

Περιβαλλοντική Ακτομηχανική (Θεωρητική Προσέγγιση, Εφαρμογές & Προσομοιώσεις) Μέρος Δεύτερο

Δρ. Γιώργος Συλαίος
Επίκουρος Καθηγητής Διαχείρισης
Παράκτιων Υδατικών Συστημάτων
Εργαστήριο Οικολογικής Μηχανικής & Τεχνολογίας
Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος
Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
gsylaios@env.duth.gr

Πίνακας 3. Συνοπτική παρουσίαση κυματικών χαρακτηριστικών.

Παράμετρος	Γενική Εξίσωση	Νερά μεγάλου βάθους ($d/L > 0.5$)	Νερά μικρού βάθους ($d/L < 0.05$)
Επιφάνεια κύματος (m)	$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t)$		
Ταχύτητα κύματος (m/s)	$C = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k} = \frac{gT}{2\pi} \tanh kh$	$C_0 = \frac{gT}{2\pi}$	$C = \sqrt{gh}$
Μήκος κύματος (m)	$\lambda = CT = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh kh$	$\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$	
Οριζόντια συνιστώσα ταχύτητας σωματιδίων (m/s)	$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(z+h)}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t)$	$u = \frac{\pi H_0}{T} e^{k_0 z} \cos(k_0 x - \omega t)$	
Κατακόρυφη συνιστώσα ταχύτητας σωματιδίων (m/s)	$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sin k(z+h)}{\sinh kh} \sin(kx - \omega t)$	$w_0 = \frac{\pi H_0}{T} e^{k_0 z} \sin(k_0 x - \omega t)$	
Κυματική ενεργειακή πυκνότητα (J/m ²)	$E = \frac{1}{8} \rho g H^2$		
Κυματική ισχύς (W/m)	$P = EC_G$	$P_0 = \frac{EC_0}{2}$	$P = EC$
Ταχύτητα Ομάδας Κυμάτων (m/s)	$C_G = nC$ $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right]$	$(C_G)_0 = \frac{C_0}{2}$	$C_G = C$

Πρόβλημα 1

Να προσδιοριστεί η ταχύτητα φάσης C και το μήκος κύματος λ σε βάθη 200 μ και 3 μ αντίστοιχα, αν είναι γνωστή η περίοδος κύματος $T=10$ s.

Λύση

Από τη σχέση $\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$ \longrightarrow $\lambda_0 = 156 \mu$.

Για βάθος $d = 200$ m, ο λόγος d/λ_0 είναι 1.2821. Για νερά μεγάλου βάθους ο λόγος d/λ_0 πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 0.5. Συνεπώς στα 200 μ βάθος βρισκόμαστε στα **βαθιά νερά**.

Η ταχύτητα φάσης κύματος προσδιορίζεται από τη σχέση $C = \lambda/T$
Άρα στα 200 μ βάθος, $C = 15.6$ m/s

Στα 3 μ βάθος, ο λόγος d/λ_0 είναι 0.0192

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

$$\frac{d}{L} = 0.05641$$

Άρα σε βάθος 3 μ βρισκόμαστε σε νερά **ενδιάμεσου βάθους**

Apakah

$$L = \frac{3}{0.05641} = 53.2 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{53.2}{10} = 5.32 \text{ m/s}$$

Πρόβλημα 2

Να προσδιοριστούν τα κυματικά χαρακτηριστικά ενός κύματος με περίοδο 8 s και ύψος κύματος 1.5 μ σε βάθος νερού 6 μ.

Υπολογισμοί για βαθιά νερά

$$\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \longrightarrow \lambda_0 = 100 \mu$$

$$d/\lambda_0 = 6/100 = 0.060 \longrightarrow \text{Κυματικός Πίνακας}$$

$$d/\lambda = 0.104$$

$$\tanh kh = 0.575$$

$$\sinh kh = 0.703$$

$$\cosh kh = 1.22$$

$$n = 0.881$$

$$\text{Άρα, } \lambda_6 = 6/0.106 = 57.5 \mu$$

$$\kappa = 2\pi/\lambda = 0.109 \mu^{-1}$$

$$C = \lambda/T = 57.5/8 = 7.2 \text{ m/s}$$

$$C_g = nC = 0.881 \cdot 7.2 = 6.35 \text{ m/s}$$

$$E_o = \rho g H^2 / 8 = 1035 \cdot 9.81 \cdot 1.5^2 / 8 = 2855 \text{ J/m}^2$$

$$P = E_o C_g = 2855 \cdot 6.35 = 18,124 \text{ W/m}$$

Στο βυθό $z=-h$ άρα $k(z+h) = 0$, $\sinh k(z+h) = 0$, $\cosh k(z+h) = 1$

$$u = \frac{\pi H \cosh k(z+h)}{T \sinh kh} \cos(kx - \omega t) = 0.84 \cos(kx - \omega t)$$

Μέγιστη οριζόντια ταχύτητα στο πυθμένα είναι 0.84 m/s, ενώ η κατακόρυφη ταχύτητα είναι 0.

Το εύρος της τροχιακής κίνησης είναι

$$A_b = \frac{H}{2 \sinh kh} = \frac{1.5}{2 \times 0.703} = 1.07 \text{ m}$$

Πρόβλημα 3

Κύμα στα βαθιά νερά έχει $H_0 = 3 \mu$, $T=8 \text{ s}$ και $\alpha_0 = 30^\circ$

Να υπολογιστούν το ύψος κύματος H και η γωνία πρόσπτωσης α σε βάθος 10μ

Υπολογισμοί για βαθιά νερά

$$\lambda_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \longrightarrow \lambda_0 = 100 \mu$$

$$d/\lambda_0 = 10/100 = 0.10 \longrightarrow \text{Κυματικός Πίνακας}$$

$$d/\lambda = 0.141$$

$$\tanh kh = 0.709$$

$$\sinh kh = 1.01$$

$$\cosh kh = 1.42$$

$$n = 0.81$$

$$kh = 0.886$$

Ρήχωση

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0}{n} \frac{C_0}{C}} = \sqrt{\frac{1}{2} \frac{1}{n} \frac{1}{\tanh kh}} = k_s$$

$$\text{Άρα } k_s = 0.93$$

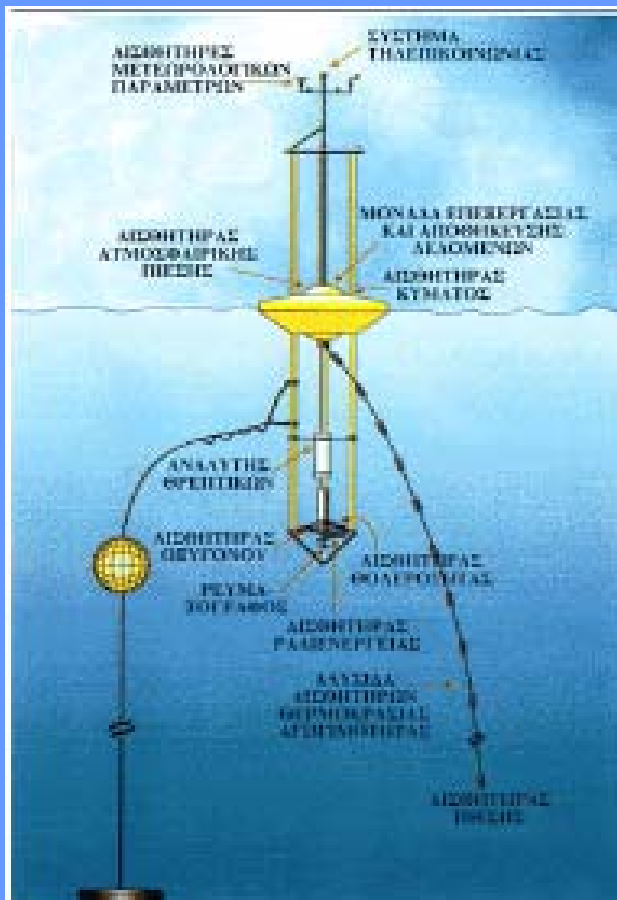
$$\frac{\sin a}{\sin a_0} = \frac{C}{C_0} = \tanh kh \Rightarrow \frac{\sin a}{0.5} = 0.709 \Rightarrow \sin a = 0.354 \Rightarrow a = 20.7^\circ$$

$$k_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{0.86}{0.93}} = 0.96$$

$$\frac{H}{H_0} = k_s k_r \Rightarrow H = 3.0 \times 0.93 \times 0.96 = 2.67 \text{ m}$$

Να γίνουν οι υπολογισμοί για βάθος 2 μ

5. Προσδιορισμός Κυματικού Κλίματος



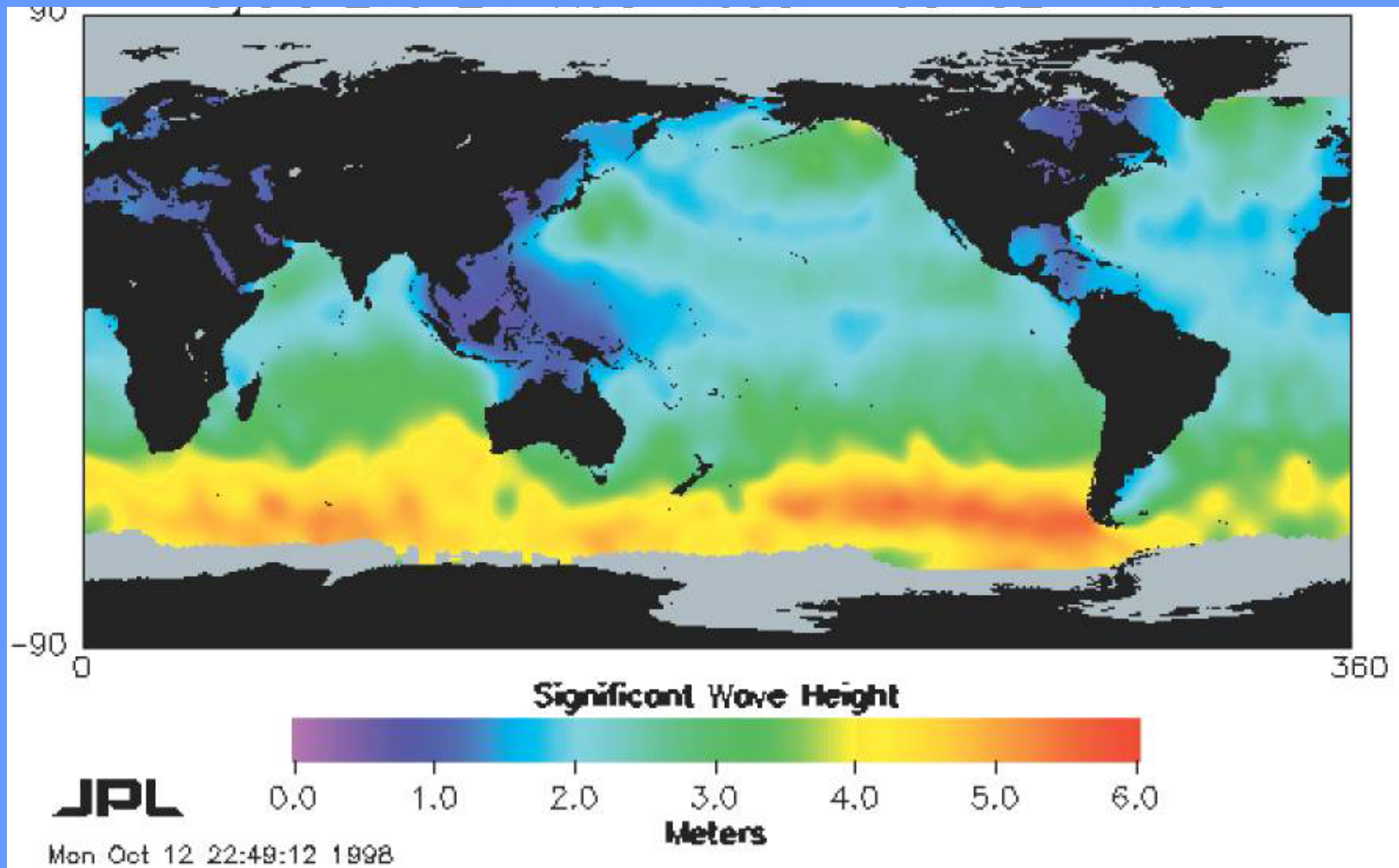
Κυματογράφος «ΜΕΔΟΥΣΑ»

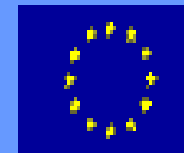


Κυματογράφος – Ρευματογράφος ADCP

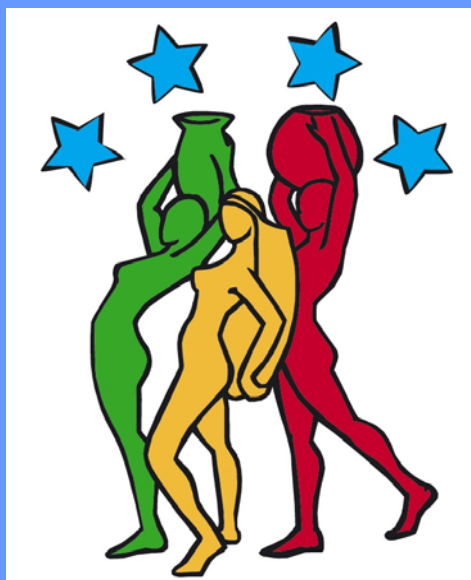
Σημαντικό Ύψος Κύματος (H_S) → μέσος όρος των υψών κύματος των 33% υψηλότερων κυμάτων.

Σημαντική Περίοδος Κύματος (T_S) → μέσος όρος περιόδων των 33% υψηλότερων κυμάτων.





INTERREG III C / Zone Sud - Πρόγραμμα BEACHMED-e



Strategic management of beach protection measures for the sustainable development of the Mediterranean coastal areas

Μέτρο 2.2: NAUSICAA – Προσδιορισμός των Υδροδυναμικών Συνθηκών & του Κυματικού Κλίματος για την Ανάλυση των Επιπτώσεων στη Παράκτια Διάβρωση και τη Κατανόηση της Δυναμικής των Λειμώνων *Poseidonia Oceanica*

Επιστημονικά Υπεύθυνος: Συλαίος Γιώργος

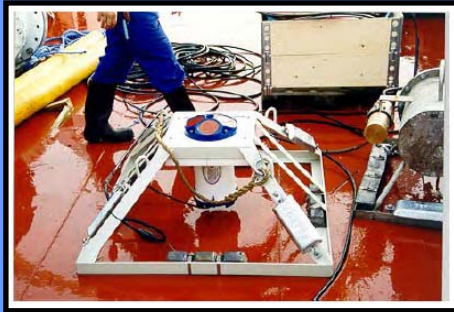
Ομάδα Εργασίας: Πρίνος Παναγιώτης, Σαμαράς Αχιλλέας

Στόχος Μέτρου 2.2: Παρακολούθηση και Πρόγνωση Κυματικού Κλίματος κατά μήκος ακτογραμμών με προβλήματα Διάβρωσης

Ειδικοί Στόχοι Μέτρου:

1. Ανάπτυξη Συστήματος Συνεχούς Παρακολούθησης Κυμάτων
2. Συστηματικές Μετρήσεις Παράκτιων Κυμάτων & Ρευμάτων
3. Δημιουργία Βάσης Δεδομένων
4. Προσομοίωση Κυμάτων και Παράκτιων Ρευμάτων
5. Ανάπτυξη Κυματικού Άτλαντα Περιγραφής Κυματικού Κλίματος κατά μήκος Ακτογραμμής
6. Διερεύνηση Επίδρασης Λειμώνων *Poseidonia Oceanica* στο Κυματικό Κλίμα

Πριν την υλοποίηση του Έργου, δεν υπήρχε σύστημα συνεχούς παρακολούθησης κυμάτων & ρευμάτων στην ακτογραμμή της Περιφέρειας ΑΜΘ. Επίσης δεν υπήρχε αναλυτική περιγραφή του Κυματικού Κλίματος της ακτογραμμής της.



Παράκτια Παρακολούθηση

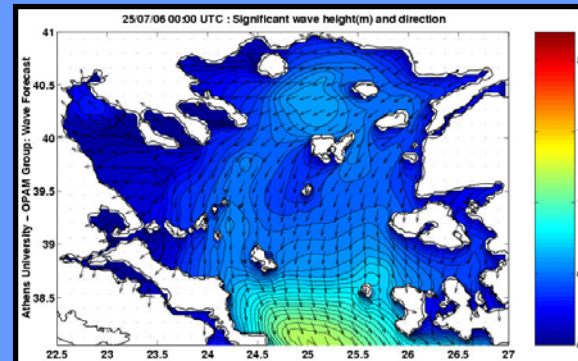
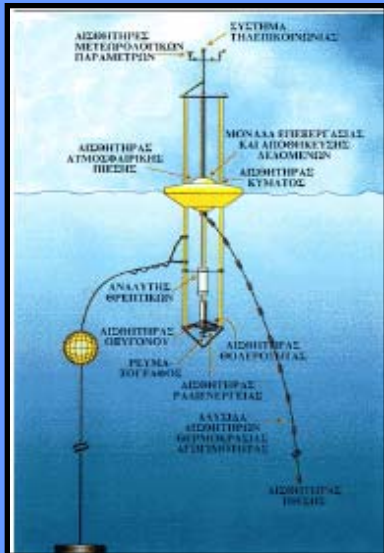
Άνεμοι
Κύματα
Ρεύματα
Δυναμική Στήλης Νερού

Εφαρμογή Μοντέλων

Παράκτιο Κυματικό Κλίμα

SWAN
REF/DIF
ELCOM

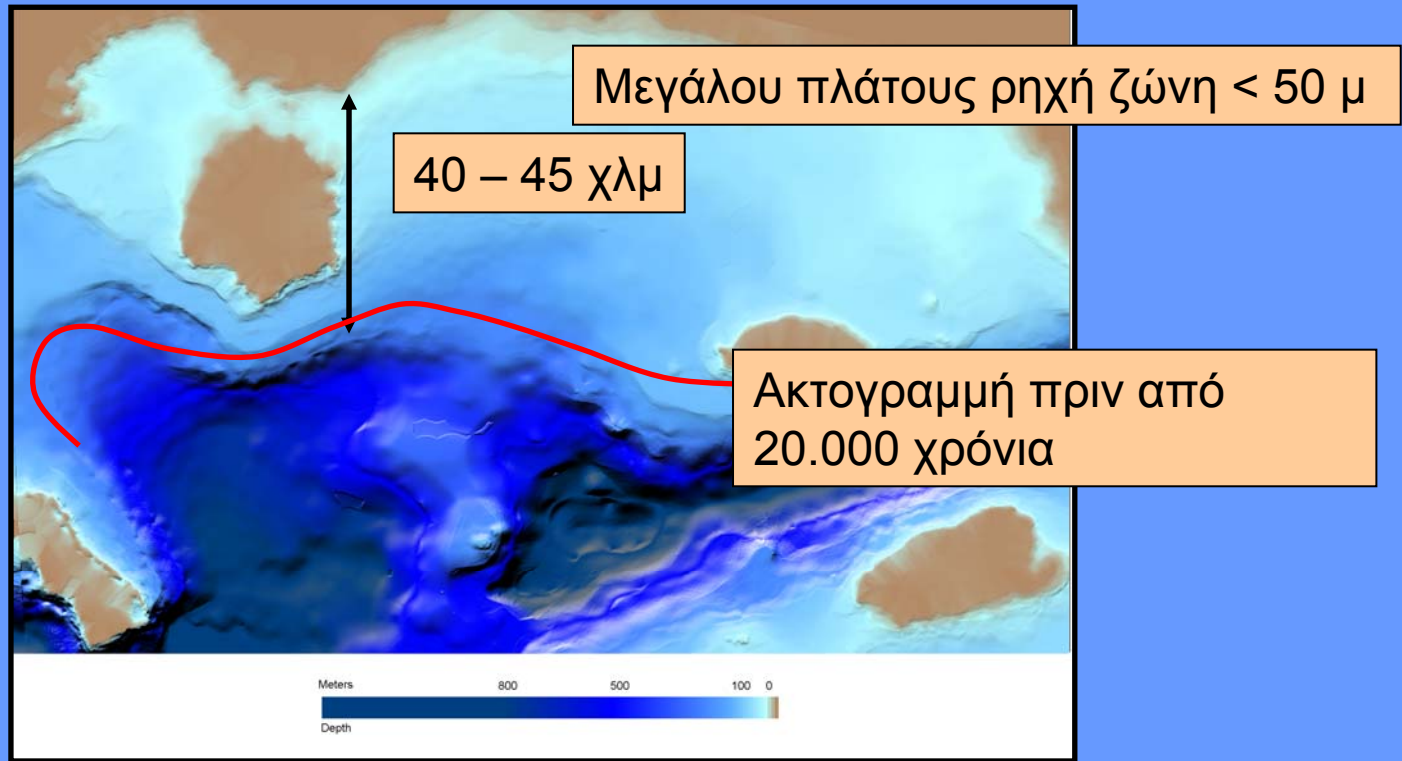
Βάση Δεδομένων Κυματικού Άτλαντα



ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ Α.Μ.Θ

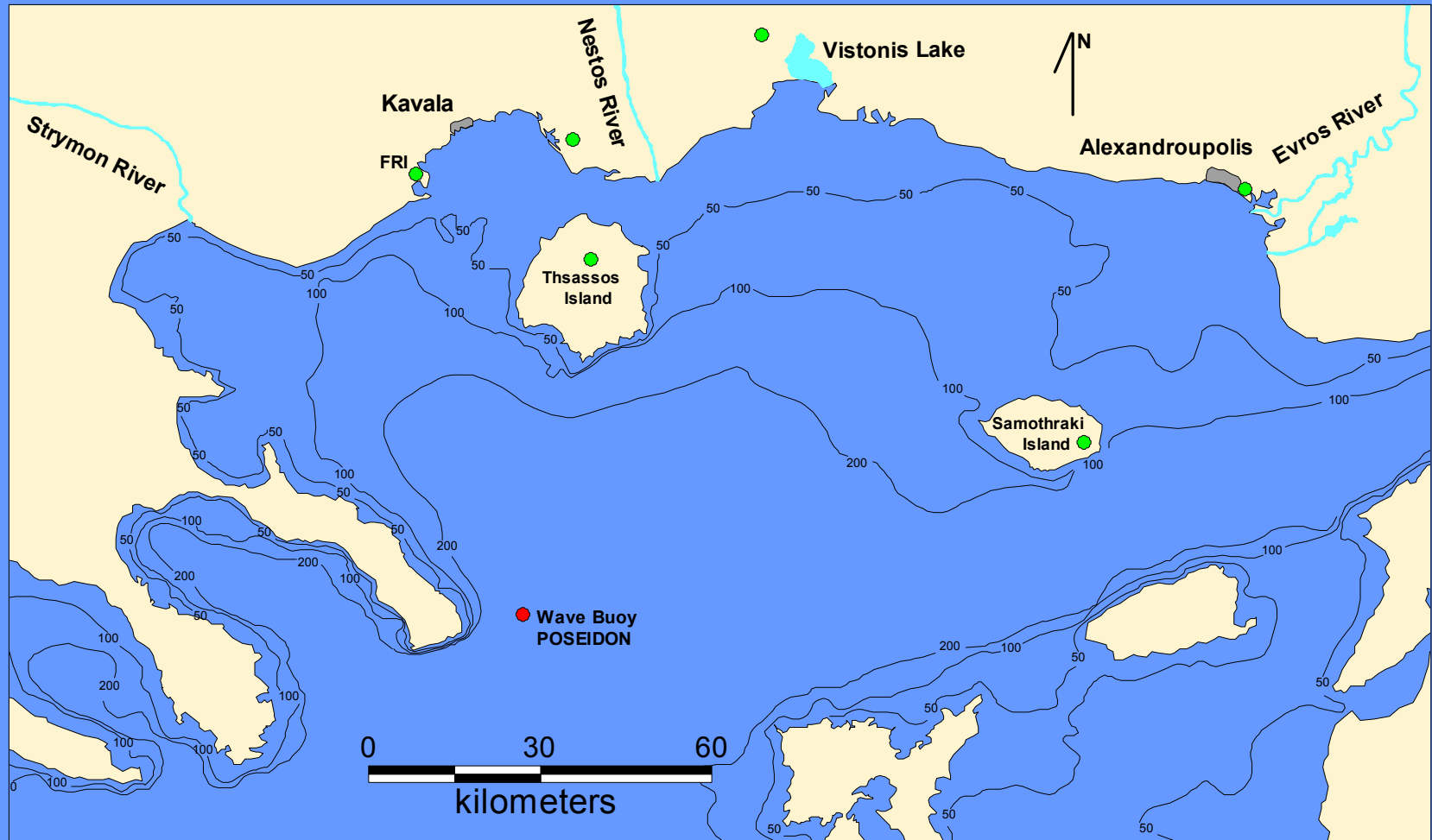


I. Βαθυμετρική Αποτύπωση Υφαλοκρηπίδας Περιφέρειας ΑΜΘ



- Μεγάλου πλάτους υφαλοκρηπίδα, επίδραση έντονων N-NA ανέμων
- Στενό Κεραμωτής – Θάσου \Rightarrow επιτάχυνση παράκτιων ρευμάτων
- Σημαντική κλίση πυθμένα νότια της Ν. Θάσου & ΝΑ της Ν. Σαμοθράκης

Μετεωρολογικοί & Κυματικοί Σταθμοί στη Περιφέρεια Α.Μ.Θ

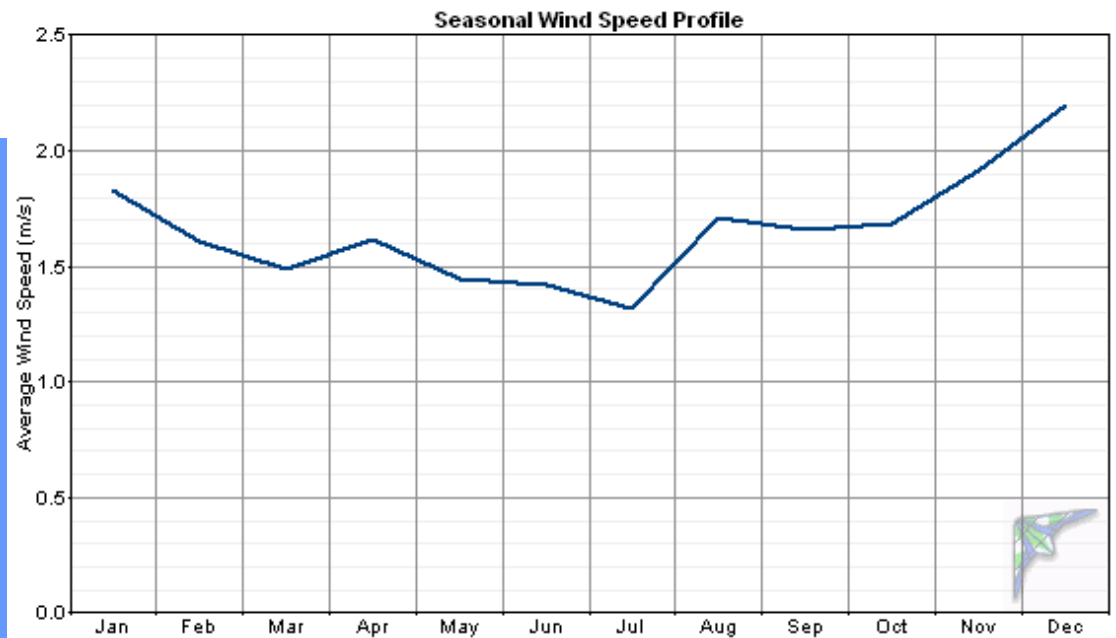
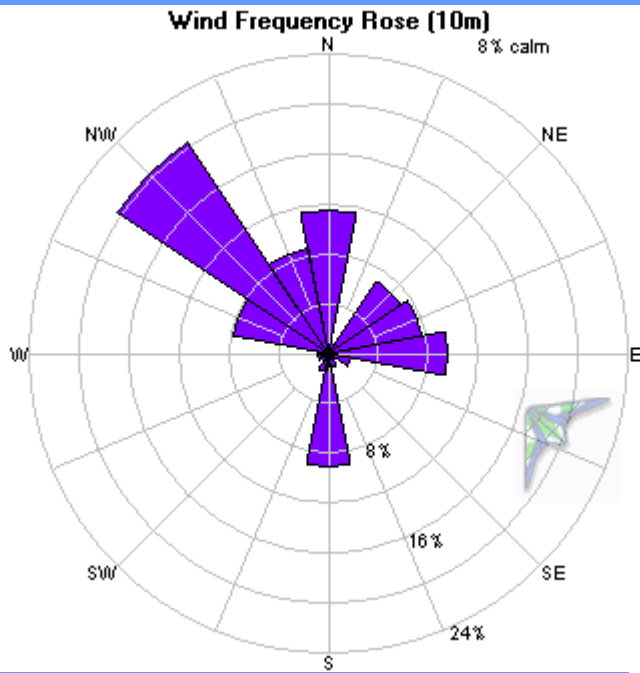


- Στη περιοχή δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις κυμάτων - ρευμάτων
- Συστηματική συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων από 6 παράκτιους σταθμούς
- Κύματα και ρεύματα μεγάλου βάθους καταγράφονται από το σταθμό POSEIDON

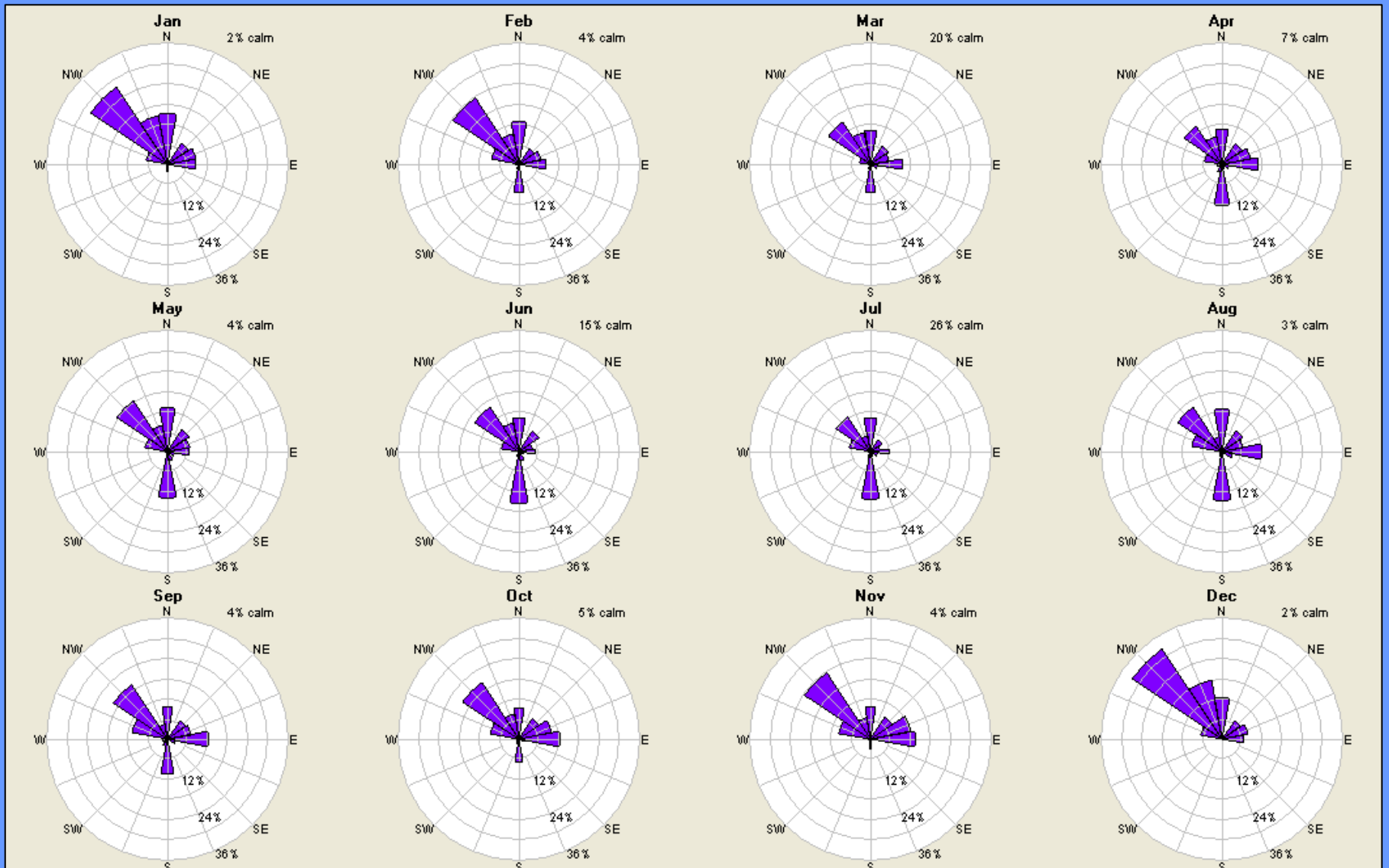
Μετεωρολογικοί Σταθμοί Περιφέρειας Α.Μ.Θ

Θέση Σταθμού	Γεωγραφικό Μήκος	Γεωγραφικό Πλάτος	Υψόμετρο (μ)	Περίοδος Μέτρησης (Χρονικό Βήμα)	Μετρούμενες Παράμετροι
Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας, Νέα Πέραμος	24° 40' Ε	40° 55' Ν	30	5/1998 – 12/2005 (ανά 30 λεπτά)	Θερμοκρασία Αέρα (μέση, ελάχιστη, μέγιστη), Υγρασία Αέρα, Βαρομετρική Πίεση, Βροχόπτωση, Ένταση Ανέμου (μέση και μέγιστη), Διεύθυνση Ανέμου.
Πλωτός Θαλάσσιος Σταθμός Δικτύου POSEIDON	24° 31' 16.73" Ε	40° 10' 6.86" Ν	0	5/2000 – 6/2006 (ανά 3 ώρες)	Μέση Ένταση Ανέμου & Διεύθυνση Ανέμου, Ριπή Ανέμου.
Αεροδρόμιο Καβάλας, Χρυσούπολη	24° 36' 0.00" Ε	40° 58' 48.00" Ν	5.4	1/1984 – 12/1993 (ανά 8 ώρες)	Μηνιαία συχνότητα (%) εμφάνισης έντασης ανέμου ανά διεύθυνση
Μετεωρολογικός Σταθμός Διομήδειας, Κομοτηνή	24° 56' 34.00" Ε	41° 06' 04.00" Ν	40	5/2003 – 12/2004 (ανά 8 ώρες)	Μέση Ένταση Ανέμου & Διεύθυνση Ανέμου
Μετεωρολογικός Σταθμός Νήσου Σαμοθράκης, Καμαριώτισσα	25° 46' 07.00" Ε	40° 48' 03.00" Ν	0	4/2001 – 12/2005 (μέσες ημερήσιες τιμές)	Μέση Ένταση Ανέμου & Διεύθυνση Ανέμου

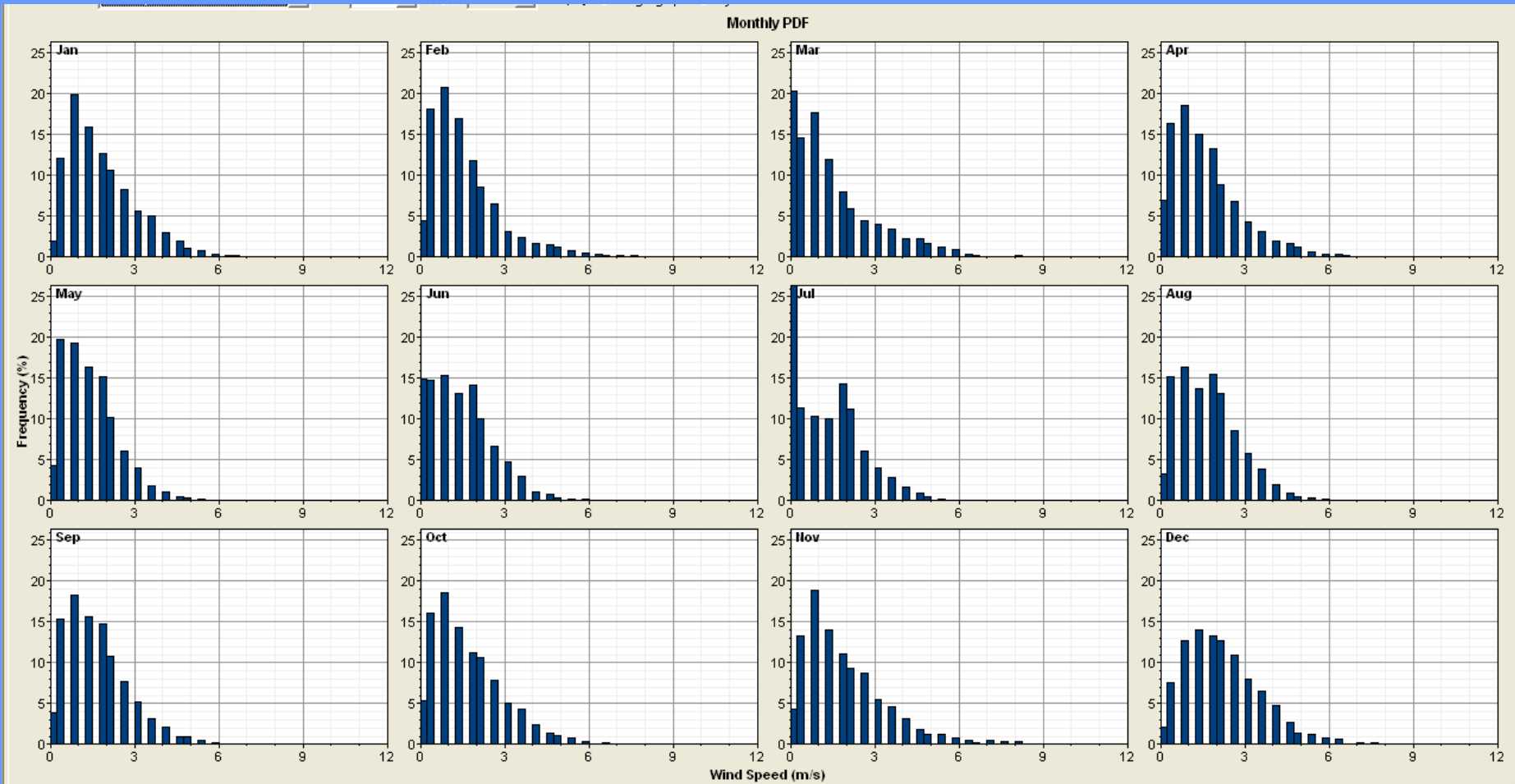
Χαρακτηριστική Ροζέτα Ανέμου και Εποχιακή Μεταβολή Ταχύτητας Ανέμου



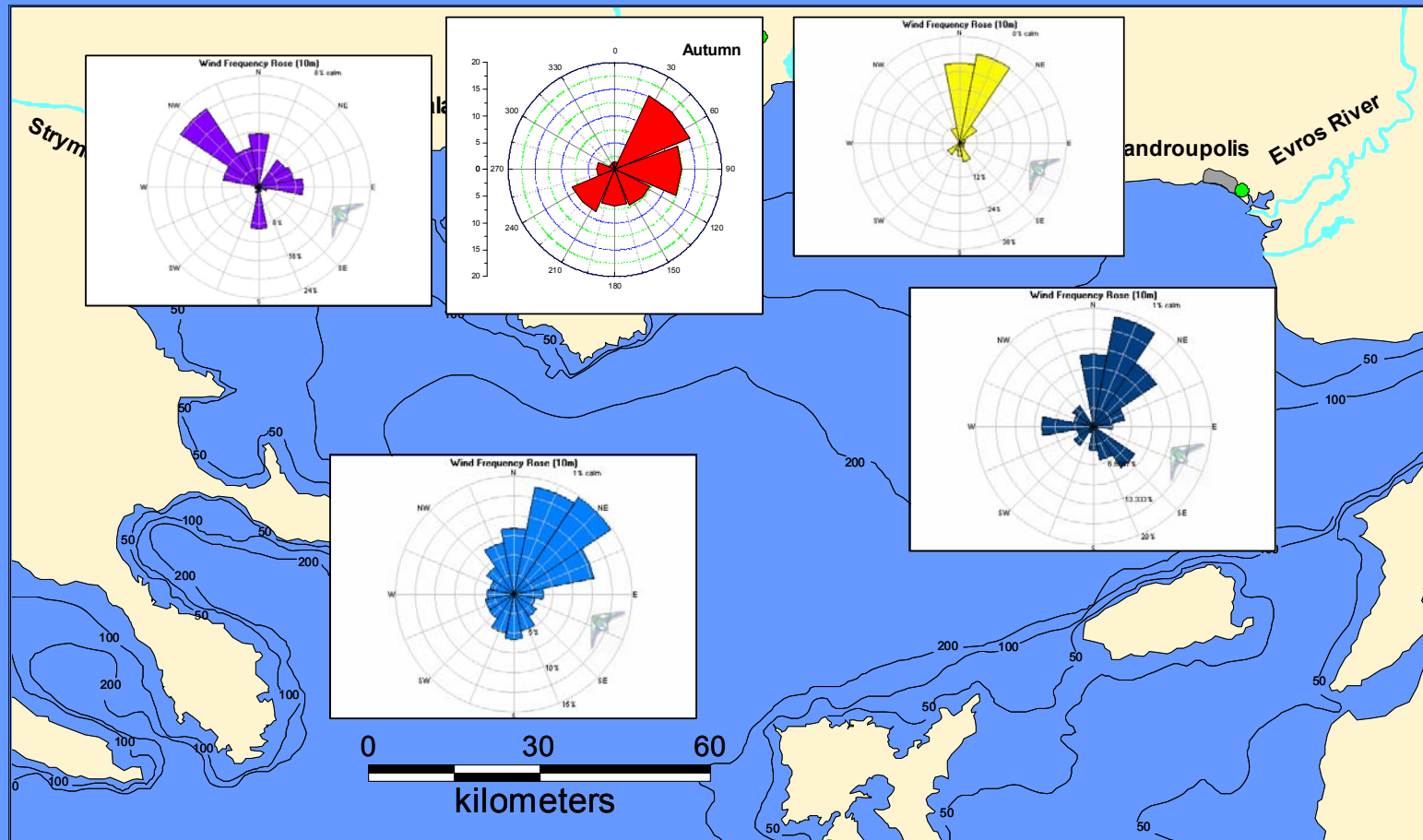
Μηνιαίες Ροζέτες Ανέμου



Μηνιαία Ιστογράμματα Κατανομής Ταχύτητας Ανέμου



Ροζέτες Ανέμου προερχόμενες από την Ανάλυση Ιστορικών Μετεωρολογικών Δεδομένων



- Οι σταθμοί ανοικτής θάλασσας χαρακτηρίζονται από ΒΒΑ και ΒΑ ανέμους (συχνότητα 40%; Μέση ταχύτητα 4.5 m/s, μέγιστη ταχύτητα 22 m/s) και ΝΝΑ – ΝΝΔ ανέμους με συχνότητα 23%
- Οι παράκτιοι σταθμοί χαρακτηρίζονται από ΒΒΑ ανέμους (συχνότητα 15-30%, μέση ταχύτητα 5.7 m/s, μέγιστη ταχύτητα 22.6 m/s)

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΜΟΥ POSEIDON

ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΗ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Ocean Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/oceaneng



A fuzzy inference system for wind-wave modeling

Georgios Sylaios^{a,*}, Frédéric Bouchette^b, Vassilios A. Tsihrintzis^a, Cléa Denamiel^b

^a *Laboratory of Ecological Engineering & Technology, Department of Environmental Engineering, School of Engineering, Democritus University of Thrace, 67100 Xanthi, Greece*

^b *Université Montpellier II, Géosciences-M/GLADYS, 34095 Montpellier, France*

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 August 2008

Accepted 30 August 2009

Available online 9 September 2009

Keywords:

Wave prediction

Fuzzy inference system

Significant wave-height forecasting

Zero-up-crossing period forecasting

POSEIDON ocean-monitoring system.

ABSTRACT

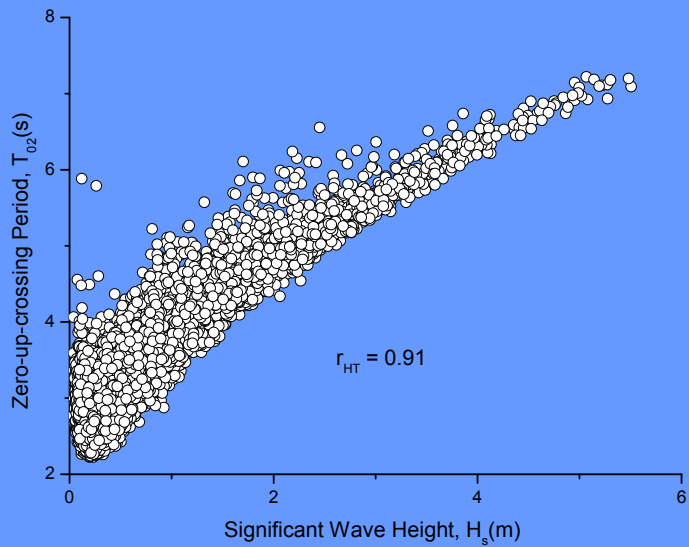
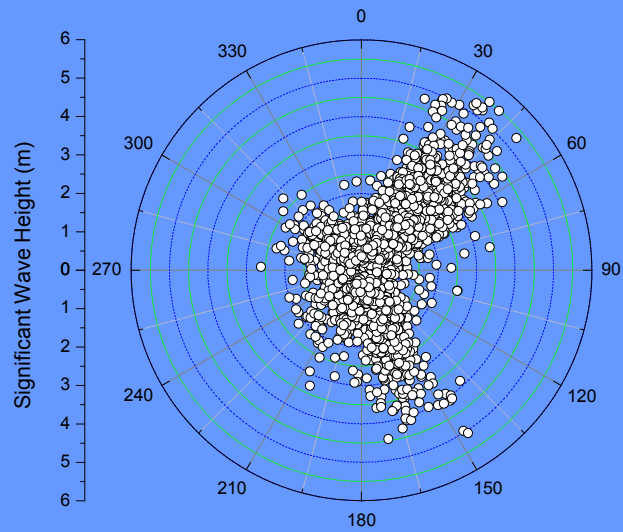
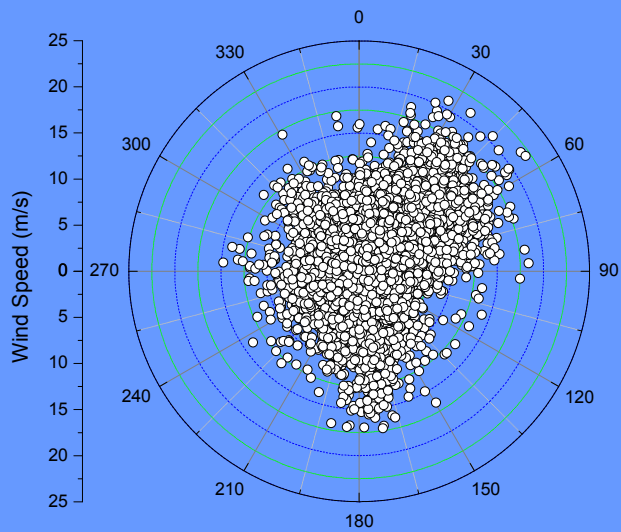
Forecasting of sea-state characteristics, with warning time of a few hours, appears a necessity in Operational Oceanography, linking sophisticated marine monitoring systems with forecasting modeling tools. In this paper, instead of using conventional numerical models, a Takagi–Sugeno-rule-based Fuzzy Inference System (FIS) was developed aiming at forecasting wave parameters based on the wind speed and direction, and the lagged-wave characteristics. Initial and final antecedent fuzzy membership functions were identified using the subtractive clustering method. The model was applied on the wind and wave dataset recorded in years 2000–2006 by an oceanographic buoy deployed in the Aegean Sea. The model showed perfect fit for the training period (2000–2005; 12,274 data points), and expanded its hindcasting ability during 2006 (1044 data points), as the verification part of the series. Model results, for a lead time of 3 h, showed good agreement between the predicted and the observed significant wave

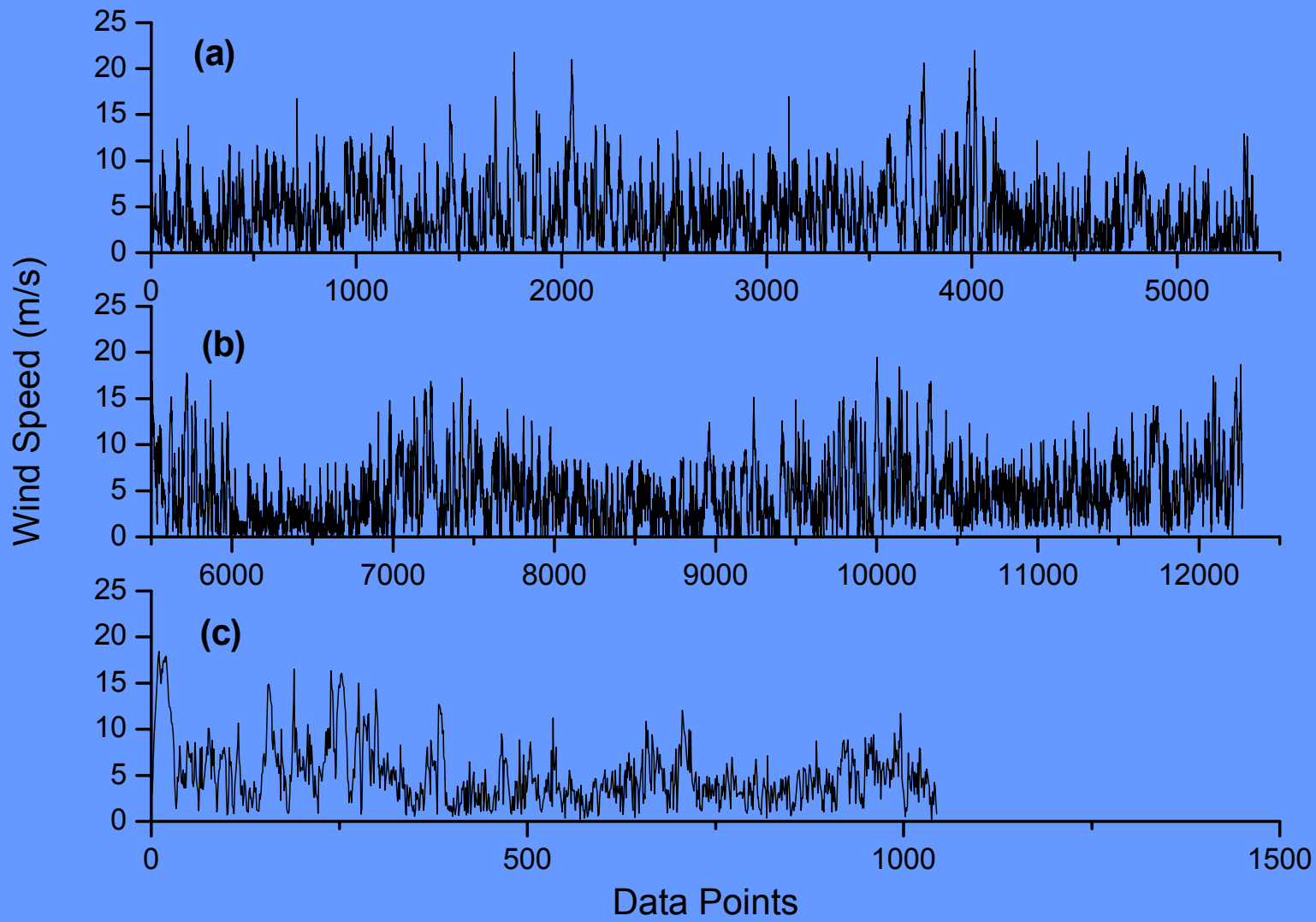
Table 1. Statistical parameters for the wind and wave POSEIDON dataset recorded in Athos Peninsula during 2000-2006 (N = 13,315).

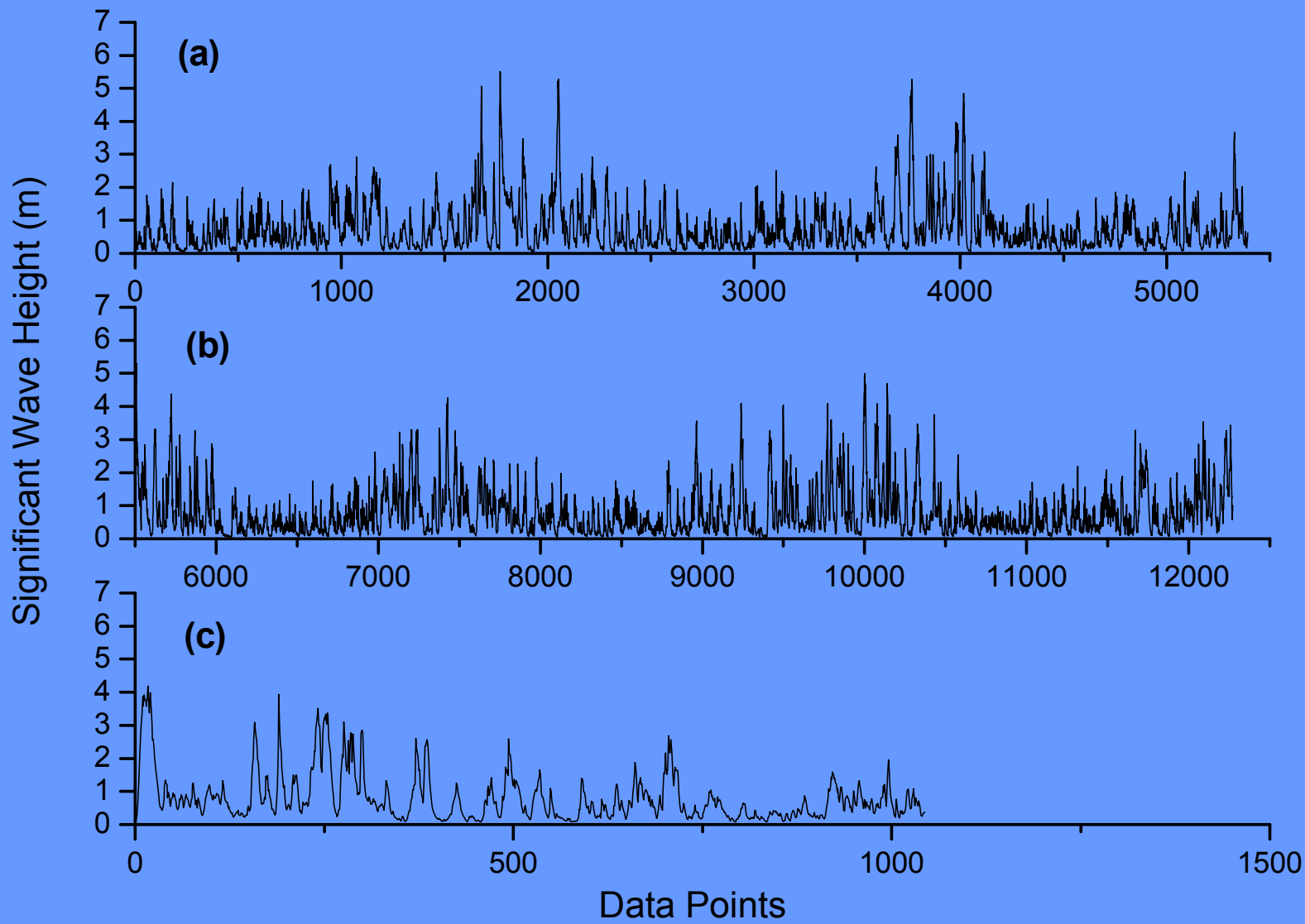
	W (m/s)	H _S (m)	T ₀₂ (sec)
Mean	4.69	0.795	3.53
Median	3.99	0.55	3.35
Std Dev	3.55	0.73	0.81
Max	21.96	5.50	7.21
Skewness	1.04	2.00	1.12
Kurtosis	1.04	5.16	1.30

Table 2. Wave frequency analysis for Athos POSEIDON buoy.

Direction	Frequency (%)	Max H _S (m)	Max T ₀₂ (s)
N	3.53	2.34	5.42
NNE	10.59	5.45	7.20
NE	27.19	5.50	7.20
ENE	12.13	4.40	6.73
E	2.84	3.39	6.17
ESE	2.03	2.55	5.28
SE	4.59	4.11	6.73
SSE	12.25	5.06	7.21
S	5.69	4.44	6.68
SSW	4.03	3.29	5.66
SW	2.95	2.14	4.99
WSW	2.60	2.00	5.02
W	1.80	2.61	5.24
WNW	2.12	2.27	5.12
NW	3.14	2.76	5.17
NNW	2.52	2.26	4.89







Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Period	Wind POT			Wave POT			
	Wt = 8	Wt = 10	Wt = 12	Ht = 1.5	Ht = 1.75	Ht = 2.0	Ht = 3.0
June 2000	4	3	1	4	3	1	0
July 2000	6	5	0	3	1	0	0
August 2000	13	6	1	5	1	0	0
September2000	15	11	6	7	7	3	0
October2000	14	11	3	10	9	5	0
November2000	6	2	1	2	1	1	0
December2000	9	3	1	8	5	4	2
January 2001	4	2	1	5	4	3	1
March2001	10	7	6	7	7	4	2
April2001	9	6	4	7	6	5	1
May2001	4	3	2	4	4	2	0
June2001	6	4	0	4	3	2	0
July 2001	6	3	0	2	1	1	0
August 2001	11	7	1	7	4	1	0
September 2001	9	4	0	6	2	0	0
October2001	8	6	4	3	2	2	1
November2001	9	8	6	8	8	7	3
December2001				10	9	8	7

Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Πίνακας 5. Περίληψη μοντέλων κατανομών.

Μοντέλο	Εξίσωση	Y	X	A	B
Normal	$P = \Phi\left(\frac{H - \bar{H}}{s_H}\right)$	$\Phi^{-1}(P) = Z$	H	1/s _H	-H/s _H
Log-Normal	$P = \Phi\left(\frac{\ln H - \overline{\ln H}}{s_{\ln H}}\right)$	$\Phi^{-1}(P) = Z$	lnH	1/ s _{lnH}	-lnH/s _{lnH}
Gumbel	$P = \exp\left(-\exp\left(-\frac{H - \gamma}{\beta}\right)\right)$	$-\ln\left(\ln\frac{1}{P}\right)$	H	1/β	-γ/β
Weibull	$Q = \exp\left(-\left(\frac{H - \gamma}{\beta}\right)^a\right)$	$\left(\ln\frac{1}{Q}\right)^{1/a}$	H	1/β	-γ/β

Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Wave POT Analysis									
Ht	N	P	Q	Z	lnH	G	W (a=0.8)	W(a=1.0)	W (a=1.3)
1.50	0								
1.75	72	0.259	0.741	-0.648	0.560	-0.301	0.222	0.300	0.396
2.00	52	0.446	0.554	-0.139	0.693	0.214	0.518	0.591	0.667
2.25	27	0.543	0.457	0.109	0.811	0.494	0.737	0.783	0.829
2.50	30	0.651	0.349	0.389	0.916	0.846	1.067	1.053	1.040
2.75	18	0.716	0.284	0.570	1.012	1.096	1.333	1.258	1.193
3.00	19	0.784	0.216	0.788	1.099	1.414	1.706	1.533	1.389
3.25	10	0.820	0.180	0.918	1.179	1.618	1.963	1.716	1.515
3.50	14	0.871	0.129	1.130	1.253	1.976	2.444	2.044	1.733
3.75	8	0.899	0.101	1.279	1.322	2.243	2.825	2.295	1.895
4.00	5	0.917	0.083	1.398	1.386	2.449	3.131	2.492	2.019
4.25	6	0.939	0.061	1.549	1.447	2.763	3.613	2.794	2.204
4.50	4	0.953	0.047	1.679	1.504	3.039	4.052	3.063	2.366
4.75	3	0.964	0.036	1.799	1.558	3.307	4.490	3.325	2.520
5.00	3	0.975	0.025	1.968	1.609	3.669	5.100	3.682	2.725
5.25	2	0.982	0.018	2.099	1.658	4.009	5.689	4.018	2.915
5.50	5	1.000	0.000	3.000	1.705				

Normal Distribution

- Δημιουργώ το διάγραμμα H (x – άξονας) και Z (y – άξονας)
- Υπολογίζω το R^2 για το νέφος σημείων
- Υπολογίζω την εξίσωση $y = ax + \beta$

Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Wave POT Analysis									
Ht	N	P	Q	Z	lnH	G	W (a=0.8)	W(a=1.0)	W (a=1.3)
1.50	0								
1.75	72	0.259	0.741	-0.648	0.560	-0.301	0.222	0.300	0.396
2.00	52	0.446	0.554	-0.139	0.693	0.214	0.518	0.591	0.667
2.25	27	0.543	0.457	0.109	0.811	0.494	0.737	0.783	0.829
2.50	30	0.651	0.349	0.389	0.916	0.846	1.067	1.053	1.040
2.75	18	0.716	0.284	0.570	1.012	1.096	1.333	1.258	1.193
3.00	19	0.784	0.216	0.788	1.099	1.414	1.706	1.533	1.389
3.25	10	0.820	0.180	0.918	1.179	1.618	1.963	1.716	1.515
3.50	14	0.871	0.129	1.130	1.253	1.976	2.444	2.044	1.733
3.75	8	0.899	0.101	1.279	1.322	2.243	2.825	2.295	1.895
4.00	5	0.917	0.083	1.398	1.386	2.449	3.131	2.492	2.019
4.25	6	0.939	0.061	1.549	1.447	2.763	3.613	2.794	2.204
4.50	4	0.953	0.047	1.679	1.504	3.039	4.052	3.063	2.366
4.75	3	0.964	0.036	1.799	1.558	3.307	4.490	3.325	2.520
5.00	3	0.975	0.025	1.968	1.609	3.669	5.100	3.682	2.725
5.25	2	0.982	0.018	2.099	1.658	4.009	5.689	4.018	2.915
5.50	5	1.000	0.000	3.000	1.705				

Log-Normal Distribution

- Δημιουργώ το διάγραμμα lnH (x – άξονας) και Z (y – άξονας)
- Υπολογίζω το R² για το νέφος σημείων
- Υπολογίζω την εξίσωση $y = ax + \beta$

Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Wave POT Analysis									
Ht	N	P	Q	Z	lnH	G	W (a=0.8)	W(a=1.0)	W (a=1.3)
1.50	0								
1.75	72	0.259	0.741	-0.648	0.560	-0.301	0.222	0.300	0.396
2.00	52	0.446	0.554	-0.139	0.693	0.214	0.518	0.591	0.667
2.25	27	0.543	0.457	0.109	0.811	0.494	0.737	0.783	0.829
2.50	30	0.651	0.349	0.389	0.916	0.846	1.067	1.053	1.040
2.75	18	0.716	0.284	0.570	1.012	1.096	1.333	1.258	1.193
3.00	19	0.784	0.216	0.788	1.099	1.414	1.706	1.533	1.389
3.25	10	0.820	0.180	0.918	1.179	1.618	1.963	1.716	1.515
3.50	14	0.871	0.129	1.130	1.253	1.976	2.444	2.044	1.733
3.75	8	0.899	0.101	1.279	1.322	2.243	2.825	2.295	1.895
4.00	5	0.917	0.083	1.398	1.386	2.449	3.131	2.492	2.019
4.25	6	0.939	0.061	1.549	1.447	2.763	3.613	2.794	2.204
4.50	4	0.953	0.047	1.679	1.504	3.039	4.052	3.063	2.366
4.75	3	0.964	0.036	1.799	1.558	3.307	4.490	3.325	2.520
5.00	3	0.975	0.025	1.968	1.609	3.669	5.100	3.682	2.725
5.25	2	0.982	0.018	2.099	1.658	4.009	5.689	4.018	2.915
5.50	5	1.000	0.000	3.000	1.705				

Gumbel

-Ορίζω τη παράμετρο $G = -\ln(\ln \frac{1}{P})$

-Υπολογίζω τα G του πίνακα

-Δημιουργώ το διάγραμμα H (x-άξονας) & G (y-άξονας)

-Υπολογίζω την εξίσωση

Η Μέθοδος Επεξεργασίας POT

Wave POT Analysis									
Ht	N	P	Q	Z	lnH	G	W (a=0.8)	W(a=1.0)	W (a=1.3)
1.50	0								
1.75	72	0.259	0.741	-0.648	0.560	-0.301	0.222	0.300	0.396
2.00	52	0.446	0.554	-0.139	0.693	0.214	0.518	0.591	0.667
2.25	27	0.543	0.457	0.109	0.811	0.494	0.737	0.783	0.829
2.50	30	0.651	0.349	0.389	0.916	0.846	1.067	1.053	1.040
2.75	18	0.716	0.284	0.570	1.012	1.096	1.333	1.258	1.193
3.00	19	0.784	0.216	0.788	1.099	1.414	1.706	1.533	1.389
3.25	10	0.820	0.180	0.918	1.179	1.618	1.963	1.716	1.515
3.50	14	0.871	0.129	1.130	1.253	1.976	2.444	2.044	1.733
3.75	8	0.899	0.101	1.279	1.322	2.243	2.825	2.295	1.895
4.00	5	0.917	0.083	1.398	1.386	2.449	3.131	2.492	2.019
4.25	6	0.939	0.061	1.549	1.447	2.763	3.613	2.794	2.204
4.50	4	0.953	0.047	1.679	1.504	3.039	4.052	3.063	2.366
4.75	3	0.964	0.036	1.799	1.558	3.307	4.490	3.325	2.520
5.00	3	0.975	0.025	1.968	1.609	3.669	5.100	3.682	2.725
5.25	2	0.982	0.018	2.099	1.658	4.009	5.689	4.018	2.915
5.50	5	1.000	0.000	3.000	1.705				

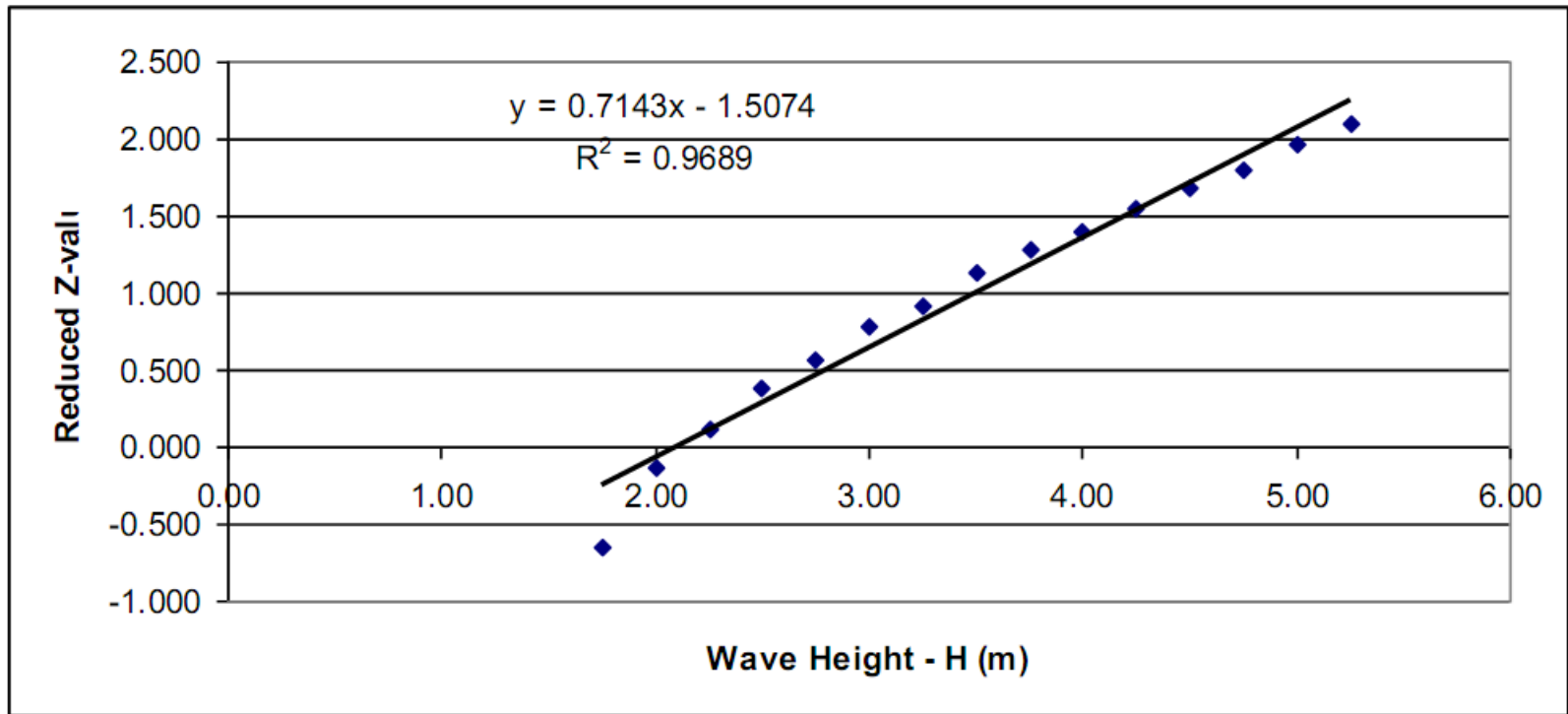
Weibull

-Ορίζω τη παράμετρο $W = \left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/\alpha}$

-Υπολογίζω τα W του πίνακα

-Δημιουργώ το διάγραμμα H (x-άξονας) & W (y-άξονας)

-Υπολογίζω την εξίσωση



Σχήμα 11. Κανονική κατανομή δεδομένων για $H_t = 1.5$ m.

Η περίοδος επαναφοράς T_R του ύψους κύματος H μπορεί πλέον να προσδιοριστεί με βάση τον αριθμό των γεγονότων ανά έτος (λ) και τη πιθανότητα υπέρβασης ενός γεγονότος:

$$Q = \frac{1}{\lambda T_R}$$

που σημαίνει:

$$P = \left(1 - \frac{1}{\lambda T_R} \right)$$

Με βάση τη κατανομή που χρησιμοποιήσαμε, το ύψος κύματος H_{TR} δίνεται:

Κανονική κατανομή

$$H_{TR} = \bar{H} + s_H \Phi^{-1}(P) = \bar{H} + s_H \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\lambda T_R}\right)$$

Log-Normal

$$\ln H_{TR} = \overline{\ln H} + s_{\ln H} \Phi^{-1}(P) = \overline{\ln H} + s_{\ln H} \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\lambda T_R}\right)$$

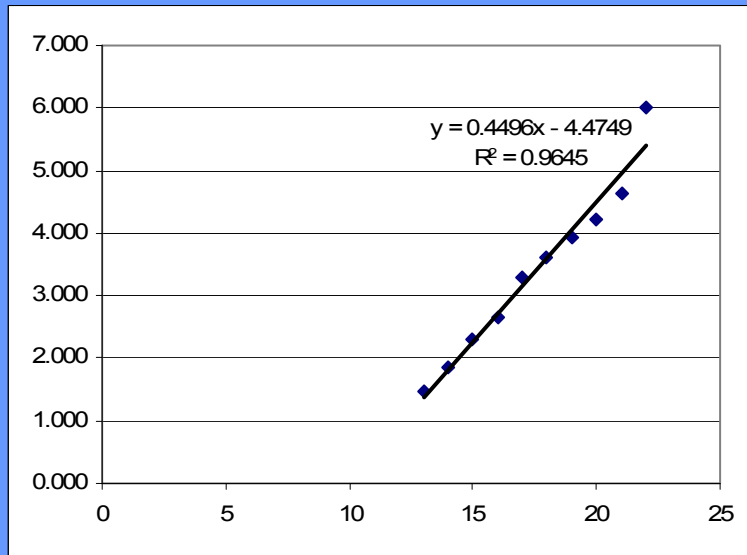
Gumbel

$$H_{TR} = \gamma - \beta \ln\left(\ln \frac{1}{P}\right) = \gamma - \beta \ln\left(\ln \left\{ \frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1} \right\}\right)$$

Weibull

$$H_{TR} = \gamma + \beta \ln\left(\ln \frac{1}{Q}\right)^{1/a} = \gamma + \beta (\ln(\lambda T_R))^{1/a}$$

Gumbel Wind POT Analysis

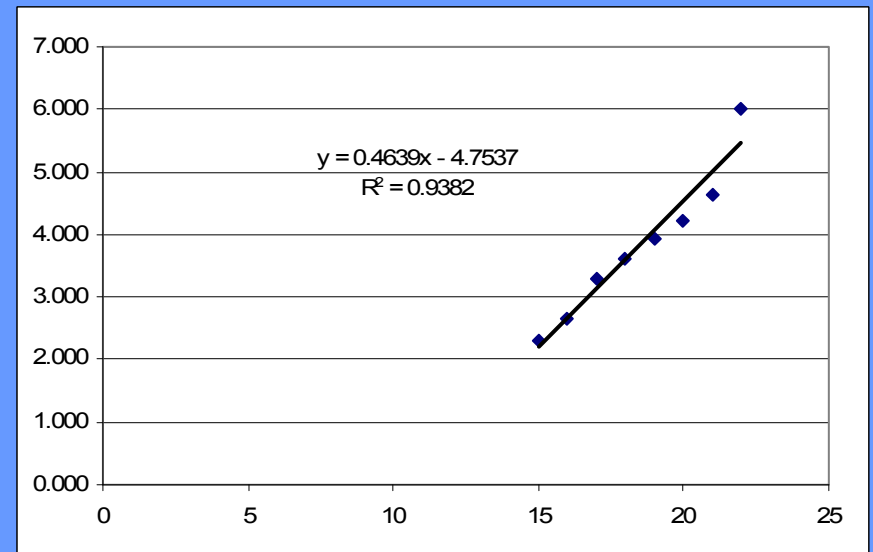


A 0.449
B -4.475

beta 2.227
gamma 9.966

A 0.464
B -4.754

beta 2.156
gamma 10.247



Log-Normal

Ht	Lam	Ln H	s	20	50	100	200	75
8.0	68.3	2.37	0.272	25.29	27.12	28.50	29.90	27.93
10.0	52.2	2.34	0.283	25.08	27.01	28.48	29.95	27.87
12.0	28.8	2.34	0.286	23.95	25.90	27.39	28.88	26.77

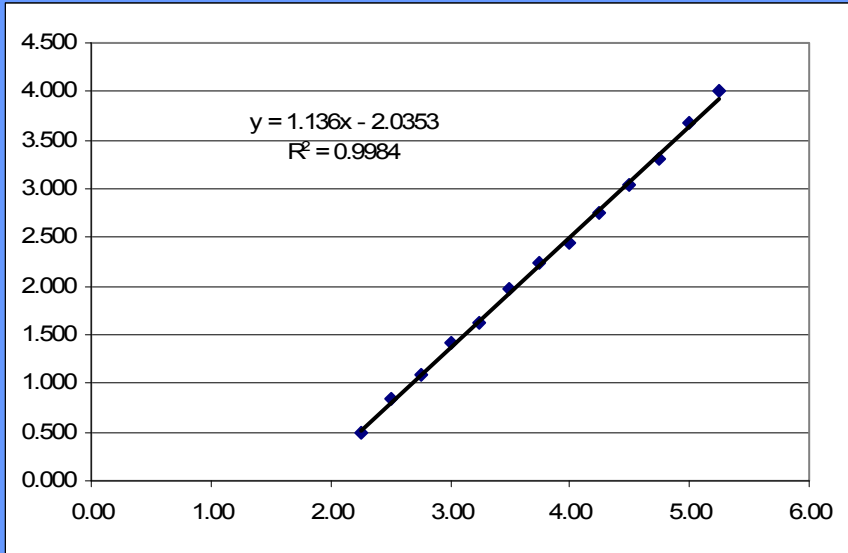
Gumbel

Ht	Lam	Beta	Gamma	20	50	100	200	75
8.0	68.3	2.25	9.84	26.10	28.17	29.73	31.29	29.08
10.0	52.2	2.23	9.97	25.44	27.49	29.03	30.57	28.39
12.0	28.8	2.16	10.247	23.95	25.93	27.42	28.91	26.80

Weibull

Ht	Lam	Al	Beta	Gamma	20	50	100	200	75
8.0	68.3	1.3	3.89	7.607	25.39	27.11	28.37	29.62	27.85
10.0	52.2	1.0	2.46	8.98	26.10	28.36	30.06	31.77	29.36
12.0	28.8	0.8	1.56	9.884	25.67	28.56	30.81	33.11	29.87

Gumbel Wave POT Analysis

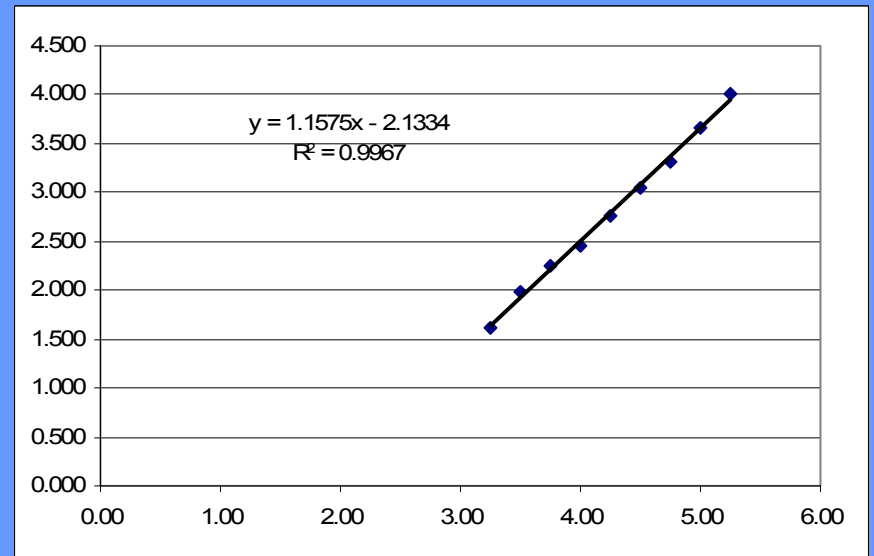


A 1.136
B -2.035

beta 0.880
gamma 1.792

A 1.158
B -2.133

beta 0.864
gamma 1.843



Log-Normal

Ht	Lam	Ln H	s	20	50	100	200	75
1.50	46.5	0.78	0.425	8.03	8.98	9.73	10.50	9.42
1.75	34.83	0.76	0.439	7.91	8.90	9.69	10.50	9.36
2.00	26	0.76	0.437	7.58	8.55	9.32	10.11	9.00
3.00	10.6	0.791	0.419	6.54	7.42	8.11	8.81	7.82

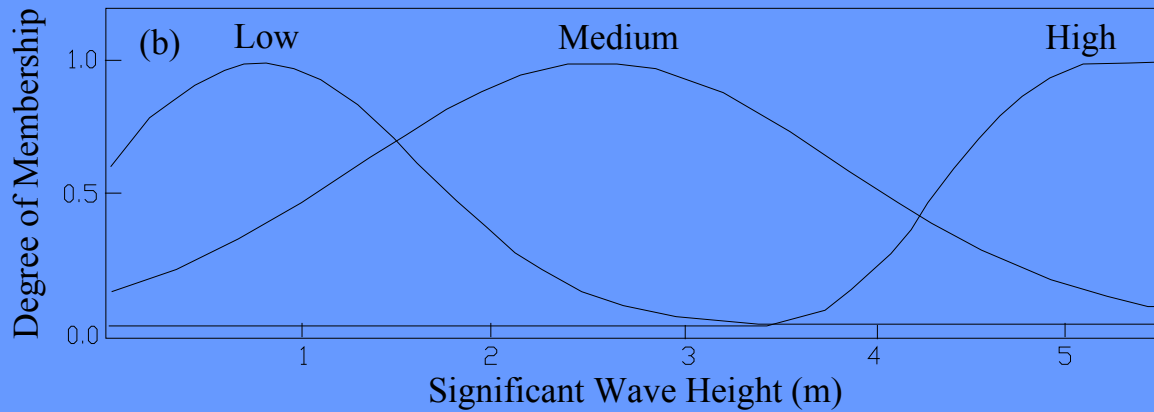
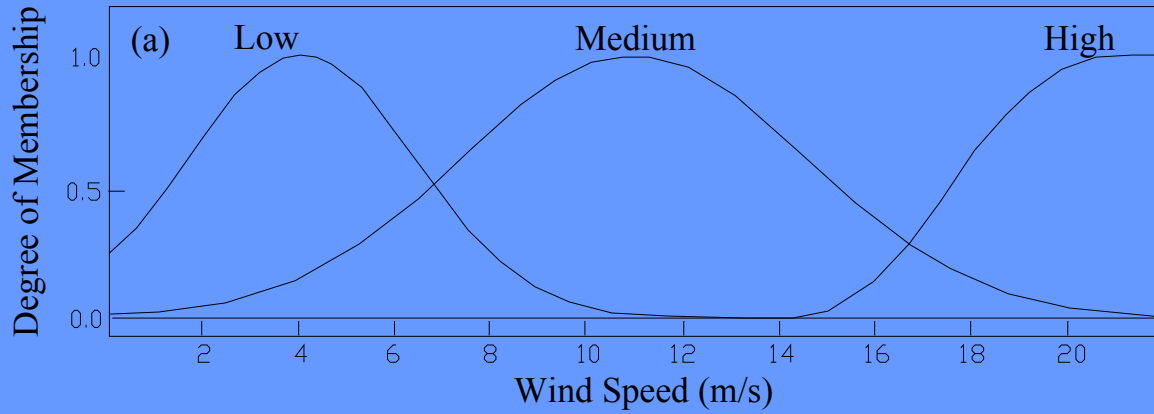
Gumbel

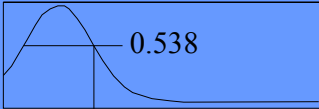
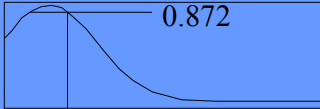
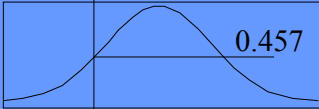
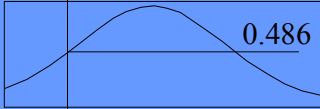
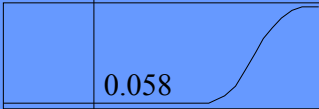
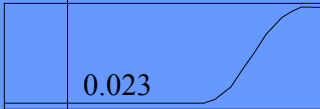
Ht	Lam	Beta	Gamma	20	50	100	200	75
1.50	46.5	0.86	1.85	7.73	8.51	9.11	9.71	8.86
1.75	34.83	0.88	1.80	7.54	8.35	8.96	9.57	8.70
2.00	26	0.88	1.792	7.29	8.10	8.71	9.32	8.46
3.00	10.6	0.86	1.843	6.47	7.26	7.86	8.46	7.61

Weibull

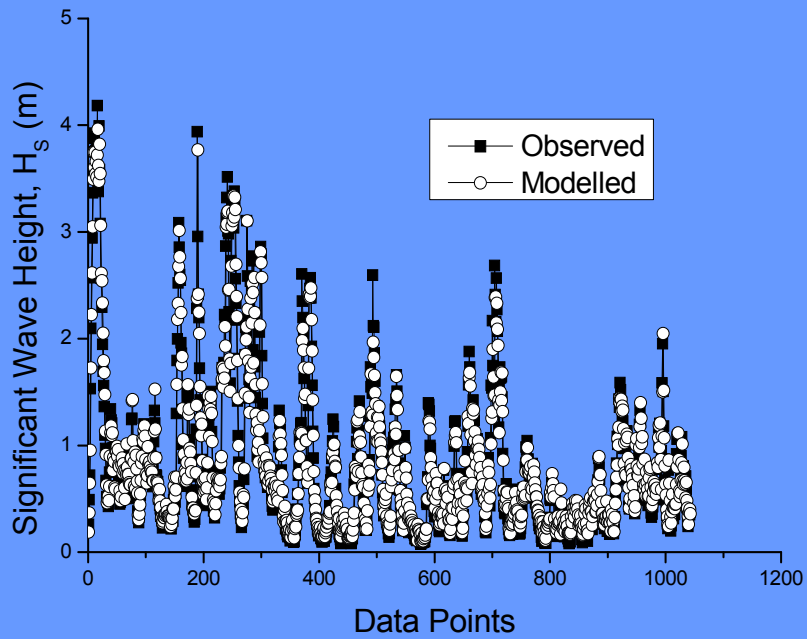
Ht	Lam	Al	Beta	Gamma	20	50	100	200	75
1.50	46.5	1.3	1.45	1.051	7.39	8.04	8.51	8.98	8.32
1.75	34.83	1.0	0.97	1.505	7.83	8.71	9.38	10.05	9.11
2.00	26	0.8	0.65	1.804	8.27	9.48	10.42	11.37	10.02
3.00	10.6	0.8	0.55	2.203	6.71	7.69	8.46	9.25	8.14

Μοντέλο Ασαφούς Λογικής

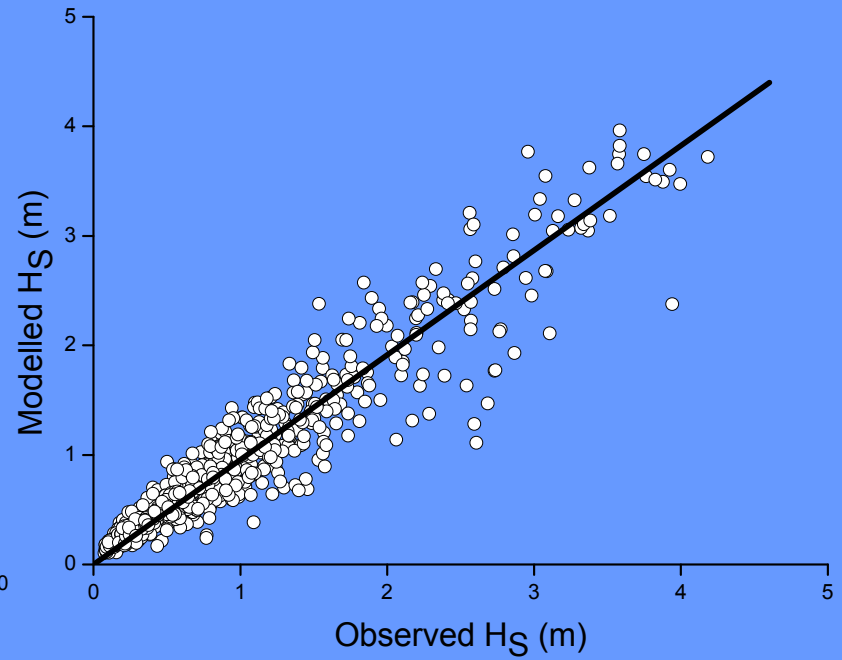


Rules	Antecedent	Consequent	Rule i
R1			$y = 1.095$ $0.538 \times 0.872 = 0.469$
R2			$y = 1.064$ $0.457 \times 0.486 = 0.222$
R3			$y = 0.466$ $0.058 \times 0.023 = 0.001$

$$y = \frac{0.469 \times 1.095 + 0.222 \times 1.064 + 0.001 \times 0.466}{(0.469 + 0.222 + 0.001)} = 1.084 \text{ m}$$



(a)

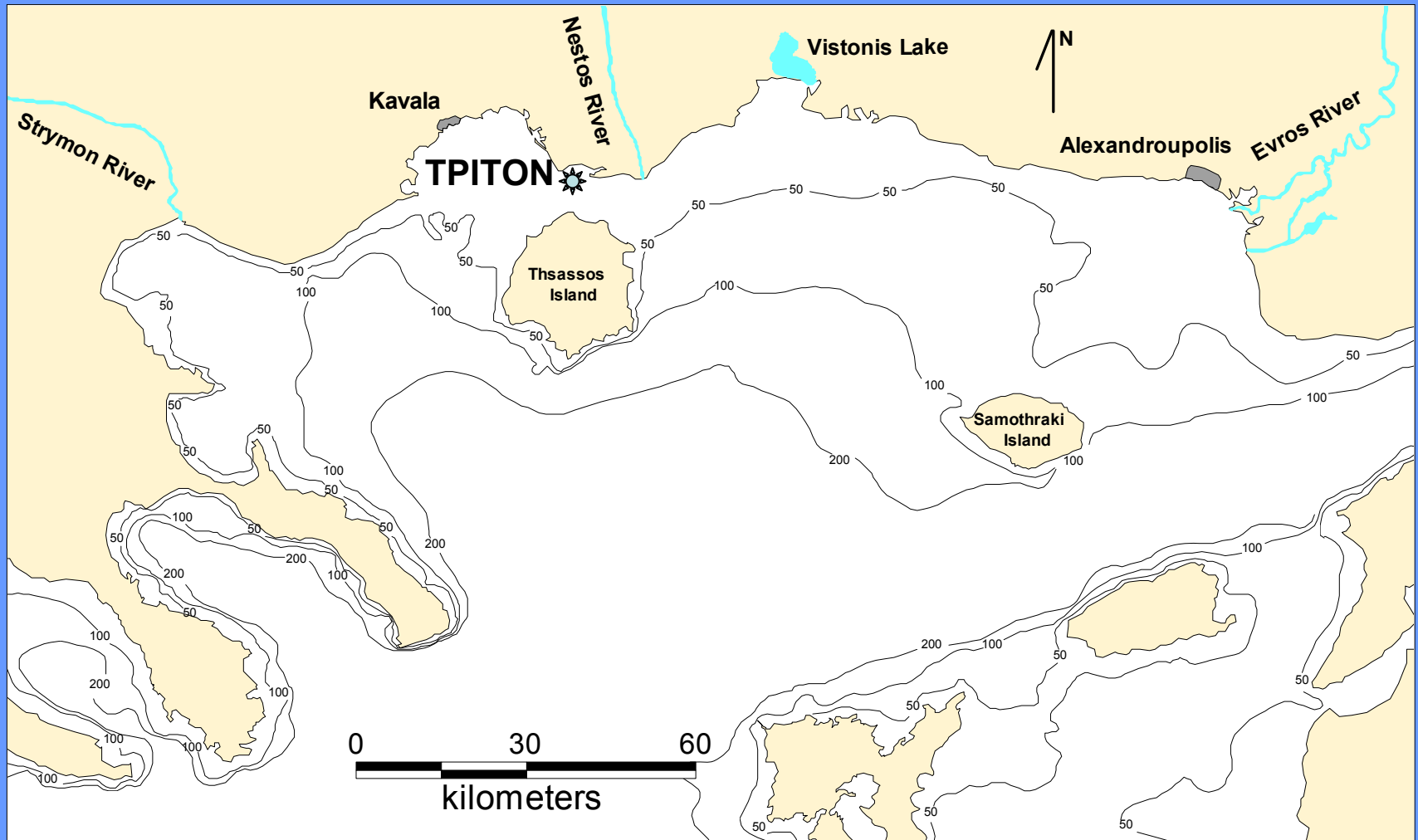


(b)

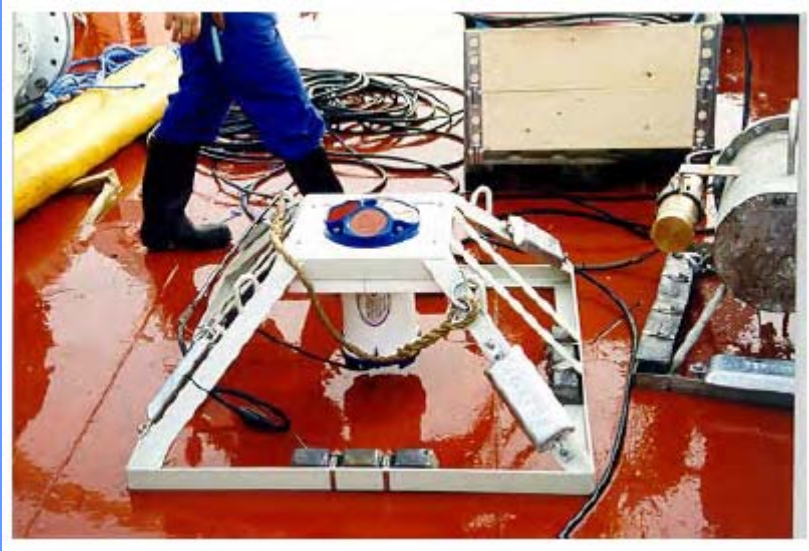
Table 5. Performance criteria for significant wave height and zero-up-crossing period prediction, using TS fuzzy models with different prediction intervals.

Hours	H_S				T_{02}			
	RMSE	SI (%)	γ	R^2	RMSE	SI (%)	γ	R^2
+3 hrs	0.074	9.21	0.956	0.904	0.218	6.12	0.991	0.850
+6 hrs	0.306	37.92	0.927	0.771	0.484	13.56	0.986	0.640
+9 hrs	0.536	66.25	0.893	0.616	0.647	18.13	0.981	0.353

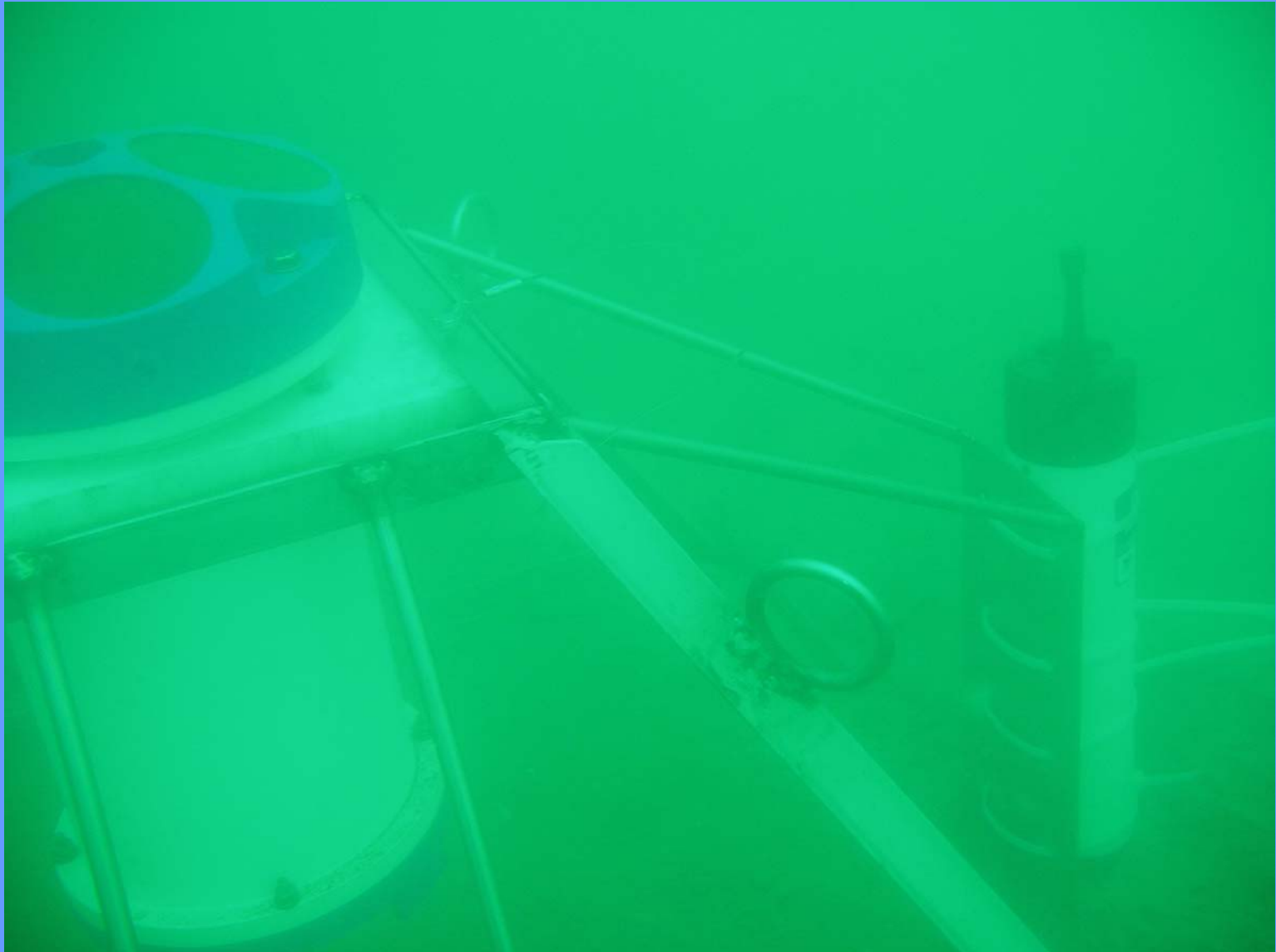
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ 'TRITON' ΣΤΙΣ ΕΚΒΟΛΕΣ Π. ΝΕΣΤΟΥ



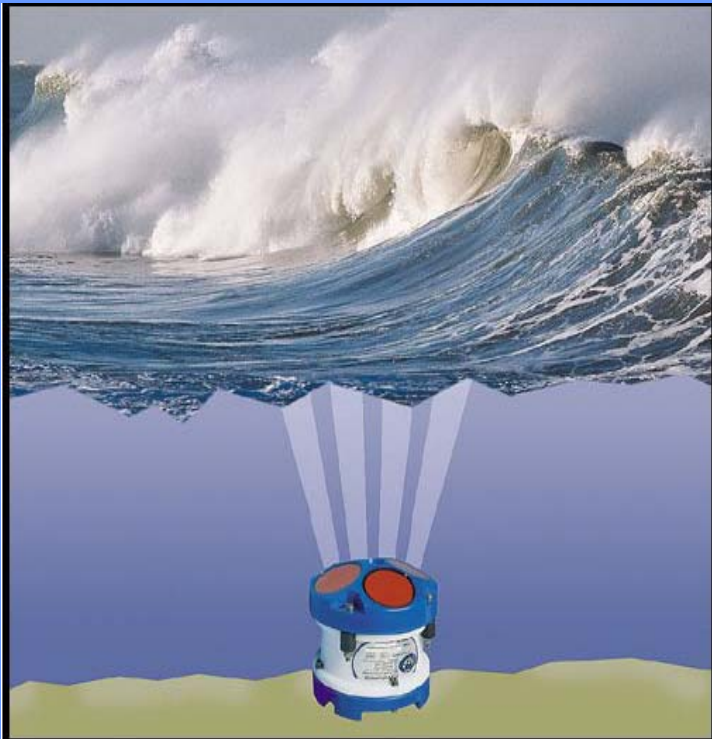
Wave & Currents Monitoring in the Coastal Waters



Πόντιση ADCP και θολερόμετρου στο βυθό στις εκβολές π. Νέστου



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ 'TRITON'



Σύστημα ADCP Sentinel 300 KHz (TRDI)

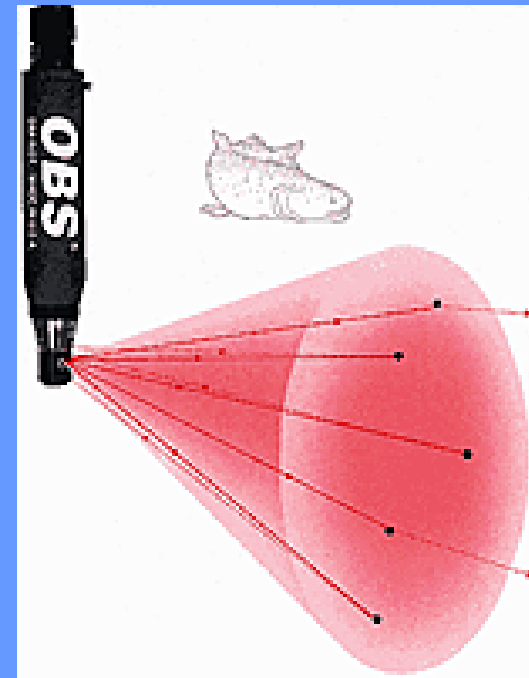
Περιλαμβάνει:

- κατευθυντικό κυματογράφο (Wave Array)
- κατευθυντικό ρευματογράφο σε ολόκληρη την υδάτινη στήλη (directional current-meter)
- παλιρροιογράφο (tide gauge)
- αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας νερού πυθμένα

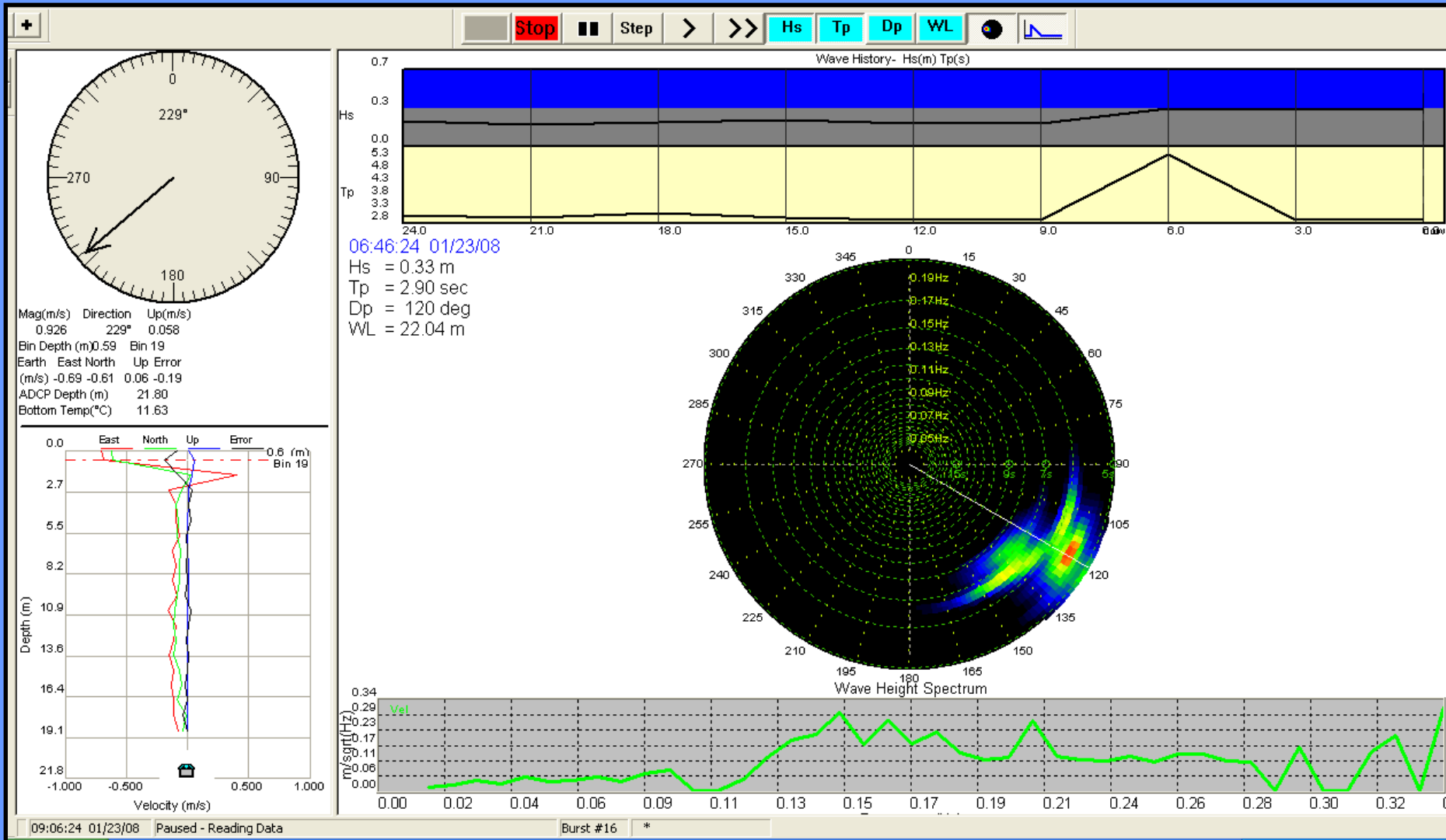
Σύστημα καταγραφής θολερότητας OBS 3A

Περιλαμβάνει:

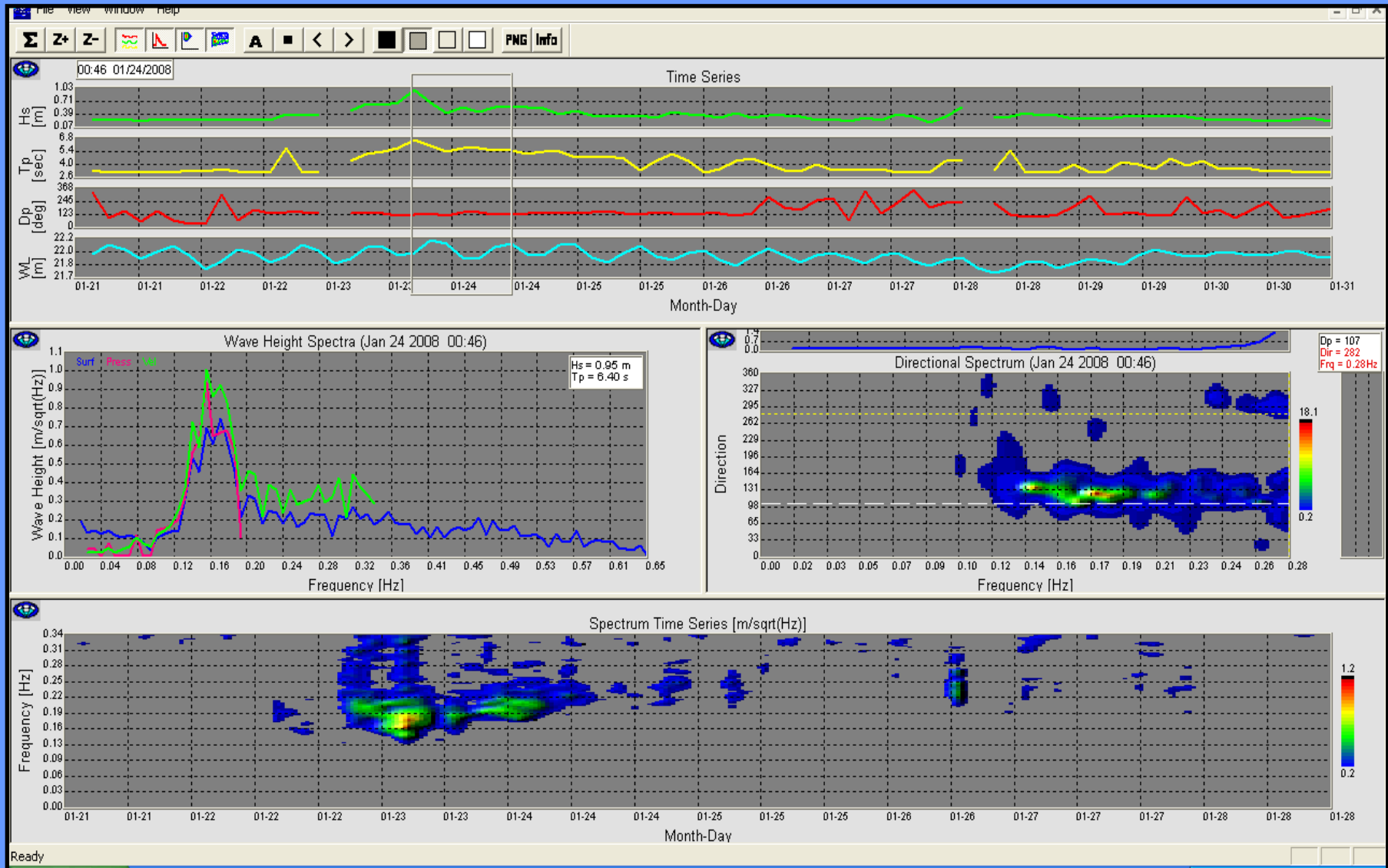
- Αισθητήρα πίεσης
- Αισθητήρα αγωγιμότητας
- Αισθητήρα θερμοκρασίας



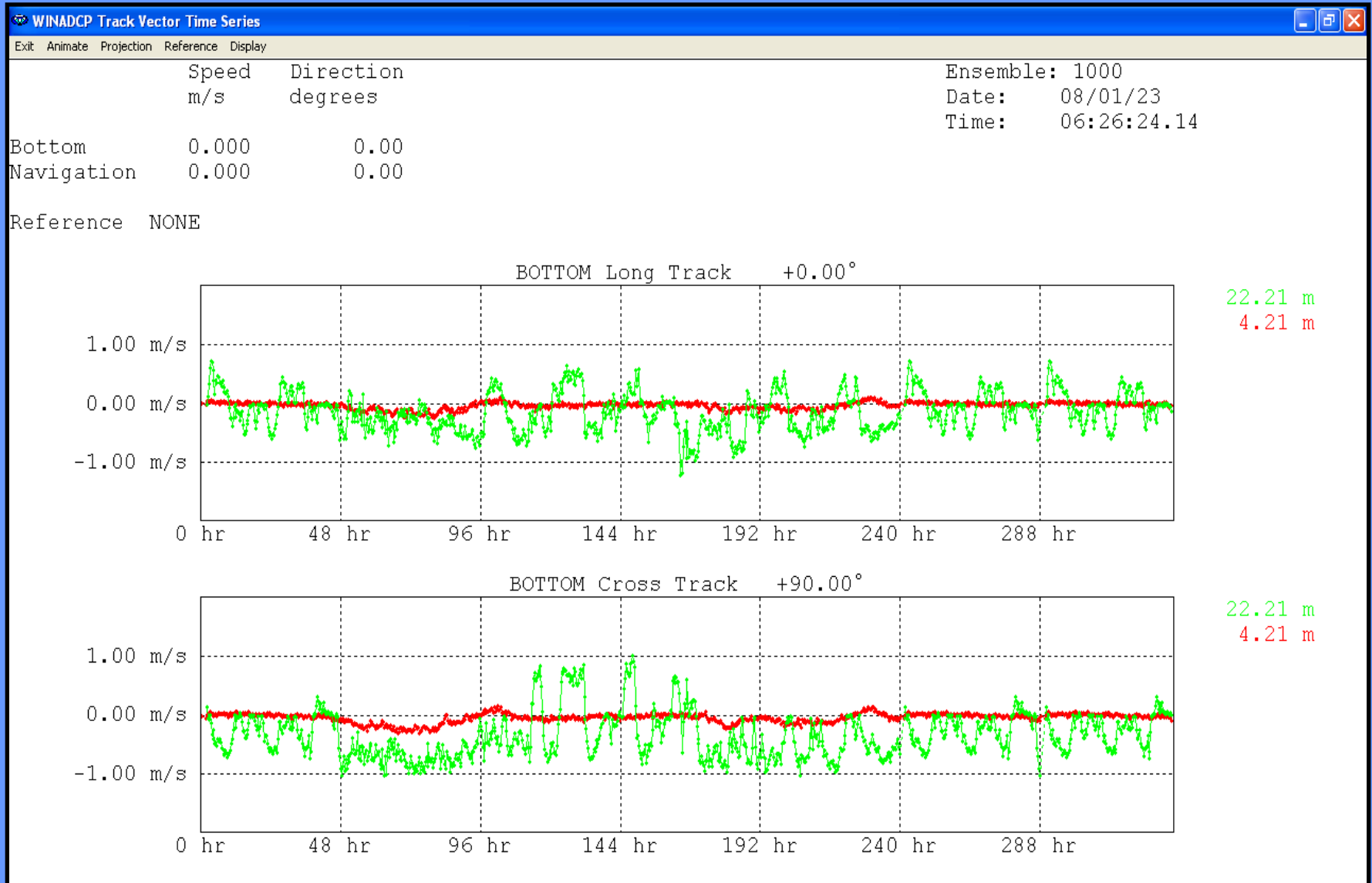
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ



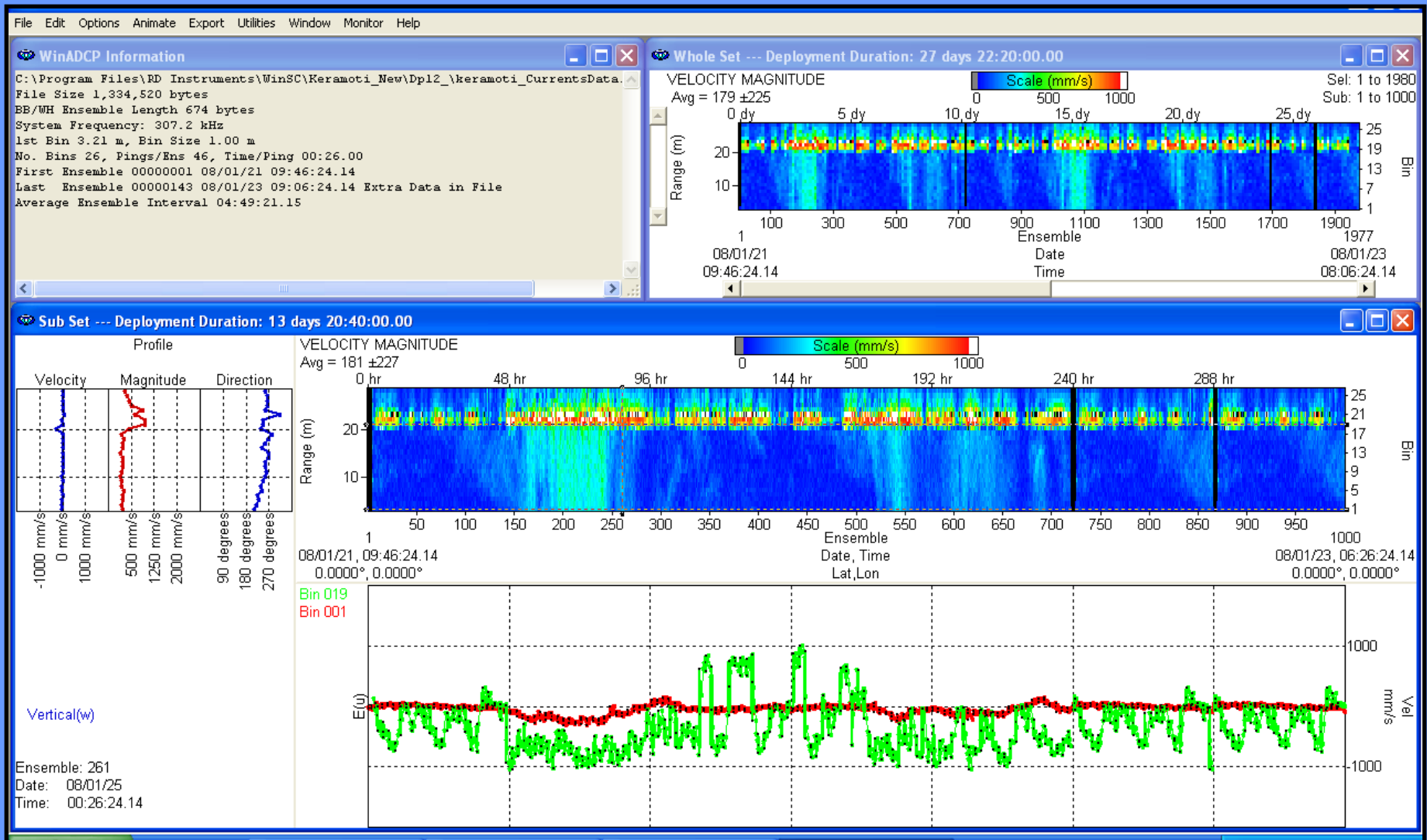
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ



ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

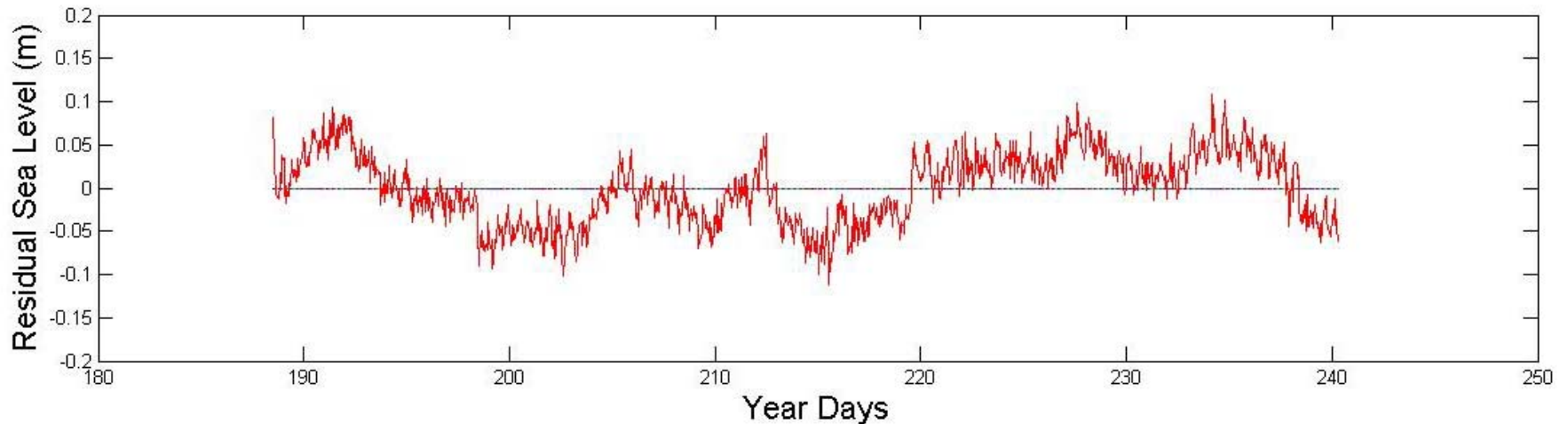
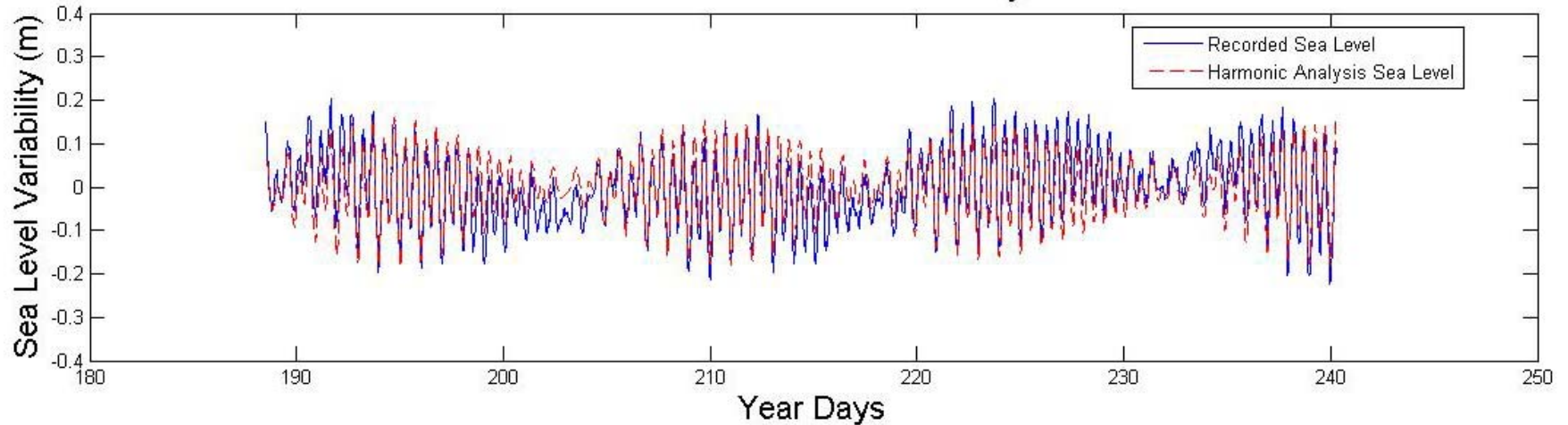


ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

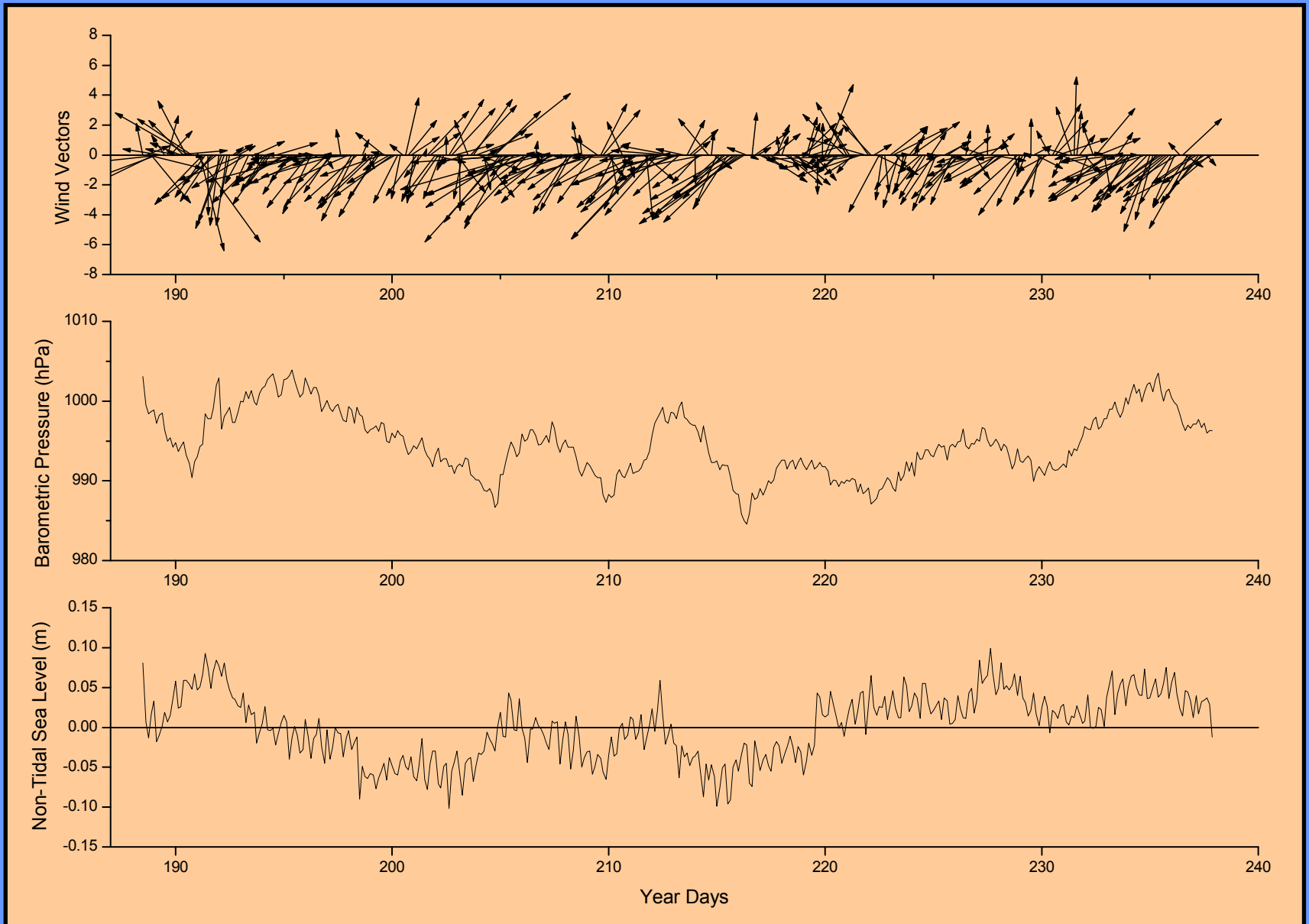


Αρμονική Ανάλυση και Προσδιορισμός Μη-Παλιρροιακής Μεταβολής

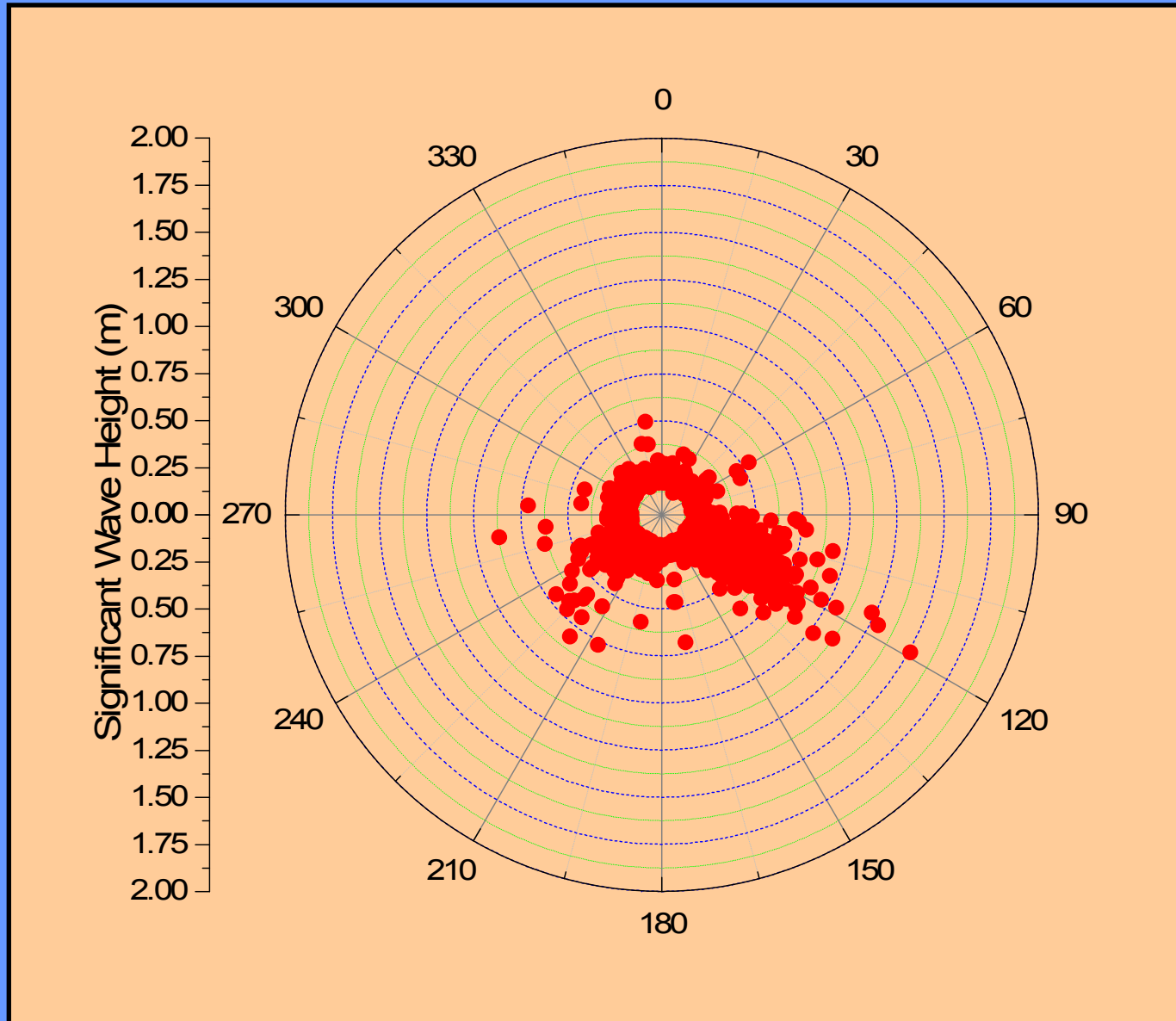
Tidal Level Harmonic Analysis



ΣΧΕΣΗ ΑΝΕΜΟΥ – ΜΗ-ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ



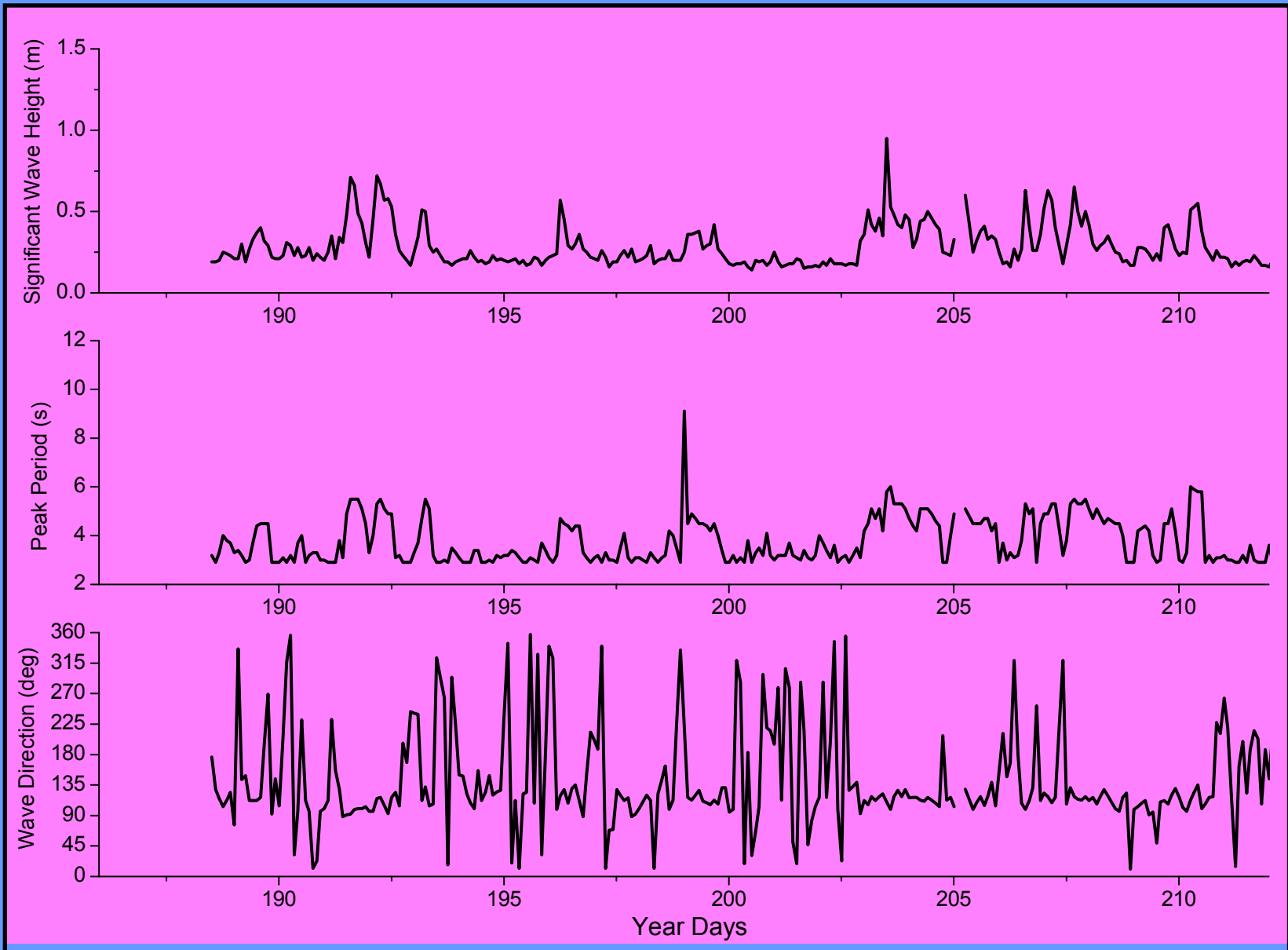
ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ



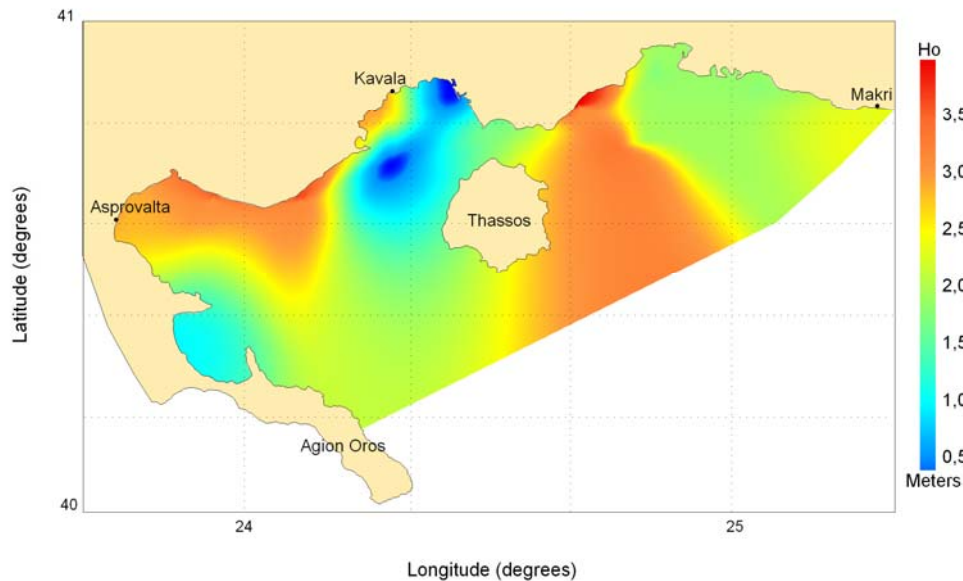
ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΩΝ

	Hs (m)				
	N	Average	Max	Mode	Median
Jul-07	218	0.28	0.95	0.2	0.23
Aug-07	232	0.24	0.73	0.19	0.21
Sep-07	71	0.31	0.71	0.22	0.25
Oct-07	99	0.36	1.51	0.19	0.24
Nov-07	225	0.36	1.29	0.18	0.31
Dec-07	242	0.38	1.05	0.41	0.33
Jan-08	143	0.36	0.95	0.20	0.32
	Tp (s)				
	N	Average	Max	Mode	Median
Jul-07	218	3.7	9.1	2.9	3.3
Aug-07	232	3.5	11.6	2.9	3.1
Sep-07	71	3.5	5.5	2.9	3.2
Oct-07	78	4.3	11.6	2.9	3.4
Nov-07	225	4.0	8.5	2.9	3.5
Dec-07	242	4.3	10.6	2.9	4.3
Jan-08	143	4.1	6.4	2.9	3.8
	Dp (deg)				
	N	Average	Max	Mode	Median
Jul-07	218	144		112	117
Aug-07	232	144		118	120
Sep-07	71	176		214	211
Oct-07	78	159		114	127
Nov-07	225	160		128	128
Dec-07	242	145		120	120
Jan-08	143	140		120	118

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

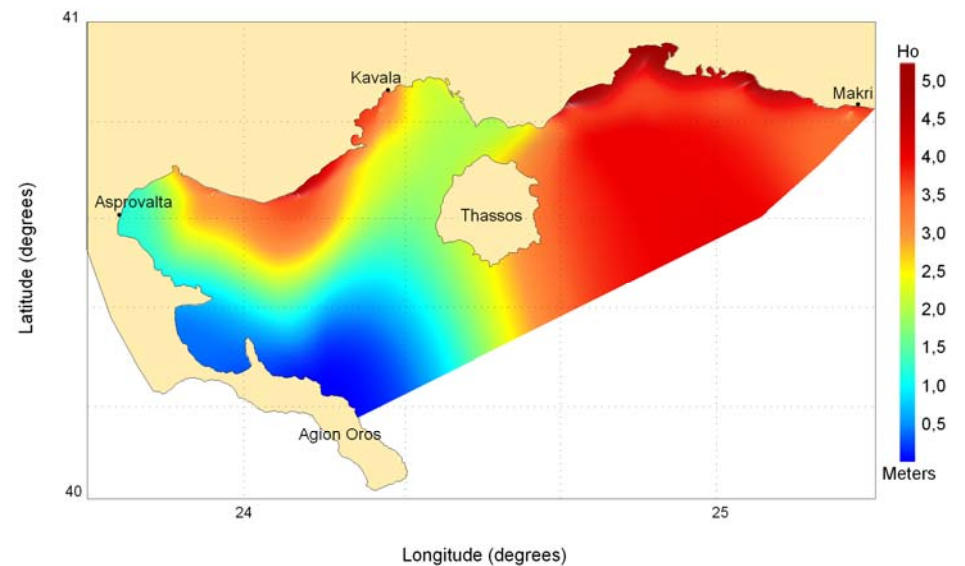


V. Προσομοίωση Κυμάτων & Ρευμάτων – Μέθοδος SMB

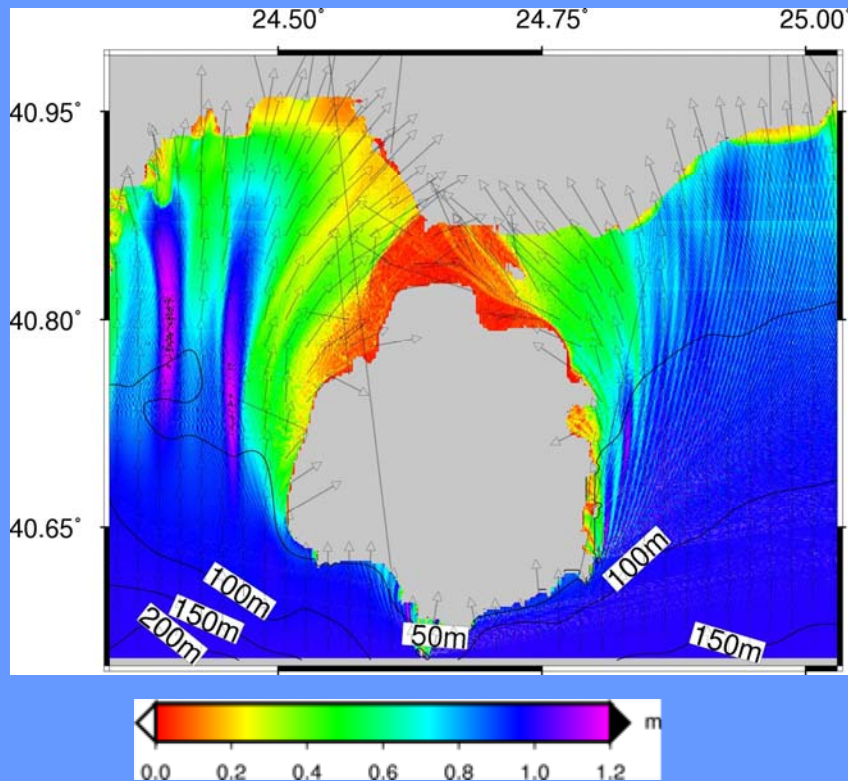


SE wind

S wind

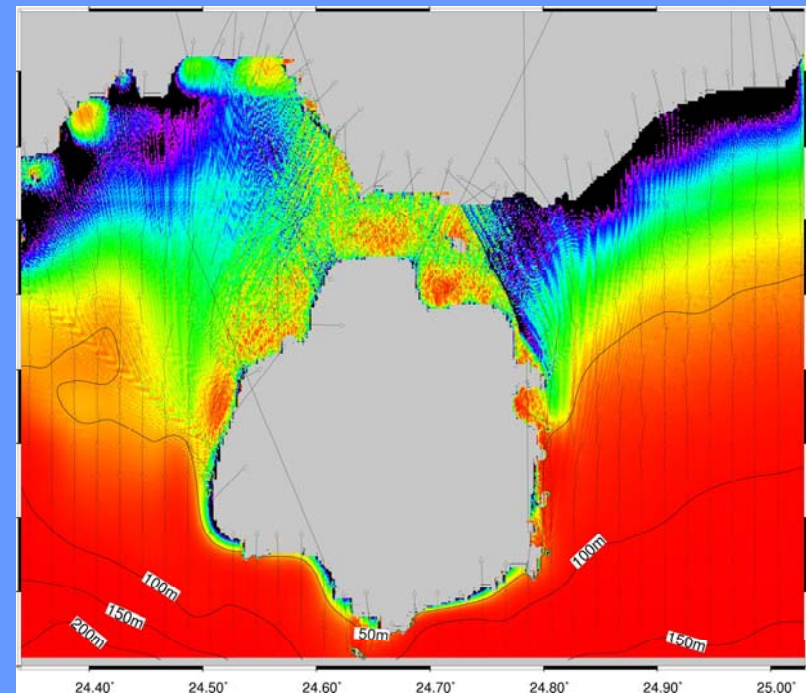


V. Προσομοίωση Κυμάτων & Ρευμάτων – Μοντέλο REF/DIF

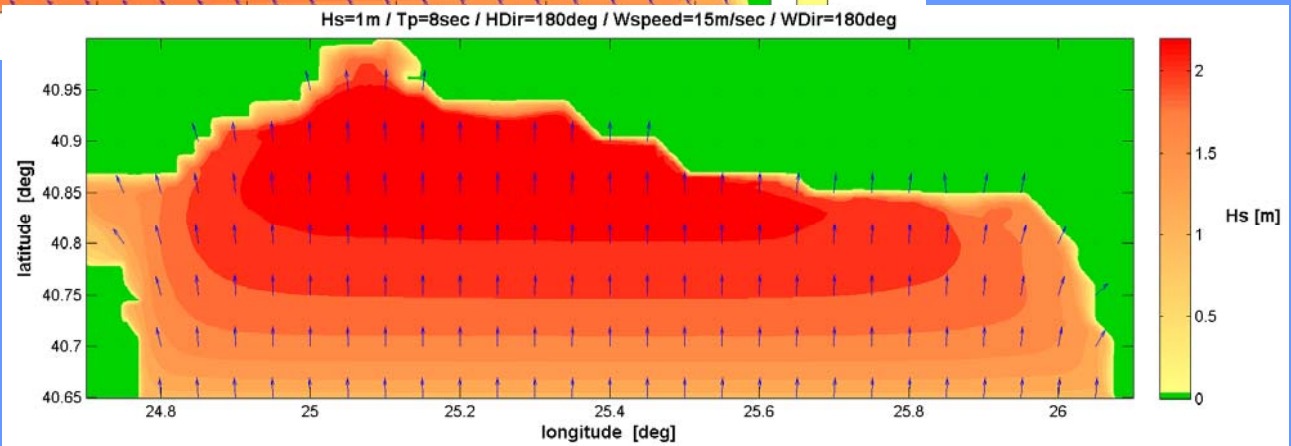
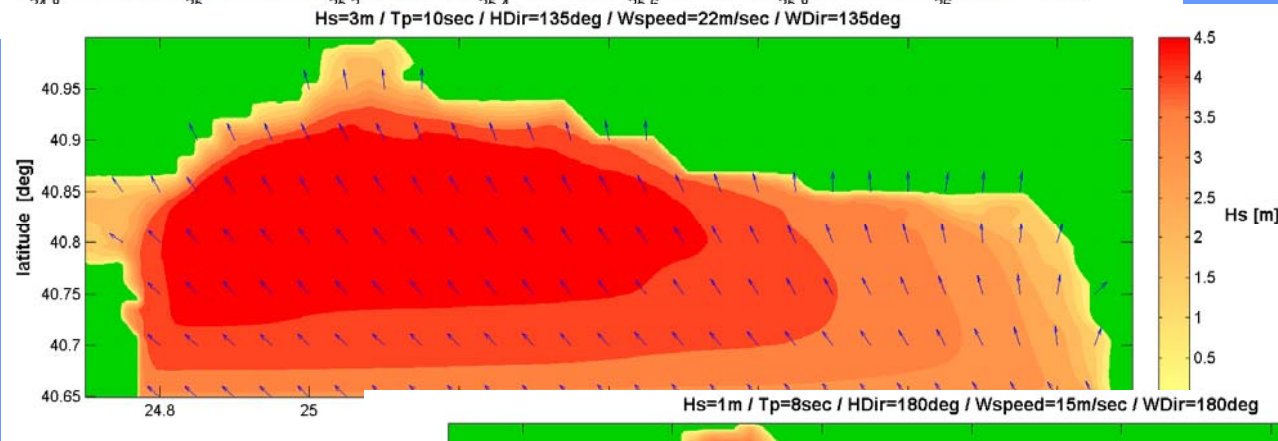
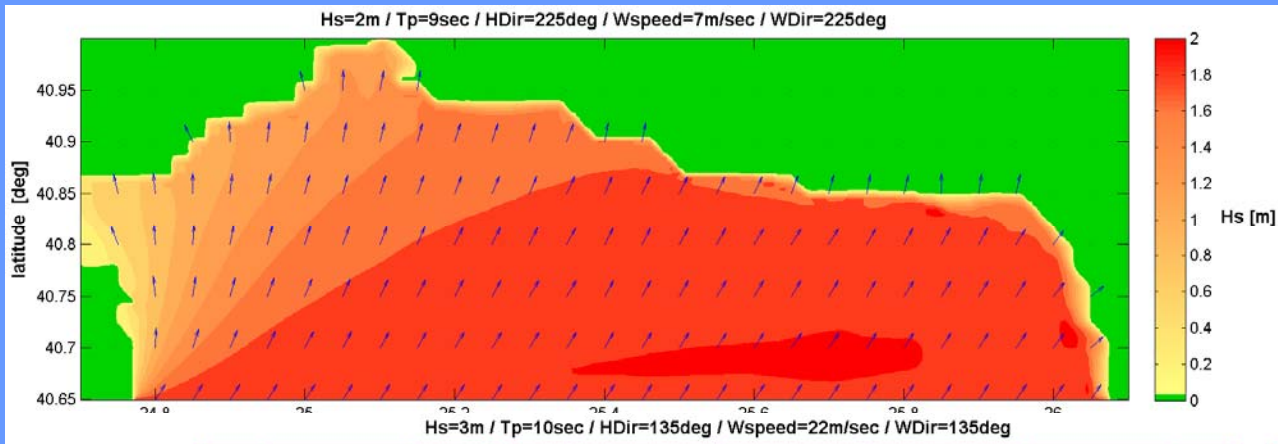


Κατανομή σωματιδιακών ταχυτήτων
πυθμένα και διευθύνσεων διάδοσης
ρευμάτων (προσομοίωση South6).

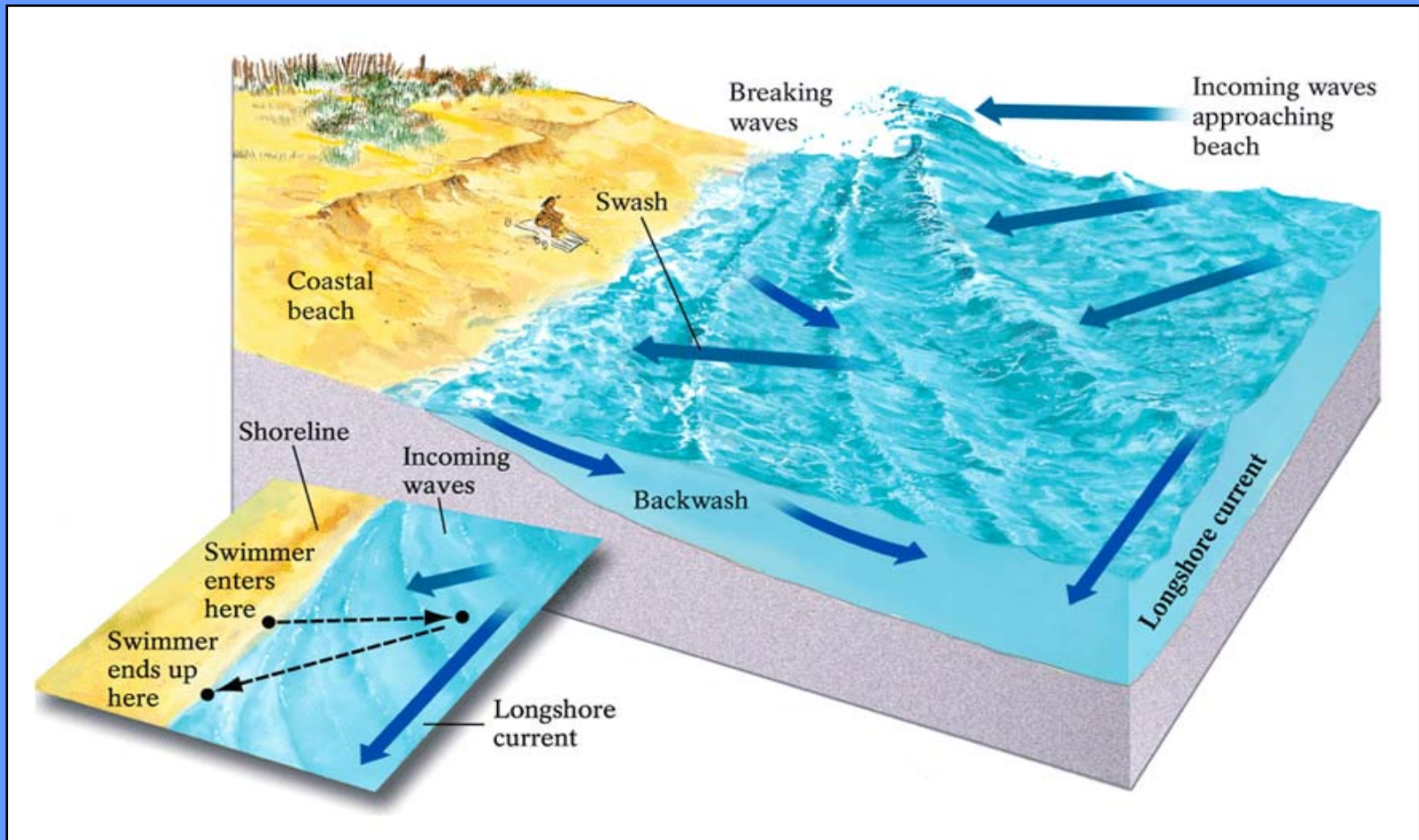
Κατανομή κυματικών υψών και
διευθύνσεων διάδοσης κυματισμών
(προσομοίωση South6).



V. Προσομοίωση Κυμάτων & Ρευμάτων – Μοντέλο SWAN



Κυματογενή Ρεύματα (Wave-Induced Currents)



Κυματογενή Ρεύματα

Τα κύματα παράγονται από την επίδραση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας.

Κύριες κυματικές παράμετροι: ύψος κύματος, περίοδος, μήκος κύματος

Μεταβάλλονται από:

- Διάρκεια πνοής του ανέμου
- Ενεργό ανάπτυγμα
- Ταχύτητα ανέμου
- Βάθος και κλίση πυθμένα

Γενικά, οι θυελλώδεις άνεμοι παράγουν πού μεγαλύτερου ύψους κύματα.

Τα κύματα αλληλεπιδρούν με το πυθμένα όταν φθάσουν στα ρηχά νερά δηλ. σε βάθος ίσο με περίπου το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματός τους.

Τότε ξεκινούν να διαβρώνουν το πυθμένα προκαλώντας την αιώρηση του ιζήματος.

Επιπλέον, δημιουργούν ρεύματα που μεταφέρουν τα υπό αιώρηση ιζήματα.

Κυματογενή Ρεύματα

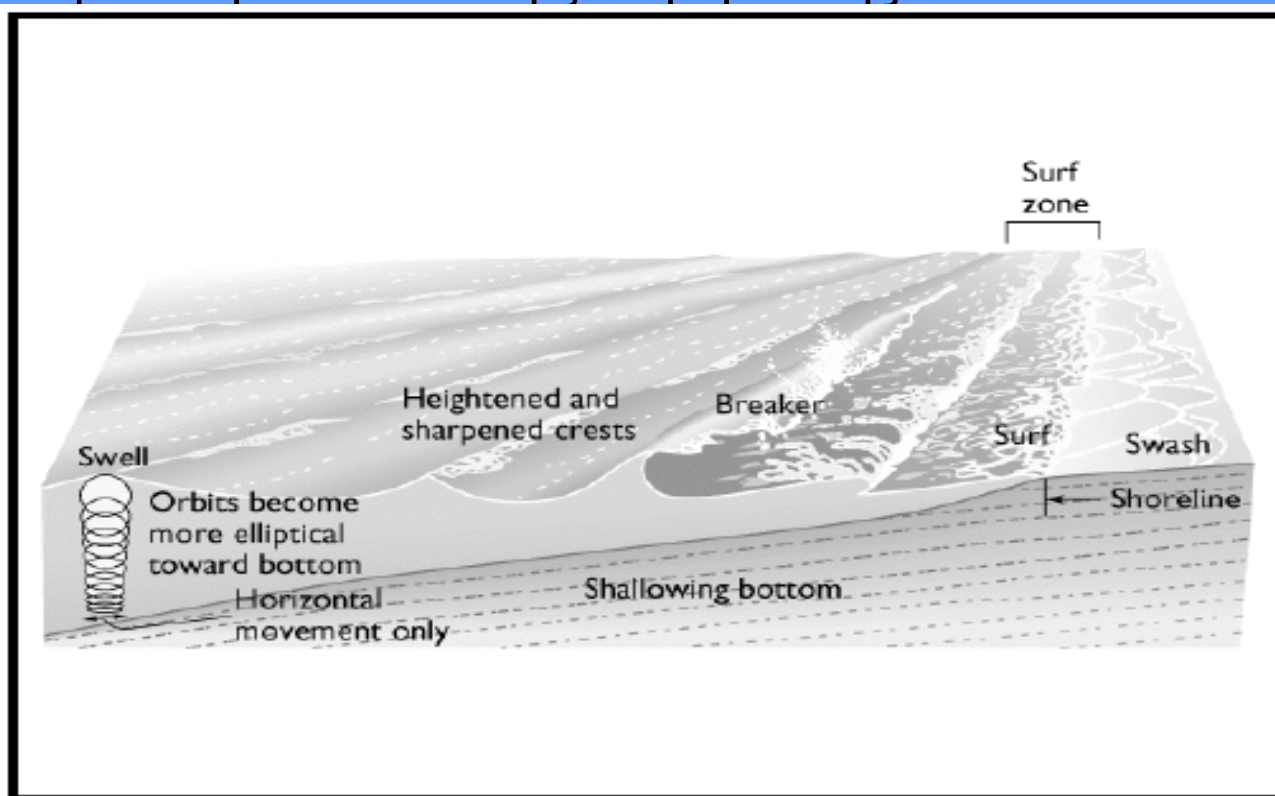
Τα κύματα ξεκινούν να μεταβάλλουν το σχήμα τους καθώς κινούνται προς τα ρηχά νερά.

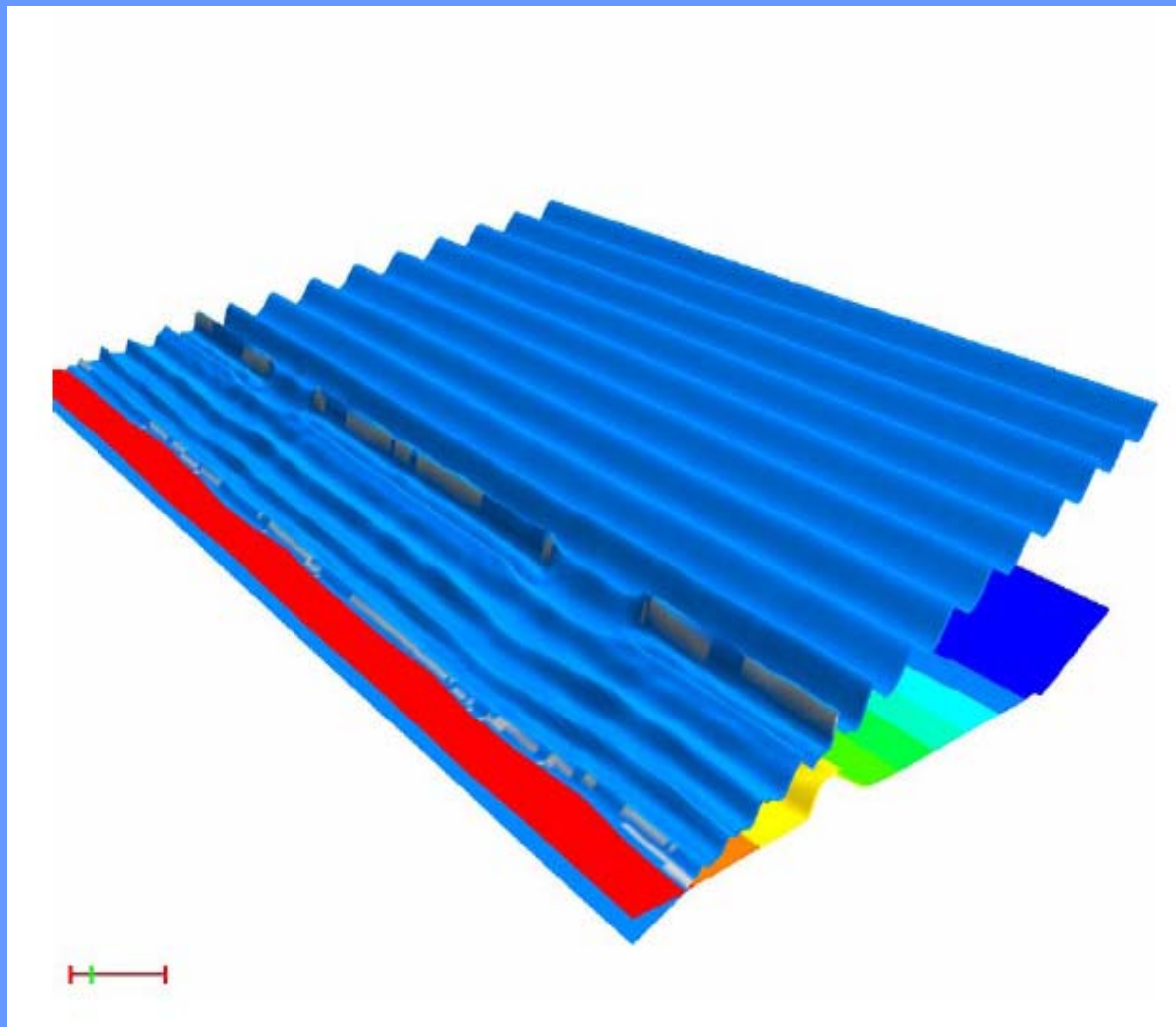
Δημιουργούνται φαινόμενα διάθλασης – οι κυματοκορυφές τείνουν να γίνουν παράλληλες με τις ισοβαθείς καμπύλες.

Τα κύματα αποκτούν μεγαλύτερη κλίση.

Τα κύματα αυξάνουν την ασυμμετρία τους.

Τελικά τα κύματα θραύονται στη ζώνη θραύσης.





Κυματογενή Ρεύματα

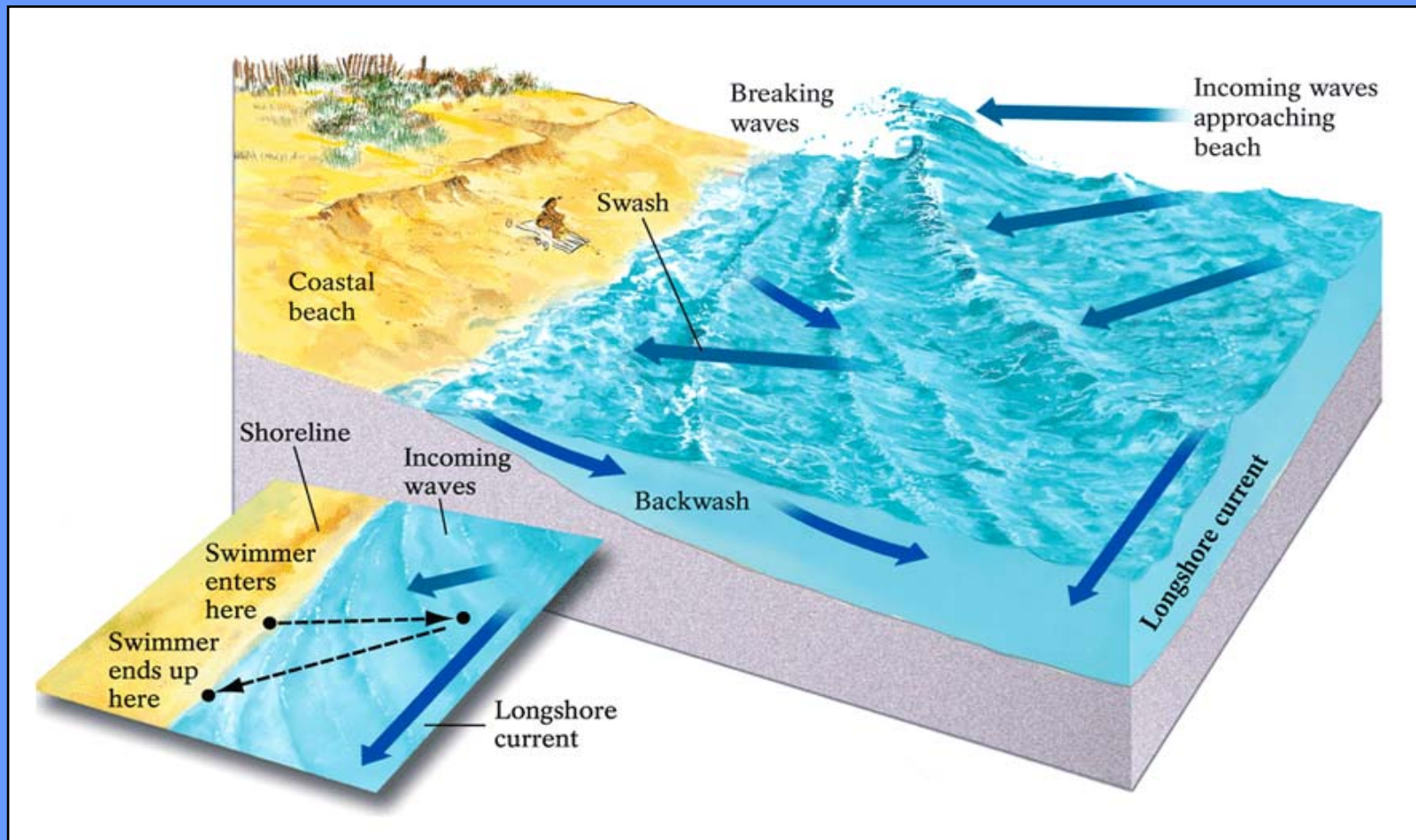
Τα κύματα δημιουργούν διάφορους τύπους κυματογενών ρευμάτων:

- Τα **διαμήκη ρεύματα (Longshore Currents)**, τα οποία δημιουργούνται από τη διαμήκη συνιστώσα του θραυόμενου κύματος
- Τα **Βελοειδή Ρεύματα (Rip Currents)**, τα οποία δημιουργούνται από τη συμβολή δύο ρευμάτων που κινούνται κατά μήκος της ακτής αλλά με αντίθετη κατεύθυνση
- Τα **ρεύματα υπόγειας επαναφοράς (undertow currents)** τα οποία είναι εγκάρσια στην ακτή ρεύματα
- Τα **Swash/Backwash Ρεύματα (Διαβροχής – Απόσυρσης)** τα οποία είναι άλλοτε εγκάρσια και άλλοτε διαμήκη.

1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής

Η γέννεση των ρευμάτων αυτών οφείλεται στη ανομοιόμορφη κατανομή του ύψους κύματος στη ζώνη θραύσης ή/και στη κλίση της γραμμής θραύσης ως προς την ακτογραμμή.

Ανομοιόμορφη κατανομή → υδραυλικές βαθμίδες → διαμήκη ρεύματα



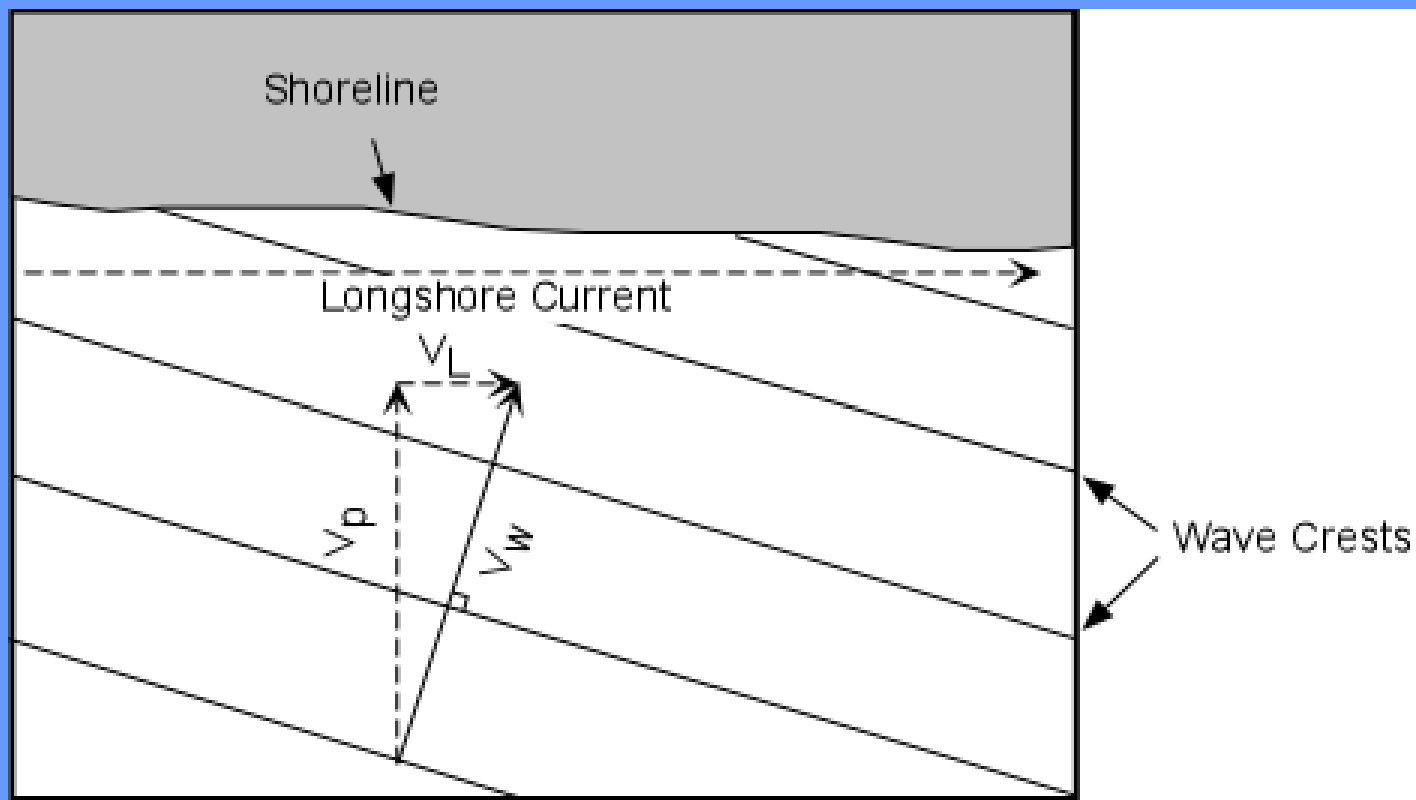
1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής

Σε γραμμές θραύσης υπό γωνία ως προς την ακτογραμμή, ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται και κινείται παράλληλα προς την ακτογραμμή με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρεύματος παράλληλου προς την ακτή.

Οι ταχύτητες των ρευμάτων αυτών είναι της τάξης των 0.4 – 0.8 m/s με το ταχύτερο ρεύμα να είναι 2 m/s.

A. Διαμήκες Ρεύμα (Longshore Current)

Παράγεται καθώς το κύμα θραύεται υπό γωνία σε μία ακτή.
Καταλαμβάνει το εύρος της ζώνης θραύσης.



1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής

Αν β είναι η γωνία μεταξύ των κορυφογραμμών και της ακτής, τότε με βάση το νόμο Snell ισχύει:

$$\frac{\sin \beta}{C} = \frac{\sin \beta_b}{C_b}$$

Τα μεγέθη με δείκτη b αναφέρονται στη γραμμή θραύσης.

Καθώς η ταχύτητα διάδοσης είναι:

$$C = \sqrt{gh}$$

έχουμε

$$\sin \beta = \left(\frac{h}{h_b} \right)^{0.5} \sin \beta_b$$

1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής

Πειραματικά έχει βρεθεί ότι το ύψος κύματος στη ζώνη θραύσης μεταβάλλεται γραμμικά με το βάθος:

$$H = \kappa h$$

όπου $\kappa = 0.33 - 0.60$

Η δύναμη τριβής πυθμένα είναι:

$$B_y = -C_f \rho |u| \bar{u} \Rightarrow B_y = -C_f \rho |u|^2 \frac{\bar{v}}{|u|} = -C_f \rho |u| \bar{v}_{l,m}$$

Όπου C_f είναι ο συντελεστής σύρσης (Chezy, περίπου 0.01) και

$|u|$ η μέση προς το χρόνο οριζόντια τροχιακή ταχύτητα των σωματιδίων.

$v_{l,m}$ είναι η μέση ταχύτητα ρεύματος ως προς το χρόνο και ως προς το εύρος της ζώνης μετά τη θραύση.

1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής

Η μέση ταχύτητα είναι:

$$|u| = \frac{2}{\pi} u_{\max}$$

όπου u_{\max} η μέγιστη ταχύτητα της u σε μία περίοδο κύματος

$$u_{\max} = \kappa \sqrt{gh}$$

Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας του ρεύματος παράλληλου προς την ακτή είναι:

$$\bar{V}_{l,\max} = \frac{5\pi}{16C_f} \kappa \sqrt{gh_b} \sin 2\beta_b \tan \alpha = 2.7 u_{\max} \sin \beta_b \cos \beta_b$$

1. Ρεύματα κατά μήκος της ακτής (Τύπος CERC)

Η οριζόντια συνιστώσα της ελλειπτικής τροχιάς των σωματιδίων στο εσωτερικό ενός κύματος είναι:

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \{k(z+h)\}}{\sinh kh} \cos(kx - \omega t)$$

Στη ζώνη θραύσης η παραπάνω σχέση απλοποιείται, καθώς

$$\sinh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \rightarrow \left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right), \cosh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right) \rightarrow 1, C = \frac{\lambda}{T} \rightarrow \sqrt{gh}$$

Ενώ η μέγιστη τιμή της οριζόντιας ταχύτητας στη ζώνη θραύσης είναι:

$$\hat{u} = \frac{\pi H}{T} \frac{\lambda}{2\pi h} = \frac{H}{2h} C = \frac{H}{2h} \sqrt{gh}$$

Ο λόγος H/h είναι σταθερός, και ονομάστηκε 'δείκτης θραύσης'

$$\gamma_b = \frac{H_b}{h_b}$$

Οπότε η σχέση

$$\hat{u} = \frac{\pi H}{T} \frac{\lambda}{2\pi h} = \frac{H}{2h} C = \frac{H}{2h} \sqrt{gh}$$

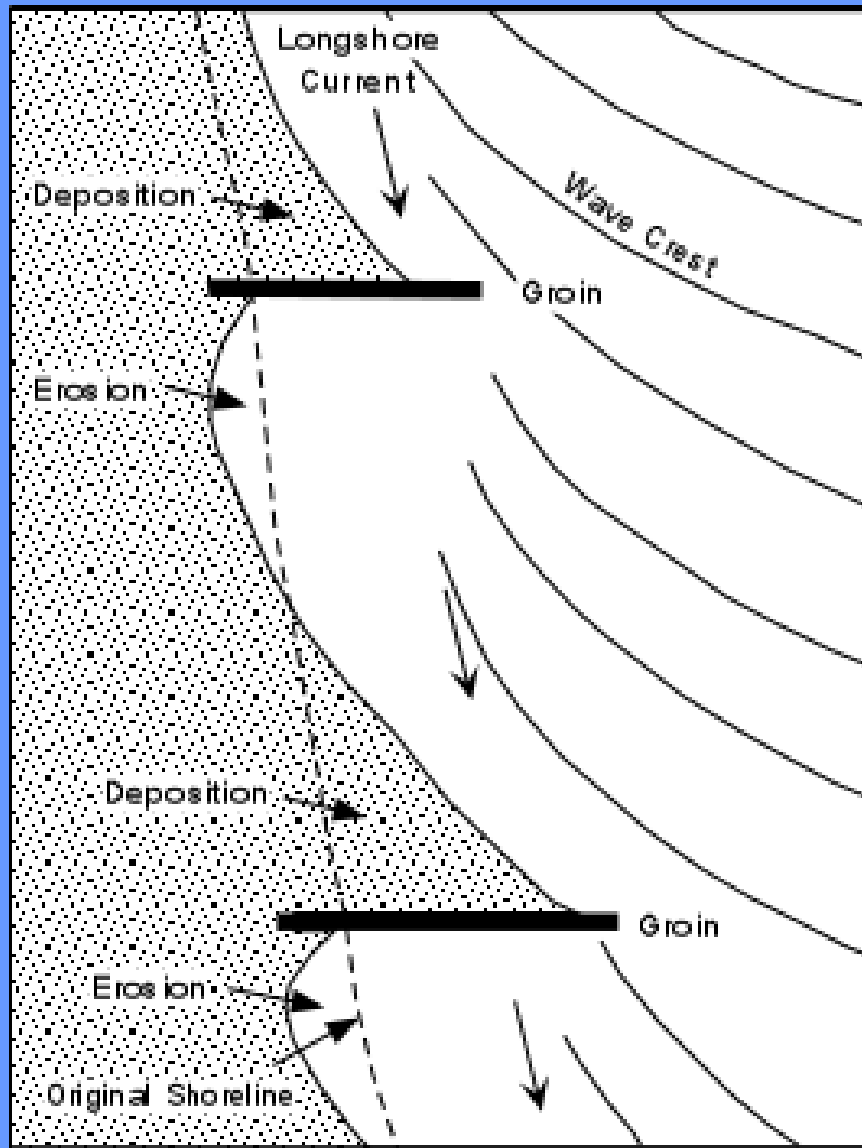
Γράφεται:

$$u_b = \frac{\gamma}{2} \sqrt{gh_b} = \frac{1}{2} \sqrt{\gamma g H_b}$$

Χρησιμοποιώντας τη παραπάνω σχέση καταλήγουμε στον υπολογισμό του διαμήκους ρεύματος για μία ευθύγραμμη ακτογραμμή,

$$V_L = 20.7m \sqrt{gH_b} \sin 2\alpha_b \quad \text{Εξίσωση CERC (1984)}$$

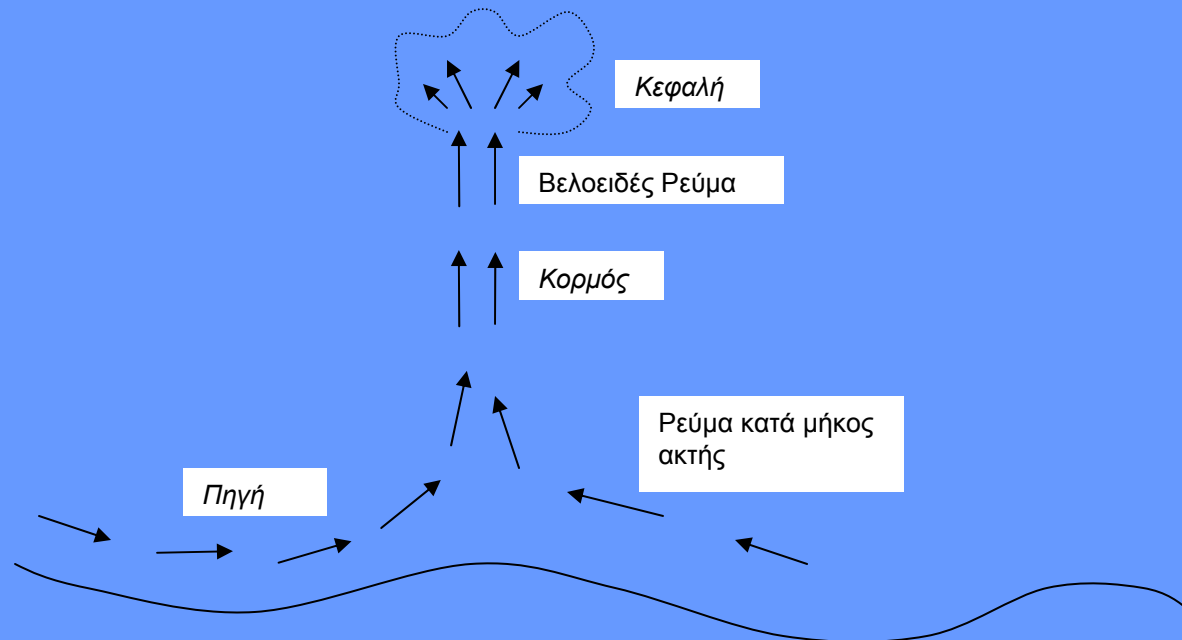
Όπου m είναι η κλίση πυθμένα της ακτής και α_b η γωνία πρόσπτωσης των κυμάτων στη ζώνη θραύσης.

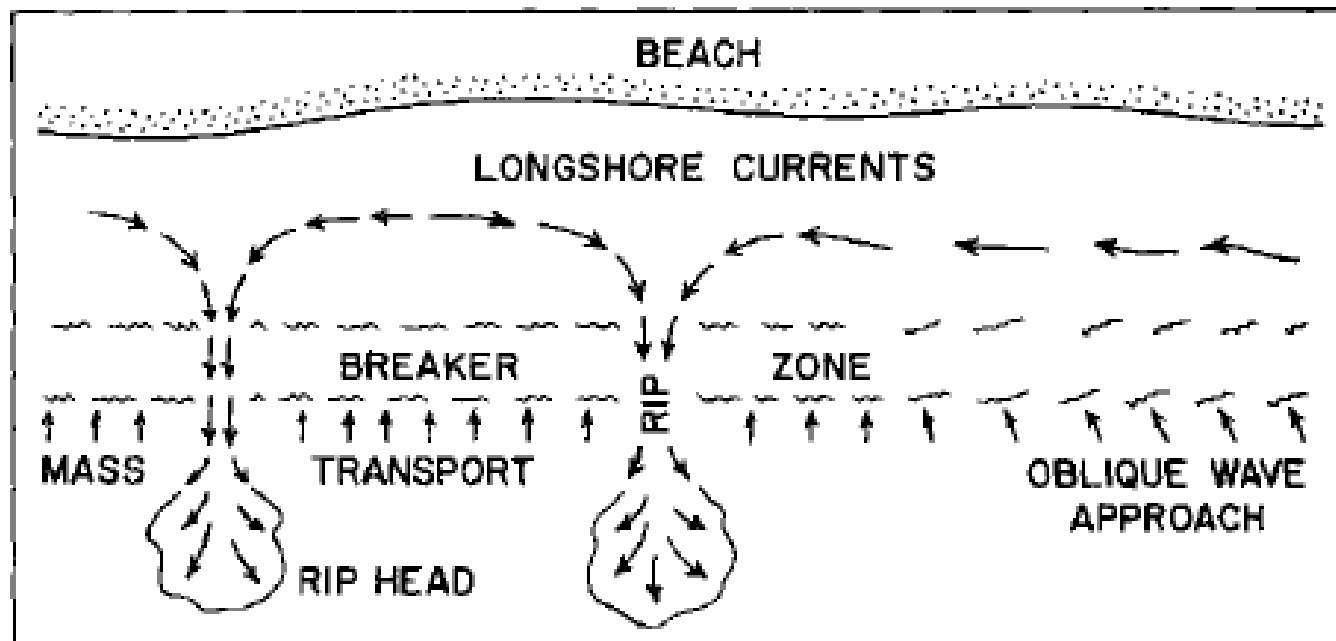


2. Βελοειδή Ρεύματα (Rip Currents)

Η συμβολή δύο ρευμάτων που κινούνται κατά μήκος της ακτής αλλά με αντίθετη κατεύθυνση έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου ρεύματος.

Ονομάζεται βελοειδές ρεύμα και διασχίζει τη ζώνη θραύσης σε περιοχές μικρών υψών κύματος ενώ συνεχίζει τη κίνησή του και στη ζώνη πριν τη θραύση.





Το βελοειδές ρεύμα είναι στενό, ισχυρό ρεύμα επιστροφής μάζας από τη ζώνη μετά τη θραύση στη ζώνη πριν τη θραύση. Διαιρείται σε τρία τμήματα:

➤ Πηγή, η οποία εμφανίζεται στη περιοχή δημιουργίας του ρεύματος, όπου η ροή είναι σχεδόν παράλληλη στην ακτογραμμή, δηλ. στη ζώνη μετά τη θραύση.

➤ Κορμός, που ρέει σχεδόν κάθετα στην ακτογραμμή και συνδέει τις ζώνες μετά και πριν τη θραύση. Το τμήμα αυτό είναι στενό (15-30 μ) και πλατύνεται στη ζώνη πριν τη θραύση.

➤ Κεφαλή, όπου παρουσιάζεται μείωση της ταχύτητας ροής ως το μηδενισμό της.

Τμήματα ενός Rip Current



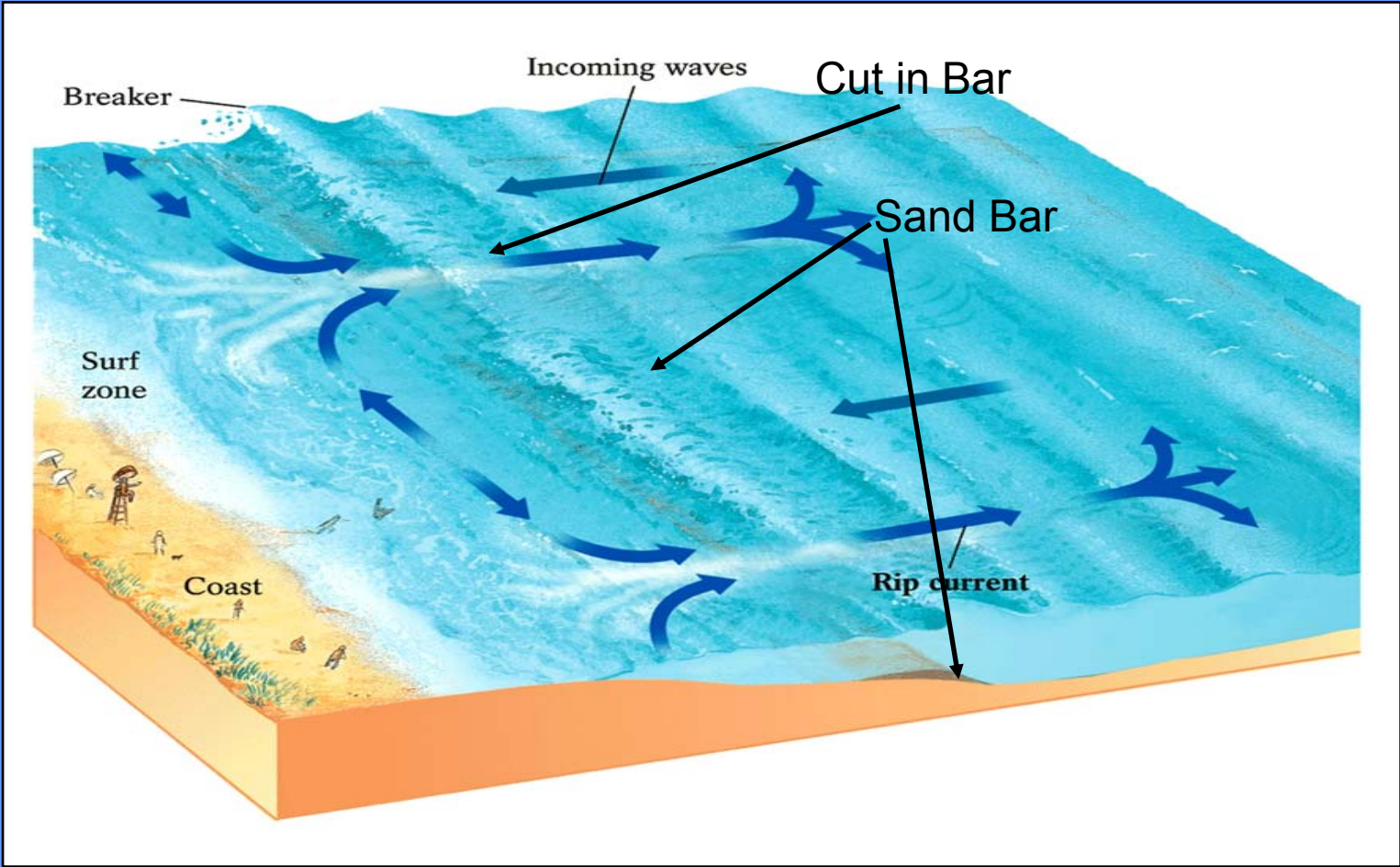
Κορμός>

Κεφαλή>



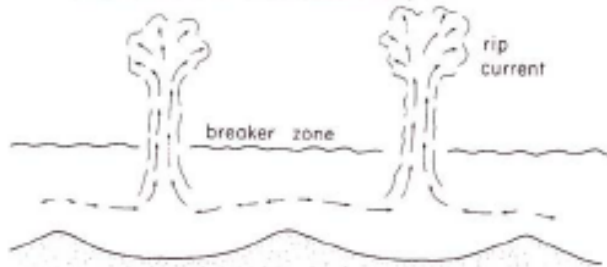
Delaware Sea Grant





NEASHORE CIRCULATION

A Cell Circulation ($\alpha_b \approx 0^\circ$)



B General Circulation (small α_b)

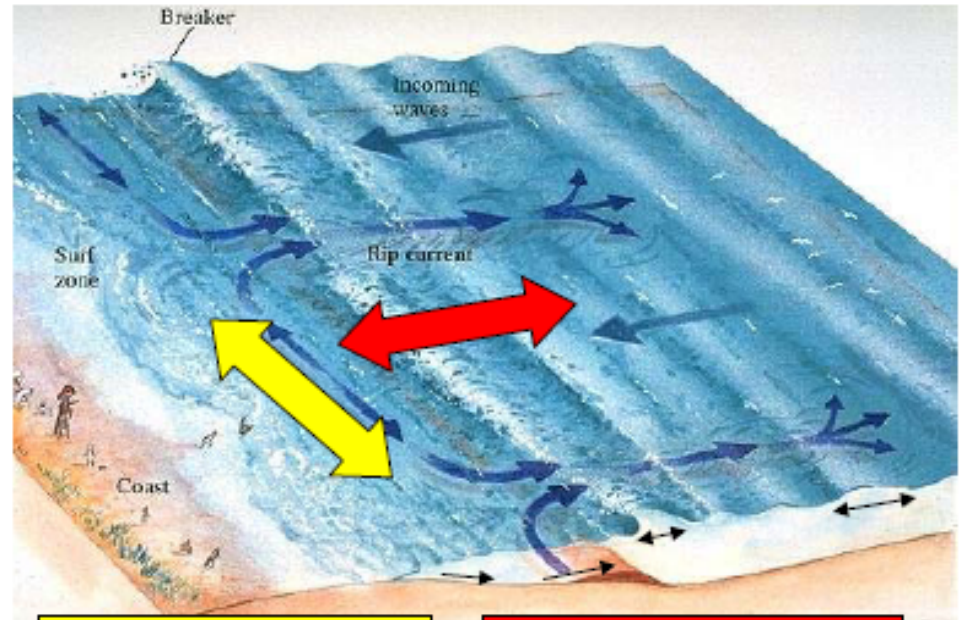


C Oblique Wave Approach (large α_b)



Horizontal Structure

Cell Circulation



Longshore transport

Cross-shore transport

UNDERTOW



Vertical Structure



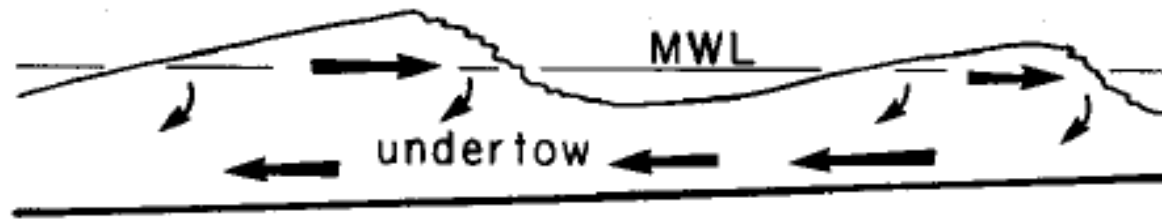
3. Ρεύμα Επαναφοράς (UnderTow Current)

Η μεταφορά μάζας από το κυματογενές ρεύμα δημιουργεί συσσώρευση νερού προς την ακτή, με αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης και τη δημιουργία βαθμίδας πίεσης.

Η βαθμίδα πίεσης προκαλεί την εμφάνιση ενός ρεύματος στην επιφάνεια με φορά προς τη φορά διάδοσης των κυμάτων, ενώ στο πυθμένα η διεύθυνση του ρεύματος είναι αντίθετη με τη διεύθυνση μετάδοσης του κύματος.

Η ροή επαναφοράς είναι μία γενική ροή προς τα νερά μεγαλύτερου βάθους η οποία συμβαίνει σε ολόκληρο το πλάτος της ακτής.

UNDERTOW

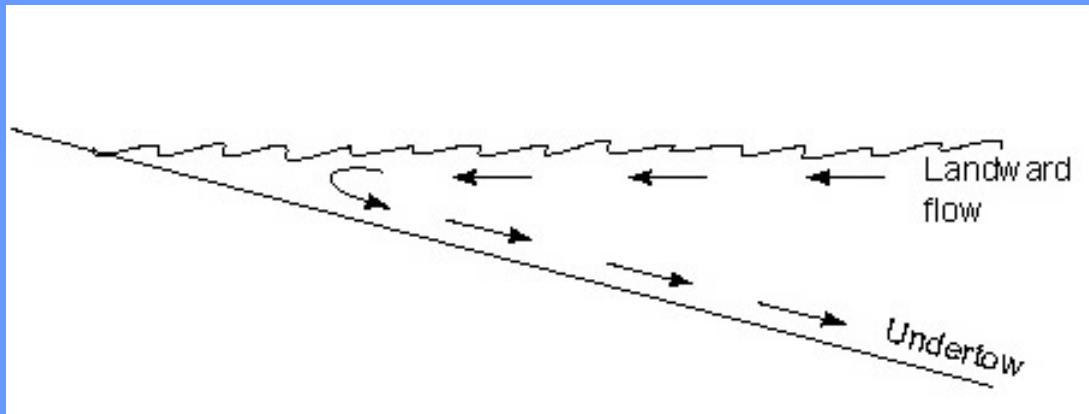


Undertow

Ρεύματα Undertow προκύπτουν όταν το νερό δεν μπορεί να ξεφύγει από την ακτή με τη μορφή βελοειδούς ρεύματος (rip current).

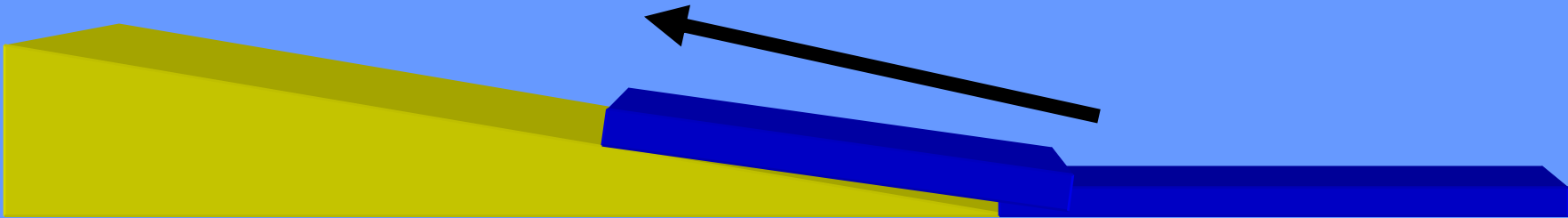
Ξέρουμε ότι το νερό που κινήθηκε προς την ακτή από την ανοικτή θάλασσα, θα πρέπει να επιστρέψει σε αυτήν με κάποιον τρόπο!

Αν το νερό δεν μπορεί να διαφύγει με τη μορφή rip current, επιστρέφει στην ανοικτή θάλασσα κινούμενο κάτω από τα κύματα.

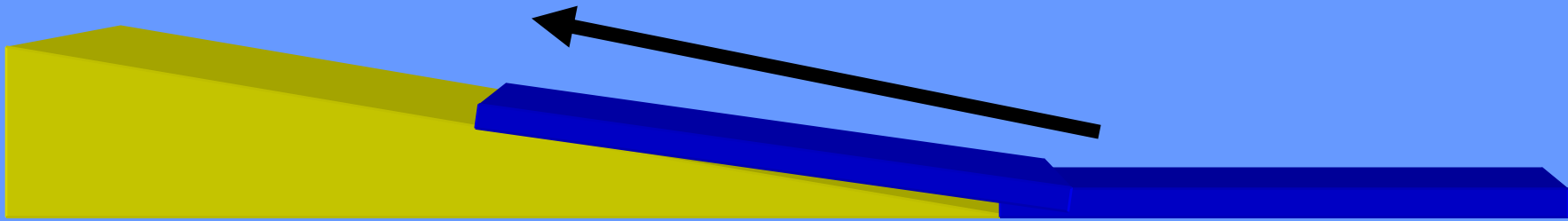


4. Τα Swash/Backwash Ρεύματα

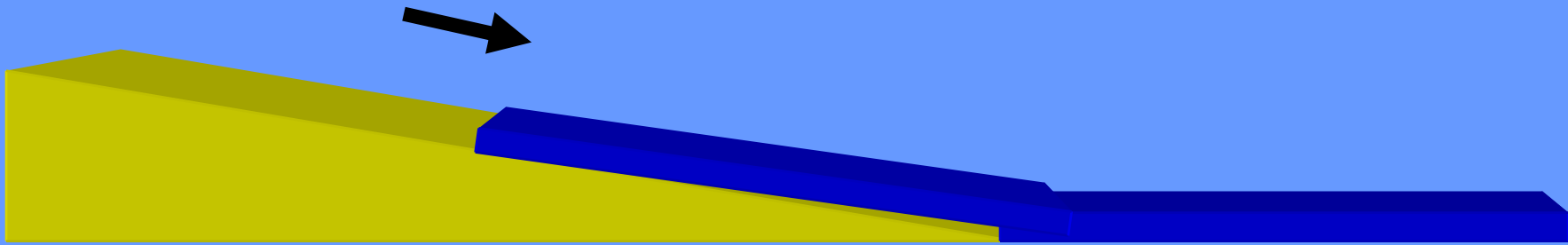
This is called the Swash



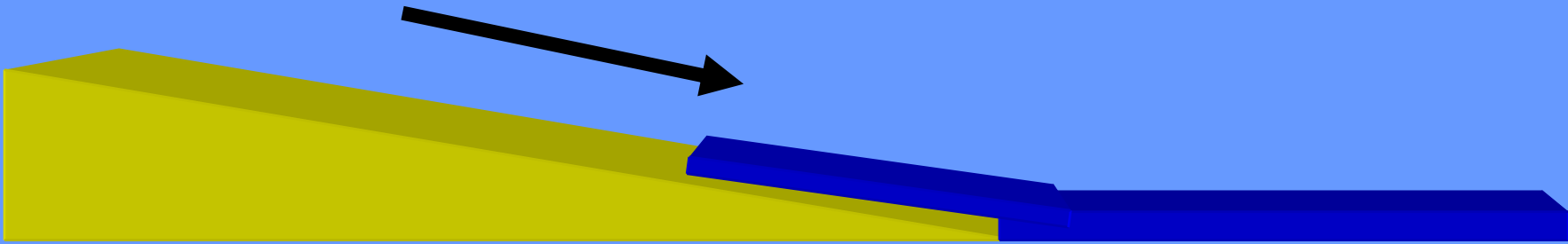
The wave breaks on the beach and continues to move up the beach.



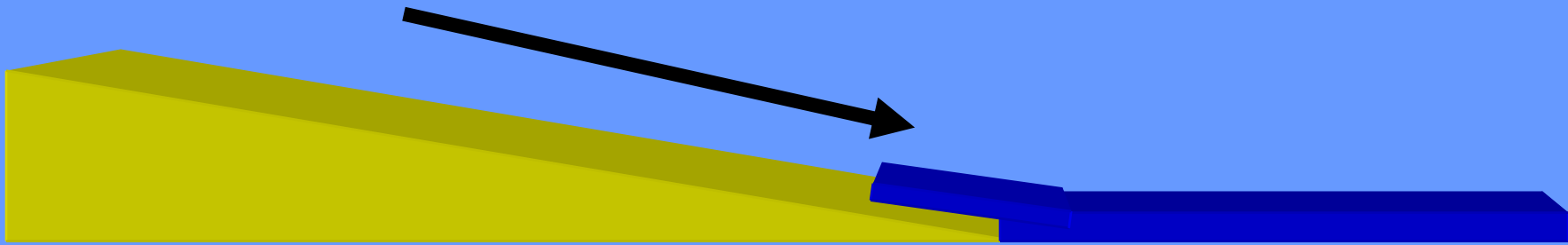
Eventually the power of the swash is depleted as it has used all of its energy to climb the beach. It then drops any material it is carrying as it has no power left.



**After this happens the water rolls
back down the beach under gravity.**

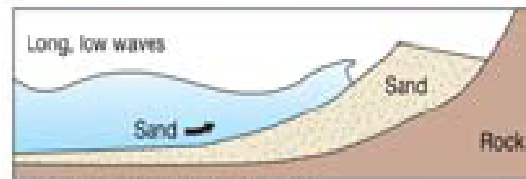


This is called Backwash



As the water rolls back into the sea it picks up speed and energy and is able to pick up material and moves it back down the beach

Swash and backwash

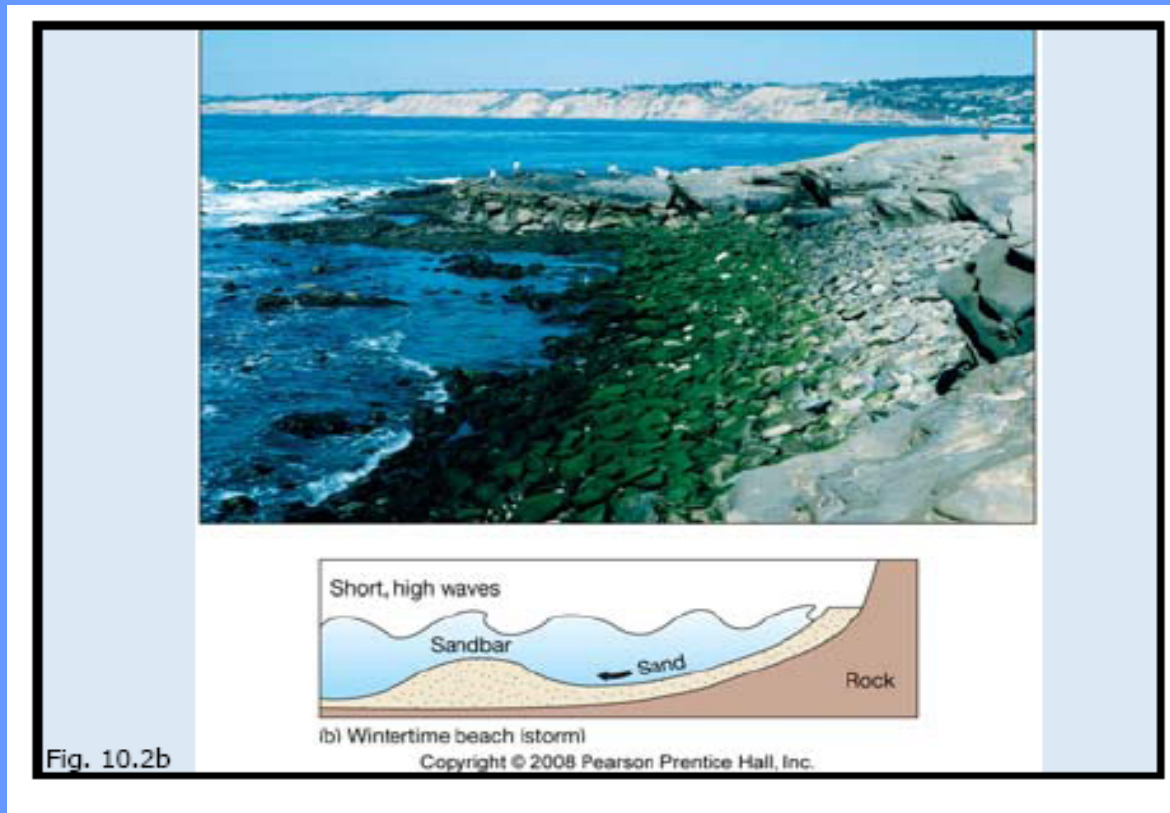


(a) Summertime beach (fair weather)

Copyright © 2008 Pearson Prentice Hall, Inc.

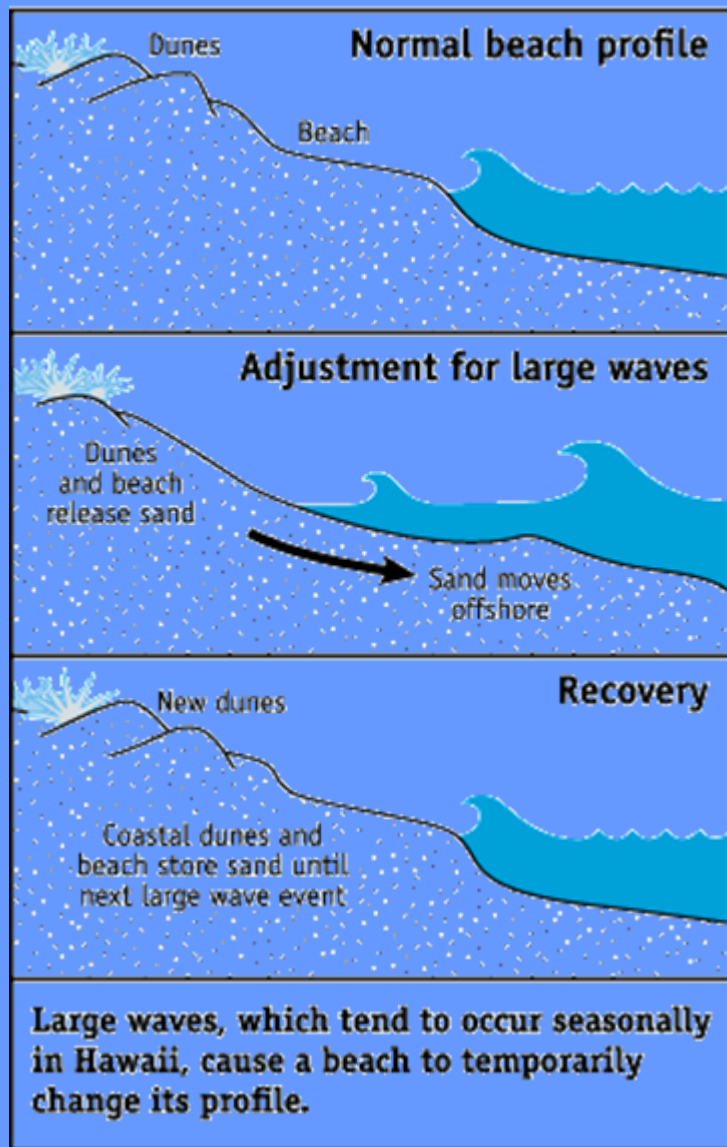
Fig. 10.2a

Μικρού ύψους μήκους κύματος κύματα (συνήθως το καλοκαίρι)



Μεγάλου ύψους κύματος κύματα (συνήθως το χειμώνα)

Seasonal beach profile adjustments



Φθινόπωρο



(a)

Αρχή Χειμώνα



(b)

Τέλος Χειμώνα

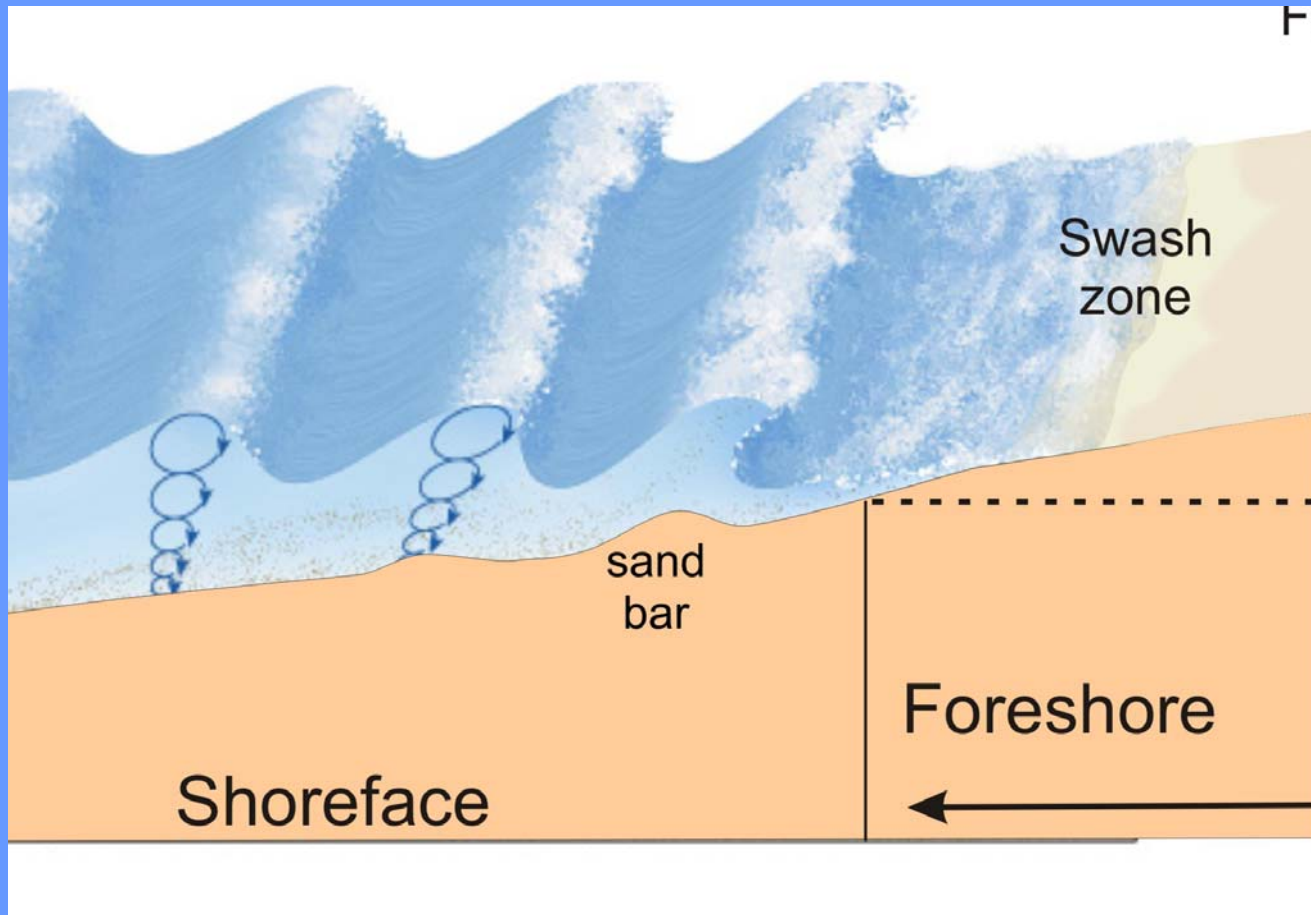


(c)

Καλοκαίρι



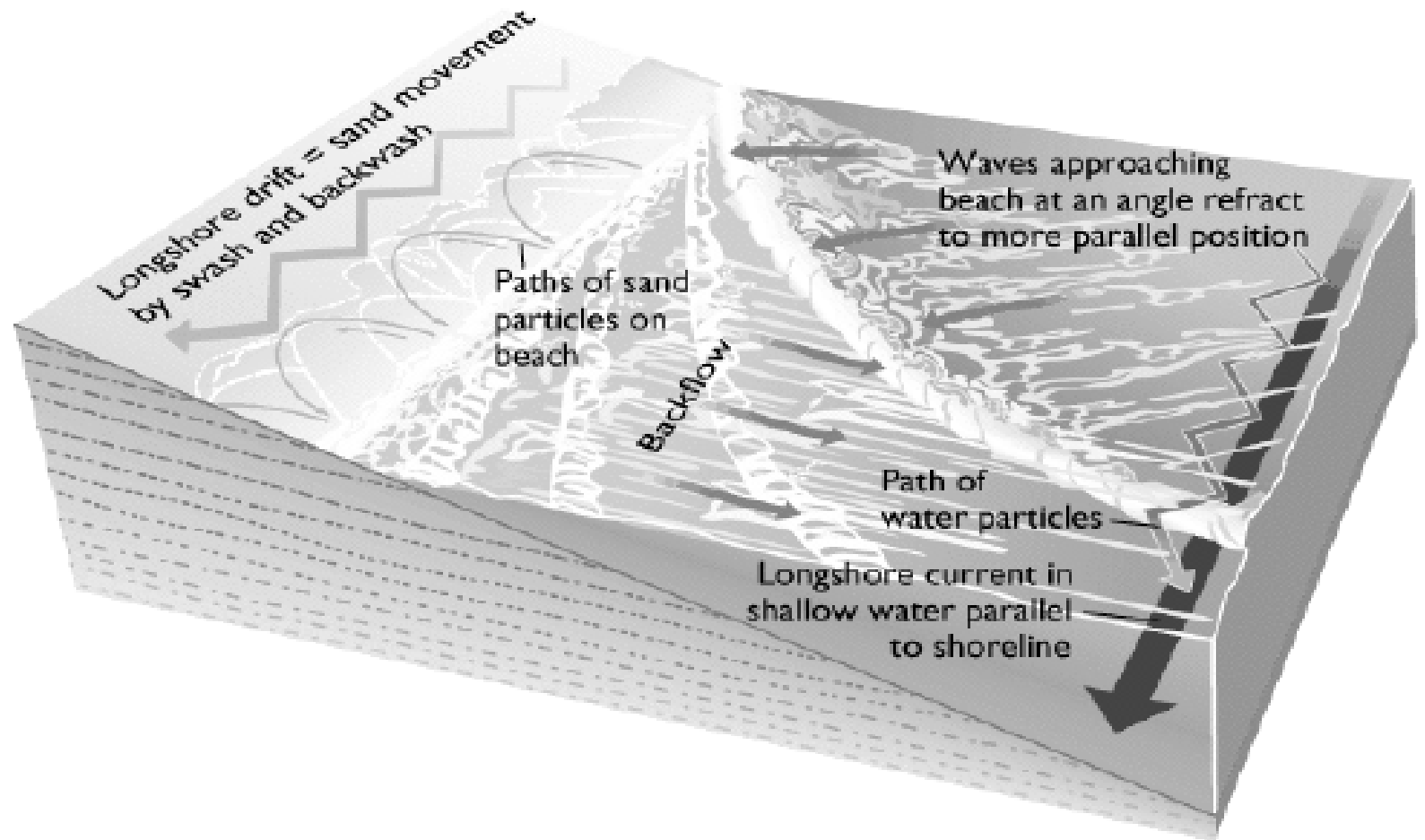
(d)

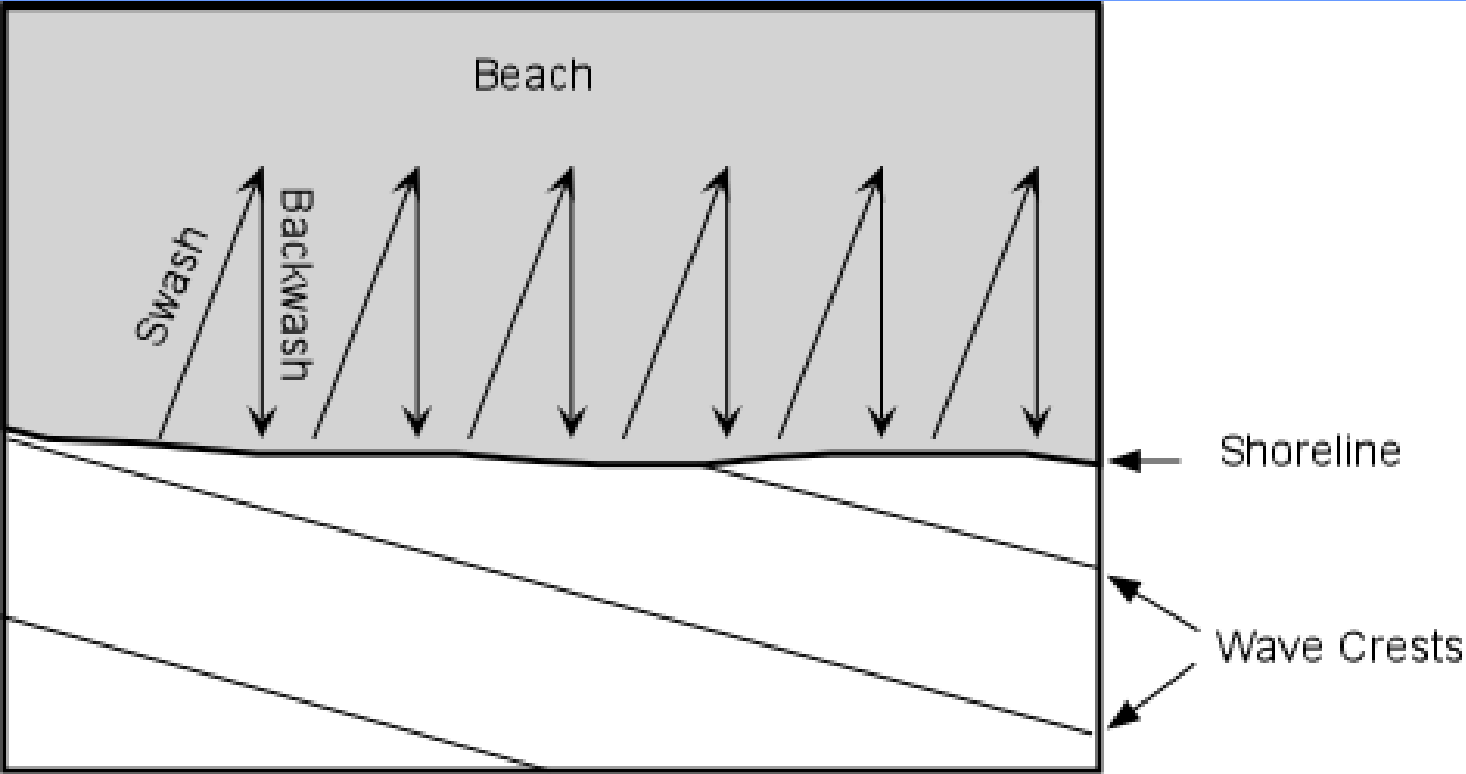


Ζώνη Διαβροχής (swash zone)

Αν το κύμα προσεγγίζει την ακτή κάθετα σε αυτή, τότε το παραγόμενο ρεύμα είναι εγκάρσιο στην ακτογραμμή.

Αν το κύμα προσεγγίζει την ακτή υπό γωνία, τότε το παραγόμενο ρεύμα είναι διαμήκες.





Παράκτια Κυματογενή Ρεύματα

Αποτελούνται από το συνδυασμό:

A) των διαμηκών ρευμάτων (alongshore currents),

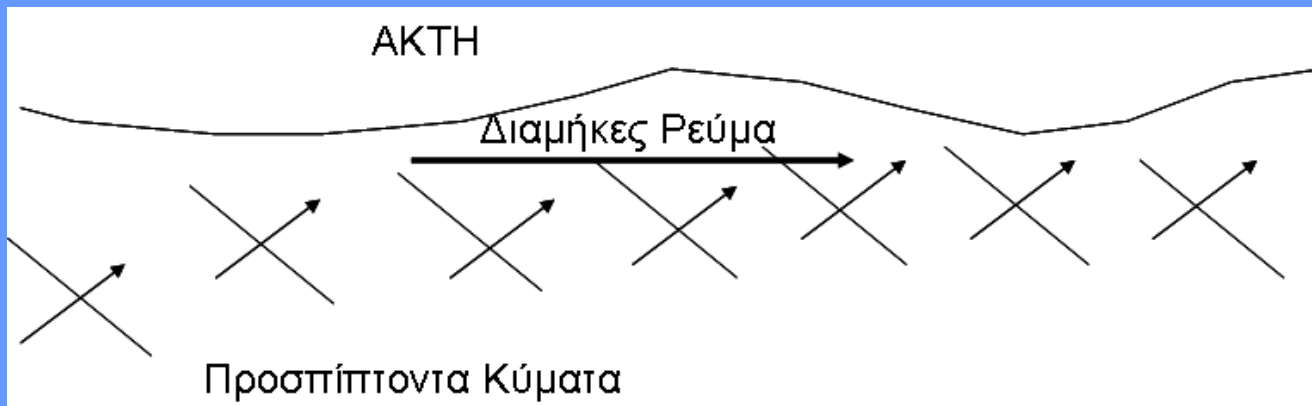
B) των βελοειδών ρευμάτων (rip currents),

Γ) των ρευμάτων επαναφοράς (undertow),

Δ) των ρευμάτων swash/backwash.

Για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών, η διαμήκης ορμή που προκαλείται κατά τη θραύση των κυματισμών είναι υπεύθυνη για την ανάπτυξη διαμηκών ρευμάτων.

Μικρότερες γωνίες πρόσπτωσης κυματισμών δημιουργούν ασθενέστερα διαμήκη ρεύματα.



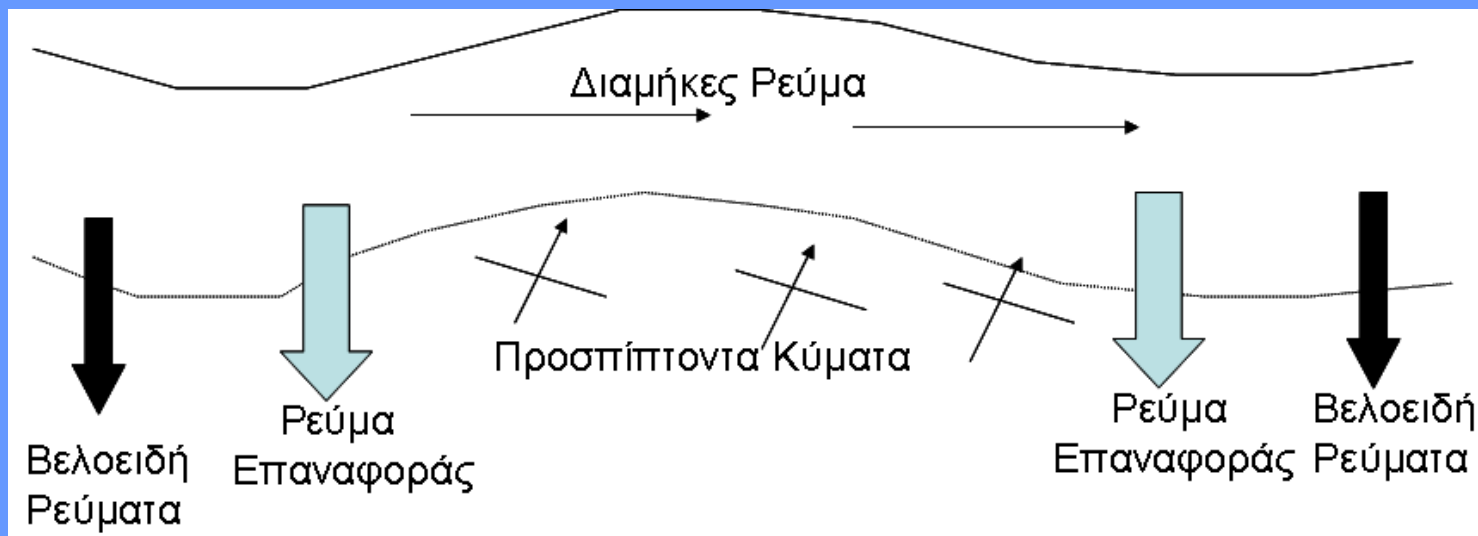
Παράλληλα, η εμπρόσθια ορμή των κυμάτων μεταφέρει νερό σε όλο το πλάτος της ακτογραμμής, προκαλώντας την αύξηση της στάθμης της θάλασσας στην ακτογραμμή (wave setup).

Ως αντιστάθμισμα, το μεγαλύτερο τμήμα του νερού που μεταφέρει το κύμα, μεταφέρεται από την ακτή προς την ανοικτή θάλασσα, με τη μορφή της ροής επαναφοράς (undertow).

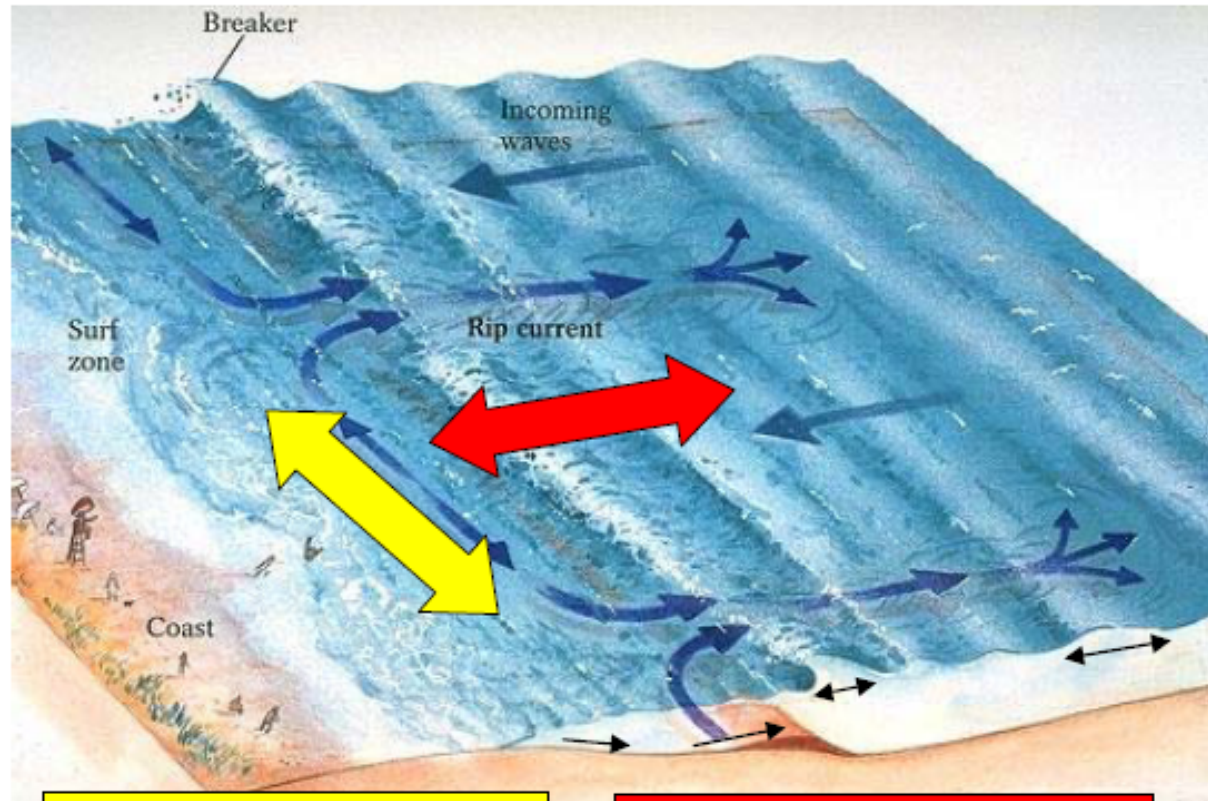
Η ροή επαναφοράς είναι μία γενική ροή προς τα νερά μεγαλύτερου βάθους η οποία συμβαίνει σε ολόκληρο το πλάτος της ακτής.

Αντίστοιχα, η ροή των βελοειδών ρευμάτων (rip currents) έχει και αυτή κατεύθυνση προς την ανοικτή θάλασσα, αλλά συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένα σημεία της ακτής και αποτελείται από τοπικά ισχυρά ρεύματα.

Τα βελοειδή ρεύματα δημιουργούνται σε θέσεις χαμηλής αντίστασης της μορφολογίας της ακτής, όπως τοπικές ασυνέχειες στη διεύθυνση της ακτογραμμής.



Cell Circulation



Longshore transport

Cross-shore transport

Το παράκτιο ίζημα

Από πού προέρχονται τα ιζήματα των ακτών?

Όλες οι ακτές δεν είναι όμοιες. Υπάρχουν ακτές όπου κυριαρχεί η απόθεση ιζημάτων (αμμώδεις ακτές) και άλλες όπου κυριαρχεί η διάβρωση.



Διαβρωμένη ακτή



Ακτή αποθεσης

Προέλευση Ιζημάτων από Παράκτια Διάβρωση

Βραχώδεις ακτές με έντονη προσπίπτουσα κυματική ενέργεια αποτελούν πηγές προέλευσης του παράκτιου ιζήματος.

Στη περίπτωση αυτή, τα πετρώματα του ιζήματος της ακτής είναι όμοια με αυτά των μητρικών πετρωμάτων που υπέστηκαν τη διάβρωση.

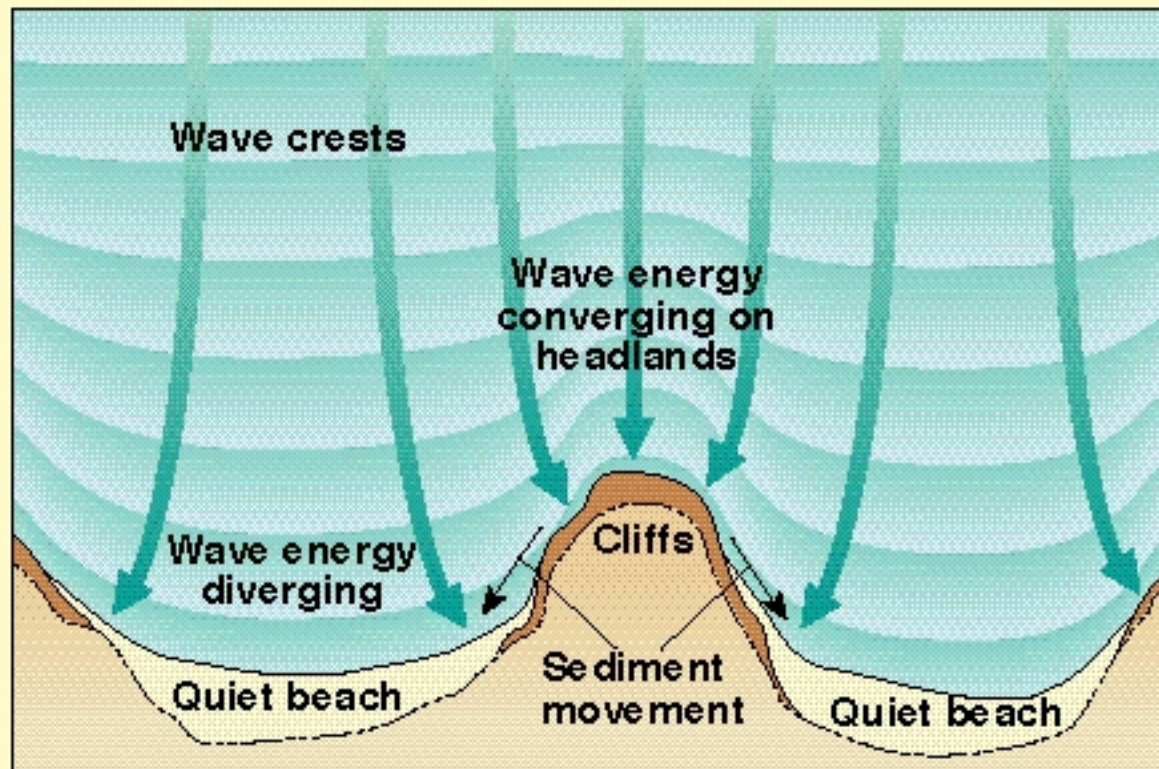
Βασάλτης – Ηφαιστειακό Πέτρωμα



Μαύρη Ηφαιστειακή άμμος

Παραλία στα νησιά Hawaii

Coastal Wave Refraction





Σύγκλιση



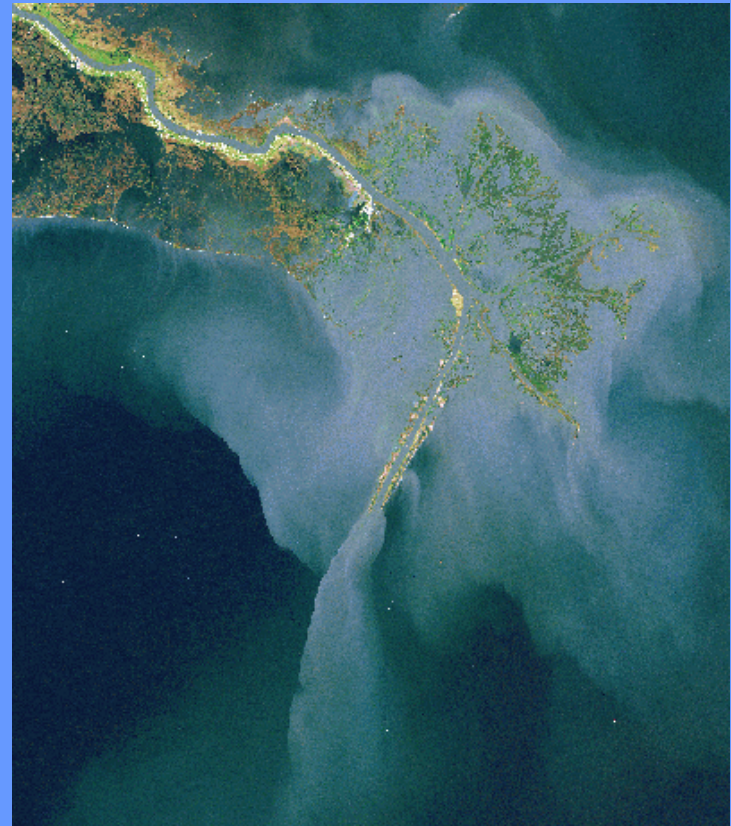
Απόκλιση



Προέλευση Ιζημάτων από Ποτάμια

Η κυριότερη πηγή ιζημάτων προς τις ακτές οφείλεται στη προσφορά φερτών υλών των ποταμών προς τις ακτές.

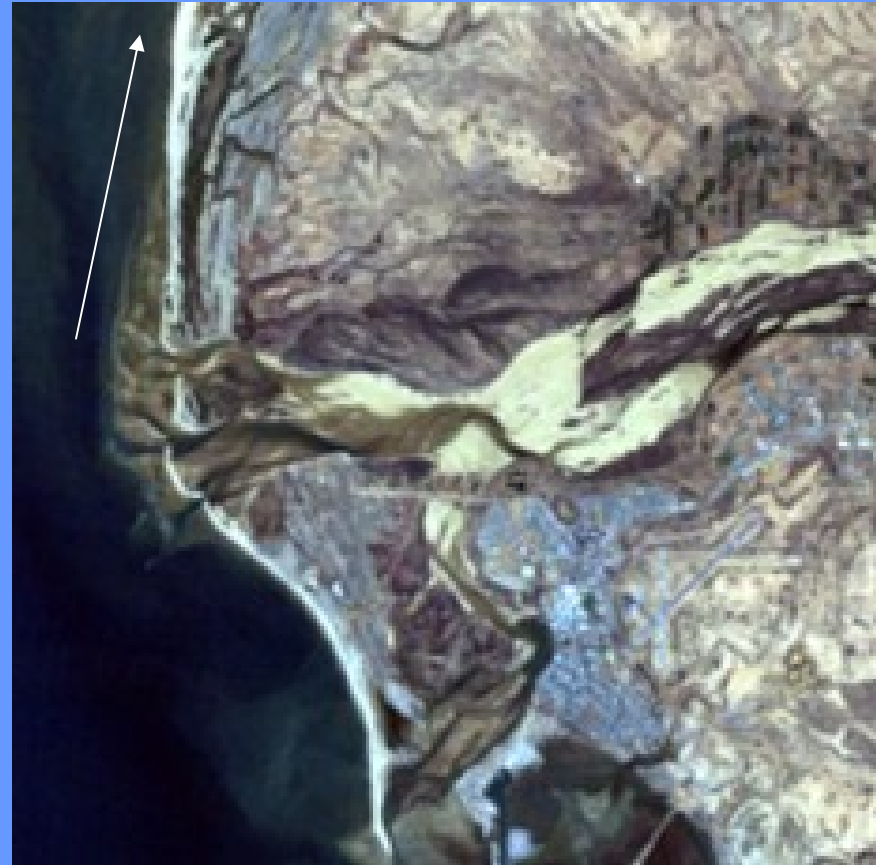
Όταν ένα μεγάλο ποτάμι εκρέει στη θάλασσα τότε η ροή του σταδιακά μειώνεται, και το αιωρούμενο υλικό που μεταφέρει σταδιακά αποτίθεται ως ίζημα στις παρακείμενες ακτές κοντά στο στόμιο του ποταμού (δελταϊκή απόθεση).



Δέλτα Mississippi

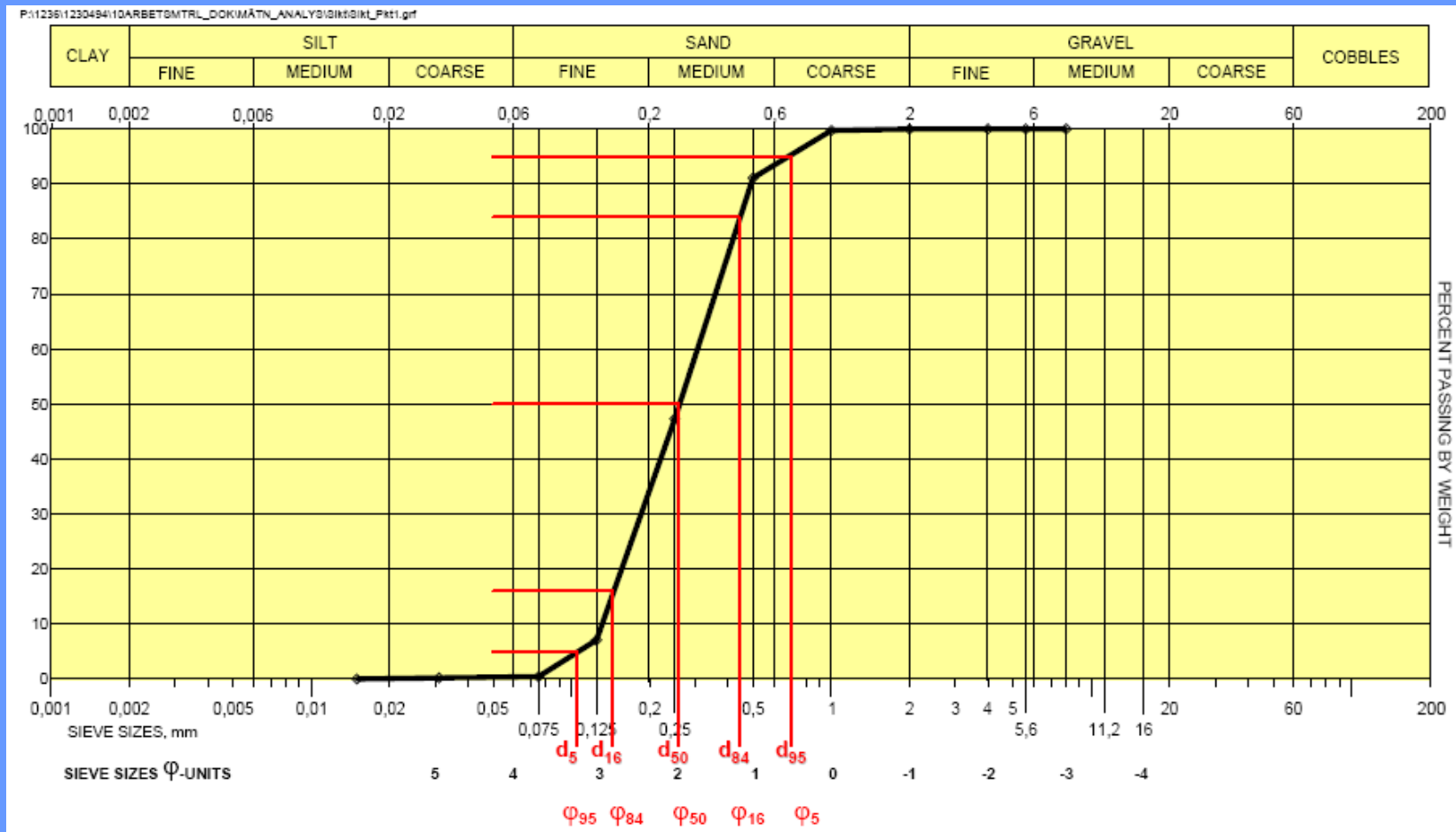
Μεταφορά ιζημάτων μακριά από το δέλτα ποταμών

Αν η προσπίπτουσα κυματική ενέργεια είναι ισχυρή, το αποτιθέμενο ίζημα κοντά στο στόμιο του ποταμού μπορεί να μεταφερθεί κατά μήκος της ακτογραμμής, και έτσι να μην σχηματισθεί μία καλά διαμορφωμένη δελταϊκή απόθεση.



Τα χαρακτηριστικά του παράκτιου ιζήματος

Το υλικό του παράκτιου ιζήματος ποικίλλει σε μέγεθος και κυμαίνεται από τους ογκόλιθους (boulders) έως το πηλό (clay).



Τα ιζήματα ταξινομούνται με βάση το μέγεθος τη μέσης κοκκομετρικής διαμέτρου τους D_{50} .

$$\Phi = -\log_2 D = -\frac{\log D}{\log 2}$$

Τα μεγέθη Φ χρησιμοποιούνται ως βάση στη ταξινόμηση Wentworth

Πίνακας 1. Ταξινόμηση ιζημάτων με βάση τη μέση κοκκομετρική διάμετρο (D_{50}) και το Φ .

Κοκκομετρικό μέγεθος σε χλστ.	Τιμή Φ	Κατάταξη κατά Wentworth
>256.0	<-8.0	Ογκόλιθος
$64.0 < D_{50} < 256.0$	$-6.0 > \Phi > -8.0$	Κροκάλα
$4.0 < D_{50} < 64.0$	$-2.0 > \Phi > -6.0$	Λατύπα
$2.0 < D_{50} < 4.0$	$-1.0 > \Phi > -2.0$	Χαλίκι
$1.0 < D_{50} < 2.0$	$0.0 > \Phi > -1.0$	Πολύ Αδρομερής Άμμος
$0.5 < D_{50} < 1.0$	$1.0 > \Phi > 0.0$	Αδρομερής Άμμος
$0.25 < D_{50} < 0.5$	$2.0 > \Phi > 1.0$	Μεσόκοκκη Άμμος
$0.125 < D_{50} < 0.25$	$3.0 > \Phi > 2.0$	Λεπτομερής Άμμος
$0.062 < D_{50} < 0.125$	$4.0 > \Phi > 3.0$	Πολύ Λεπτομερής Άμμος
$0.0039 < D_{50} < 0.062$	$8.0 > \Phi > 4.0$	Ιλύς

Το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος ορίζεται ως

$$M_{\Phi} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

η τυπική απόκλιση της κοκκομετρικής κατανομής δίνεται από

$$\sigma_{\Phi} = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{2}$$

η λοξότητα (skewness) δίνεται από

$$\alpha_{\Phi} = \frac{M_{\Phi} - \Phi_{50}}{\sigma_{\Phi}}$$

και η κύρτωση (kurtosis) δίνεται από

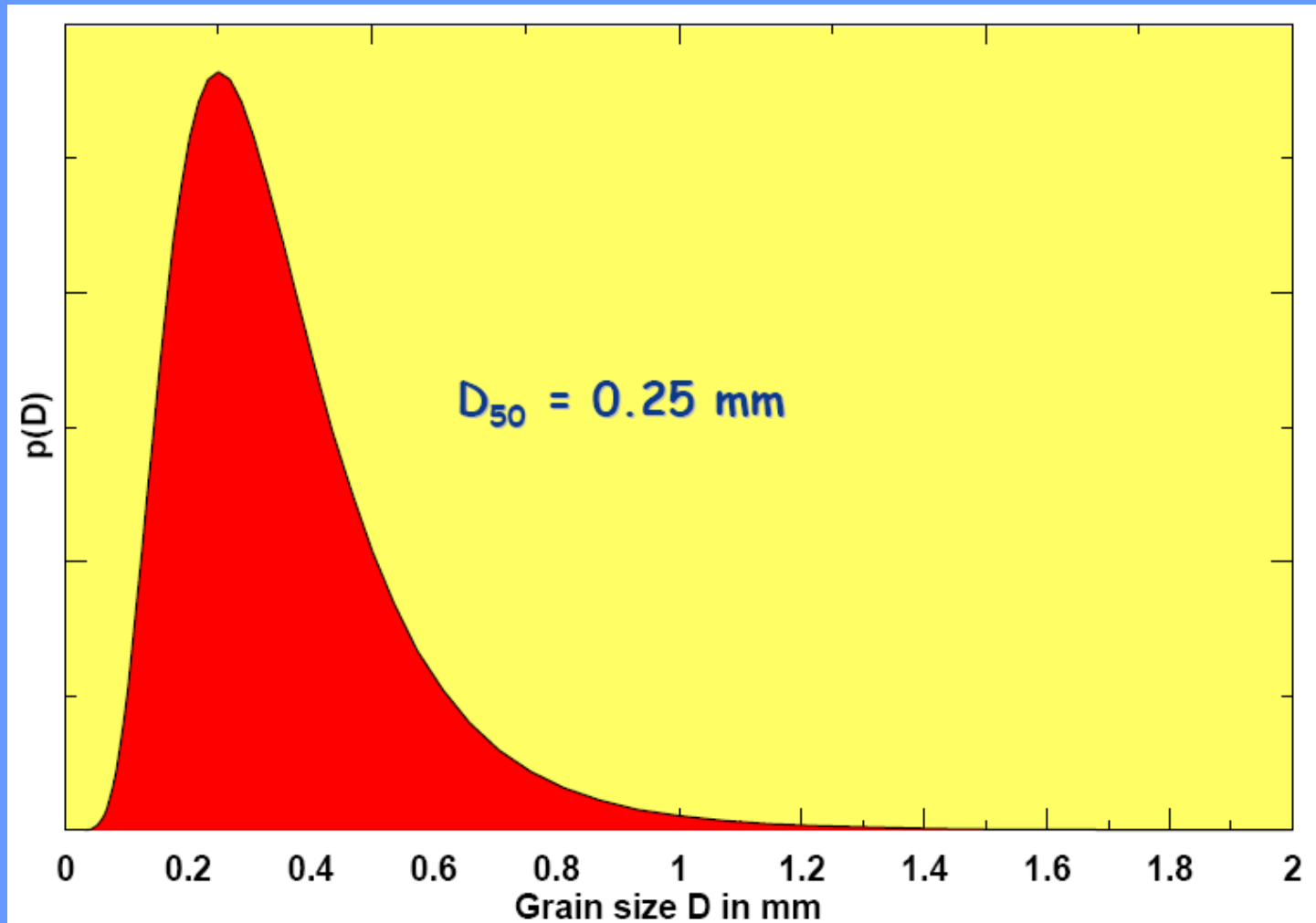
$$K = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Καθώς η κλίμακα Φ είναι αντιστρόφως ανάλογη της κλίμακας κοκκομετρικής διαμέτρου, προκύπτει ότι όσο πιο υψηλά είναι τα μεγέθη της Φ -κλίμακας, τόσο πιο λεπτομερή είναι τα ιζήματα αυτά.

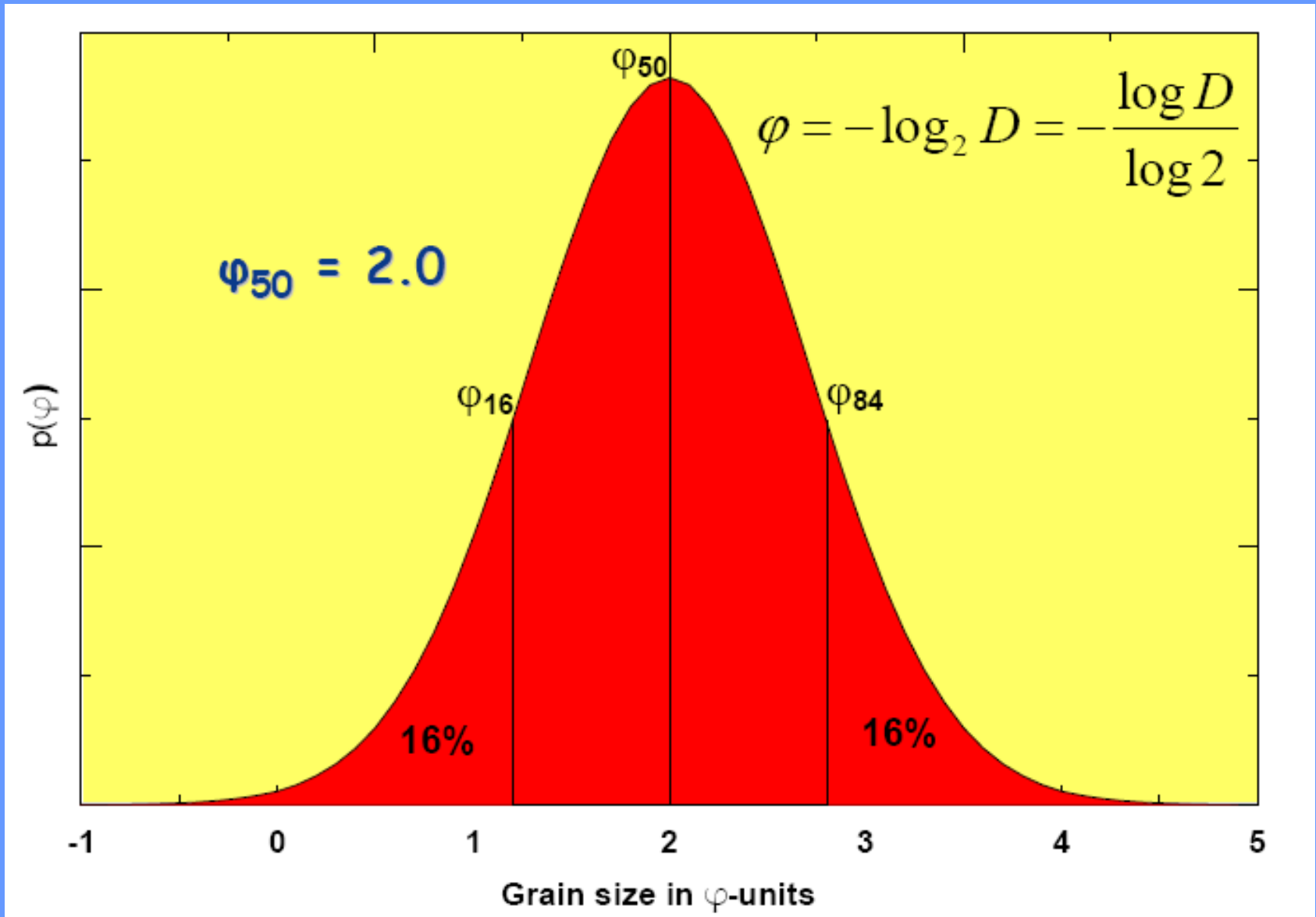
Η τυπική απόκλιση εκφράζει τη ομοιογένεια του δείγματος πυθμένα, επομένως οι χαμηλές τιμές τυπικής απόκλισης αντιστοιχούν σε πιο ομοιογενή δείγματα πυθμένα.

Η λοξότητα δείχνει κατά πόσο το δείγμα περιέχει κοκκομετρικά μεγέθη σε συμμετρική κατανομή ως προς το μέσο μέγεθος, με τις υψηλότερες τιμές να δείχνουν μεγαλύτερη συμμετρία.

Η κύρτωση εκφράζει την απόκλιση της κατανομής του δείγματος από τη κανονική κατανομή ($K=1$). Όσο μεγαλύτερη η απόκλιση της τιμής κύρτωσης του δείγματος από τη μονάδα, τόσο υψηλότερη είναι η απόκλιση από τη κανονική κατανομή.



Τυπική κοκκομετρική κατανομή δείγματος ιζήματος με μέση κοκκομετρική διάμετρο $D_{50} = 0.25$ mm.



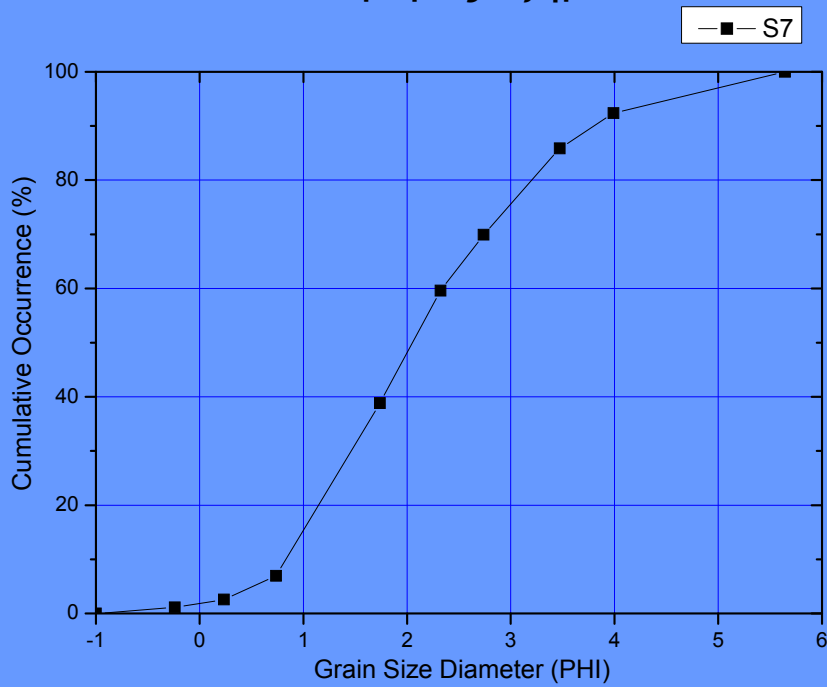
Τυπική κοκκομετρική κατανομή δείγματος ιζήματος σε μονάδες Φ



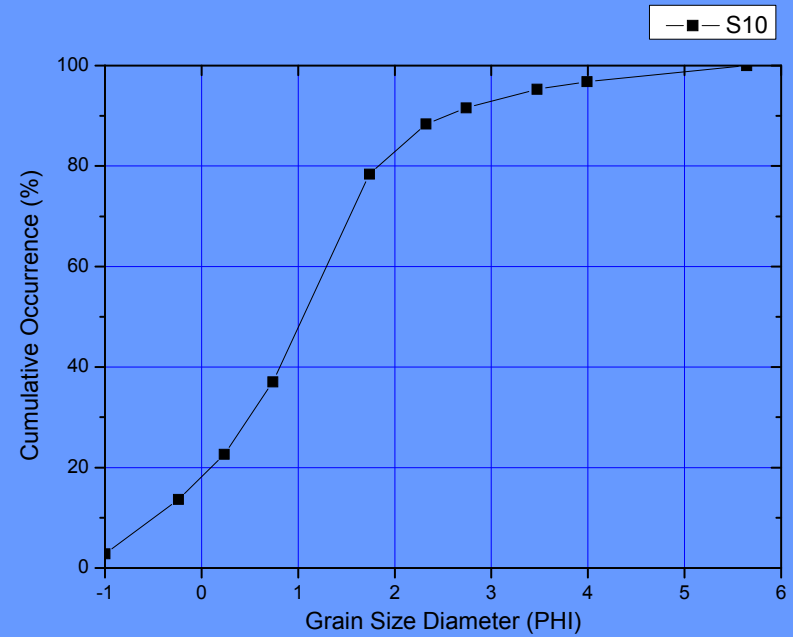
Πολύ Λεπτομερές Ίζημα



Αδρομερές Ίζημα



$\Phi_{50}=2.1$; Λεπτομερές άμμος)



$\Phi_{50}=1.1$; Μεσόκοκκη άμμος)

Table 2. Statistical parameters of sandbank bottom sediments.

	M_Z	σ_I	S	K
Site 2	1.480	0.911	1.361	1.212
Site 3	1.187	0.950	1.192	1.392
Site 4	2.133	2.009	0.945	0.800
Site 5	1.699	1.413	0.972	1.467
Site 6	1.931	1.341	1.171	1.094
Site 7	2.154	1.205	1.366	0.994
Site 8	1.167	1.532	0.789	0.920
Site 10	1.001	1.190	0.982	1.443
Site 11	1.537	2.165	0.727	0.725

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Καθώς η κλίμακα ϕ είναι αντιστρόφως ανάλογη της κοκκομετρικής διαμέτρου σε mm, προκύπτει ότι τα πιο λεπτομερή ιζήματα εμφανίζονται στους σταθμούς 4 και 7, με μέσες διαμέτρους 2.133ϕ ή 0.228 mm και 2.154ϕ ή 0.225 mm, αντίστοιχα.

Οι σταθμοί 10 και 8 που βρίσκονται στα βορειο-ανατολικά της περιοχής μελέτης έχουν πιο αδρομερή ιζήματα με μέση κοκκομετρική διάμετρο 1.001ϕ ή 0.500 mm και 1.167ϕ ή 0.445 mm (μεσόκοκκη άμμος).

Η τυπική απόκλιση εκφράζει την ομοιογένεια του ιζήματος πυθμένα, επομένως χαμηλές τιμές σ αντιστοιχούν σε ομοιογενές δείγμα ιζήματος.

Οι σταθμοί 4 και 11 έχουν τις υψηλότερες τιμές σ στη κλίμακα ϕ , επομένως έχουν τη χαμηλότερη τυπική απόκλιση σε mm (0.248 mm και 0.223 mm, αντίστοιχα) επομένως θεωρούνται ως τα πιο ομοιογενή ιζήματα της περιοχής μελέτης.

Οι τιμές Skewness είναι υψηλές, γεγονός που σημαίνει ότι τα δείγματα είναι συμμετρικά στη κατανομή των κοκκομετρικών μεγεθών τους, ενώ η κύρτωση που μετρά την απόκλιση της κατανομής του δείγματος από τη κανονική κατανομή ($K=1$), δείχνει ότι οι σταθμοί 5 και 10 έχουν την υψηλότερη απόκλιση από τη κανονική κατανομή ενώ ο σταθμός 7 έχει κατανομή πιο κοντά στη κανονική.

Τα χαρακτηριστικά της ακτής

A. Κλίση Ακτής

Το προφίλ της κάθε ακτής χαρακτηρίζεται συνήθως από τη κλίση της, η οποία σχετίζεται με το κοκκομετρικό της μέγεθος.

Υψηλότερες κοκκομετρικές διαμέτροι ιζήματος (άρα μικρότερα Φ) σχετίζονται με ακτές υψηλής κλίσης.

Γενικά η κλίση μιας ακτής σχετίζεται με το ύψος θραύσης και το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος από

$$m = 1.8 \left(\frac{H_b}{D_{50}} \right)^{-1/2}$$

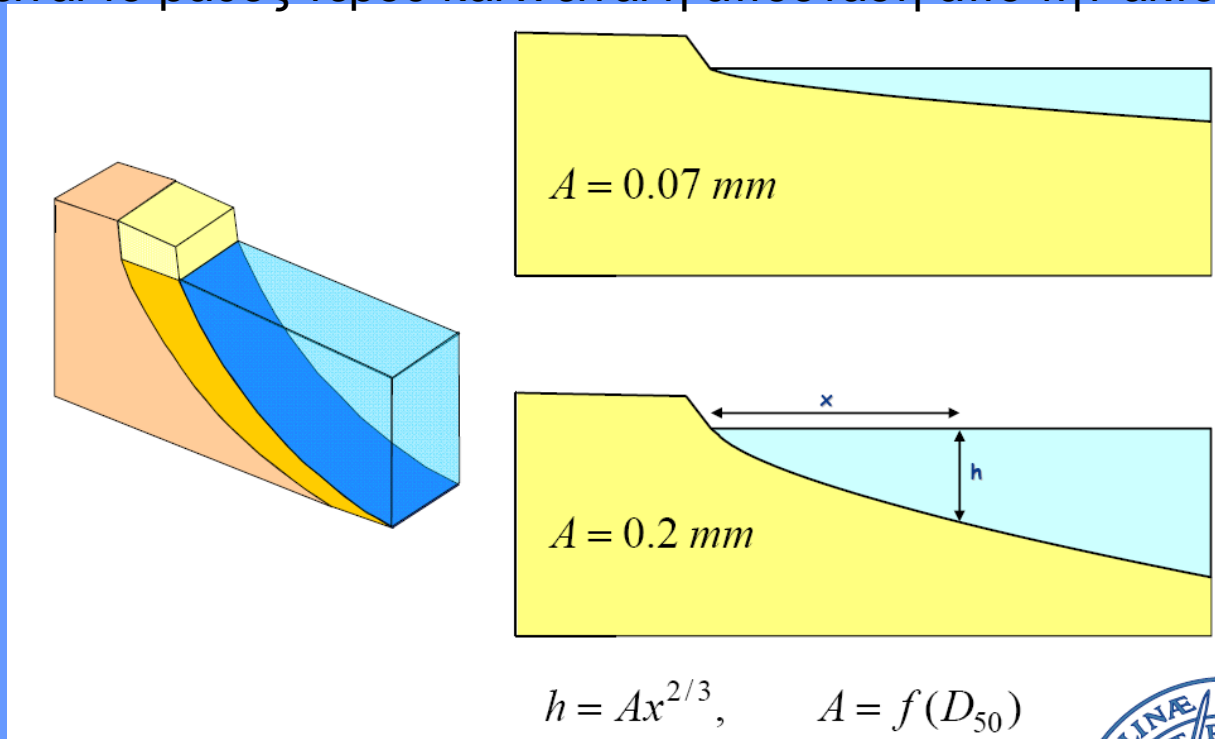
Η παραπάνω εξίσωση σημαίνει ότι ακτές με μεγαλύτερη κλίση προκύπτουν λόγω της μεγαλύτερης μεταφοράς ενέργειας κατά τη θραύση (κυριαρχεί η θραύση εκτίναξης) με αποτέλεσμα τη χωρική συσσώρευση των δυνάμεων μεταφοράς ιζήματος, τη μεταφορά των μικρότερων κοκκομετρικών μεγεθών και τη παραμονή των μεγαλύτερων σε διάμετρο κόκκων.

B. Προφίλ Ακτής

Οι ακτές δεν εκφράζονται μόνο από τη κλίση τους, αλλά και από το σχήμα του προφίλ τους. Το μέσο προφίλ των ακτών συνδέει το βάθος νερού με την οριζόντια εγκάρσια στην ακτή απόσταση από την ακτογραμμή

$$h = A_p x^{2/3}$$

Όπου h είναι το βάθος νερού και x είναι η απόσταση από την ακτογραμμή.



Ο συντελεστής προφίλ A_p προσδιορίζεται με βάση τη μέση κοκκομετρική διάμετρο

$$A_p = (1.04 + 0.086 \ln D_{50})^2 \quad 0.1 \times 10^{-3} \text{ m} \leq D_{50} \leq 1.0 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Άλλη έκφραση είναι

$$A_p = 20 D_{50}^2 \quad 0.1 \times 10^{-3} \text{ m} \leq D_{50} \leq 0.2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι το βάθος νερού αυξάνει συνεχώς με την απόσταση x .

Το προφίλ ακτής θα πρέπει να έχει ένα θαλάσσιο όριο, δηλ. κάποιο σημείο πέρα από το οποίο τα κύματα δεν είναι σε θέση να μετακινήσουν το ίζημα πυθμένα και άρα να μεταβάλλουν το προφίλ της ακτής. Το βάθος αυτό καλείται **‘κρίσιμο βάθος’** και συμβολίζεται με h_C και ορίζεται ως

$$h_C = 1.6 H_{S,12}$$

Όπου $H_{S,12}$ είναι το σημαντικό ύψος κύματος που λαμβάνει χώρα κατά μέσο όρο για 12 συνεχείς ώρες το χρόνο

Πως τα ιζήματα μεταφέρονται κατά μήκος της ακτής ?

Τα περισσότερα κύματα προσπίπτουν στην ακτή υπό γωνία.

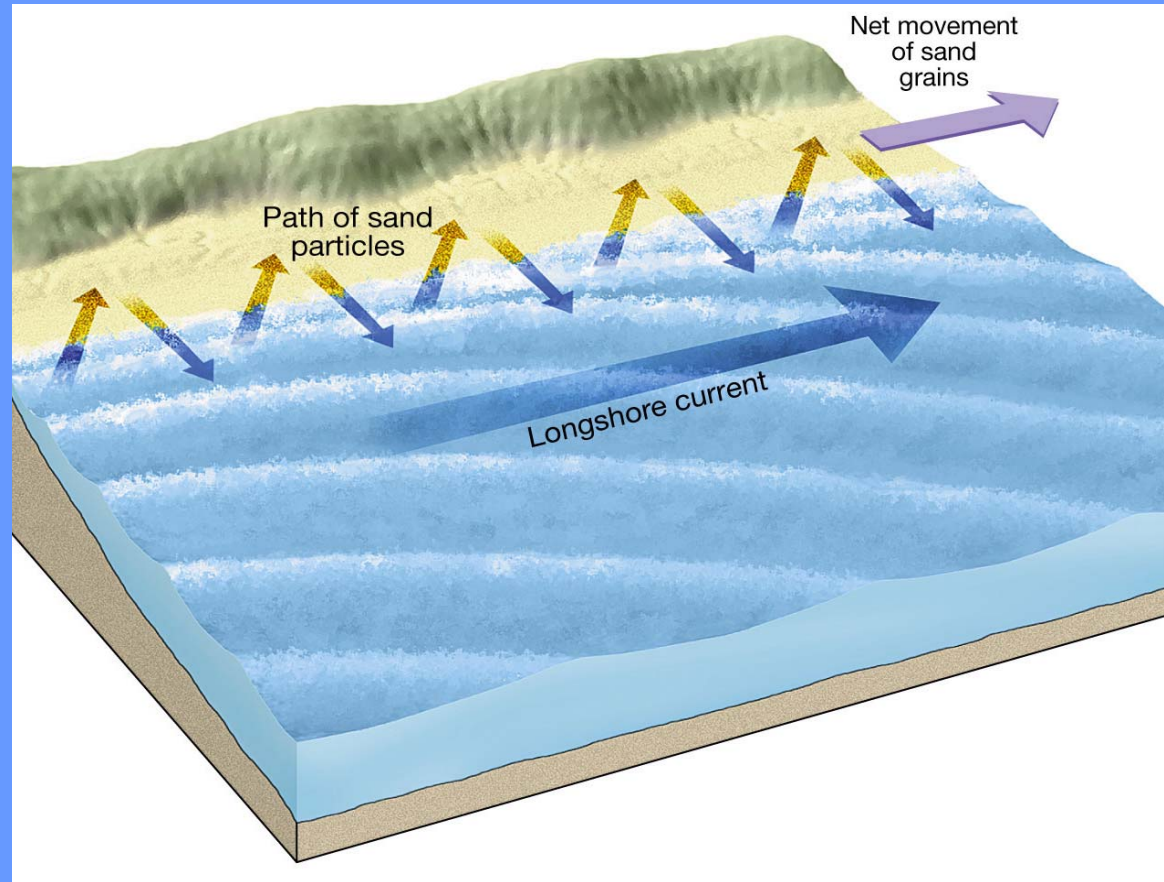
Αυτό σημαίνει ότι δημιουργείται υπό γωνία ροή διαβροχής (swash) από κάθε θραυόμενο κύμα προς την ακτή.



Διαμήκης Παράσυρση (Longshore Drift)

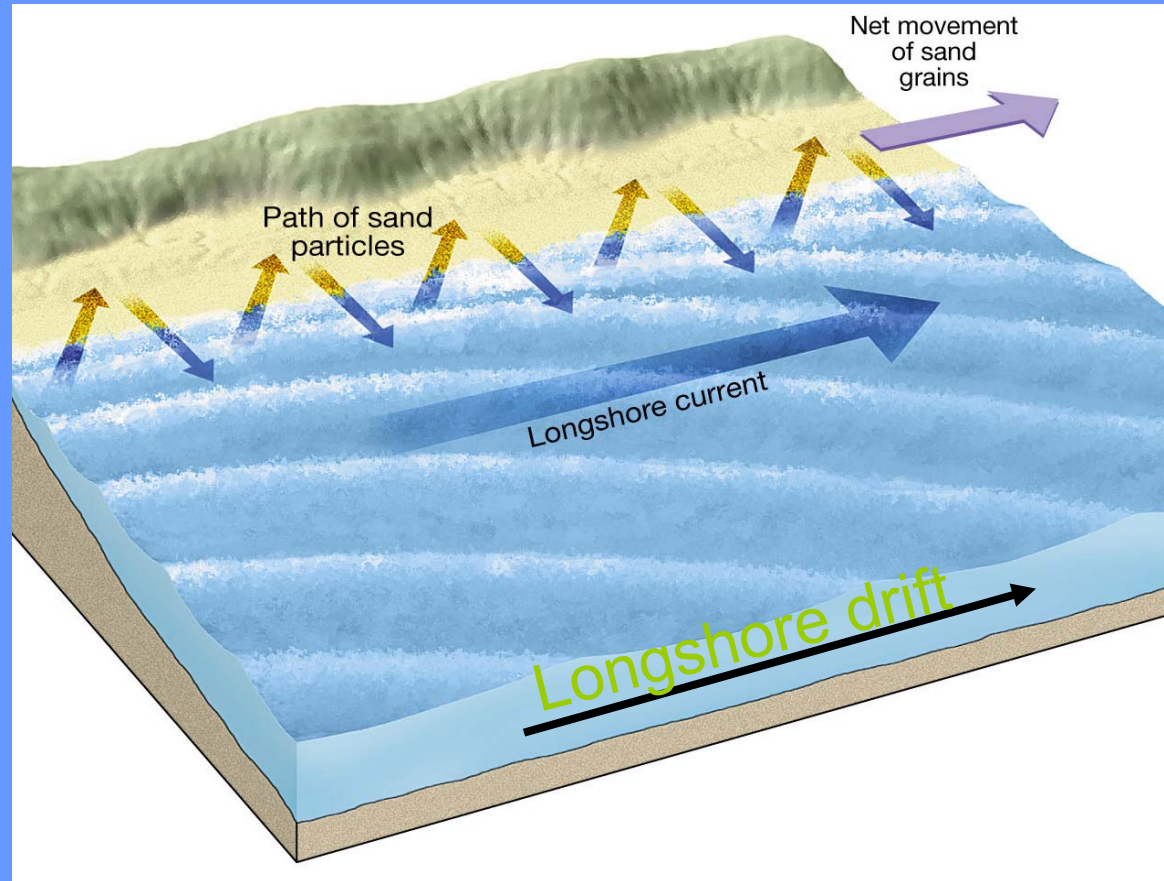
Καθώς η ροή διαβροχής είναι λοξή, ως προς την ακτή, ενώ η ροή απόσυρσης (backwash) έχει πάντα κάθετη προς την ακτή διεύθυνση, τα ιζήματα καταλήγουν να μεταφέρονται σε τεθλασμένη τροχία κατά μήκος της ακτής.

Αυτή η μεταφορά ιζήματος καλείται διαμήκης παράσυρση και μπορεί να μεταφέρει άμμο και χαλίκια κατά χλμ/ημέρα.



Διαμήκες Ρεύμα

Παρόμοια, καθώς τα κύματα προσπίπτουν στην ακτή υπό γωνία, στη ζώνη θραύσης δημιουργείται το διαμήκες ρεύμα, το οποίο επίσης μεταφέρει τα ιζήματα κατά το μήκος της ακτής.



Διαμήκης Μεταφορά Ιζήματος

Η μεταφορά ιζήματος κατά μήκος της ακτής σχετίζεται με τη κυματική ορμή ή η βαθμίδα κυματικής ενέργειας.

Η ροή κυματικής ενέργειας ή η κυματική ισχύς δίνεται ως

$$\bar{P} = nCEb$$

Και η μέση κυματική ισχύς ανά μονάδα μήκους ακτογραμμής είναι

$$\bar{P}' = \frac{nCEb}{b / \cos a} = nCEb \cos a$$

Η διαμήκης συνιστώσα της κυματικής ισχύος είναι

$$P_a = (nCE \cos a) \sin a = \frac{1}{2} nCE \sin 2a$$

και στη ζώνη θραύσης $n \rightarrow 1$, $C_b \rightarrow \sqrt{gh_b}$

ΟΠΌΤΕ

$$E_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2$$

ΚΑΙ

$$P_{ab} = \frac{1}{16} \rho g^{3/2} H_b^2 h_b^{1/2} \sin 2a_b$$

Χρησιμοποιώντας το δείκτη θραύσης

$$P_{ab} = \frac{1}{16} \frac{\rho g^{3/2}}{\gamma_b^{1/2}} H_b^{5/2} \sin 2a_b$$

Όταν χρησιμοποιούμε τιμές σημαντικού ύψους κύματος H_s

$$P_{asb} = \frac{1}{16} \frac{\rho g^{3/2}}{\gamma_b^{1/2}} H_{sb}^{5/2} \sin 2a_b$$

$$P_{asb} = 2.0 \times 10^3 \frac{H_{sb}^{5/2}}{\gamma_{sb}^{1/2}} \sin 2a_b$$

Θεωρώντας ότι η άμμος έχει πυκνότητα $\rho_s = 1800 \text{ kg/m}^3$ και πορώδες $n = 0.32$ η διαμήκης στερεοπαροχή εκφρασμένη σε m^3/yr είναι

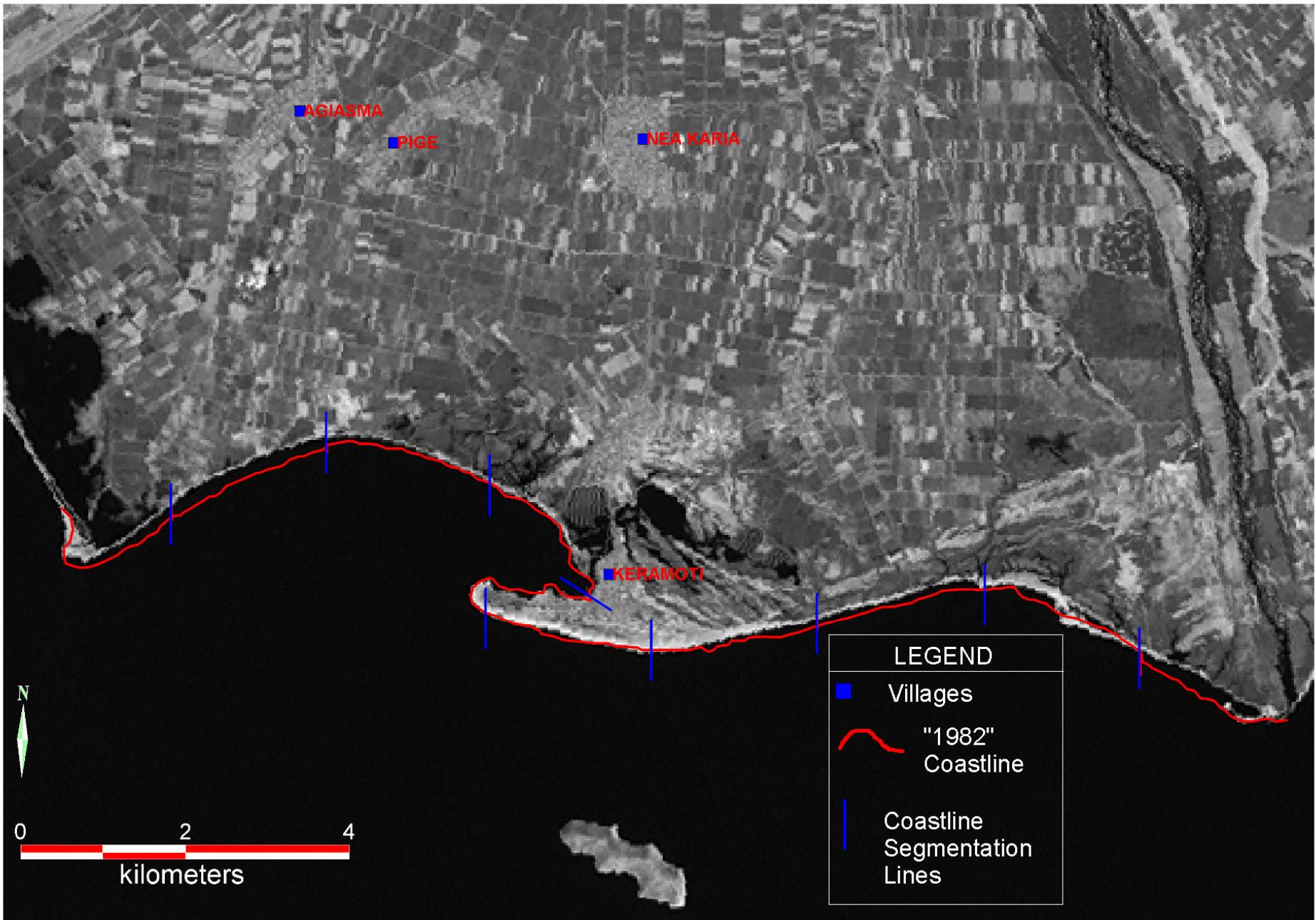
$$Q_C = 2.2 \times 10^6 \frac{H_{sb}^{5/2}}{\gamma_{sb}^{5/2}} \sin 2a_b \quad (\text{m}^3 / \text{yr})$$

Για επίπεδη ακτή ($m=0$) ο συντελεστής θραύσης γίνεται $\gamma_{sb}=0.56$

$$Q_C = 2.9 \times 10^6 H_{sb}^{5/2} \sin 2a_b \quad (\text{m}^3 / \text{yr})$$

$$Q_C = 330 H_{sb}^{5/2} \sin 2a_b \quad (\text{m}^3 / \text{hr})$$

όπου H_{sb} είναι σε μέτρα και Q είναι συνάρτηση του H και a μόνο.



AGIASMA

PIGE

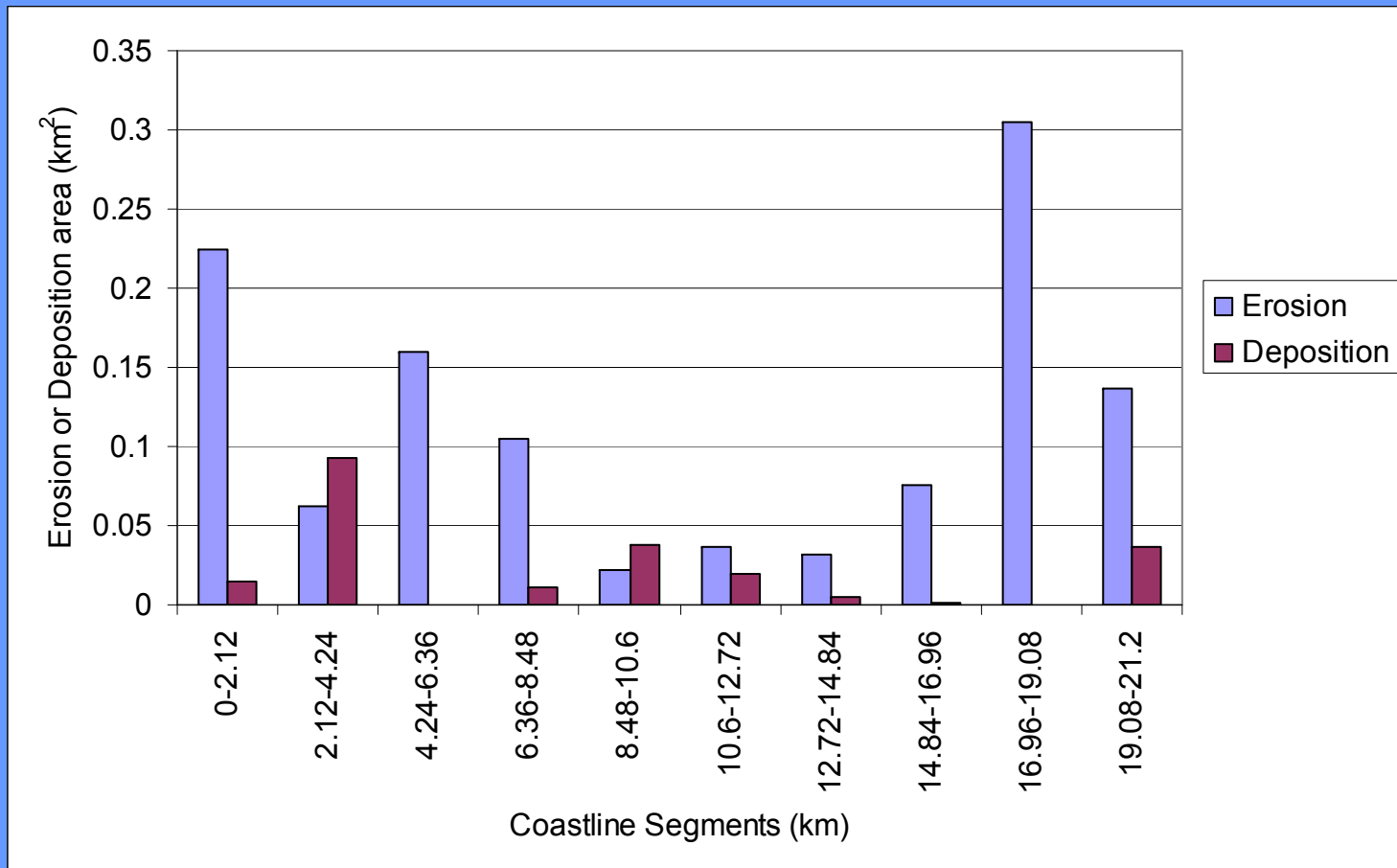
NEA KARIA

KERAMOTI

LEGEND

- Villages
- "1982" Coastline
- | Coastline Segmentation Lines





Το εμβαδόν της διαβρωμένης περιοχής υπολογίσθηκε σε 1.16 km². Το εμβαδόν της περιοχής απόθεσης ιζήματος υπολογίσθηκε σε 0.22 km².