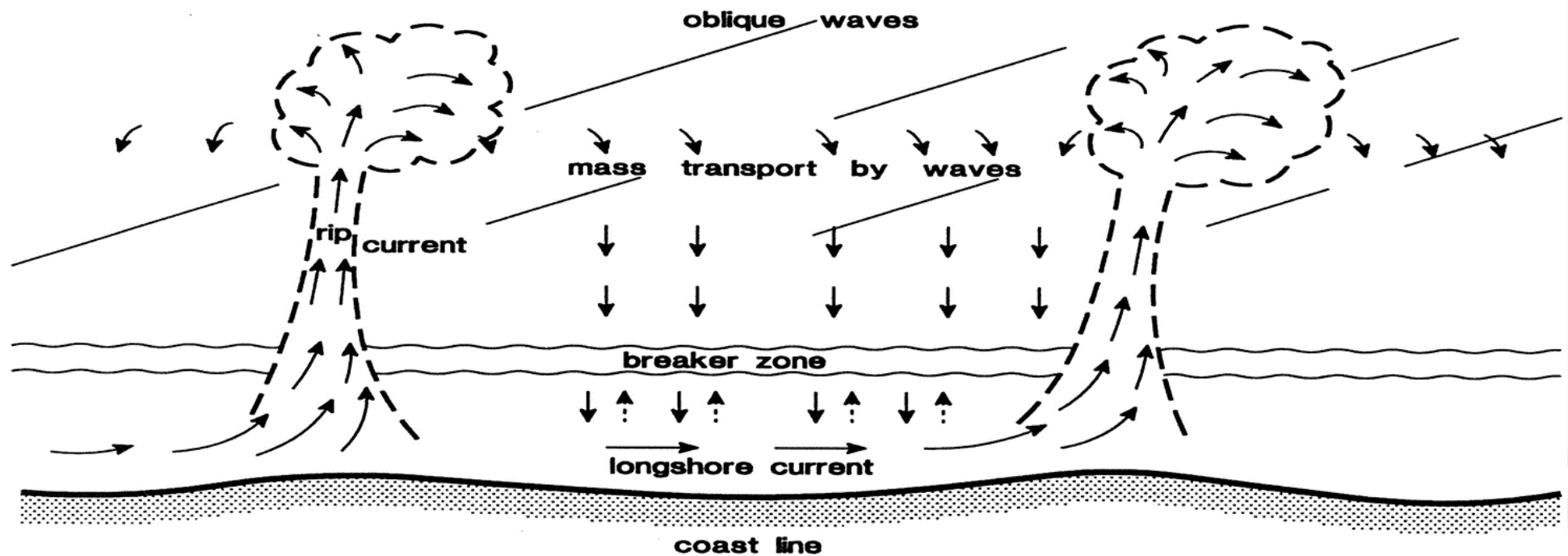
- Τυπικές μέσες τιμές ταχύτητας οριζόντιας ταχύτητας
 - **<0.3m/s** αλλά
 - Σε καταιγίδες > 1m/s.
- Ταχύτητα παραμένει σχετικά σταθερή σε όλο το βάθος

Ρεύματα διαφυγής, ή Rip currents



Τροφοδοσία Ρευμάτων Διαφυγής

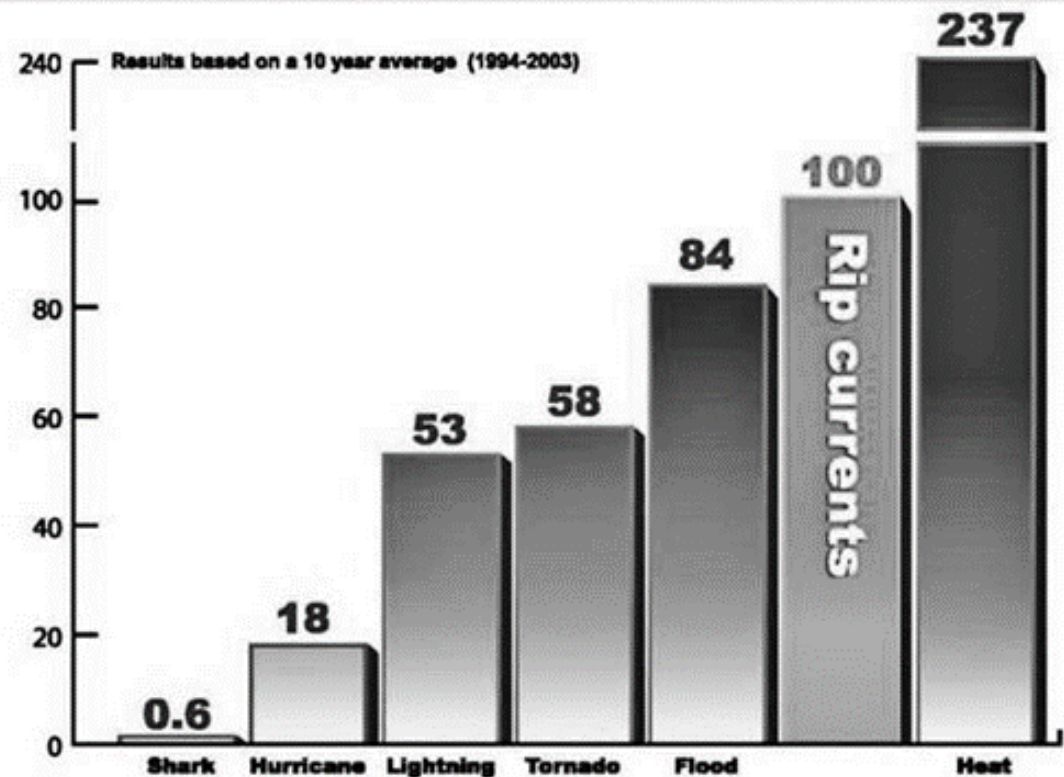
- Δυνατά και στενά ρεύματα
- Από ζώνη θραύσης προς ανοιχτά νερά
- Τροφοδοτούνται από επιμήκη ρεύματα στη ζώνη θραύσης,
- Σχεδόν περιοδικά κατά μήκος της παραλίας, σχηματίζουν 'κύτταρα κυκλοφορίας' (circulation cells)



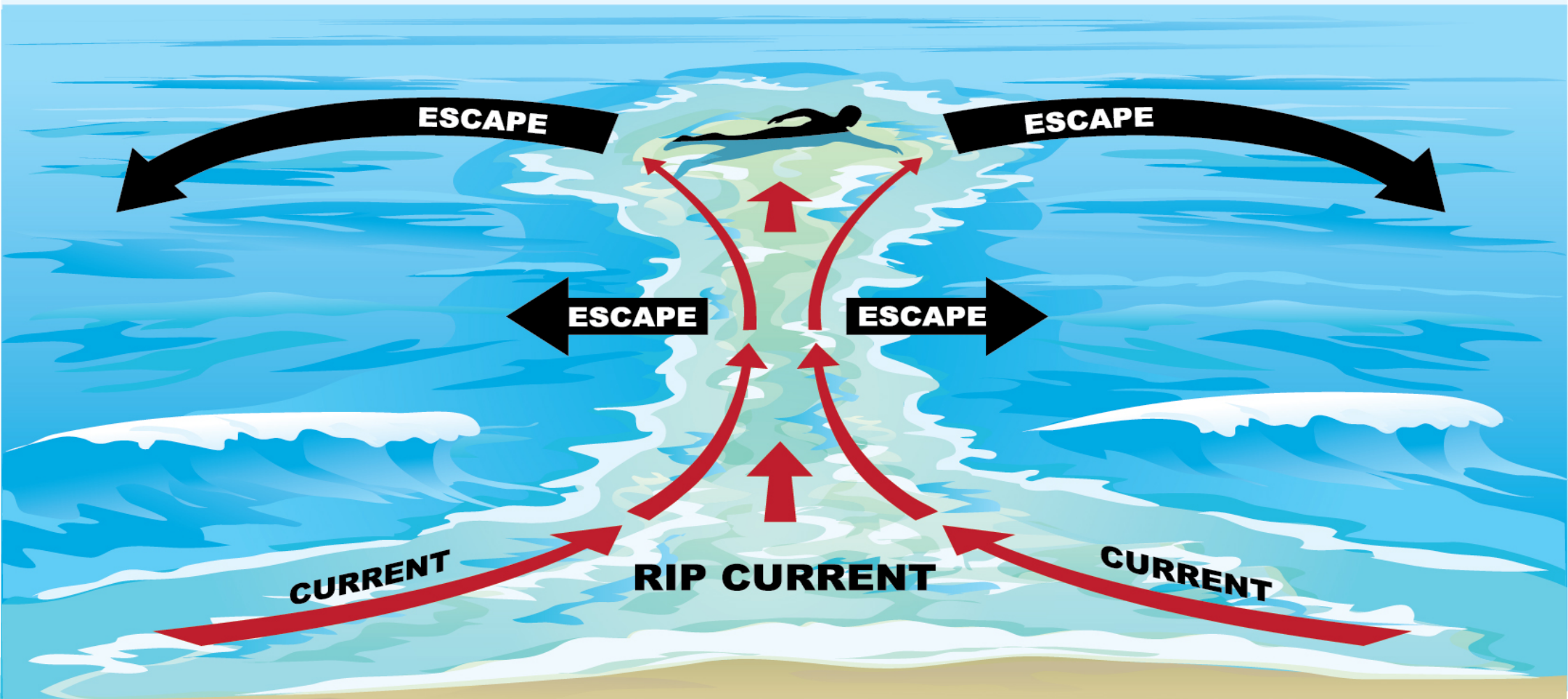
Ρεύματα διαφυγής

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

Weather Related Deaths



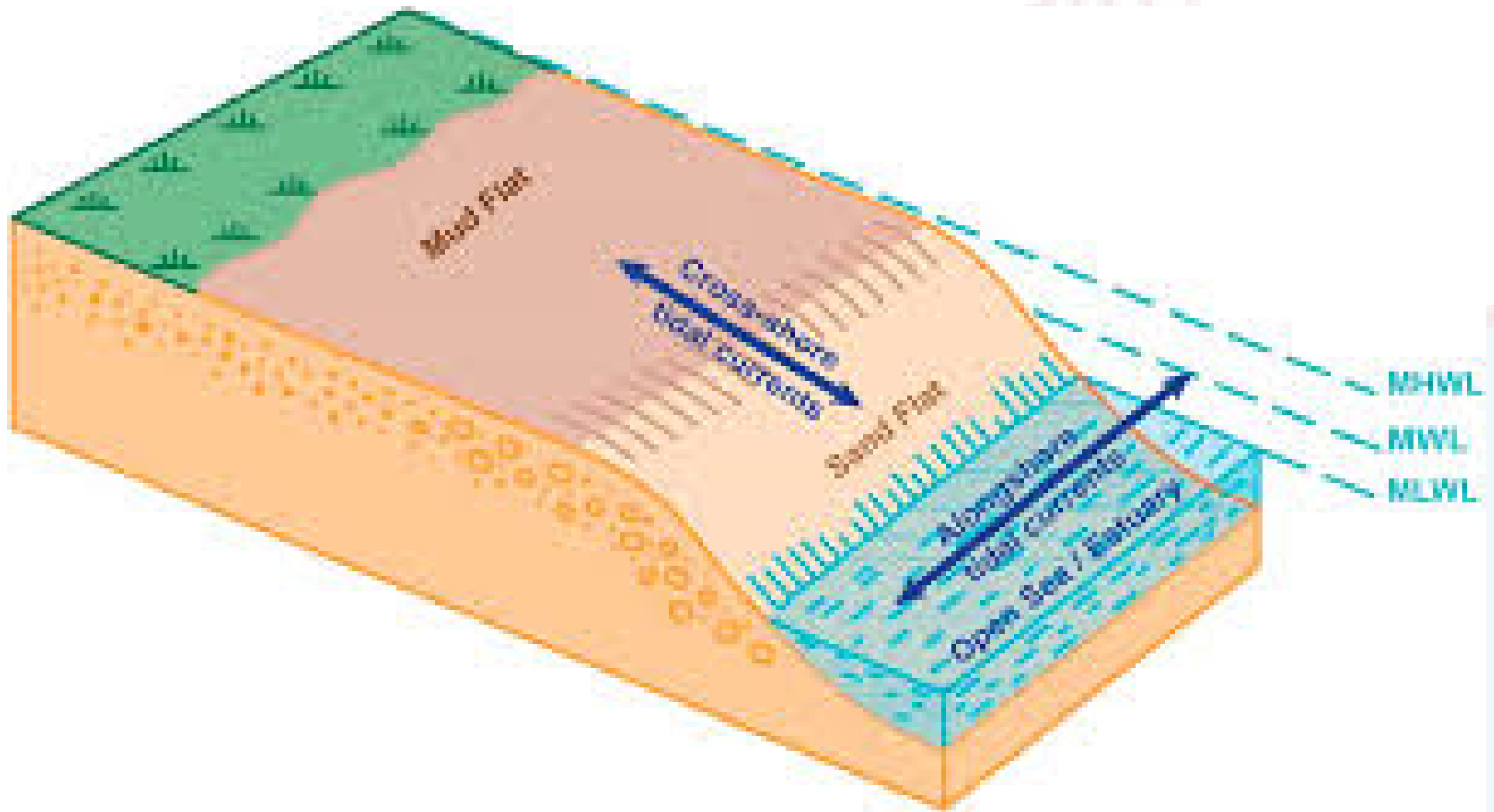
RIP CURRENTS



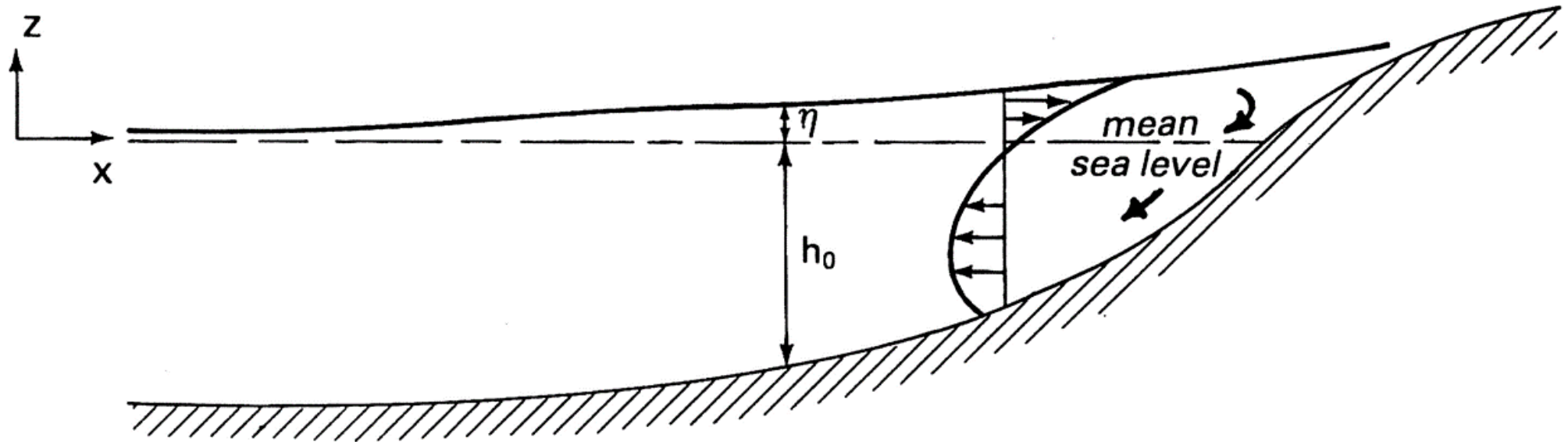
Πού Δημιουργούνται τα Ρεύματα διαφυγής;

- 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



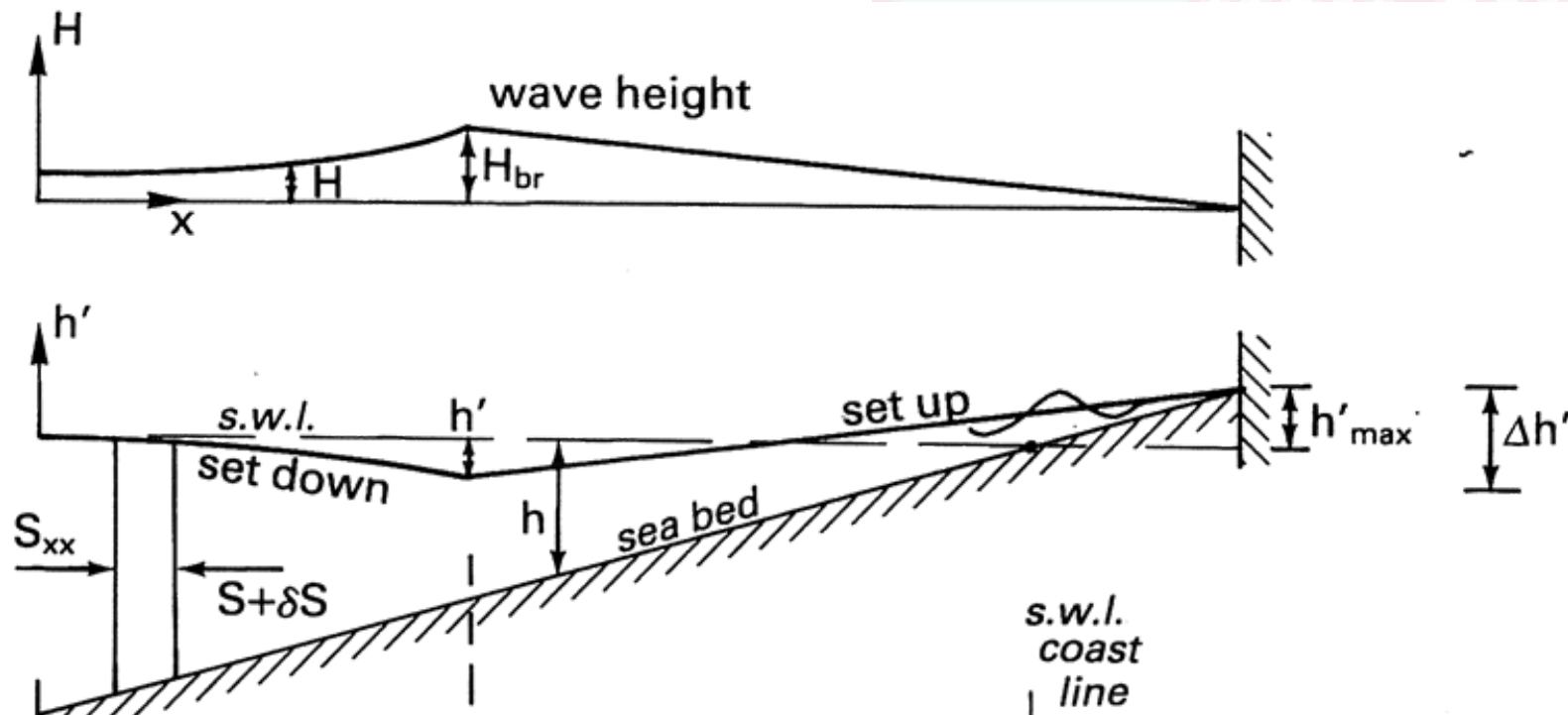
Δημιουργία από ανέμους προς ξηρά



- 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

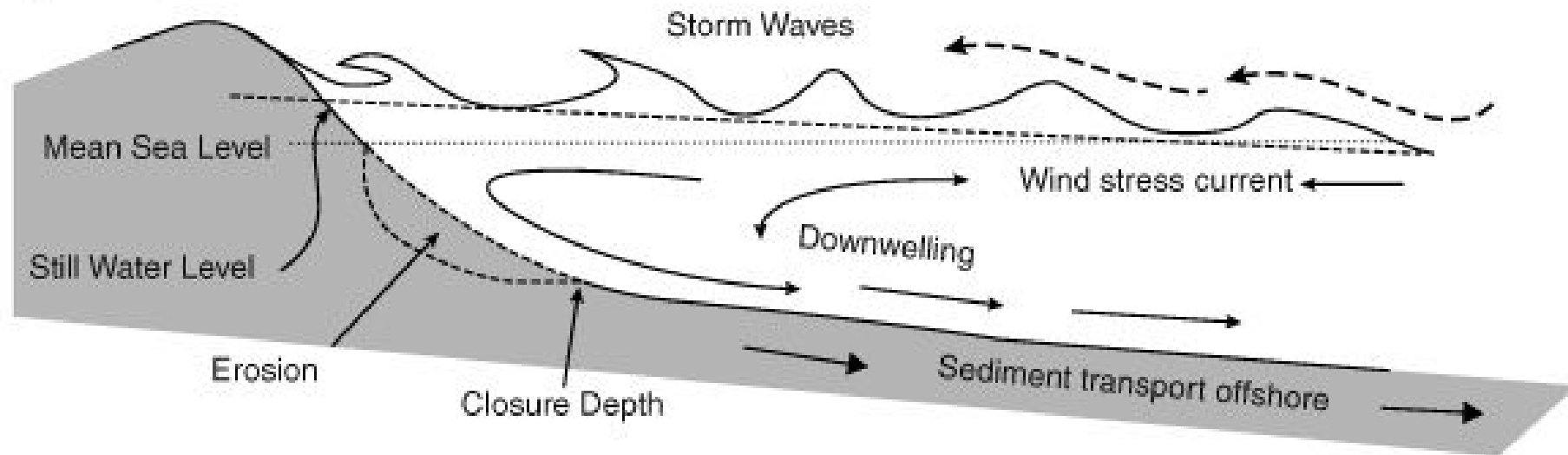
Εγκάρσια Ρεύματα / Αντιρρεύματα (cross-shore / undertows)

- 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)

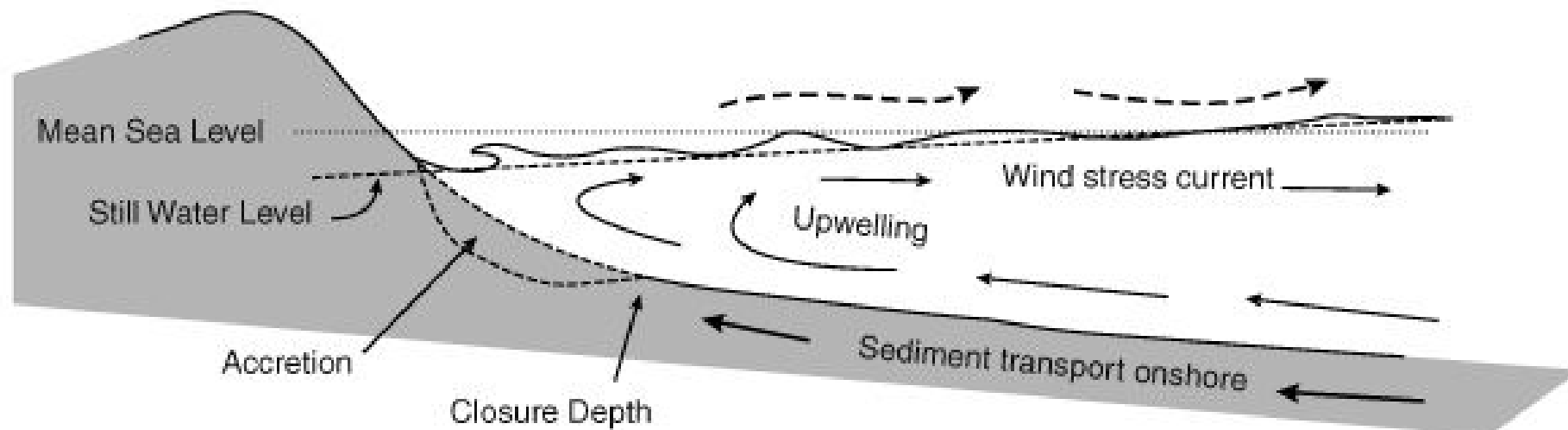


Εγκάρσια Ρεύματα - Cross shore currents

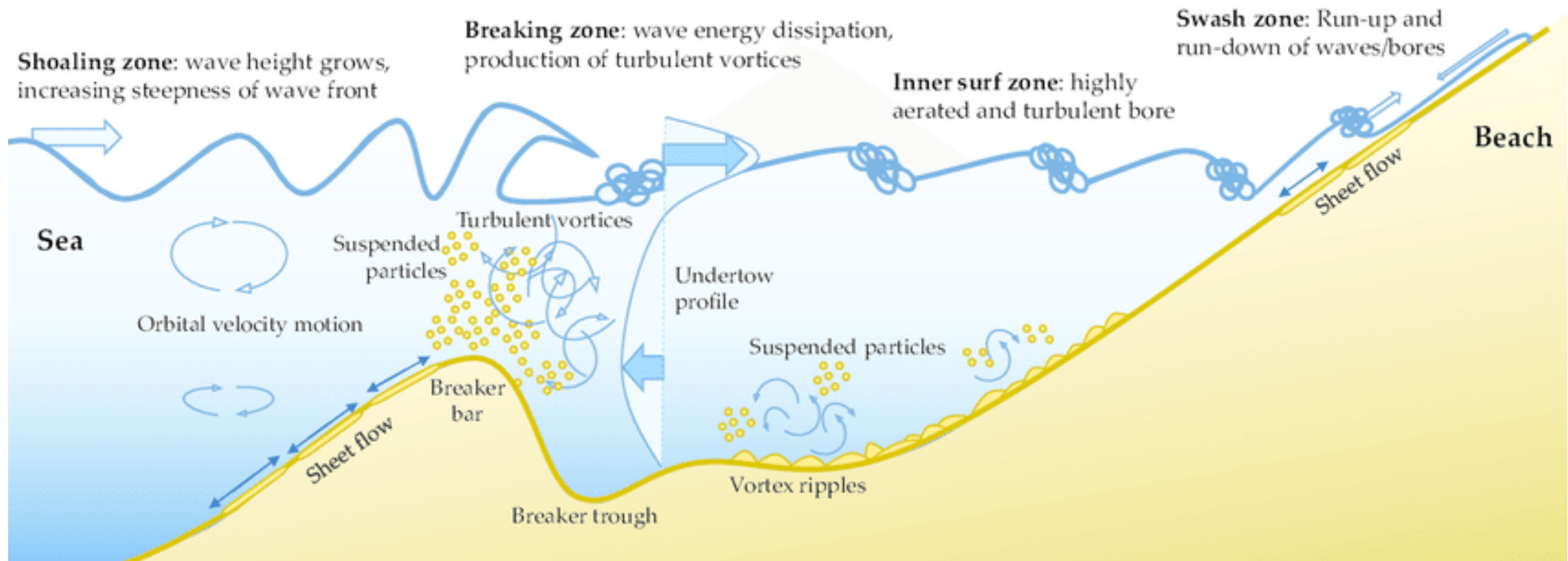
(A) Strong Onshore Storm Winds



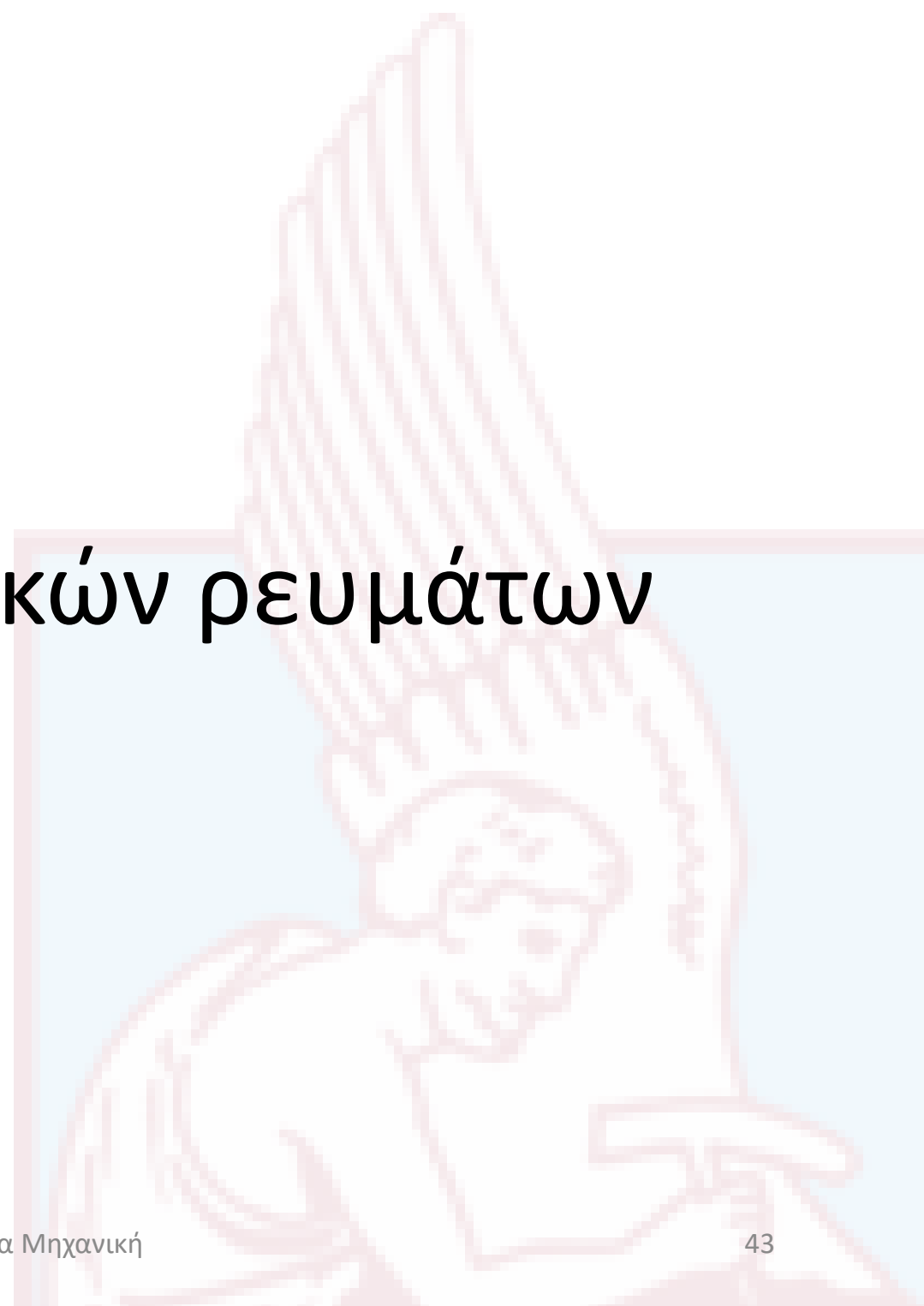
(B) Katabatic Offshore Winds



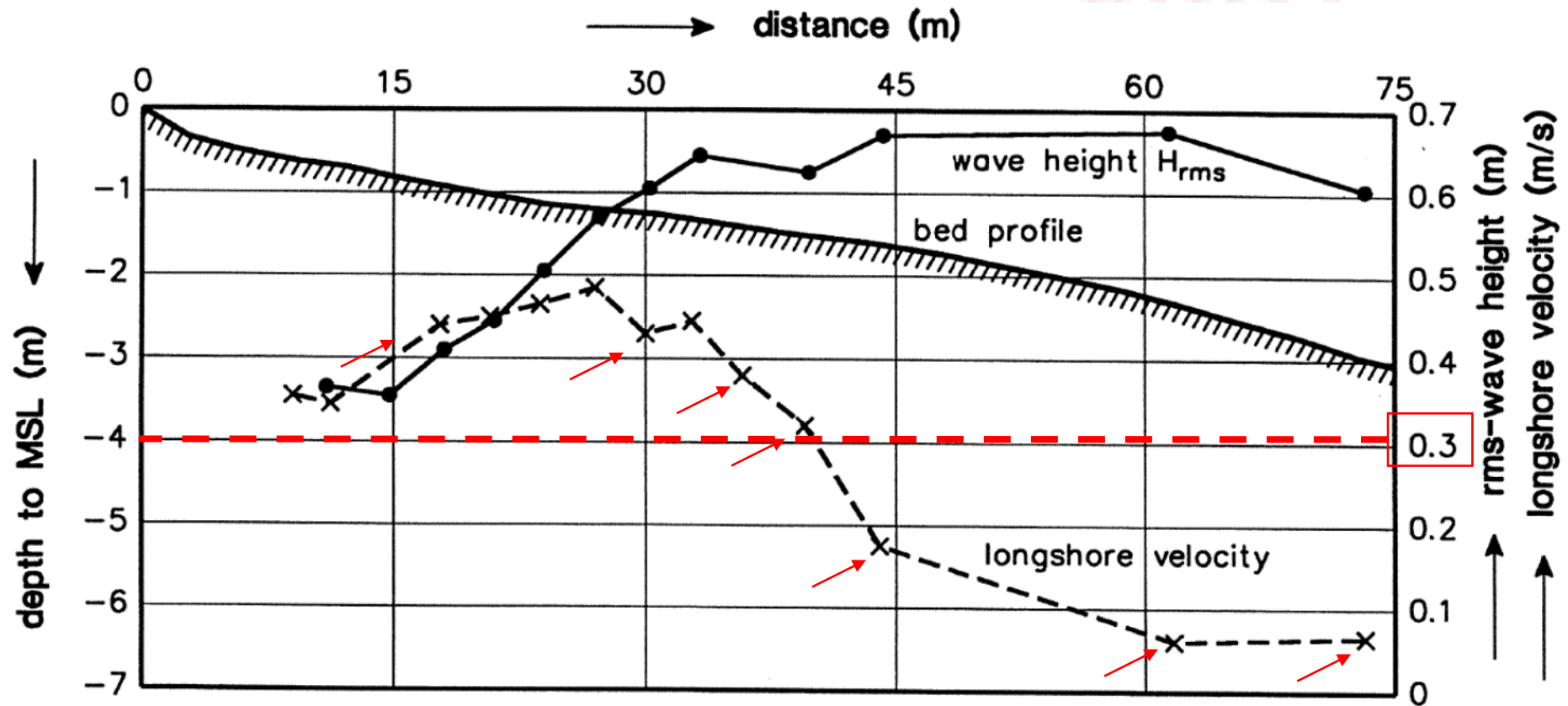
Εγκάρσια Ρεύματα - Cross shore currents



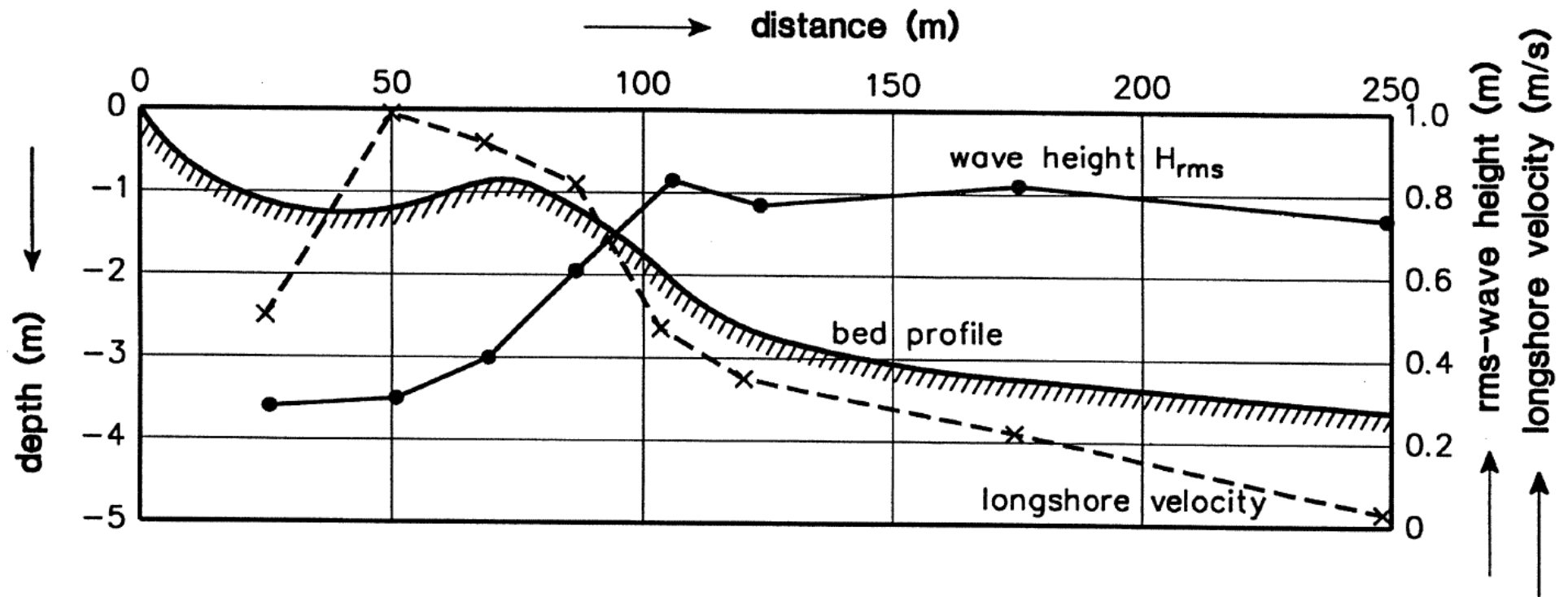
Στοιχεία επιμηκών ρευμάτων



Προφίλ Ταχύτητας (Ήπια Κλίση)



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

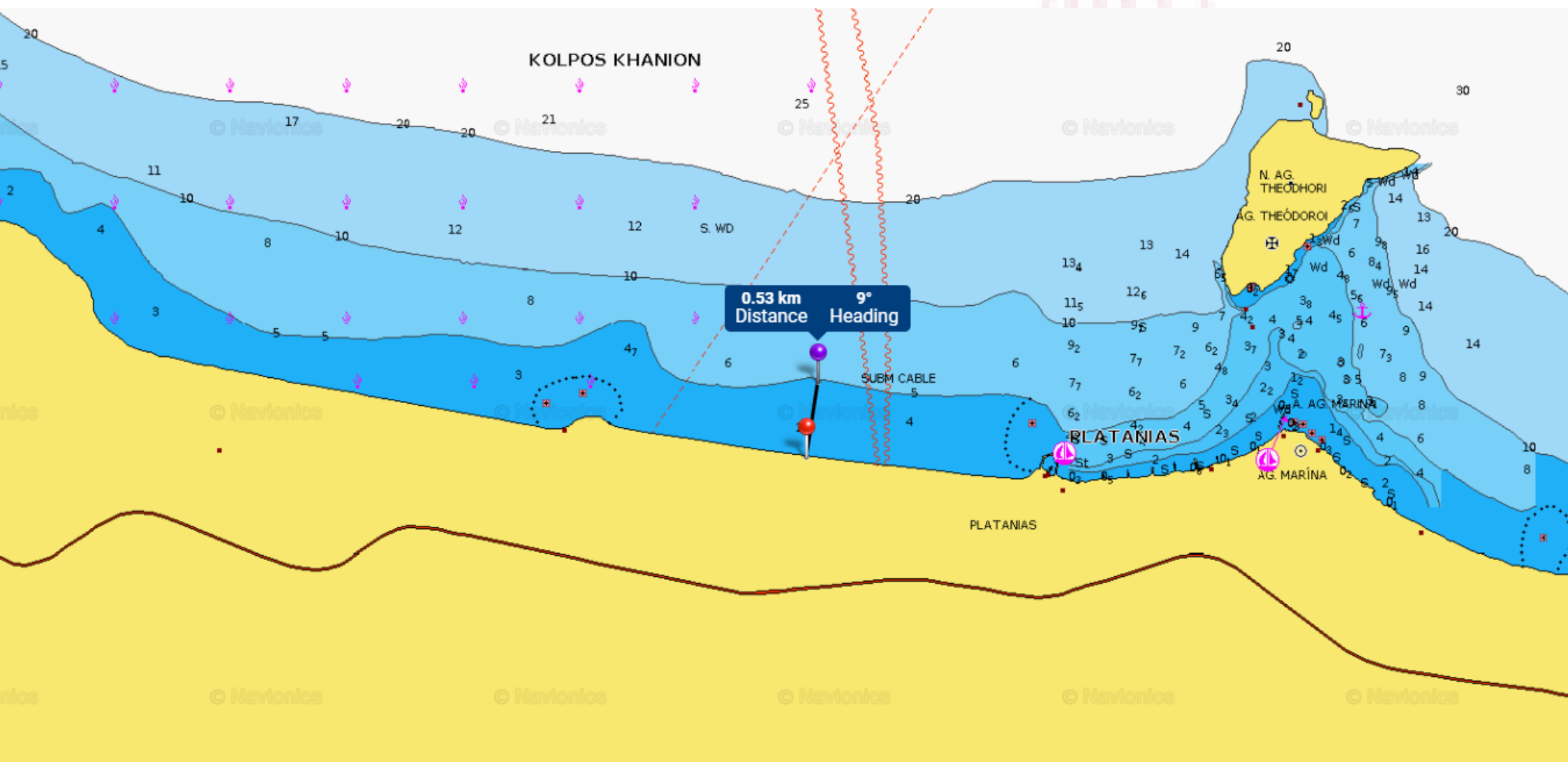
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ΒΗΜΑ 1) PASTE ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΑΝΕΜΩΝ ΕΔΩ:								ΒΗΜΑ 2) ΔΩΣΤΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΕΜΟΥ ΕΔΩ: 							SSW
2																
3									Η μέση διάρκεια πνοής του SSW ανέμου είναι :							
4					DO NOT TOUCH											
5			1	SSW	1	1										
6			2	SSW	1	2	2									
7			3	WSW		1										
8			4	SSW	1	1										
9			5	SSW	1	2	2									
10			6	SE		1										
11			7	SSW	1	1										
12			8	SSW	1	2	2									
13			9	W		1										
14			10	SSW	1	1										
15			11	SSW	1	2										
16			12	SSW	1	3										
17			13	SSW	1	4	4									
18			14	SW		1										

Υπολογισμός κλίσης πυθμένα

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



Υπολογισμός κλίσης πυθμένα



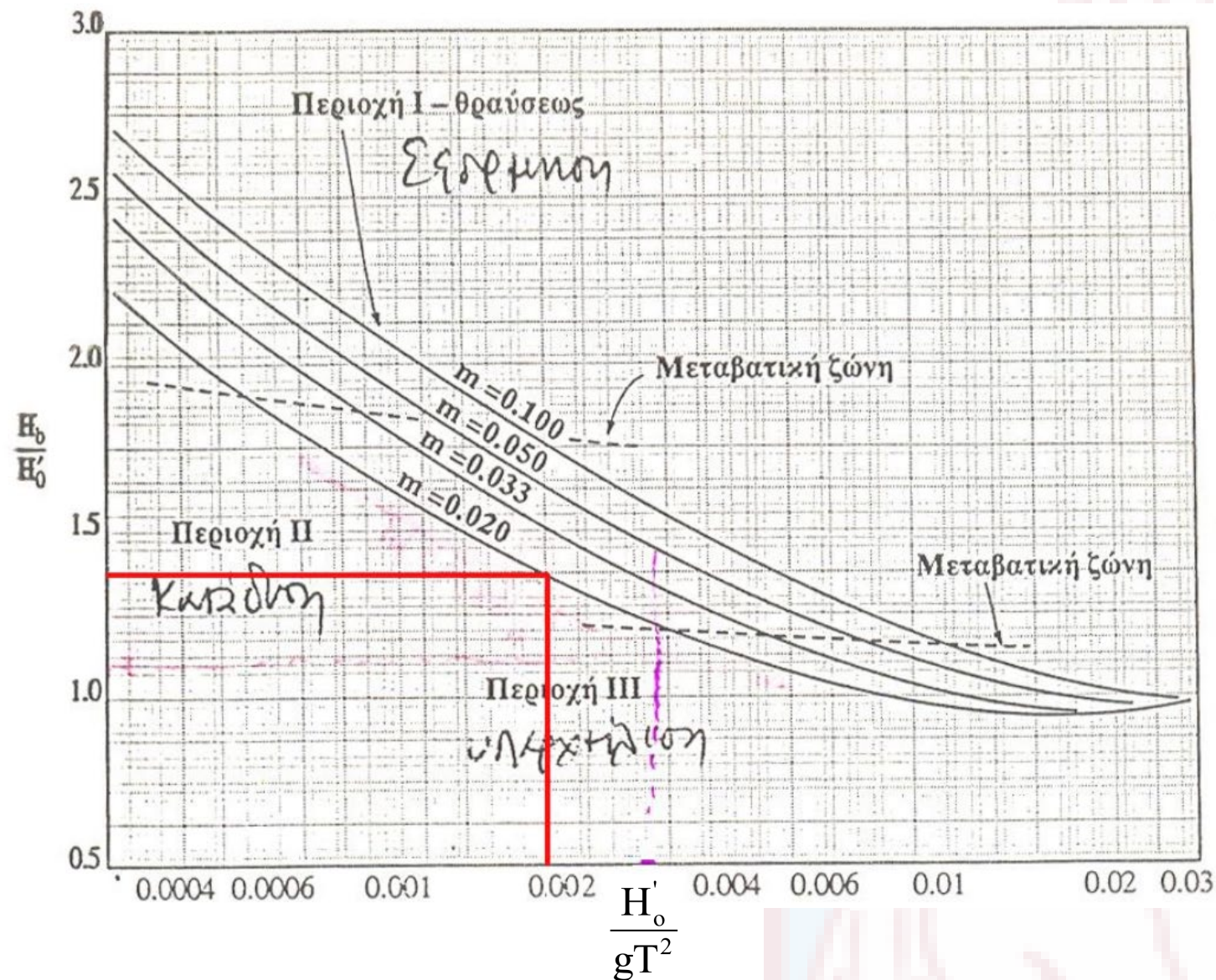
Project:

Ημερομηνίες

- Παρουσίαση 12 Δεκεμβρίου
- Αναφορά 19 Δεκεμβρίου

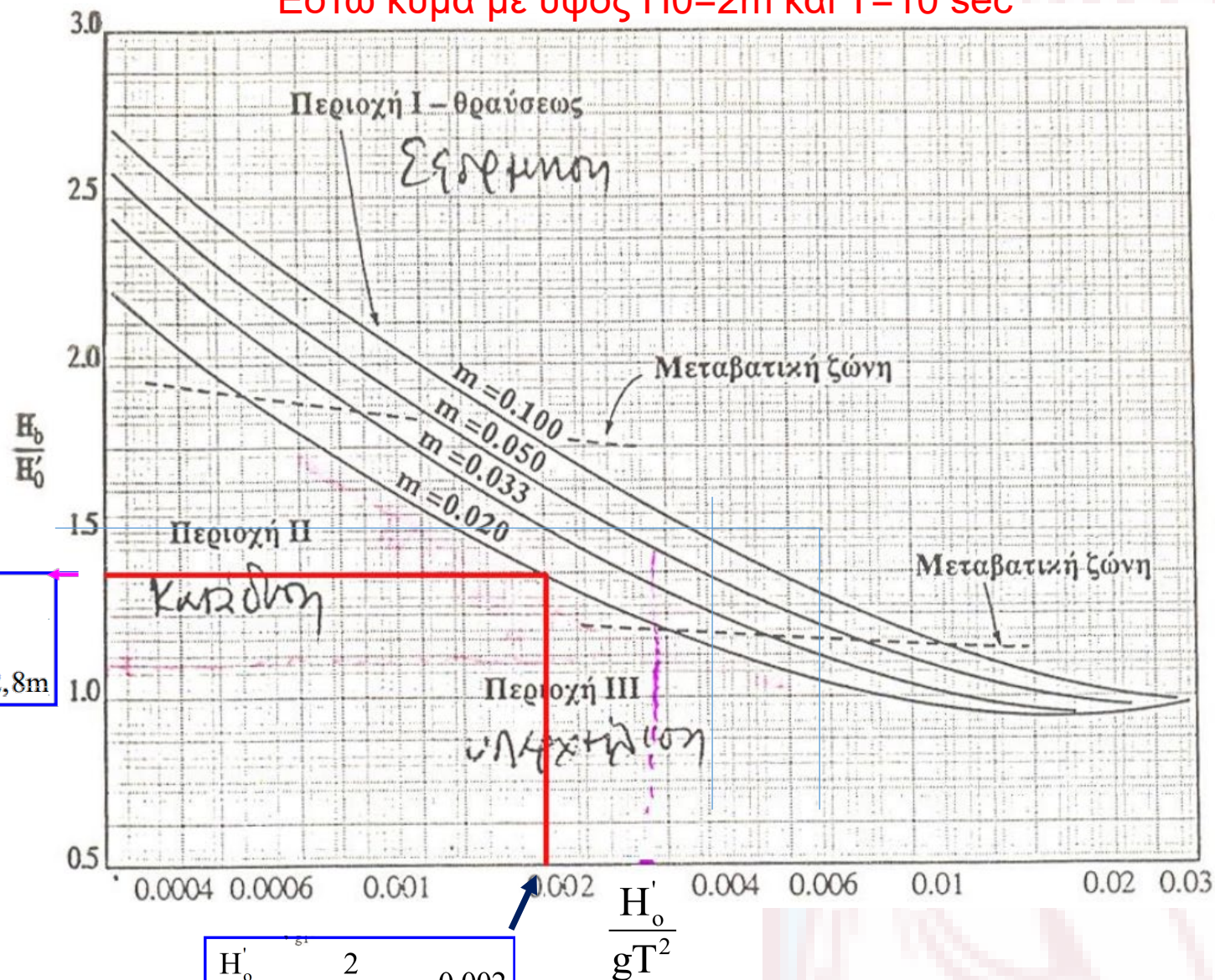


Διάλεξη 3: Υπολογισμός σημείου θραύσης



Υπολογισμός ύψους κύματος στο σημείο θραύσης

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

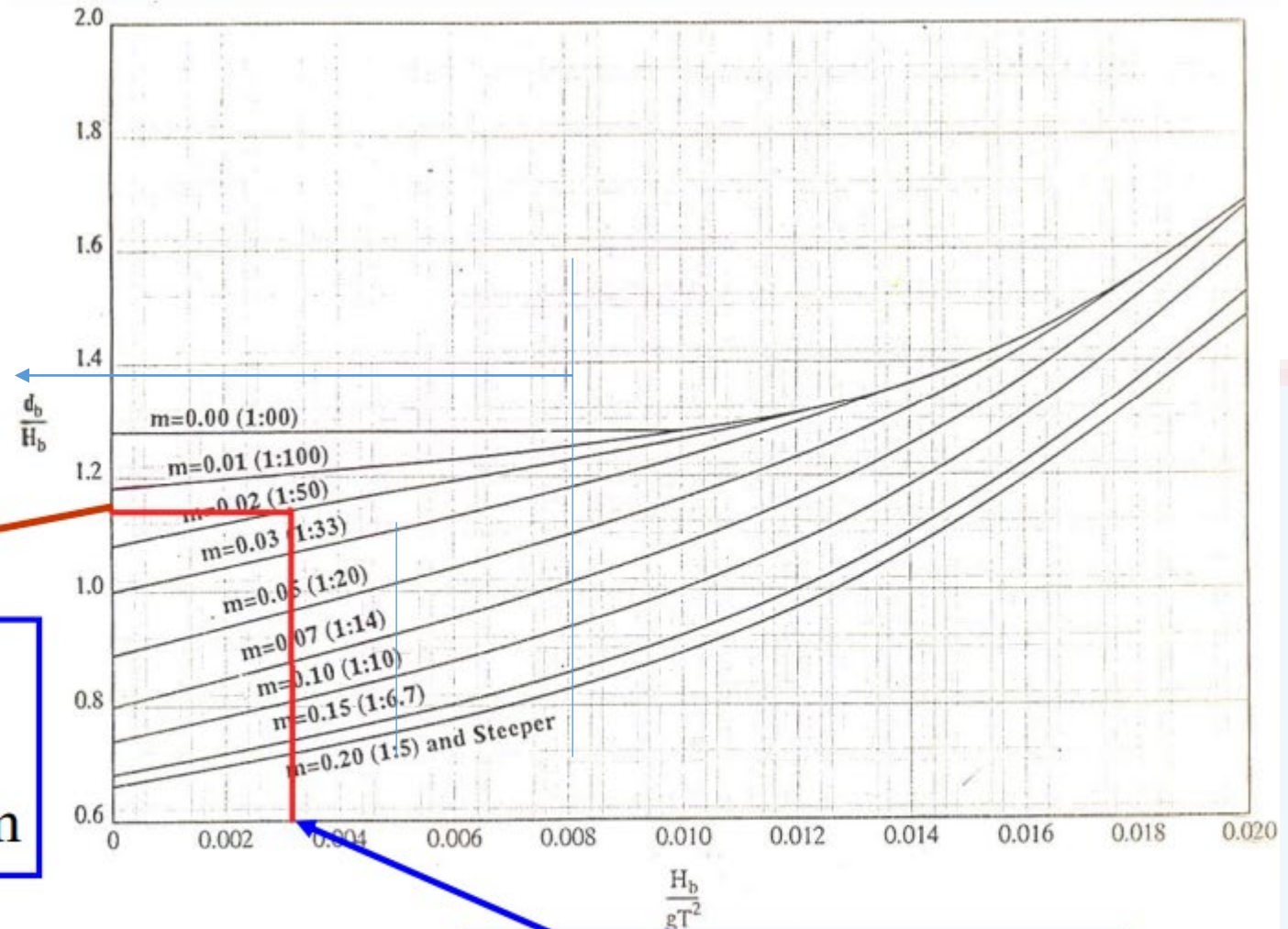


$$\frac{H_b}{H_0} = 1.4 \rightarrow$$

$$H_b = 1.4 \times 2.0 = 2.8\text{m}$$

$$\frac{H_0}{gT^2} = \frac{2}{9.81 \times 10^2} = 0.002$$

Υπολογισμός βάθους στο σημείο θραύσης



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

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