



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ  
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	<b>Π.Ε.1.3 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΩΝ</b>		
<b>Συντάκτης Φορέας</b>	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
<b>Κωδικός Παραδοτέου</b>	Π.1.5.2 – Έκθεσης Δραστηριότητας Ιζήματος		
<b>Αριθμός Έκδοσης</b>	1	<b>Διαθεσιμότητα</b>	Ολοκληρωμένο
<b>Μήνας Έναρξης</b>	M1	<b>Μήνα Λήξης</b>	M17
<b>Τύπος</b>	Έκθεση		
<b>Ομάδα Σύνταξης</b>	ΔΡ. ΠΟΥΛΟΣ ΣΕΡΑΦΕΙΜ, MSc ΚΟΤΙΝΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΣΤ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή



**ΛΑΕΡΤΗΣ**

Καινοτόμο επιχειρησιακό σύστημα  
 διαχείρισης φυσικών κινδύνων  
 στην Περιφέρεια Ιονίων Νήσων



**ΥΠΟΕΡΓΟ 1 «ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΩΝ,  
 ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ – ΕΝΗΜΕΡΩΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΔΟΜΗΣΗ  
 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ»**

<b>Πακέτο Εργασίας</b>	<b>Π.Ε.1.3 – ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΑΚΤΩΝ</b>		
<b>Συντάκτης Φορέας</b>	Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών		
<b>Κωδικός Παραδοτέου</b>	Π.1.5.2 – Έκθεσης Δραστηριότητας Ιζήματος		
<b>Αριθμός Έκδοσης</b>	1	<b>Διαθεσιμότητα</b>	Ολοκληρωμένο
<b>Μήνας Έναρξης</b>	M1	<b>Μήνα Λήξης</b>	M17
<b>Τύπος</b>	Έκθεση		
<b>Ομάδα Σύνταξης</b>	ΔΡ. ΠΟΥΛΟΣ ΣΕΡΑΦΕΙΜ, MSc ΚΟΤΙΝΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΔΡ. ΔΙΑΚΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ, MSc ΜΑΥΡΟΥΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ, MSc ΚΩΤΣΗ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ, MSc ΛΑΖΟΓΙΑΝΝΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, ΔΡ. ΒΟΥΛΓΑΡΗΣ ΣΤ. ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΔΡ. ΛΕΚΚΑΣ ΕΥΘΥΜΙΟΣ		

Η σελίδα έχει μείνει σκόπιμα κενή

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1. Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	2
1.1. Μορφολογία της παραλιακής ζώνης.....	2
1.2. Υδροδυναμική της Παράκτιας Ζώνης.....	4
1.2.1 Κύματα.....	4
1.2.2 Ταχύτητα Κύματος.....	4
1.2.3 Ενέργεια κυμάτων .....	6
1.2.4 Κριτήριο Θραύσης κυμάτων .....	7
1.2.5 Είδη κυμάτων θραύσης.....	12
1.3. Κοκκομετρικό Μέγεθος .....	13
1.4. Δυναμική των ιζημάτων – Κινητοποίηση - Μορφοδυναμική .....	19
1.4.1 Διατμητική τάση και τριβή πυθμένα (bed shear stress and bed friction).....	20
1.4.2 Κατώφλι κίνησης των ιζημάτων του πυθμένα .....	22
Κεφάλαιο 2. Περιοχές Μελέτης.....	27
2.1. Παραλιακή ζώνη Λιμνοθάλασσας Κορισσίων (Νήσος Κέρκυρα).....	28
2.2 Δυτικές ακτές Λευκάδας.....	30
2.3 Παραλίες Νοτιοανατολικής Κεφαλονιάς .....	34
2.4 Παραλίες κόλπου Λαγανά Ζακύνθου.....	35
Κεφάλαιο 3. Συλλογή δεδομένων – Μεθοδολογία .....	38
3.1 Συλλογή Δεδομένων .....	38
3.2 Πρόγνωση Κυματισμού .....	38
3.3. Κοκκομετρική ανάλυση .....	40
3.4. Κινητοποίηση των ιζημάτων .....	41
Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα - Σχολιασμός .....	44
4.1. Τοπογραφικές τομές & Κοκκομετρία .....	44
4.1.1. Λιμνοθάλασσα Κορισσίων Κέρκυρας .....	44
4.1.2. Δυτικές ακτές Λευκάδας.....	46
4.1.3. Κεφαλονιά .....	48
4.1.4. Παραλίες Λαγανά Ζακύνθου.....	51
4.2. Κυματικά χαρακτηριστικά .....	53
4.3. Κινητοποίηση των ιζημάτων .....	55
4.3.1 Κινητοποίηση των υποθαλάσσιων ιζημάτων των Νήσων του Ιονίου για διαφορετικές κοκκομετρικές κλάσεις (άμμου) .....	55
4.3.2 Κινητοποίηση των υποθαλάσσιων ιζημάτων των υπό διερεύνηση παραλιών των Νήσων του Ιονίου .....	57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Ταμείο  
Περιφερειακής Ανάπτυξης

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ 2014-2020

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

## Κεφάλαιο 1. Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 1.1. Μορφολογία της παραλιακής ζώνης

Στην περίπτωση, όπου κατά μήκος του φυσικού ορίου μεταξύ του χερσαίου και του θαλάσσιου χώρου της παράκτιας ζώνης, την **ακτογραμμή**, έχουμε την συσσώρευση ασύνδετων (χαλαρών) ιζημάτων (κυρίως άμμο, ψηφίδες και βότσαλα), που συνήθως είναι προϊόντα διάβρωσης, τότε δημιουργείται μια χερσαία ζώνη, η **παραλία (ή αιγιαλός)**, που εκτείνεται από την χαμηλότερη στάθμη της θάλασσας μέχρι κάποιου ορίου όπου μπορούν να φθάσουν τα κύματα θύελλας και που συνήθως συμπίπτει με κάποιο χαρακτηριστικό φυσιογραφικό σημείο της χέρσου (π.χ. πεδίο παράκτιων θινών, μια ζώνη έντονης βλάστησης). Όμως εκτός από το εναέριο τμήμα της παραλίας έχουμε και το υποθαλάσσιο τμήμα της, στην διαμόρφωση του οποίου το μεγαλύτερο ρόλο παίζει το υδροδυναμικό καθεστώς, όπως αυτό διαμορφώνεται από τα κύματα (κυρίως), τα ρεύματα αλλά και την παλίρροια (όπου αυτή έχει σημαντική έκφραση). Έτσι, το σύνολο του εναέριου και υποθαλάσσιου τμήματος του αιγιαλού συνθέτει την **παράλια (ή αιγιαλίτιδα) ζώνη (beach zone)**. Είναι προφανές ότι δεν έχουμε πάντοτε την ανάπτυξη της παραλίας όπως π.χ. στην περίπτωση ενός απότομου παράκτιου γκρεμού (λιθολογικά ανθεκτικού), που στον πόδα του, είτε λόγω του μεγάλου βάθους της θάλασσας, είτε λόγω της μη-προσφοράς ιζημάτων, δεν έχουμε την συσσώρευση ιζημάτων.

Στην μορφολογική διαμόρφωση της αιγιαλίτιδας ζώνης τον σημαντικότερο ρόλο παίζει η μετακίνηση των ιζημάτων από τα κύματα, ως και τα σχετιζόμενα με αυτά ρεύματα. Το δε απώτατο όριο της προς την πλευρά της θάλασσας μπορεί να εκληφθεί εκείνο το βάθος, πέραν του οποίου τα κύματα αφήνουν ανεπηρέαστα τα ιζήματα του πυθμένα, δηλαδή όταν  $d > L/2$  ( $d$ : το βάθος και  $L$ : το μήκος κύματος). Συνήθως, το βάθος αυτό κυμαίνεται μεταξύ 10-20 m για κύματα συνήθους ύψους (Komar 1998). Όσο δε αφορά τη μορφοδυναμική και τη δυναμική ιζηματολογία, για το ανώτατο χερσαίο όριο της παραλίας (ή παραλιακής ζώνης) μπορεί να ληφθεί ως η αναρρίχηση των μέγιστων προσερχόμενων κυμάτων ( $R$ : run-up, εξίσωση 1.1).

Το **μέγιστο ύψος αναρρίχησης του κύματος ( $R$ )** πάνω στην παραλία, σε σχέση με τη μέση στάθμη της θάλασσας, υπολογίζεται με την εξίσωση (Komar, 1998):

$$R = 0,36 * \sqrt{g} * S * \sqrt{H_0} * T \quad (1.1)$$

όπου  $S$  είναι η εφαπτομένη κλίση της παραλίας,  $H_0$  και  $T$  ύψος και περίοδος για βαθιά νερά αντίστοιχα.

Ως απώτατο υποθαλάσσιο όριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το **μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων** του πυθμένα από τα μεγαλύτερα κύματα ( $h_c$ : closure depth). Για τον υπολογισμό του μέγιστου βάθους κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα χρησιμοποιούμε τον τύπο του Hallemeayer (1981):

$$h_c = (2,28 * H_s) - \frac{68,5 * H_s^2}{g * T^2} \quad (1.2)$$

όπου,  $H_s$  το σημαντικό ύψος κύματος και  $T$  η αντίστοιχη περίοδος.

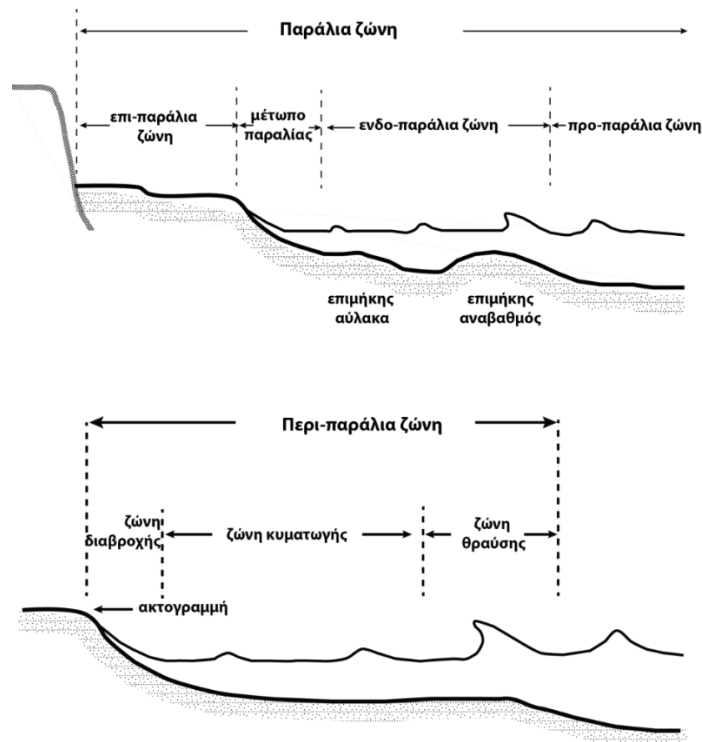
Με βάση λοιπόν την δυναμική διαμόρφωση της **παράλιας (αιγιαλίτιδας) ζώνης (shore zone)**, διακρίνουμε σε αυτήν τις εξής περιοχές (Σχήμα 1-1α):

(α) το εναέριο τμήμα της (επί-παράλια ζώνη) που εκτείνεται μέχρι εκεί που μπορούν σποραδικά να φθάνουν τα κύματα, σε περιόδους έντονων καταιγίδων (backshore).

(β) το τμήμα της παραλίας που βρέχεται (καλύπτεται) περιοδικά από την θάλασσα (foreshore), είτε λόγω του κυματισμού, είτε λόγω της παλίρροιας και που σχεδόν συμπίπτει (σε περιπτώσεις αμελητέας παλίρροιας) με το μέτωπο της παραλίας (beachface).

(γ) ένα αμιγώς θαλάσσιο τμήμα που εκτείνεται από το κατώτερο σημείο της θαλάσσιας στάθμης (κατώτατη παλίρροια και μέγιστη απόσυρση λόγω κυματισμού) συμπεριλαμβάνοντας την ζώνη θραύσης των κυμάτων (ενδο-παραλία ζώνη (inshore)) και εκτεινόμενη εντός της περιοχής της προ-παραλίας ζώνης, όπου επικρατούν συνθήκες διάδοσης των κυμάτων σε νερά ενδιαμέσου βάθους ( $d < L/2$ ).

Επιπλέον με βάση τις κυματικές διεργασίες, η **περι-παραλία ζώνη** (nearshore zone), χωρίζεται σε τρεις επιμέρους ζώνες (Σχήμα 1.1β): (α) την ζώνη θραύσης των κυμάτων (breaker zone), (β) την ζώνη κυματωγής (surf zone) και (γ) την ζώνη διαβροχής (swash zone) (Komar, 1998).



**Σχήμα 1-1.** Σχηματική απεικόνιση (α) των φυσιογραφικών εννοιών της αιγιαλίτιδας (παραλίας) ζώνης και (β) των υδροδυναμικών ζωνών της παραλίας ζώνης (τροποποιημένο από Komar, 1998).

Στην **ζώνη θραύσης των κυμάτων στο θαλάσσιο πυθμένα** έχουμε την δημιουργία ενός ή περισσοτέρων ύφαλων αναβαθμών (longshore bar) παράλληλων στην ακτογραμμή που συνοδεύονται από μια παράλληλη επίσης στην ακτογραμμή αύλακα (longshore trough). Στην ζώνη της κυματωγής, τα κύματα αφού έχουν σπάσει προελαύνουν προς την ακτογραμμή έχοντας μικρότερο ύψος και ενίοτε πιο απότομο μέτωπο, ενώ μέσα στην ζώνη λαμβάνει χώρα το μεγαλύτερο μέρος της στερεομεταφοράς. Τέλος, η **ζώνη διαβροχής**, που φιλοξενεί την παλινδρομική κίνηση του νερού, ταυτίζεται περίπου με το μέτωπο της παραλίας.

Στο δε **εναέριο (ή χερσαίο) τμήμα της παραλίας ζώνης** (επι-παραλία ζώνη ή αιγιαλός), συναντάμε επιμήκεις αναβαθμούς (berms) που διαμορφώνονται ανάλογα με το εκάστοτε κυματικό καθεστώς. Το τμήμα που περιοδικά καλύπτεται από τα κύματα σε συνδυασμό και με το ύψος της παλίρροιας ουσιαστικά συμπίπτει με το μέτωπο της παραλίας (beach-face) και υδροδυναμικά με την

ζώνη διαβροχής (swash zone), ενώ εδώ συναντάμε και τους ημισεληνοειδείς αμμόδεις σχηματισμούς (beach cusps).

Στην περιοχή της **υφαλοκρηπίδας**, πέραν της αιγιαλίτιδας ζώνης, η σύγχρονη ιζηματογένεση (μεταφορά και απόθεση ιζημάτων, κυρίως χερσαίας προέλευσης) πραγματοποιείται μέσω της ανάπτυξης επιφανειακών (κυρίως ποτάμιας προέλευσης) και ενδιαμέσου βάθους νεφελοειδών στοιβάδων, των οποίων η διασπορά συσχετίζεται με την παρουσία ρευμάτων ανοικτής θαλάσσης, των εσωτερικών κυμάτων (κυρίως στην περιοχή του υφαλόριου), τη διαστρωμάτωση των θαλάσσιων μαζών (παρουσία πυκνοκλινών), ενώ όσο απομακρυνόμαστε από την αιγιαλίτιδα ζώνη αρχίζει να αυξάνει η προσφορά βιογενούς υλικού (νηριτικό περιβάλλον).

## 1.2. Υδροδυναμική της Παράκτιας Ζώνης

### 1.2.1 Κύματα

Τα **επιφανειακά θαλάσσια κύματα** (ανεμογενούς προέλευσης), όπως αυτά που συνήθως συναντάμε στις Ελληνικές Θάλασσες, εξαρτώνται από **τέσσερις κύριους παράγοντες**: (1) τη ταχύτητα του ανέμου, (2) τη διάρκεια πνοής του ανέμου, (3) την απόσταση (fetch) μέσα στην οποία μπορεί να αναπτυχθεί ο κυματισμός, και (4) την αρχική κατάσταση της θαλάσσιας επιφάνειας. Όταν η απόσταση ανάπτυξης ενός κυματισμού είναι επαρκής για μια δεδομένη (σταθερή) ταχύτητα ανέμου, που πνέει για μακρύ χρονικό διάστημα, επιτυγχάνεται τελικά μια ισορροπία μεταξύ της ενέργειας που μεταφέρεται από τον άνεμο προς τη θάλασσα και αυτής που καταναλώνεται από τη θραύση των κυμάτων. Η **ισορροπία** αυτή καταλήγει σε μια κατάσταση όπου έχουμε μια πλήρη ανάπτυξη του κυματισμού στην θαλάσσια επιφάνεια (fully developed sea) με ένα καθορισμένο ύψος του διαμορφωμένου κυματισμού που διέπεται από την σχέση μεταξύ του ύψους ( $H_0$ ) και του μήκους ( $L_0$ ) των κυμάτων:

$$\frac{H_0}{L_0} \approx \frac{1}{7} \quad (\text{βαθιά νερά}) \quad (1.3)$$

Οι τροχιές που διαγράφουν τα σωματίδια του νερού κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, λόγω της αρμονικής κίνησης των κυμάτων, είναι **κυκλικές**, όταν αυτά διαδίδονται σε συνθήκες βαθιών νερών  $d > L/2$  ( $d$ : το βάθος και  $L$ : το μήκος κύματος), για να γίνουν **ελλειπτικές** (με τη μεγαλύτερη διάμετρο τους οριζόντια) σε συνθήκες ενδιάμεσου βάθους ( $L/2 > d > L/20$ ) και να καταλήξουν κατά την διάδοσή των σε ρηχά νερά ( $d < L/20$ ) οι ελλειπτικές τροχιές να γίνουν ολοένα και πιο πεπλατυσμένες ενώ η κίνηση των μορίων του νερού εφαιπτομενικά του πυθμένα να είναι ουσιαστικά μια ευθύγραμμη παλινδρόμηση (Σχήμα 1-2).

### 1.2.2 Ταχύτητα Κύματος

Η **ταχύτητα ενός κύματος** (μιας αρμονικής συνιστώσας) δίνεται από την εξίσωση:

$$C_0 = L_0/T \quad (1.4)$$

όπου, ( $C_0$ ): η φασική ταχύτητα (ή η ταχύτητα του βασικού κύματος (carrier wave)), ( $L$ ): το μήκος κύματος και ( $T$ ): η περίοδος του κύματος.

Η ταχύτητα όμως των κυμάτων εξαρτάται και από το βάθος της θάλασσας μειούμενη όσο προχωράμε σε μικρότερα βάθη. Έτσι η **ταχύτητα του κύματος, λαμβάνοντας υπόψη, το βάθος της θάλασσας** δίνεται από την εξίσωση:



$$C = \left( \frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \right)^{0.5} \quad (1.5)$$

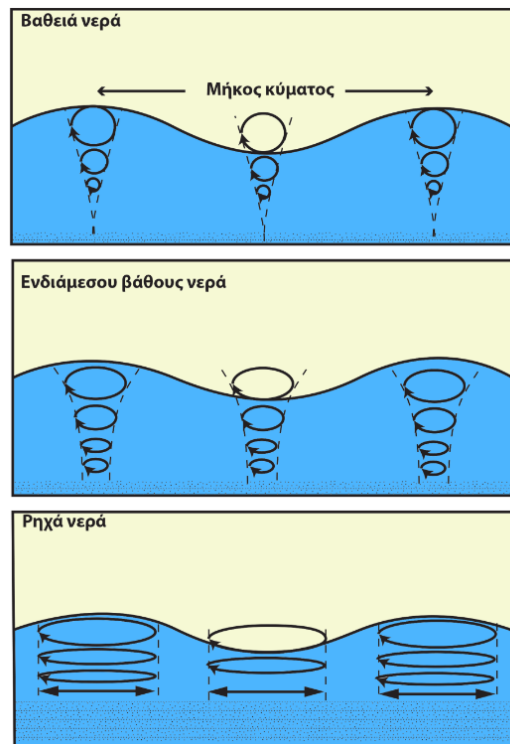
όπου, (g): η επιτάχυνση της βαρύτητας, ( $\pi$ )= 3,14, (L): το μήκος κύματος και (d):το βάθος του νερού.

Για **βαθεία νερά**:  $\tanh(2\pi d/L) = 1$ , τότε η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$C_0 = (gL_0/2\pi)^{0.5} = 1,56T \quad (\text{βαθεία νερά}) \quad (1.6)$$

Για **ρηχά νερά** ισχύει  $\tanh(2\pi d/L) = (2\pi d/L)$ , τότε η αρχική εξίσωση γίνεται:

$$C_d = \left( \frac{gL}{2\pi} \frac{2\pi d}{L} \right)^{0.5} = \sqrt{gd} \quad (\text{ρηχά νερά}) \quad (1.7)$$



**Σχήμα 1-2.** Οι τροχιές των μορίων του νερού κατά την διάδοση των κυμάτων σε διάφορα βάθη (τροποποιημένο από Ingmanson & Wallace, 1995).

Όπως βλέπουμε στα βαθιά νερά η φασική ταχύτητα εξαρτάται αποκλειστικά από τη περίοδο των κυμάτων, ενώ στα ρηχά νερά αποκλειστικά από το βάθος της θάλασσας.

Οι παραπάνω (φασικές) ταχύτητες αναφέρονται σε μια (βασική) κυματική συνιστώσα, ενώ ο φυσικός κυματισμός συνίσταται από περισσότερες της μιας συνιστώσες, που συνδιαμορφώνουν μια **ομαδική ταχύτητα** (group velocity) του κυματισμού ( $C_g$ ), η οποία συνδέεται με την φασική ταχύτητα του βασικού κύματος (C) με την σχέση:

$$C_g = nC \quad (1.8)$$

όταν, η ποσότητα (n) δίνεται από την σχέση:

$$n = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right] \quad (1.9)$$

όπου, το  $n$  στα βαθιά νερά είναι ίσο με  $1/2$ , στα ρηχά νερά  $n=1$ , ενώ στα ενδιάμεσα δίνεται από την παραπάνω εξίσωση.

Έτσι στα βαθιά νερά  $C_g=C/2$ , σε ρηχά νερά  $C_g=C$ , ενώ για τα ενδιάμεσα νερά η  $C_g$  δίνεται από τη σχέση (1.5).

Η **κυκλική ταχύτητα ( $u$ )** των σωματιδίων του νερού κάτω από την επιφάνεια του κύματος και ιδιαίτερα η οριζόντια συνιστώσα της ( $u_m$ ) φθάνει σε ένα μέγιστο ακριβώς κάτω από τη κορυφή για ένα κύμα που κινείται προς την ακτή και κάτω από τη κοιλία αν κατευθύνεται προς την ανοικτή θάλασσα. Η τιμή της ανάλογα με το βάθος διάδοσης του κυματισμού είναι:

- **Βαθιά νερά:**

$$u_m = \frac{\pi D_o}{T} \quad (1.10)$$

όπου, ( $D_o$ ): η κυκλική διάμετρος και ( $T$ ): η περίοδος του κύματος

- **Νερά ενδιάμεσου βάρους:**

$$u_m = \frac{\pi H}{T \sinh(\pi d/L)} \quad (1.11)$$

όπου, ( $H$ ): το ύψος κύματος, ( $d$ ): το βάθος νερού, ( $L$ ): το μήκος κύματος, και ( $\sinh$ ): το υπερβολικό ημίτονο

- **Ρηχά νερά:**

$$u_m = \frac{HC}{2d} = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \quad (1.12)$$

όπου, ( $C$ ): η φασική ταχύτητα του κύματος, ( $g$ ): η επιτάχυνση της βαρύτητας, ( $d$ ): το βάθος νερού, και ( $L$ ): το μήκος κύματος.

### 1.2.3 Ενέργεια κυμάτων

Η **συνολική ενέργεια ( $E$ )** των κυμάτων που είναι το άθροισμα της δυναμικής (λόγω της μετατόπισης της θαλάσσιας επιφάνειας από τη μέση στάθμη της) και της κινητικής (λόγω της κυκλικής κίνησης των σωματιδίων του νερού), ανά μονάδα επιφάνειας και δίνεται από την εξίσωση:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \text{ (Joule/m}^2\text{)} \quad (1.13)$$

όπου, ( $\rho$ ): η πυκνότητα του νερού ( $\text{kg/m}^3$ ), ( $g$ ): η σταθερά της βαρύτητας  $9,81\text{m/s}^2$ , και ( $H$ ): το ύψος του κύματος ( $\text{m}$ ).

Επίσης, το τελικό ύψος του κύματος σε μια παραγμένη θάλασσα είναι δύσκολο να υπολογισθεί με ακρίβεια γι' αυτό στους διάφορους υπολογισμούς χρησιμοποιούμε το '**σημαντικό**' ύψος κύματος ( $H_{1/3}$  significant wave height) που εκφράζει το μέσο όρο του  $1/3$  των υψηλότερων κυμάτων του συνολικού φάσματος των κυμάτων. Στην περίπτωση της παράλιας ζώνης και εφόσον τα κύματα σπάνε, τότε ως ύψος κύματος χρησιμοποιούμε αυτό που μετριέται κατά το σπάσιμο τους ( $H_b$ ).

### 1.2.4 Κριτήριο Θραύσης κυμάτων

Τα κύματα καθώς πλησιάζουν στην ακτογραμμή κινούνται σε ολοένα και ρηχότερα νερά, τότε, λόγω της συνεχούς αυξανόμενης κλίσης τους ( $H/L$ ) σε κάποιο σημείο η ταχύτητα της κορυφής των κυμάτων ξεπερνά την ομαδική ταχύτητα, προκαλώντας τη θραύση των κυμάτων. Στη **ζώνη θραύσης** (breaking zone) έχουμε την ανάπτυξη ενός παράλληλου στην ακτογραμμή υποθαλάσσιου αναβαθμού (bar) συνοδευόμενου από βύθισμα (troughs).

Καθώς όμως ο **προσδιορισμός της ταχύτητας του νερού στην κορυφή** είναι πολύπλοκος, συνήθως ως κριτήριο για το σπάσιμο των κυμάτων, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής ( $\gamma$ ) που συσχετίζει το ύψος των κυμάτων την στιγμή που σπάνε ( $H_b$ ) με το βάθος του νερού στο οποίο σπάνε (McCowan, 1894) και δίδεται από τη σχέση:

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} \cong 0,78 \quad (1.14)$$

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές εξισώσεις για το **κριτήριο θραύσης των κυμάτων**, οι οποίες το συσχετίζουν είτε με τη κλίση του πυθμένα ( $m$ ), είτε με τη παράμετρο Iribarren ( $\xi_0$ , βλέπε εξίσωση 1.18), ως συνάρτηση της κλίσης του πυθμένα και της κλίσης ( $H/L$ ) του προσερχομένου κύματος. Κάποια από τα συχνότερα κριτήρια θραύσης των κυμάτων είναι:

- **Madsen & Grant (1976):**  $\gamma = 0.72 (1 + 6.4 m)$  (1.15)
- **Sunamura (1984):**  $\gamma = 1.1 \xi_0^{1/6} \mid 0.02 < m < 0.3$  (1.16)
- **Kaminsky & Kraus (1993):**  $\gamma = 1.20 \xi_0^{0.27} \mid 0.0009 < m < 0.2$  και  $H_0/L_0 < 0.092$  (1.17)

όπου, ( $m$ ) η κλίση της ζώνης θραύσης και η παράμετρος Iribarren που δίνεται από τη σχέση:

$$\xi_0 = \frac{m}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.5}} \quad (1.18)$$

Μετρήσεις υπαίθρου έδειξαν, ότι η **παράμετρος  $\gamma$**  κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 1,3, ενώ το **ύψος του κύματος** τη στιγμή που αρχίζει να σπάει ( $H_b$ ) έχει πειραματικά δειχθεί ότι μπορεί να φθάνει ακόμη και σε διπλάσιο μέγεθος του αρχικού ύψους κύματος ( $H_0$ ).

Το ύψος του κύματος στη θραύση ( $H_b$ ) που είναι απαραίτητη και για την εφαρμογή των προαναφερόμενων εξισώσεων προσδιορίζεται μέσω των παρακάτω εξισώσεων, οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από τα κυματικά χαρακτηριστικά στα βαθιά νερά και την επαπτόμενη κλίση του πυθμένα ( $m$ ) ανοικτά (δηλαδή προς τη πλευρά της θάλασσας) από τη ζώνη θραύσης.

Οι συνηθέστερες εξισώσεις **υπολογισμού του  $H_b$**  όπως έχουν δοθεί από διάφορους ερευνητές είναι οι ακόλουθες:

- **Komar & Gaughan (1972).** Το ύψος του κύματος στη θραύση δίνεται ως εξής:

$$H_b = 0,563 H_0' \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.2} \quad (1.19)$$

- **Komar & Gaughan (1972)**, τροποποιήθηκε από Rattanapitikon et al, 2003:

$$H_b = H_0' (10.02 m^3 - 7.46 m^2 + 1.32 m + 0.55) \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.2} \quad (1.20)$$

- **Sakai & Battjes (1980).** Το ύψος του κύματος στη θραύση δίνεται ως εξής:

$$\text{Όταν } H_o/L_o < 0.0208 \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H_o} = 0.3839 \left(\frac{H_o'}{L_o}\right)^{-0.3118} \quad (1.21)$$

$$\text{Όταν } 0.0208 < H_o/L_o < 0.1 \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H_o} = 0.6683 \left(\frac{H_o'}{L_o}\right)^{-0.1686} \quad (1.22)$$

$$\text{Όταν } 0.1 \leq H_o/L_o \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H_o} = 1 \quad (1.23)$$

Στις προαναφερόμενες εξισώσεις το ύψος κύματος ( $H_o'$ ) αναφέρεται **στο ισοδύναμο ύψος** σε συνθήκες βαθιών νερών σημαντικού ύψους κύματος ( $H_o$ ) πριν τα κύματα υποστούν τροποποίηση λόγω ρήχωσης, διάθλασης και τυχόν περίθλασης του κύματος, όπου:

$$H_o' = (K_N K_S K_R) H_o \quad (1.24)$$

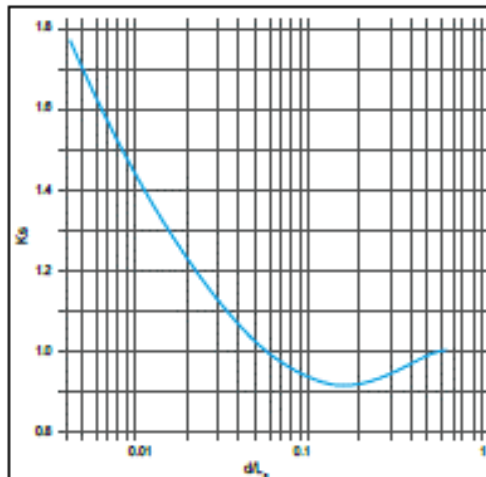
Οι **συντελεστές περίθλασης ( $K_N$ ), ρήχωσης ( $K_S$ ) και διάθλασης ( $K_D$ )** μπορούν να υπολογιστούν θεωρώντας ότι το βάθος  $d$  το οποίο αντιστοιχεί στο ύψος κύματος ( $H_o'$ ) είναι λίγο μεγαλύτερο από το βάθος θραύσης ( $d \approx d_b$ ) με βάση τις εξισώσεις 1.25 και 1.26 αντίστοιχα αλλά και με βάση το προσεγγιστικά γραφήματα (CERC, 1984), βλέπε Σχήμα 1-8.

$$K_S = \sqrt{\left(\frac{1}{2 n_1} \frac{L_o}{L_1}\right)} \quad (1.25)$$

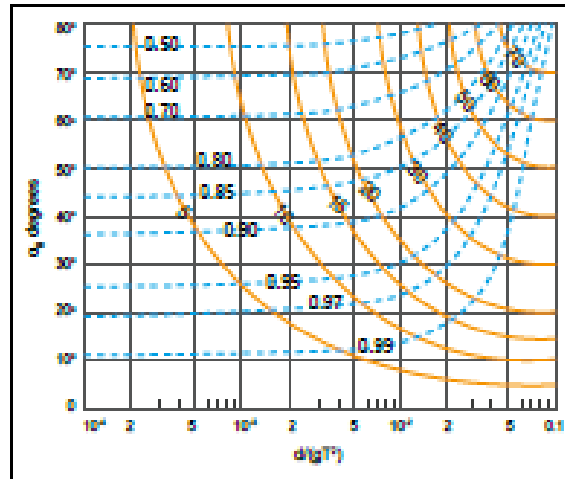
$$K_R = \sqrt{\frac{\cos a_o}{\cos a_1}} \quad (1.26)$$

όπου,  $n_1 = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2k_1 d_1}{\sinh(2 k_1 d_1)}\right)$  (1.27) και ( $k$ ): αριθμός κύματος ( $k=2 \pi / L$ )

Ο υπολογισμός των συντελεστών ρήχωσης ( $K_S$ ), διάθλασης ( $K_R$ ) όπως και της γωνίας διάθλασης ( $a_R$ ) είναι μαθηματικά πολύπλοκος. Όμως προσεγγιστικές τιμές του συντελεστή ρήχωσης δίνεται από το Σχήμα 1-3 και για τη γωνία διάθλασης από το Σχήμα 1-4.



**Σχήμα 1-3.** Γραφική απεικόνιση της σχέσης του συντελεστή ρήχωσης ( $K_S$ ) με το πηλίκο βάθους προς αρχικό μήκος κύματος ( $d/L_o$ ) (πηγή: CERC 1984)



**Σχήμα 1-4.** Γραφική απεικόνιση της σχέσης μεταξύ της διαθλώμενης γωνίας ( $\alpha$ ) σε σχέση με το πηλικο βάθους προς το γινόμενο επιτάχυνση βαρύτητας και του τετραγώνου της περιόδου του κύματος ( $d/gT^2$ ) για διαφορετικές αρχικές γωνίες ( $\alpha_0$ ) (πηγή: CEM 2008).

Όσον αφορά στη περίθλαση των κυμάτων, το ύψος του **περιθλώμενου κυματισμού** ( $H_D$ ) σε σχέση με το αρχικό ύψος ( $H_0$ ), δίνεται από τη σχέση:

$$H_D = K_D H_0 \quad (1.28)$$

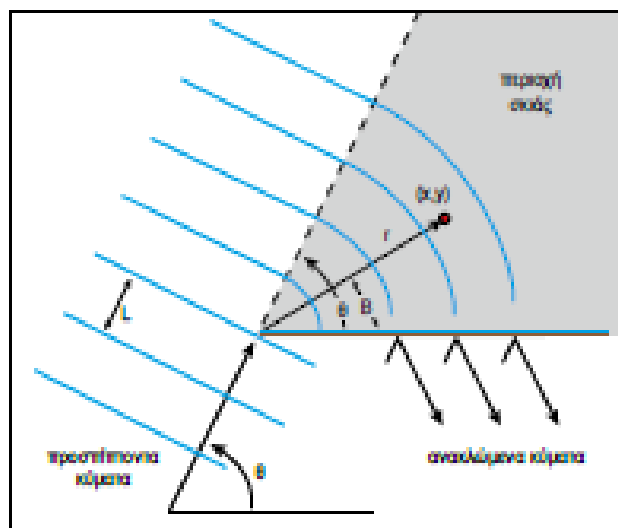
όπου,  $K_D$  είναι ο συντελεστής περίθλασης.

Οι τιμές του **συντελεστή περίθλασης**  $K_D$  κυμαίνονται από 1 στην μη-περιθλώμενη περιοχή μέχρι 0 (στο άκρο της ζώνης σκιάς). Ο Goda (2000) σημειώνει ότι τυχόν σφάλματα στον προσδιορισμό του  $K_D$  πιθανότατα δεν είναι ουσιαστικά, καθώς υπάρχουν πολλές άλλες διεργασίες που σχετίζονται με τις τυχαίες κινήσεις των κυμάτων στο όριο και εντός της ζώνης σκιάς.

Στην περίπτωση ενός ημι-απείρου εμποδίου (βλέπε παράδειγμα Σχήματος 1-5), στο κυματικό πεδίο στην περιοχή σκιάς (μεταξύ της γραμμής της γεωμετρικής σκιάς και του εμποδίου) ο συντελεστής περίθλασης  $K_D$  περιγράφεται από τη συνάρτηση

$$K_D = f(\theta, \beta, r/L) \quad (1.29)$$

όπου, ( $\theta$ ): η γωνία πρόσπτωσης, ( $\beta$ ): η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του εμποδίου και της ακτίνας που ενώνει το άκρο του εμποδίου με το τυχόν σημείο (A), στο οποίο αναφέρεται και ο υπολογισμός, ( $r$ ): η απόσταση από το άκρο του εμποδίου μέχρι το σημείο (A) και ( $L$ ): το μήκος κύματος. Οι τιμές του συντελεστή περίθλασης ( $K_D$ ) δίνονται από τον πίνακα τιμών του Wiegell (Πίνακας 1-1).



**Σχήμα 1-5.** Περίθλαση των κυμάτων στην περίπτωση ενός ημιαπείρου εμποδίου (τροποποιημένο από [http://www.coastalwiki.org/wiki/Shallow-water\\_wave\\_theory](http://www.coastalwiki.org/wiki/Shallow-water_wave_theory)).



**Πίνακας 1-1.** Πίνακας τιμών του Wiegel (CERC, 1984) για τον συντελεστή περίθλασης (Κ<sub>D</sub>) στην περίπτωση ημι-άπειρου εμποδίου

θ	r/L	β													
		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	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00	
	10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	
60	1/2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00	
	1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00	
	2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	
	5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00	
	10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00	
75	1/2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00	
	1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00	
	2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00	
	5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	
	10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	
90	1/2	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00	
	1	0.22	0.23	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00	
	2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00	
	5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00	
	10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00	
105	1/2	0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00	
	1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00	
	2	0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00	
	5	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00	
	10	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00	
120	1/2	0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00	
	1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00	
	2	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.36	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00	
	5	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00	
	10	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00	
135	1/2	0.24	0.24	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	0.90	1.00	
	1	0.18	0.17	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	0.95	1.00	
	2	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.05	1.00	
	5	0.08	0.07	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.04	1.00	
	10	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.05	1.00	
150	1/2	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00	
	1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00	
	2	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00	
	5	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00	
	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00	
165	1/2	0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.63	0.79	1.00	
	1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.40	0.53	0.73	1.00	
	2	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00	
	5	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.20	0.32	0.63	1.00	
	10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.11	0.21	0.58	1.00	
180	1/2	0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00	
	1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00	
	2	0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00	
	5	0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00	
	10	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00	

### 1.2.5 Είδη κυμάτων θραύσης.

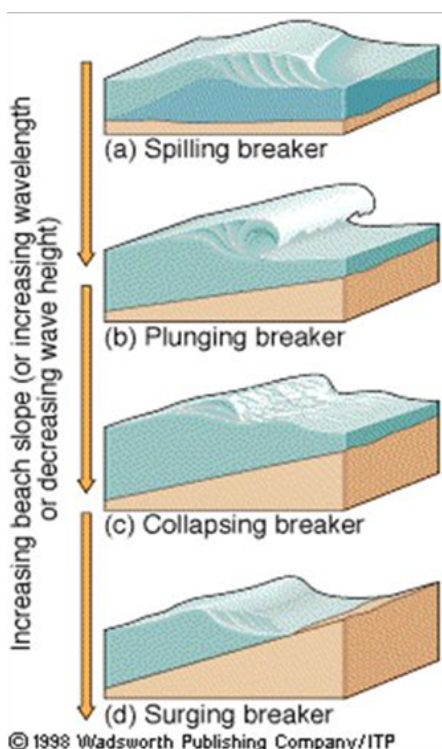
Τα κύματα που προκύπτουν κατά τη θραύση, ανάλογα με το σχήμα τους και το τρόπο θραύσης τους, διακρίνονται σε τέσσερα είδη, τα οποία έχουν καθορίζονται από τη κλίση του πυθμένα στη ζώνη θραύσης (Σχήμα 1-6):

A. **Κύματα διασκόρπισης (spilling breakers).** Κυματισμοί μικρής κλίσης που θραύονται διασκορπιζόμενοι σε πυθμένες με μικρή κλίση ( $<3^{\circ}$ ) με δημιουργία αφρού και έντονη τύρβη στην κατάντη πορεία τους.

B. **Τα κύματα κατάδυσης (plunging breakers)** που θραύονται σε πυθμένες με σχετικά αυξημένες κλίσεις ( $3-7^{\circ}$ ) έχοντας μια τοξοειδή δομή με κοίλο μέτωπο στην κατάντη πορεία τους και κυρτή την πίσω πλευρά τους. Είναι συνήθως κύματα προερχόμενα από μακρινές καταιγίδες και είναι δημοφιλή σε αθλητές του σερφ (surfers).

Γ. **Τα κύματα κατάρρευσης (collapsing breakers)** που είναι παρόμοια με τα κύματα κατάδυσης, με τη διαφορά ότι η κορυφή τους στη ζώνη θραύσης δεν ξεπερνά το κύριο σώμα του κύματος, αλλά υφίσταται καθολική κατάρρευση με δημιουργία έντονου αφρού στο μέτωπο τους. Τέτοια κύματα δημιουργούνται από μέτριους ανέμους και τα συναντάμε σε ακτές με σχετικά απότομες κλίσεις ( $7^{\circ}-15^{\circ}$ )

Δ. **Τα κύματα διόγκωσης (surging breakers)** που είναι ομαλά κύματα (μικρής κλίσης), μακρινής προέλευσης τα οποία διογκώνονται χωρίς να θραύονται (σχηματίζουν λίγο αφρό) και καθώς προσπίπτουν πάνω στην ακτή όπου προκαλούν τη στάθμη της θάλασσας να μεταβάλλεται. Η δημιουργία τους σχετίζεται με μεγάλες κλίσεις του πυθμένα ( $>15^{\circ}$ ).



**Σχήμα 1-6.** Τύποι των κυμάτων θραύσης, όπως διαμορφώνονται βάσει της σχέσης ύψους (H) προς βάθος (d) και της κλίσης ( $\beta$ ) του μετώπου του αιγιαλού.

Στον Πίνακα 1-2, δίνονται τα όρια των τιμών της παραμέτρου Iribarren για συνθήκες πριν τη θραύση ( $\xi_0$ ) και για τις περιπτώσεις επιπέδου πυθμένα (Battjes, 1974).



**Πίνακας 1-2.** Η σχέση μεταξύ του εύρους της τιμής της παραμέτρου Iribarren και της παραμέτρου της κλίσης με τα διαφορετικά είδη των κυμάτων θραύσης.

Είδος κύματος	$\xi_0$ (Battjes, 1974)
Διασκόρπισης	$\xi_0 < 0.5$
Κατάδυσης	$0.5 < \xi_0 < 3.3$
Διόγκωσης/κατάρρευσης	$\xi_0 > 3.3$

### 1.3. Κοκκομετρικό Μέγεθος

Για την διάκριση και ονοματολογία βάσει του μεγέθους των κόκκων χρησιμοποιείται διεθνώς η **κλίμακα του Wentworth** (1922) όπως φαίνεται στον Πίνακα 1-3. Οι μονάδες στις οποίες μετρούμε την διάμετρο των κόκκων (D) είναι είτε mm ( $=10^{-3}m$ ), είτε σε  $\mu m$  ( $=10^{-6}mm$ ), είτε σε μονάδες ( $\phi$ )

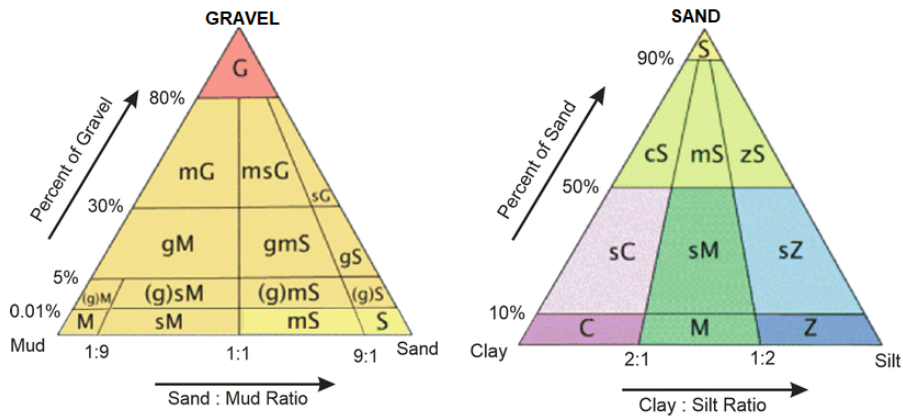
$$\phi = -\log_2(mm) \quad \text{και} \quad mm = \frac{1}{2^\phi} \quad (1.30)$$

Η **κλίμακα σε μονάδες  $\phi$**  εισήχθητε από τον Krumbein (1934) διαμορφώνοντας ακέραιους αριθμούς (όπως 3, 2, 0, -1) ως όρια των ομάδων (κοκκομετρικών μεγεθών) που είχε προηγουμένως καθορίσει ο Wentworth σε χιλιοστά (mm), ενώ ο κοκκομετρικός χαρακτηρισμός του συνολικού δείγματος, σύμφωνα με τον Folk (1980), δίνεται παραστατικά στα τριγωνικά διαγράμματα του Σχήματος 1-7.

Πίνακας 1-3. Κοκκομετρική διαβάθμιση των κόκκων θαλάσσιων ιζημάτων κατά Wentworth (1922).

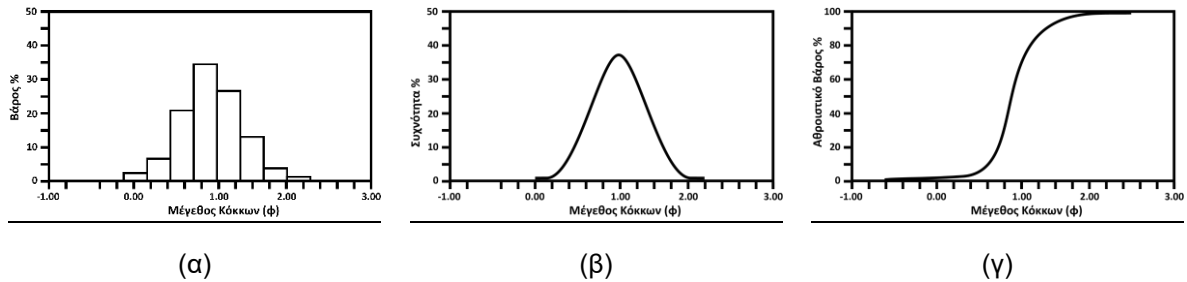
Κοκκομετρικό μέγεθος		Κατάταξη κατά Wentworth	
(mm)	(φ)		
> 256.0	< (-8)	Κροκάλες (boulder)	Χάλικες (gravel)
64.0 – 256.0	(-6) - (-8)	Βότσαλα (cobble)	
4.0 – 64.0	(-2) - (6)	Ψηφίδες (pebble)	
2.0 – 4.0	(-1) - (-2)	Κοκκοί (granule)	
2.0 – 1.0	(0) - (-1)	Πολύ χονδρόκοκκη άμμος (very coarse sand)	Άμμος (sand)
1.0 -0.5	(0) - (+1)	Χονδρόκοκκη Άμμος (coarse sand)	
0.5 - 0.25	(+1) – (+2)	Μεσόκοκκη Άμμος (medium sand)	
0.25 – 0.125	(+2) – (+3)	Λεπτόκοκκη Άμμος (fine sand)	
0.125 -0.0625	(+3) – (+4)	Πολύ λεπτόκοκκη Άμμος (very fine sand)	Πηλός (mud)
0.0625 - 0.0312	(+4) – (+5)	Χονδρόκοκκη Ιλύς (coarse silt)	
0.0312 - 0.0156	(+5) – (+6)	Μεσόκοκκη Ιλύς (medium silt)	
0.0156 - 0.0078	(+6) – (+7)	Λεπτόκοκκη Ιλύς (fine silt)	
0.0078 - 0.0039	(+7) – (+8)	Πολύ λεπτόκοκκη Ιλύς (very fine silt)	
0.0039 - 0.0020	(+8) – (+9)	Άργιλος (clay)	
0.0020 - 0.0010	(+9) – (+10)		
<0.0010	>(+10)		(*)

(\*): κολλοειδή (colloids)



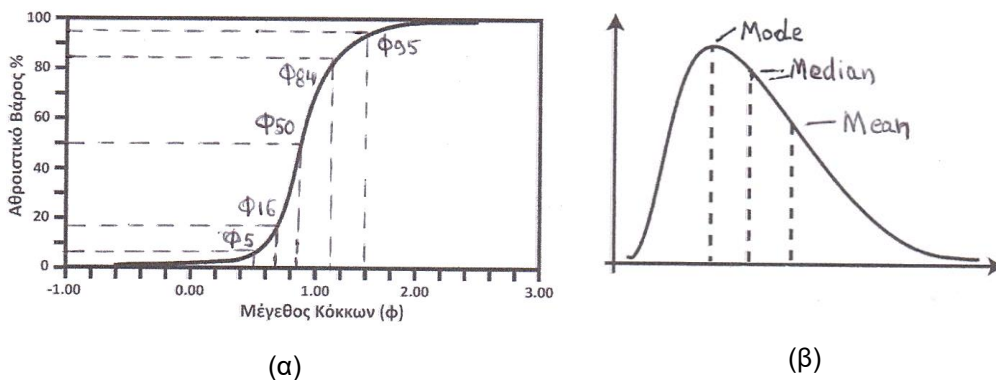
Σχήμα 1-7. Ταξινόμηση των ιζημάτων σύμφωνα με τη κοκκομετρική τους σύνθεση κατά (Folk, 1980). [G: χάλικες (gravel), S: άμμος (sand), Z: ιλύς (silt), C: άργιλος (clay), M: πηλός (mud), ((g)): ελαφρά χαλικούχος, (s): αμμούχος (sandy), (z): ιλιούχος (silty), (c ): αργιλούχος (clayey), (m): πηλούχος (muddy)]

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης, για περαιτέρω ερμηνεία αλλά κυρίως για στατιστική επεξεργασία μπορεί να γίνει σε: (α) ιστόγραμμα, (β) αθροιστική καμπύλη και (γ) καμπύλη συχνοτήτων (βλέπε Σχήμα 1-8).



**Σχήμα 1-8.** Γραφική απεικόνιση των κοκκομετρικών αναλύσεων: (α) ιστόγραμμα, (β) καμπύλη συχνοτήτων και (γ) αθροιστική καμπύλη

Η αθροιστική καμπύλη (σε αριθμητική βάση) χρησιμοποιείται για την εξαγωγή συμπερασμάτων που στηρίζονται σε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης. Στην **αθροιστική καμπύλη** (με προβολή των τιμών σε μονάδες  $\phi$ ) σε απλούς αριθμητικούς άξονες) στον οριζόντιο άξονα προβάλλεται το μέγεθος των κόκκων ενώ στον κατακόρυφο άξονα το αντίστοιχο αθροιστικό εκατοστιαίο ποσοστό του κλάσματος. Στην καμπύλη αυτή στηρίζεται η στατιστική επεξεργασία κατά Folk (1974), η οποία χρησιμοποιεί τα κοκκομετρικά μεγέθη (σε  $\phi$ ) που αντιστοιχούν στα ποσοστά 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84% και 95% (δηλαδή η διάμετρος που αντιστοιχεί στο 16% είναι αυτή που αντιστοιχεί σε ποσοστό κόκκων (16%) που έχουν διάμετρο μικρότερη αυτή).



**Σχήμα 1-9.** (α) Αθροιστική καμπύλη για τον υπολογισμό των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων και (β) η σχετική θέση σε μια κανονική στατιστική κατανομή της επικρατούσης (modal), διάμεσης (median) και μέσης (mean) διαμέτρου (από Folk, 1974).

Οι στατιστικές παράμετροι είναι οι εξής:

1. Η **επικρατούσα (πιθανότερη) τιμή διαμέτρου (Mo)** είναι η τιμή της διαμέτρου που αντιστοιχεί στο μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης των κόκκων, δηλαδή με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (Σχήμα 1-9β).

2. **Η διάμεσος ( $M_d$  ή  $D_{50}$ )** αντιστοιχεί στην αθροιστική συχνότητα του 50% στην καμπύλη του ιστογράμματος και δηλώνει ότι οι μισοί κόκκοι του δείγματος έχουν μικρότερη και οι άλλοι μισοί μεγαλύτερη διάμετρο (Σχήμα 1-9β).

$$M_d (D_{50}) = \varphi 50 \quad (1.31)$$

3. **Η γραφική μέση τιμή (graphic mean)** δίνει περισσότερο αντιπροσωπευτική εικόνα της κατανομής των κοκκομετρικών διαμέτρων από την διάμεσο καθώς λαμβάνει υπόψη 3 σημεία, αντιπροσωπεύοντας καλύτερα και την δύναμη (τάση) που προκαλεί τη μεταφορά του ιζήματος. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$M_z = \frac{\varphi 16 + \varphi 50 + \varphi 84}{3} \quad (1.32)$$

όπου τα  $\varphi 16$ ,  $\varphi 50$  και  $\varphi 84$  είναι οι διάμετροι (σε  $\varphi$ ) που αντιστοιχούν σε ποσοστά αθροιστικής συχνότητας 16%, 50% και 84%, αντιστοίχως. Στην σπάνια περίπτωση όπου έχουμε ένα πλήρως ομοιογενές δείγμα ιζήματος, τότε πρόκειται για μια απόλυτα κανονική κατανομή (Σχήμα 1-9α) όπου οι τρεις προαναφερόμενες στατιστικές παράμετροι συμπίπτουν ( $M_o = M_d = M_z$ ).

4. **Η περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης ( $\sigma_I$  : inclusive graphic standard deviation)** δίνει τον βαθμό ταξιθέτησης των κοκκομετρικών μεγεθών του ιζήματος, δηλαδή το κατά πόσο είναι ομοιογενές (πολύ καλή ταξιθέτηση – μικρές τιμές  $\sigma_I$ ) ή ανομοιογενές (πολύ φτωχή ταξιθέτηση – μεγάλες τιμές  $\sigma_I$ ).

$$\sigma_I = \frac{\varphi 84 - \varphi 16}{4} + \frac{\varphi 95 - \varphi 5}{6.6} \quad (1.33)$$

Ένα ομοιογενές (κοκκομετρικά) ίζημα σχετίζεται με περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας π.χ. παραλίες (με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχει μεγάλη προσφορά ιζημάτων), ενώ ανομοιογενή ιζήματα συναντώνται σε χαμηλής ενέργειας περιβάλλοντα, συνήθως συσχετιζόμενη με έντονη ιζηματογένεση ή προσφορά υλικού με μεγάλο εύρος διαμέτρων (π.χ. κατολισθήσεις). Η τιμή της σταθερά απόκλισης είναι θεωρητικά χωρίς όρια, σπάνια όμως ξεπερνάει την τιμή των 10. Σύμφωνα με τον Folk ο βαθμός ταξιθέτησης σχετίζεται με τις τιμές  $\sigma_I$  δίνεται στον Πίνακα 1-4.

**Πίνακας 1-4.** Κοκκομετρικός χαρακτηρισμός των θαλάσσιων ιζημάτων σύμφωνα με τη σταθερά (κατά Folk 1974).

Στατιστική Παράμετρος	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
Σταθερά απόκλισης ( $\sigma_I$ )	<0.35	Πολύ καλή ταξιθέτηση
	0.35-0.5	Καλή ταξιθέτηση
	0.5-0.71	Μετρίως καλή ταξιθέτηση
	0.71-1.0	Μέτρια ταξιθέτηση
	1.0-2.0	Κακή (πτωχή) ταξιθέτηση
	2.0-4.0	Πολύ κακή (πτωχή) ταξιθέτηση
	>4.0	Εξαιρετικά κακή ταξιθέτηση

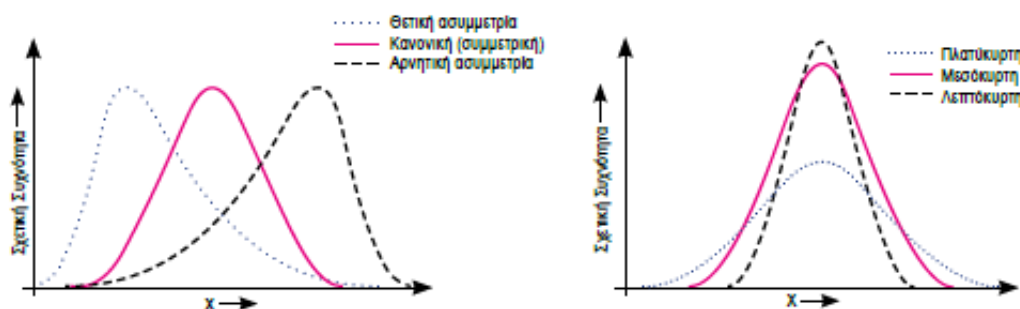
5. **Η περιεκτική γραφική Λοξότητα (ασυμμετρία) ( $Sk_I$  : inclusive graphic skewness)** χαρακτηρίζει τη μη κανονικότητα της κατανομής των κλασμάτων της κοκκομετρικής ανάλυσης

$$Sk_i = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} \quad (1.34)$$

Η **λοξότητα (Sk<sub>i</sub>)** εκφράζει τον βαθμό της ασυμμετρίας της αθροιστικής καμπύλης του δείγματος (δηλαδή υπάρχει μεγαλύτερος αριθμός κοκκομετρικών κλάσεων από τη μια πλευρά σε σχέση προς την άλλη πλευρά ως προς την επικρατούσα τιμή (Mo)) (βλέπε Σχήμα 1-10). Σε μια απολύτως συμμετρική καμπύλη, το χονδρόκοκκο κλάσμα είναι ίσο με το λεπτόκοκκο και άρα ισχύει ότι Sk<sub>i</sub>=0. Όταν τα λεπτόκοκκα υπερτερούν των χονδρόκοκκων τότε Sk<sub>i</sub>>0 και όταν τα χονδρόκοκκα υπερτερούν των λεπτόκοκκων Sk<sub>i</sub><0. Έτσι, όσο απομακρυνόμαστε από το μηδέν (0) τόσο αυξάνεται και η ασυμμετρία του δείγματος με μέγιστη τιμή ±1 ενώ πολύ σπάνια ξεπερνούν το ±0,8. Η **ασυμμετρία** με βάση τις τιμές λοξότητας δίνονται στον Πίνακα 1-5.

**Πίνακας 1-5.** Κοκκομετρικός χαρακτηρισμός των θαλάσσιων ιζημάτων σύμφωνα με τη λοξότητα (Sk<sub>i</sub>) (κατά Folk 1974)

Στατιστική Παράμετρος	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
Λοξότητα (Sk <sub>i</sub> )	(+1.0) – (+0.3)	Ισχυρή ασυμμετρία -επικράτηση λεπτόκοκκου υλικού
	(+0.3) – (+0.1)	Ασυμμετρία – επικράτηση λεπτόκοκκου υλικού
	(+0.1) – (-0.1)	Σχεδόν συμμετρική κατανομή
	(-0,1) – (-0.3)	Ασυμμετρία – επικράτηση χονδρόκοκκου υλικού
	(-0.3) – (-0.1)	Ισχυρή ασυμμετρία -επικράτηση χονδρόκοκκου υλικού



**Σχήμα 1-10.** Γραφική απεικόνιση των στατιστικών κοκκομετρικών παραμέτρων λοξότητας και κύρτωσης.

6. **Η Κύρτωση ( $K_G$ : Kurtosis)** εκφράζει την αναλογία μεταξύ της διασποράς των τιμών (sorting) στην κεντρική περιοχή σε σχέση με τα άκρα της κατανομής των τιμών, δηλαδή αναφέρεται στο βαθμό συγκέντρωσης των κοκκομετρικών μεγεθών γύρω από την **επικρατούσα τιμή διαμέτρου ( $M_0$ )** ή στα άκρα της.

$$K_G = \frac{\varphi_{95} - \varphi_5}{2.44 (\varphi_{75} - \varphi_{25})} \quad (1.35)$$

Σε σπάνιες περιπτώσεις οι άκρες και το κεντρικό τμήμα παρουσιάζουν ίδια διασπορά τότε  $K_G=1$ . Στην περίπτωση που το κεντρικό τμήμα παρουσιάζει καλύτερη ταξινόμηση από ότι οι άκρες τότε η καμπύλη παρουσιάζει σαφή ανύψωση και λέγεται λεπτόκυρτη. Εάν συμβαίνει το αντίθετο, τότε η καμπύλη παρουσιάζεται αρκετά επίπεδη και λέγεται πλατύκυρτη. Στην περίπτωση που είναι έντονα πλατύκυρτη τότε συνήθως πρόκειται για δείγμα με δύο επικρατούσες διαμέτρους ( $M_0$ ). Ο χαρακτηρισμός της κατανομής με βάση τις **τιμές κύρτωσης** δίνονται στο Πίνακα 1-6.

**Πίνακας 1-6.** Κοκκομετρικός χαρακτηρισμός των θαλάσσιων ιζημάτων σύμφωνα με τη Κύρτωση ( $K_G$ ) (κατά Folk (1974))

Στατιστική Παράμετρος	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
Κύρτωση ( $K_G$ )	<0.67	Πολύ πλατύκυρτο
	0.67 - 0.90	Πλατύκυρτο
	0.90 - 1.11	Μεσόκυρτο
	1.11 - 1.50	Λεπτόκυρτο
	1.50 - 3.00	Πολύ λεπτόκυρτο
	>3.00	Εξαιρετικά λεπτόκυρτο

#### 7. Αδιάστατο κοκκομετρικό μέγεθος ( $D_*$ )

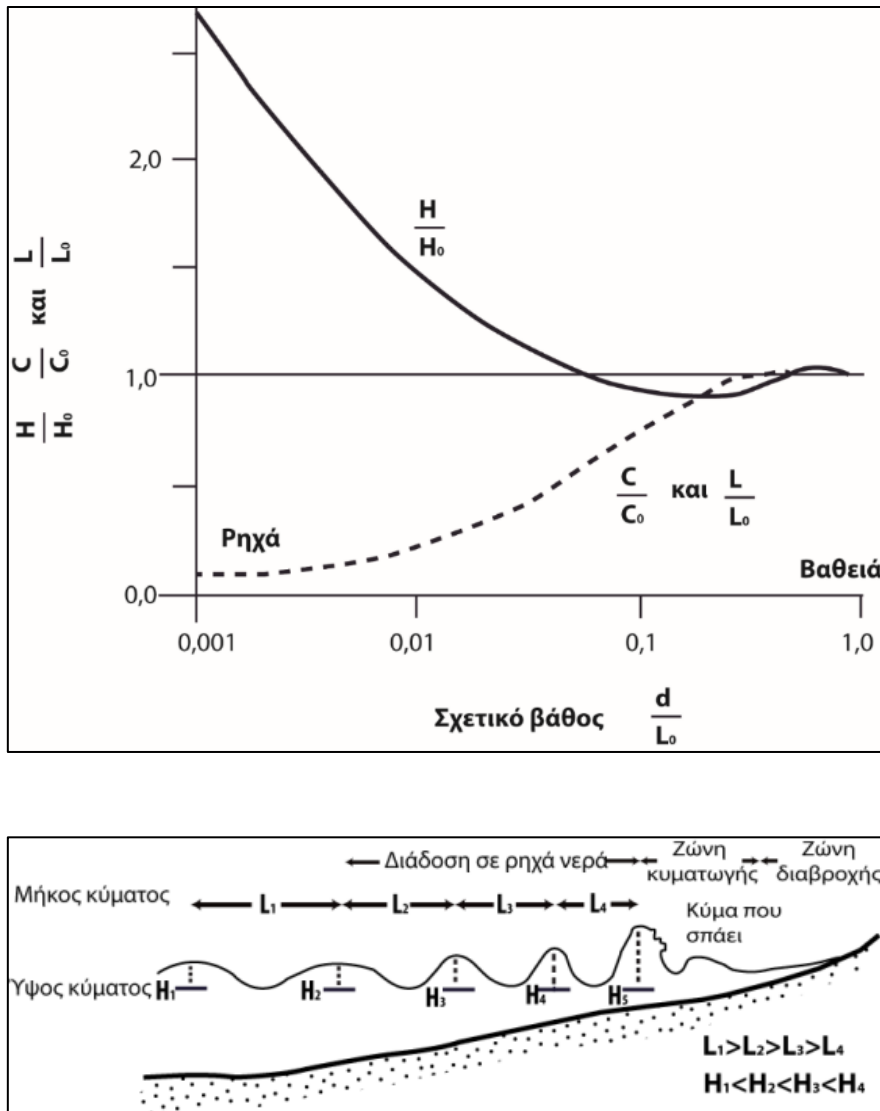
Στην υδροδυναμική της παραλιακής ζώνης εισάγεται η έννοια του **αδιάστατου κοκκομετρικού μεγέθους ( $D_*$ )** που δίνεται από τη σχέση:

$$D_* = \left[ \frac{(s-1)g}{v^2} \right]^{1/3} D_{50} \quad (1.36)$$

όπου, (s) είναι η ειδική βαρύτητα, (g) η επιτάχυνση της βαρύτητας, ( $D_{50}$ ) το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος ( $M_d$ ) και (v) η σταθερά του κινηματικού ιξώδους ( $=\eta/\rho_w$ ,  $m^2/s$  όπου ( $\eta$ ) είναι η σταθερά του δυναμικού ιξώδους ( $N s / m^2$ ) και  $\rho_w$  είναι η πυκνότητα του ρευστού).

### 1.4. Δυναμική των ιζημάτων – Κινητοποίηση - Μορφοδυναμική

Τα κύματα καθώς διαδίδονται σε ενδιάμεσα νερά και ιδιαίτερα όταν βρίσκονται υπό συνθήκες ρηχών νερών χαρακτηρίζονται από διαφορετικά χαρακτηριστικά (εκτός της περιόδου  $T$  που παραμένει σταθερή) με τη ταχύτητά και το μήκος κύματος να μειώνονται και το ύψος να αυξάνεται, μέχρι του σημείου θραύσης (Σχήμα 1-11).



**Σχήμα 1-11.** Γραφική απεικόνιση της μεταβολής των χαρακτηριστικών των κυμάτων κατά την διάδοσή των σε ενδιάμεσα και ρηχά νερά (τροποποιημένο από Pethick, 1984).

### 1.4.1 Διατμητική τάση και τριβή πυθμένα (bed shear stress and bed friction)

Η διατμητική τάση που ασκεί η ροή εντός του οριακού στρώματος του πυθμένα λόγω της τριβής που αναπτύσσεται στη διεπιφάνεια του πυθμένα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συνολική τραχύτητα του πυθμένα, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του **μήκους τραχύτητας του ορίου** (roughness length,  $z_0$ ), το οποίο στην περίπτωση που δεν υπάρχει ίζημα σε μεταφορά μπορεί να αναλυθεί στην τραχύτητα λόγω των κόκκων του ιζήματος (skin friction,  $k'$ ) και την τραχύτητα του μικροαναγλύφου του πυθμένα (form drag,  $k''$ ). Το **είδος της ροής (μονοκατευθυντική ή παλινδρομική)** και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της ροής (γραμμική -ομαλή ή ακατάστατη -τυρβώδης παίζουν σημαντικό ρόλο στα παραπάνω μεγέθη.

#### 1.4.1.1. Μονοκατευθυντική ροή

Στην περίπτωση των ρευμάτων τα οποία δημιουργούνται σε επίπεδο θαλάσσιο πυθμένα, η **διατμητική τάση** υπολογίζεται, με εφαρμογή του νόμου της τετραγωνικής τριβής (quadratic friction law), από την εξίσωση:

$$\tau_u = \rho_s C_d(z) u^2(z) \quad (1.37)$$

όπου, ( $\rho_s$ ) είναι η πυκνότητα του ρευστού, ( $u$ ) η ταχύτητα του ρευστού σε βάθος ( $z$ ), συνήθως ίσο με 1 m και ( $C_D$ ) είναι η σταθερά σύρσης η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$C_D = \left[ \frac{\kappa^2}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right] \quad (1.38)$$

όπου, ( $\kappa$ ) είναι η σταθερά του von Karman ( $\sim 0.41$ ) και ( $z_0$ ) το εύρος της υδραυλικής ανωμαλίας, που συνδέεται με την πρακτική τραχύτητα του πυθμένα ( $k_s$ ) με την σχέση  $z_0=k_s/30$

Στην περίπτωση **επίπεδου πυθμένα** η διάμετρος των κόκκων προκαλεί την υδραυλική ανωμαλία, τότε το ( $k_s$ ) μπορεί να εκληφθεί ως ίσο με το **μέσο κοκκομετρικό μέγεθος** ( $k_s=D_{50}$ ), ενώ, στη συνήθη περίπτωση που η τραχύτητα οφείλεται στις μικρο-ιζηματομορφές του πυθμένα (π.χ. ρυτίδες), στην παρουσία βλάστησης ή ακόμη και στη βενθική δραστηριότητα, τότε  $k_s=k''$ , το οποίο στην περίπτωση των μικρομορφών δίνεται από τη σχέση του (Nielsen 1992):

$$k'' = 8 \frac{\beta^2}{\lambda} \quad (1.39)$$

όπου, ( $\beta$ ) είναι το ύψος της μικρο-ιζηματομορφής και ( $\lambda$ ) το μήκος της.



#### 1.4.1.2. Παλινδρομική ροή

Στην περίπτωση της **παλινδρομικής ροής** (oscillatory flow) κοντά στο πυθμένα που προκαλείται από τα επιφανειακά διερχόμενα κύματα, η στιγμιαία διατμητική τάση που ασκούν τα κύματα δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_o(t) = 1/2 f_w U_\delta^2(t) \quad (1.40)$$

όπου, ( $f_w$ ) είναι η σταθερά τριβής που εξαρτάται από τις ιδιότητες της ροής και την τραχύτητα του πυθμένα.

Η σταθερά τριβής ( $f_w$ ) σε έναν επίπεδο πυθμένα, ανάλογα με το είδος της ροής μπορεί να υπολογιστεί από τις εξισώσεις που ακολουθούν ανά περίπτωση:

- **Γραμμικής (ομαλής) ροής (laminar flow):**

$$\text{Εάν } \left[ (\bar{U}_\delta \hat{A}_\delta) / \nu \right] < 10^4 \quad \text{τότε } f_w = \left( \frac{\bar{U}_\delta \hat{A}_\delta}{\nu} \right)^{-0.5} \quad (1.41)$$

- **Ομαλή τυρβώδης ροή (smooth turbulent):**

$$\text{Εάν } 10^4 < \left[ (\bar{U}_\delta \hat{A}_\delta) / \nu \right] < 10^6 \ \& \ \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} > 10^3 \quad \text{τότε } f_w = 0.09 \left( \frac{\bar{U}_\delta \hat{A}_\delta}{\nu} \right)^{-0.2} \quad (1.42)$$

- **Άστατη τυρβώδη ροή:**

$$\text{Εάν } \left[ (\bar{U}_\delta \hat{A}_\delta) / \nu \right] > 10^5 \ \text{και} \ \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} < 10^2 \quad \text{τότε } f_w = \exp \left[ -6 + 5.2 \left( \frac{\hat{A}_\delta}{k_s} \right)^{-0.19} \right] \quad (1.43)$$

όπου, ( $k_s$ ) είναι υδραυλική ανωμαλία του πυθμένα και ( $\hat{A}_\delta$ ) η προεξοχή της περιστροφικής κίνησης στο όριο του οριακού στρώματος του πυθμένα και η οποία δίνεται από την εξίσωση:

$$\hat{A}_\delta = \frac{H}{2 \sinh(kd)} \quad (1.44)$$

Για τη **μέγιστη τιμή της σταθερά τριβής** ισχύει ότι ( $f_w$ ) = 0.3 για  $\hat{A}_\delta / k_s \leq 1.57$  και ( $k_s = k''$ ). Για επίπεδους πυθμένες ο Sleath (1991) συσχέτισε την υδραυλική ανωμαλία με το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος ( $k_s = 2D_{50}$  άρα  $z_o = D_{50}/15$ ) ενώ αργότερα ο Van Rijn (1993) πρότεινε τη σχέση  $k_s = 3D_{90}$ , οπότε  $z_o = D_{90}/10$ . Στην περίπτωση όπου η τραχύτητα του πυθμένα ( $k''$ ) οφείλεται στη **παρουσία ρυτίδων** (ripples) τότε δίνεται από την εξίσωση του Van Rijn (1993):

$$k''_{s,r} = 20 \gamma_r \Delta_r \frac{\Delta_r}{\lambda_r} \quad (1.45)$$

στην οποία  $\Delta_r$  είναι το ύψος των ρυτίδων, ( $\lambda_r$ ) είναι το μήκος (απόσταση) των ρυτίδων και ( $\gamma_r$ ) είναι ο παραγοντας παρουσίας των ρυτίδων (ripple presence factor), ο οποίος ισούται με ( $\gamma_r = 1$ ) για ρυτίδες πάνω σε «επίπεδο» πυθμένα και ( $\gamma_r = 0,7$ ) όταν οι ρυτίδες βρίσκονται πάνω σε θίνες (dunes) και αμμοκύματα (sand waves).

#### 1.4.2 Κατώφλι κίνησης των ιζημάτων του πυθμένα

Το **κατώφλι κίνησης των ιζημάτων του πυθμένα** είναι συνάρτηση της διατρητικής τάσης (bed shear stress) που ασκεί είτε το μονο-κατευθυντικό ρεύμα είτε η παλινδρομική κίνηση που προκαλείτε από τα κύματα εντός του οριακού στρώματος του πυθμένα.

Η **διατρητική τάση** που ασκείται στον πυθμένα ανά μονάδα επιφάνειας ( $N/m^2$ ) μπορεί να εκφραστεί σε μονάδες ταχύτητας (m/s) ως ταχύτητα τριβής (friction velocity) ή διάτρησης (shear velocity) σύμφωνα με τις εξισώσεις:

$$\tau_o = \rho_w u_*^2 \quad (1.46)$$

$$u_* = \sqrt{\tau_o / \rho_w} \quad (1.47)$$

όπου, ( $\rho_w$ ) είναι η πυκνότητα του ρευστού.

Για τον προσδιορισμό του **κατωφλιού (threshold)** που αρχίζει η κινητικότητα των κόκκων του ιζήματος του πυθμένα, χρησιμοποιείται η παράμετρος κινητικότητας ( $\theta$ ) του Shields (1936) που στη γενική της μορφή είναι :

$$\theta = \frac{\tau_o}{(\rho_s - \rho_w) g D} \quad (1.48)$$

Η παράμετρος κινητικότητας ( $\theta$ ) μπορεί να εκφραστεί με τη βοήθεια της ταχύτητας τριβής (αντί της διατρητικής τάσης):

$$\theta = \frac{u_*^2}{(s-1) g D} \quad (1.49)$$

όπου, ( $\tau_o$ ) είναι η διατρητική τάση, ( $\rho_s$ ) και ( $\rho_w$ ) είναι αντίστοιχα οι πυκνότητες του ιζήματος και του νερού, ( $s$ ) η αναλογία πυκνοτήτων ( $\rho_s/\rho_w$ ), ( $g$ ) η επιτάχυνση της βαρύτητας και ( $D$ ) η διάμετρος των κόκκων του ιζήματος ( $D=D_{50}$ ).

Η **παράμετρος κινητοποίησης του Shields** εφαρμόζεται τόσο στην περίπτωση των ρευμάτων σταθερής ροής (steady unidirectional flow) όσο και σε ρεύματα παλινδρομικής κίνησης (oscillatory flow) των κυμάτων μετρά τον προσδιορισμό των αντίστοιχων τιμών διατρητικής τάσης και ταχύτητας τριβής. Έτσι, όταν η τιμή της παραμέτρου ( $\theta$ ) ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή ( $\theta_{cr}$ : critical value), η οποία εξαρτάται από τη κοκκομετρία και τη πυκνότητα του ιζήματος, οι κόκκοι αρχίζουν να μετακινούνται.

##### 1.4.2.1. Σταθερή μονοκατευθυντική ροή.

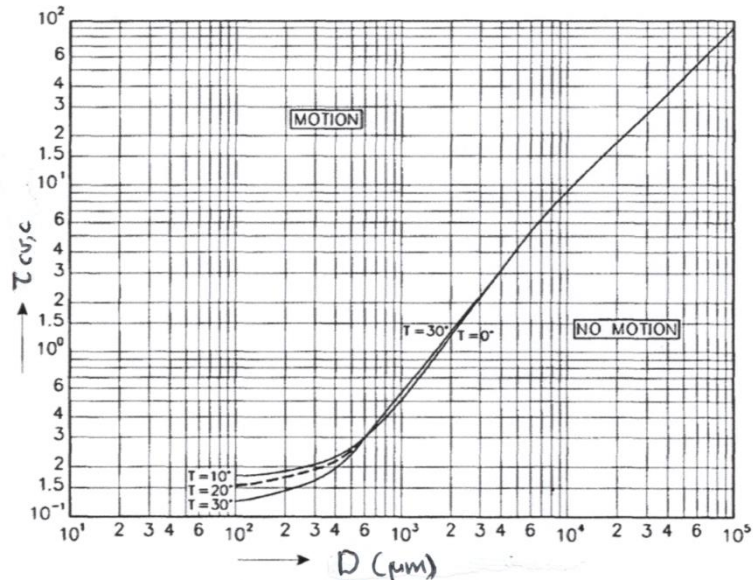
Η **κρίσιμη τιμή της παραμέτρου του Shields** (1936) στη περίπτωση των θαλάσσιων ρευμάτων με σταθερή ροή πάνω από έναν επίπεδο πυθμένα δίνεται από την εξίσωση:

$$\theta_{cr,c} = \frac{\tau_{cr,c}}{(\rho_s - \rho_w) g D} \quad (1.50)$$

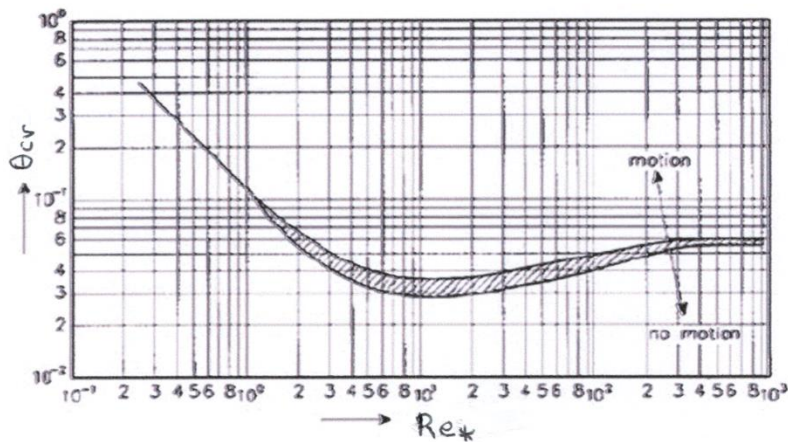
στην οποία οι τιμές της διατρητικής τάσης ( $\tau_{cr,c}$ ) και της αντίστοιχης της παραμέτρου του Shields ( $\theta_{cr,c}$ ) δίνονται από τα διαγράμματα των Σχημάτων 1-12 [ $\tau_{cr,c} = f(D)$ ] και 1-13 [ $\theta_{cr} = f(Re_*)$ ]. ( $Re_*$ ) είναι η κρίσιμη τιμή του αριθμού Reynolds ( $Re_* = (u_{cr} D)/\nu$ ) με την κρίσιμη ταχύτητα ( $u_{cr}$ ) να δίνεται από την εξίσωση:

$$u_{cr} = \sqrt{\tau_{cr}/\nu} \quad (1.51)$$

όπου,  $(\nu)$  το κινηματικό ιξώδες ( $\cong 10^{-6}$ )



**Σχήμα 1-12.** Γράφημα της έναρξης κινητοποίησης των κόκκων ιζήματος διαμέτρου ( $D$  σε  $\mu\text{m}$ ) σε σχέση με τη διατμητική τάση που αναπτύσσεται εντός του οριακού στρώματος ενός επίπεδου πυθμένα στην περίπτωση μονοκατευθυντικής ροής (CERC 1984).



**Σχήμα 1-13.** Γράφημα της έναρξης κινητοποίησης του ιζήματος των κόκκων ιζήματος διαμέτρου ( $D$ ) με βάση τη σχέση μεταξύ του κρίσιμου αριθμού Reynolds ( $Re_*$ ) και της κρίσιμης τιμής της παραμέτρου κινητοποίησης του Shields ( $\theta_{cr}$ ), στην περίπτωση μονοκατευθυντικής ροής (CERC 1984).

Οι κρίσιμες τιμές της παραμέτρου κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα ( $\theta_{cr}$ ) μπορούν να συσχετιστούν με το αδιάστατο κοκκομετρικό μέγεθος ( $D_*$ ), όπως φαίνεται στο Σχήμα 1-14:

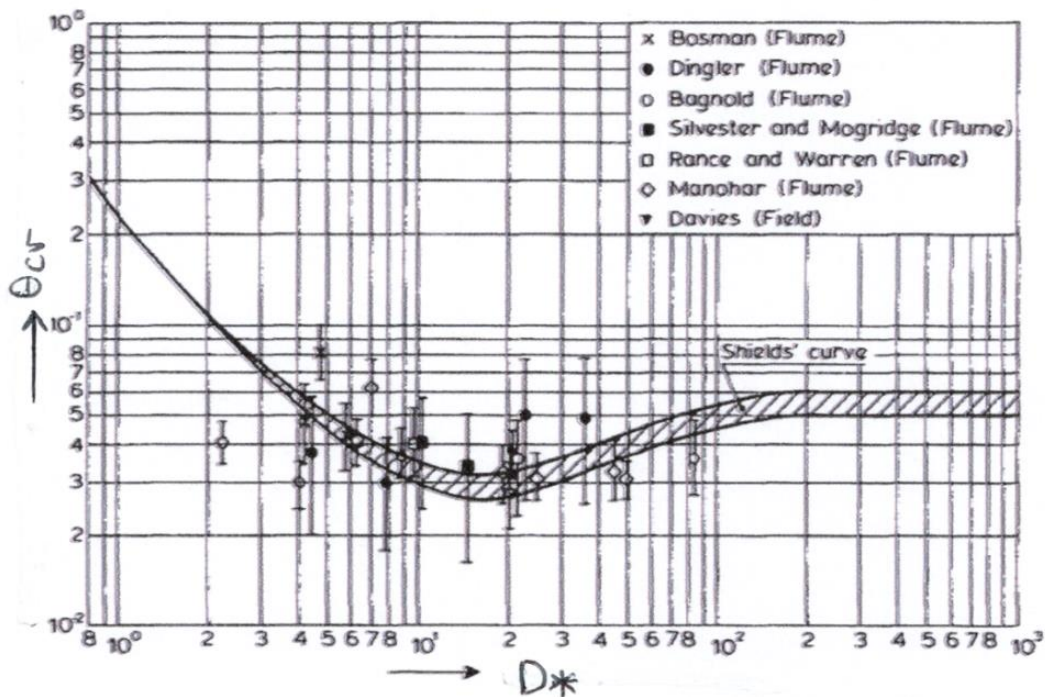
$$D_* = \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3} D_{50} \quad (1.52)$$

όπου, (s) είναι η ειδική βαρύτητα, (g) η επιτάχυνση της βαρύτητας, ( $D_{50}$ ) το μέσο κοκκομετρικό μέγεθος ( $M_d$ ) και (v) η σταθερά του κινηματικού ιξώδους ( $=\eta/\rho_w$ ,  $m^2/s$  : με ( $\eta$ ) τη σταθερά του δυναμικού ιξώδους ( $N s / m^2$ ) και  $\rho_w$  τη πυκνότητα του ρευστού).

Μια νεότερη έκφραση της κρίσιμης τιμής της παραμέτρου του Shields είναι αυτή των Soulsby & Whitehouse (1997) που δίνεται από την εξίσωση (1.53) και γραφικά στο Σχήμα 1-14:

$$\theta_{cr} = \left[ \frac{0.3}{1+1.2 D_*} + 0.005(1 - e^{-0.02 D_*}) \right] \quad (1.53)$$

όπου το  $D_*$  αδιάστατο κοκκομετρικό μέγεθος το οποίο υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης (1.52).



**Σχήμα 1-14.** Γράφημα της έναρξης κινητοποίησης του ιζήματος των κόκκων ιζήματος διαμέτρου (D) με βάση τη σχέση μεταξύ του αδιάστατου κοκκομετρικού μεγέθους ( $D_*$ ) και της κρίσιμης τιμής της παραμέτρου κινητοποίησης του Shields ( $\theta_{cr}$ ) στη περίπτωση παλινδρομικής ροής πάνω από έναν επίπεδο πυθμένα (CERC 1984).

Η **κρίσιμη ταχύτητα** ( $\bar{U}_{c,cr}$ ), η οποία είναι η κατά βάθος μέση ταχύτητα (depth-averaged) της σταθερής ροής στην περίπτωση επίπεδου αμμώδους πυθμένα, η κρίσιμη τιμή δίνεται από τη σχέση Soulsby (1997) για  $D_* > 0,1$ :

$$\bar{U}_{c,cr} = 7 \left( \frac{d}{D_{50}} \right)^{1/7} [g (s - 1) D_{50} \theta_{cr}]^{0.5} \quad (1.54)$$

όπου (d) είναι το βάθος, (s) ο λόγος των πυκνοτήτων ( $\rho_s/\rho_w$ ) και ( $\theta_{cr}$ ) η κρίσιμη τιμή του Shields που υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης (1.53).

#### 1.4.2.2. Παλινδρομική ροή

Στην περίπτωση των **κυμάτων η κρίσιμη τιμή της παραμέτρου του Shields** ( $\theta_{cr,w}$ ) συσχετίζεται με το αδιάστατο μέγεθος των κόκκων ( $D_*$ )

$$\theta_{cr,w} = f(D_*) \quad (1.55)$$

Ενώ ταυτόχρονα ισχύει ότι:

$$\theta_{cr,w} = \frac{\tau_{cr,w}}{(\rho_s - \rho_w) g D_{50}} \quad (1.56)$$

στην οποία ( $\tau_{cr,w}$ ) είναι ίση με τη χρονική στιγμή που αντιστοιχεί στη μισή περίοδο του κύματος (time averaged over half period):

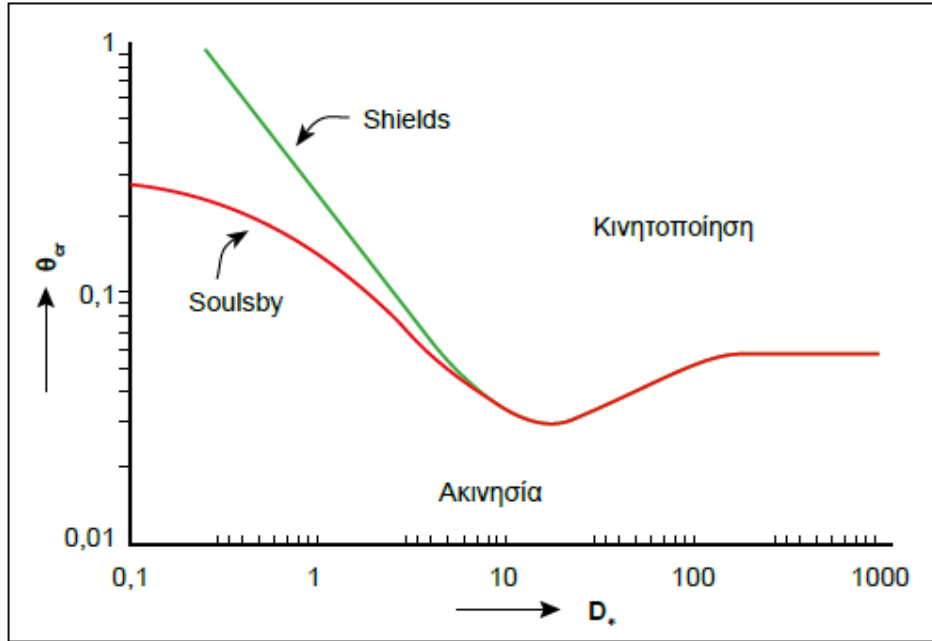
$$\tau_{cr,w} = \hat{t}_{cr,w} = 1/4 f_w \hat{U}_{\delta,cr}^2 \quad (1.57)$$

όπου ( $\hat{U}_{\delta,cr}$ ) η **κρίσιμη τιμή στην κορυφή της τροχιακής ταχύτητας** κοντά στον πυθμένα (critical peak value of orbital velocity near the bed) η οποία προσεγγίζεται από τις εξισώσεις των Komar & Miller (1975) ανάλογα με τη διάμετρο των κόκκων του ιζήματος:

$$\text{για } D_{50} < 500\mu\text{m, τότε:} \quad \hat{U}_{\delta,cr}^2 = 0.21 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{D_{50}} \right)^{0.5} (s - 1) g D_{50} \quad (1.58)$$

$$D_{50} > 500\mu\text{m, τότε:} \quad \hat{U}_{\delta,cr}^2 = 1.45 \left( \frac{2\hat{A}_{\delta,cr}}{D_{50}} \right)^{0.25} (s - 1) g D_{50} \quad (1.59)$$

Έχοντας υπολογίσει τις τιμές ( $\theta_{cr}$ ) και το αδιάστατο κοκκομετρικό μέγεθος ( $D_*$ ) από το Σχήμα 1-15 μπορούμε να δούμε ποτέ κινητοποιούνται τα ιζήματα με συγκεκριμένη κοκκομετρία. Η κινητοποίηση κατά την υπέρβαση της κρίσιμης τιμής αφορά ένα μικρό ποσοστό (<10%) της επιφάνειας του πυθμένα.



**Σχήμα 1-15.** Γράφημα της έναρξης κινητοποίησης των κόκκων ιζήματος διαμέτρου ( $D$ ) με βάση τη σχέση μεταξύ του αδιάστατου κοκκομετρικού μεγέθους ( $D_*$ ) και της κρίσιμης τιμής της παραμέτρου κινητοποίησης του Shields ( $\theta_{cr}$ ) στην περίπτωση παλινδρομικής ροής πάνω από έναν επίπεδο πυθμένα (CERC 1984) σύμφωνα με τους Shields (1936) και Soulsby (1997).

Όσον αφορά στη **μέση (υπολογιζόμενη κατά βάθος) κρίσιμη ταχύτητα ( $\bar{U}_{w,cr}$ )** εντός του οριακού στρώματος της παλινδρομικής ροής πάνω από έναν επίπεδο αμμόδη πυθμένα, η κρίσιμη τιμή της μέσης ταχύτητα δίνεται από τις σχέσεις των Komar & Miller (1974) για διαφορετική κοκκομετρική σύσταση:

$$D < 0.5 \text{ mm, τότε:} \quad \bar{U}_{w,cr} = [0.118 g (s - 1)]^{3/2} D^{0.1/3} T^{1/3} \quad (1.60)$$

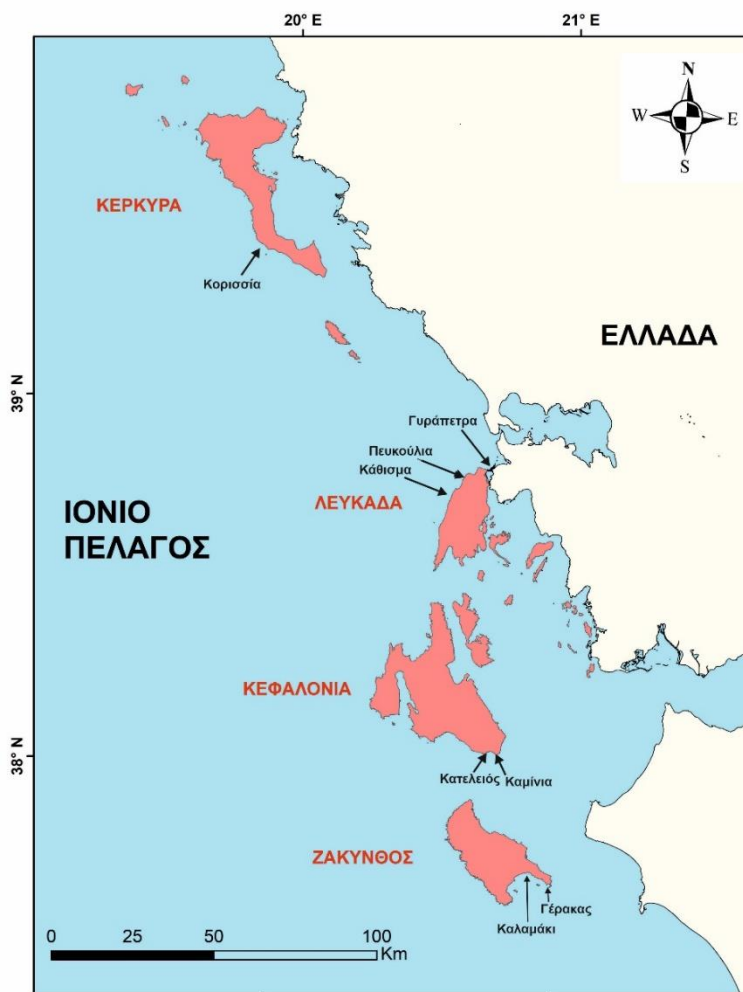
$$D > 0.5 \text{ mm, τότε:} \quad \bar{U}_{w,cr} = [0.109 g (s - 1)]^{4/7} D^{3/7} T^{1/7} \quad (1.61)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις αν και έχουν ευρεία αποδοχή από τους ερευνητές μειονεκτούν στην περιοχή τιμών γύρω από την τιμή  $D=0.5 \text{ mm}$ .



## Κεφάλαιο 2. Περιοχές Μελέτης

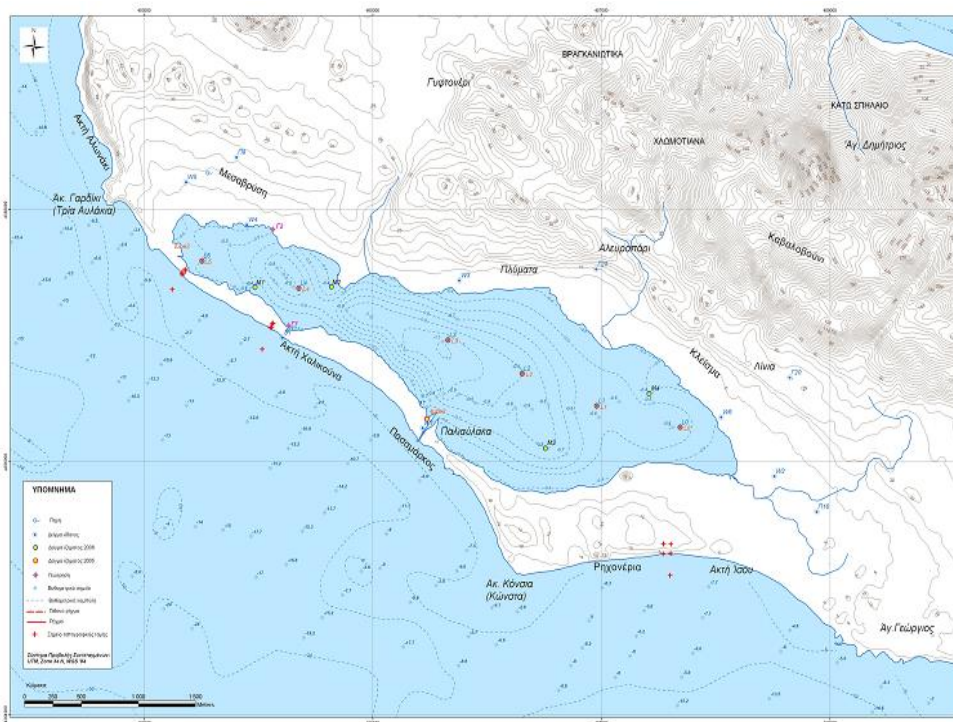
Οι περιοχές μελέτης ανήκουν στα Ιόνια Νησιά (Κεφαλονιά, Κέρκυρα, Ζάκυνθος, Λευκάδα, Ιθάκη, Παξοί και τα γειτονικά τους μικρότερα) τα οποία **ανήκουν στην περιφέρεια Ιονίων Νήσων** (Σχήμα 2-1) στο οποίο δίδονται και οι θέσεις των παραλιακών ζωνών των οποίων τα επιφανειακά ιζήματα διερευνήθηκαν ως προς τη κινητοποίησή τους. Η περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη οφείλεται στη τρέχουσα πανδημία.



**Σχήμα 2-1:** Παραλίες της περιοχής μελέτης στις οποίες πραγματοποιήθηκαν υποθαλάσσιες τομές και δειγματοληψίες ιζήματος.

## 2.1. Παραλιακή ζώνη λιμνοθάλασσας Κορισσίων (Νήσος Κέρκυρα)

Το παραλιακό μέτωπο της λιμνοθάλασσας Κορισσίων αποτελεί μια διαχωριστική λωρίδα γης μεταξύ Ιονίου Πελάγους και της ομώνυμης λιμνοθάλασσας με μέσο πλάτος 250 m, η οποία χωρίζεται σε δύο τμήματα από έναν τεχνητό διάυλο. Το **ανάγλυφο γενικά είναι ήπιο**, με εξαίρεση την περιοχή των “παλαιοθίνων”. Πιο συγκεκριμένα το τμήμα νότια του διαύλου αποτελείται από παλαιές αμμοθίνες (Σχ. 2-3) με υψόμετρο μέχρι και 15 m και κλίσεις πάνω από 40° ενώ στη βάση των παλαιών θινών αναπτύσσονται και συγχρονές θίνες. Στο **μέτωπο της παραλίας** του τμήματος αυτού υπάρχει τοπικά εμφάνιση ακτόλιθου, γεγονός που είναι ένδειξη ανάμειξης του γλυκού και του θαλασσινού νερού και οπισθοχώρησης της ακτογραμμής. Προς την ενδοχώρα (μια εντός της υδρογραφικής λεκάνης) το ανάγλυφο έχει απότομη κλίση με μέγιστο υψόμετρο 90 m. Το τμήμα της λωρίδας γης βόρεια του διαύλου έχει γενικά χαμηλότερες κλίσεις καθώς το υψόμετρο των νέων θινών που φιλοξενεί δεν ξεπερνά τα 2 m. Οι νέες θίνες σε μερικά σημεία είναι σταθεροποιημένες με βλάστηση ενώ υπάρχουν και θίνες σε εμβρυακό στάδιο. Προς την ενδοχώρα το ανάγλυφο σε αυτή την περιοχή είναι ομαλό με υψόμετρο μέχρι 35 m. Στην βορειοδυτική πλευρά της λεκάνης απορροής της λιμνοθάλασσας συναντάμε παλαιοθίνες σε υψόμετρο 35 m, οι οποίες έχουν γενικά διεύθυνση παράλληλη με εκείνη των παλαιοθινών στη νότια πλευρά του διαύλου. Στις παλαιοθίνες της βορειοδυτικής πλευράς έχουν αναπτυχθεί οικισμοί ενώ σε μερικά τμήματα τους γίνονται άμμοληψίες.



Σχήμα 2-2: Η λιμνοθάλασσα Κορισσίων.

Όσο αφορά την λιμνοθάλασσα Κορισσίων το **βάθος** της κυμαίνεται από 0,4 m έως 1,1 m. Το μέγιστο βάθος της λιμνοθάλασσας εντοπίζεται στο βορειοανατολικό τμήμα της. Το μορφολογικό **ανάγλυφο** της παρακείμενης ενδοχώρας παρουσιάζεται εντονότερο (μεγαλύτερα υψόμετρα και κλίσεις)



σε σχέση με το ανάγλυφο της νοτιοανατολικής περιοχής. Στη περιοχή πραγματοποιήθηκαν 2 τομές με ταυτόχρονη συλλογή δειγμάτων, ενώ τα γενικότερα χαρακτηριστικά στις συγκεκριμένες περιοχές μελέτης αναλύονται παρακάτω.

### 2.1.2 Νότια ακτή Λιμνοθάλασσας Κορισσίων (τομή KOR-A)

Η τομή KOR-B βρίσκεται στην νότια πλευρά της λιμνοθάλασσας έχοντας μήκος 240 m, με υψόμετρο που κυμαίνεται από 15 m στην χερσαία ζώνη (παλαιοθίνες) φτάνοντας μέχρι 5,8 m βάθος στην υποθαλάσσια ζώνη. Το υλικό πίσω από το μέτωπο της παραλίας είναι χαλιούχος άμμος. Στις παλαιοθίνες η κλίση φτάνει μέχρι και τις 40°. Σε ορισμένα σημεία οι θίνες καλύπτονται από βλάστηση ενώ προς το νοτιοανατολικό τμήμα της διαχωριστικής λωρίδας της λιμνοθάλασσας παρατηρείτε και μια εμφάνιση ακτολίθου με πλάτος μεγαλύτερο από 3 μέτρα.



**Σχήμα 2-3:** Περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η τομή KOR-A.

### 2.1.1 Δυτική ακτή Λιμνοθάλασσας Κορισσίων (KOR-B)

Η τομή KOR-B βρίσκεται στην διαχωριστική λωρίδα της λιμνοθάλασσας με την θάλασσα του Ιονίου, στο τμήμα βόρεια του διαύλου. Το μήκος της τομής είναι 230 m από τα οποία τα 40 m καλύπτουν το χερσαίο τμήμα και τα 190 m το υποθαλάσσιο. Το ανάγλυφο σε αυτή την περιοχή είναι ήπιο με υψόμετρο που φτάνει τα 2,6 m. Η κλίση του πυθμένα μέχρι να 2 m είναι μικρή και στην συνέχεια μέχρι τα 6 m αυξάνεται. Η σύσταση του υλικού που καλύπτει την χερσαία και την υποθαλάσσια παράλια ζώνη αποτελείται από άμμο. Νέες θίνες εμφανίζονται στη διαχωριστική λωρίδα, οι οποίες σταθεροποιούνται από χαμηλή βλάστηση.



**Σχήμα 2-4:** Περιοχή στην οποία πραγματοποιήθηκε η τομή KOR-B.

## 2.2 Δυτικές ακτές Λευκάδας

Στη Λευκάδα πραγματοποιήθηκαν τομές και αναλύθηκαν δείγματα σε τρεις παραλίες του νησιού οι οποίες βρίσκονται στη δυτική ακτή (Κάθισμα, Πευκούλια) και στη ΒΔ ακτή (Γυράπετρα) περιμετρικά της λιμνοθάλασσας.

### 2.2.1. Παραλία ΚΑΘΙΣΜΑ (ΚΑΤ)

Η παραλία του Καθίσματος, βρίσκεται 14 χιλιόμετρα ανατολικά της πρωτεύουσας της Λευκάδας και 2 χιλιόμετρα από την παραλία Πευκούλια. Η παραλία στη θέση Κάθισμα έχει μήκος ακτογραμμής περίπου 1500 μέτρα. Το πλάτος της είναι 50 μέτρα, ενώ παρατηρούνται θίνες και άμμος με σποραδικά βότσαλα και λίγα φύκια. Η παραλία χαρακτηρίζεται από σχετικά απότομα βάθη, (σε απόσταση 30 μέτρων παρατηρείτε βάθος 4 μέτρα). Οι θίνες αρχίζουν από τα 17,5 μέτρα και η κορυφή τους βρίσκεται σε απόσταση 27 μέτρων. Το ανώτερο τμήμα του μετώπου αποτελείται από ψιλό έως χοντρό χαλίκι. Ακολουθεί το χερσαίο τμήμα όπου επικρατεί η άμμος. Υποθαλάσσια, έχουμε την εμφάνιση άμμου, ενώ σε βάθη 4 έως 6 μέτρα παρατηρούμε αμμορυτίδες και μετά τα 6 μέτρα έχουμε πάλι άμμο. Το χερσαίο τμήμα της τομής αποτελείται από άμμο. Το υποθαλάσσιο τμήμα αποτελείται από χαλικούχο άμμο, με

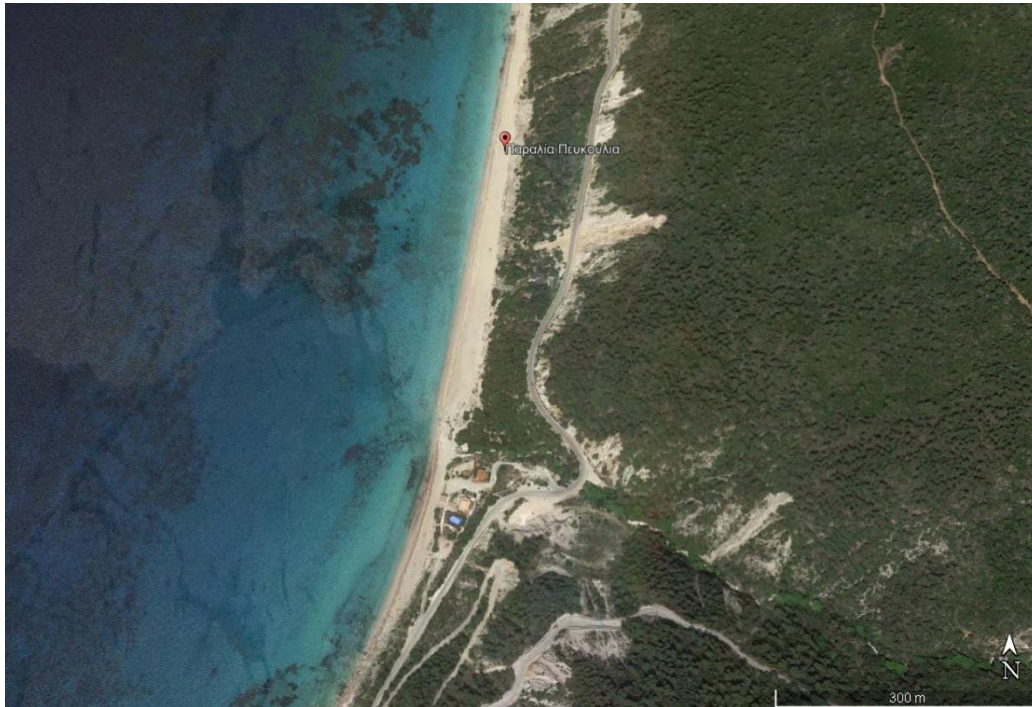
μέτρια ταξινόμηση και σχεδόν συμμετρική κατανομή. Το σχήμα 2-8 απεικονίζει τη παραλία Κάθισμα, στο μέσον της οποίας έγινε και η τοπογραφική τομή “ΚΑΤ”.



**Σχήμα 2-5:** Πανοραμική άποψη της παραλίας «Κάθισμα».

### 2.1.2. Παραλία ΠΕΥΚΟΥΛΙΑ (PEF)

Η παραλία Πευκούλια βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού της Λευκάδας, ανάμεσα στην πόλη της Λευκάδας (απόσταση περίπου 10 χλμ) και τον Άγιο Νικήτα. Είναι μια μεγάλη αμμώδης παραλία, με μήκος περίπου 1200 μέτρα και πλάτος που πλησιάζει τα 30 μέτρα σε κάποια σημεία ενώ το πευκοδάσος φθάνει μέχρι την άμμο. Τα ιζήματα που συνθέτουν την παραλία προέρχονται από τη διάβρωση του παρακείμενου κρημνού, και από τα φερτά υλικά του ρέματος της Γριάς και άλλων μικρότερων υδατορευμάτων. Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται οπισθοχώρηση της ακτογραμμής. Εκτός από την άμμο σε αρκετά σημεία υπάρχουν εμφανίσεις χαλικιών. Στο υποθαλάσσιο τμήμα υπάρχει κυρίως άμμος και σε κάποια σημεία εμφανίζονται βότσαλα. Πηγαίνοντας προς τα νότια τμήματα της παραλίας εμφανίζονται ακτόλιθοι και σε κάποια σημεία ογκόλιθοι (από καταπτώσεις βράχων) και άλλες ανωμαλίες του πυθμένα. Οι κλίσεις είναι έντονες και σε απόσταση 100 μέτρων από την ακτή σε κάποια σημεία έχουμε βάθος έως και έξι μέτρα. Στο σημείο που πραγματοποιήσαμε την τομή (στο κεντρικό τμήμα της παραλίας) έχουμε εύρος 27 μέτρα έως την τεχνητή αναβαθμίδα με πλευρικά κορήματα. Από τα 27 μέτρα έως τα 10 έχουμε την εμφάνιση χαλικιών, ενώ από το σημείο αυτό μέχρι και μισό μέτρο βάθος έχουμε χαλικώδη άμμο. Σε βάθος 2,5 μέτρων ξεκινάει η άμμος, μέχρι την απόσταση 85 μέτρων, όπου έχουμε 5 μέτρα βάθος.



**Σχήμα 2-6:** Παραλία Πευκούλια (Δορυφορική Εικόνα Google Earth).

### 2.2.3 Παραλιακή Ζώνη Γυράπετρας (GYR)

Στο βόρειο άκρο της Λευκάδας βρίσκεται η λιμνοθάλασσα των Στενών της Λευκάδας, στην εξωτερική πλευρά της οποίας αναπτύσσεται η παραλιακή ζώνη της Γυράπετρας που εκτείνεται από τον Άγιο Ιωάννη έως το Κάστρο. Η Γύρα είναι τμήμα της μεγάλης αυτής παραλίας και η περιοχή που πραγματοποιήθηκε η τομή βρίσκεται στους μύλους Γύρας. Κατά μήκος της ακτογραμμής συναντάται ακτολίθους ενώ όσο πλησιάζουμε τη παραλία της Γύρας διακρίνουμε χαρακτηριστικούς σύγχρονους σχηματισμούς από άμμο (θίνες). Αμέσως μετά τους μύλους, υπάρχει βάλτος στα ανατολικά μας βάλτο που αποτελείται από αποθέσεις ιλύος, οστράκων διαφόρων αρτιγόνων μαλακίων και λειψάνων υδροφίλων φυτών. Στο παραλιακό μέτωπο παρατηρούνται χαρακτηριστικές συγκεντρικές αμμώδεις ζώνες (berms), τα οποία σε κάποια σημεία ήταν παραπάνω από δυο και είχαν μικρή υψομετρική διαφορά μεταξύ τους.





**Σχήμα 2-7:** Η περιοχή της λιμνοθάλασσας των Στενών της Λευκάδας

Η τομή “GYR” και τα δείγματα προς κοκκομετρική ανάλυση προέρχονται από τους μύλους της παραλίας της Γύρας (κοντά στον τρίτο μύλο). Σε αυτή τη θέση παρατηρείται σημαντική υψομετρική διαφορά μεταξύ ακτογραμμής και δρόμου. Έντονη είναι η παρουσία υποβρύχιων ακτόλιθων σε απόσταση 15 m απ’ την ακτογραμμή. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από θίνες οι οποίες βρίσκονται ανατολικά της ακτογραμμής και προς την περιοχή του δρόμου. Οι μετρήσεις ξεκινούν από σημείο αναφοράς το υπόστεγο που βρίσκεται δίπλα στον μύλο όπου οι δυο κολώνες απέχουν μεταξύ τους 7 m (στην ευθεία ακτογραμμής μύλου). Παρατηρήθηκε ο σχηματισμός 5 παράλιων αναβαθμών (berms). Το πρώτο έχει πλάτος 4 m απ’ την ακτογραμμή προς τον μύλο και υψομετρική διαφορά 40 cm. Το δεύτερο έχει πλάτος επίσης 4 m και υψομετρική διαφορά 50 cm, το τρίτο 9 m και υψομετρική διαφορά 35 cm, το τέταρτο 6 m και υψομετρική διαφορά 1,05 m και το τελευταίο 13 m και 40 cm αντίστοιχα.



**Σχήμα 2-8:** Αποψη από την περιοχή των μύλων στην παραλία της Γύρας .

Οι κλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρές στην χέρσο και μεσαίες στο υποθαλάσσιο ανάγλυφο (σε απόσταση 180 μέτρα βάθος ~6 μέτρα). Ο πυθμένας, εκτός από τις εκτεταμένες εμφανίσεις ακτολίθων) είναι κυρίως αμμώδης με μικρές εμφανίσεις χαλίκων και βοτσάλων

### 2.3 Παραλίες Νοτιοανατολικής Κεφαλονιάς

Στη νήσο Κεφαλονιά μελετήθηκαν αναλυτικά δύο παραλίες: (α) η παραλία του Κατελειού και η παραλία των Καμινίων. Και οι δυο αυτές παραλίες βρίσκονται στο ΝΑ άκρο της Κεφαλονιάς. Η παραλία του Κατελειού είναι η δυτικότερη από της δύο παραλίες και βρίσκεται κάτω από το χωριό «Κατελειός». Η περιοχή του Κατελειού ανήκει στο δήμο «Ελείου – Πρόννων» με συνολικό αριθμό 3840 κατοίκων κ από αυτούς στον άνω και κάτω Κατελειό διαμένουν λιγότεροι από 200 κατοίκους. Η παραλία των Καμινίων βρίσκεται δυτικότερα του ακρωτηρίου Μούντα.

#### 2.3.1 Κατελειός (ΚΑΤ)

Η παραλία Κατελειός, αποτελείται από ένα αμμώδες χερσαίο τμήμα με εμφανίσεις κατά τόπους χαλικιών και έναν ομαλό πυθμένα με παρόμοια κοκκομετρικά χαρακτηριστικά. Η παραλία αναπτύσσεται μπροστά από μία αλλουβιακή (προσχωσιγενή) πεδιάδα. Το μήκος της παραλίας είναι 700 περίπου μέτρα, το πλάτος φθάνει τα 20m (στη θέση όπου πραγματοποιήθηκε η τομή και η δειγματοληψία) ενώ το μέγιστο ύψος της είναι 2,1m.

Χαρακτηριστικοί γεωμορφολογικοί σχηματισμοί είναι, η παρουσία των εκβολών ενός μικρού χειμάρρου και ο παρατηρούμενος σε βάθος 2,3m, βραχώδης πυθμένας (πιθανώς ακτόλιθος) στο κεντρικό τμήμα της παραλίας. Επιπροσθέτως παρατηρήθηκε εμφάνιση πλάτους 175,50m στο κεντρικό τμήμα της παραλίας και σε μηδενική απόσταση από το μέτωπο που μοιάζει με κροκαλοπαγές και εμφανίσεις χαμηλών θινών. Η κλίση γενικότερα είναι ομαλή και μειώνεται καθώς μειώνεται και η απόσταση από το μέτωπο τόσο χερσαία όσο και υποθαλάσσια. Η παραλία ανατολικά οριοθετείται από βραχώδη σχηματισμό που αποτελεί το φυσικό όριο της παραλίας Κατελειός από την παραλία Καμίνια.



Σχήμα 2-9: Το δυτικό τμήμα της παραλίας του Κατελειού

### 2.3.2 Καμίνια (ΚΑΜ)

Η παραλία των Καμινίων με μήκος 950m, μέγιστο πλάτος 80m και μέγιστο ύψος 3,05m χαρακτηρίζεται από την παρουσία θινών και μάλιστα δύο σειρών με μικρή υψομετρική διαφορά, περίπου ίση με 30cm. Οι τοπογραφικές κλίσεις μεταβάλλονται ανόμοια εξαιτίας των θινών και σε γενικές γραμμές είναι μεγαλύτερες από εκείνες του Κατελειού. Εκατέρωθεν της ακτογραμμής παρατηρείται περιοχή με πολύ μικρές κλίσεις, η οποία δίνει την εντύπωση ενδοπαλιρροιακής ζώνης (Σχήμα 2-10). Τόσο ο πυθμένας όσο και το χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης των Καμινίων, είναι αμμώδη με μικρές κατά τόπους συγκεντρώσεις χαλικιών, όπως συμβαίνει και στον Κατελειό. Επιπροσθέτως χαρακτηριστικό αποτελεί ο μεγάλος αριθμός φυκιών κατά μήκος του μετώπου της παραλίας. Ο πυθμένας σε απόσταση 40m – 80m παρουσιάζεται βραχώδης για βάθη από 1,5m-2,5m περίπου στο κεντρικό τμήμα της παραλίας.



**Σχήμα 2-10:** Πιθανή ενδοπαλιρροιακή ζώνη στη παραλία Καμινίων

Επιλέξαμε το δυτικότερο τμήμα της παραλίας για την δημιουργία της τομής “ΚΑΜ” και την κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων του πυθμένα. Σε αυτό το σημείο η κλίση της παραλίας υπολογίστηκε ίση με 10%. Στο δυτικότερο άκρο εμφανίζονται κάποιες βραχώδεις εμφανίσεις στον πυθμένα σε βάθος από 0,6 έως 1,8 m. Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στην πιο απομακρυσμένη θέση (20m) από την ακτογραμμή υπολογίστηκε 1,6m. Στη χέρσο παρατηρείτε κυρίως χαλικούχος άμμος και άμμος. Το υποθαλάσσιο τμήμα της παραλίας αποτελείτε κυρίως από άμμο.

### 2.4 Παραλίες κόλπου Λαγανά Ζακύνθου

Στη Ζάκυνθο μελετήθηκαν αναλυτικά δύο παραλίες που ευρίσκονται στον κόλπο του Λαγανά (α)η παραλία του Καλαμακίου και η παραλία του Γέρακα. Ο κόλπος του Λαγανά βρίσκεται στο νότιο μέρος του νησιού και περιλαμβάνει μια σειρά από αμμώδεις παραλίες ενώ στην ενδοχώρα παρατηρούνται λόφοι με σημαντική βλάστηση, ενώ μέσα στον κόλπο υπάρχουν επίσης δύο νησίδες (Μαραθονήσι και Πελούζο). Η περιοχή αυτή είναι γνωστή διεθνώς ως περιοχή αναπαραγωγής του σπάνιου είδους θαλάσσιας χελώνας *Caretta-Caretta* αλλά και της φώκιας Μονάχους-Μονάχους. Εκτός από τα παραπάνω η περιοχή περιλαμβάνει και εκτεταμένα λειβάδια Ποσειδωνίας (~45% της θαλάσσιας περιοχής) και για αυτό το λόγο αποτελεί μια από τις σημαντικότερες (και αρχαιότερες) προστατευόμενες περιοχές στον Ελληνικό χώρο.

#### 2.4.1 Παραλία Καλαμάκι (KAL)

Η παραλία του Καλαμακίου βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του κόλπου του Λαγανά και έχει μεγάλο μήκος (>2.000 μέτρα) ενώ ο προσανατολισμός της είναι νοτιοανατολικός. Παρατηρείτε βλάστηση (αλμυρίκια – tamarisk trees) στο εσωτερικό τμήμα της παραλίας (backshore) ενώ το μέγιστο πλάτος της παραλίας είναι 20 μέτρα. Στο χερσαίο τμήμα της παρουσιάζει μικρή σχετικά κλίση (~5%) ενώ ολόκληρη παράκτια ζώνη (χερσαία και υποθαλάσσια) παρουσιάζει κλίση περίπου 2%. Τόσο ο πυθμένας όσο και το χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης του Καλαμακίου είναι αμμώδη. Στο χερσαίο τμήμα συναντάμε ψιλή άμμο, ενώ στο υποθαλάσσιο τμήμα η άμμος είναι πιο χονδροκόκκη.



Σχήμα 2-11: Το σημείο στο οποίο πραγματοποιήθηκε τομή στην παραλία Καλαμακίου

#### 2.4.2 Παραλία Γέρακας (GER)

Η παραλία του Γέρακα βρίσκεται στο νοτιότερο τμήμα του κόλπου του Λαγανά και έχει μεσαίο μήκος (>300 μέτρα) ενώ ο προσανατολισμός της είναι νοτιοδυτικός, ενώ το μέγιστο πλάτος της παραλίας είναι 20 μέτρα. Στο χερσαίο τμήμα της παρουσιάζει μεγάλη κλίση (8% στο ανατολικό τμήμα της και 9,5% στο δυτικό) ενώ ολόκληρη παράκτια ζώνη (χερσαία και υποθαλάσσια) παρουσιάζει κλίση περίπου 3%. Το χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης του Γέρακα περιλαμβάνει άμμο και χαλικιώδη άμμο στο ανατολικό τμήμα της παραλίας ενώ στο δυτικό τμήμα της συναντάμε κυρίως χαλίκια και λιγότερη άμμο. Στο υποθαλάσσιο τμήμα της παραλίας συναντάμε σχεδόν αποκλειστικά ψιλή άμμο.





**Σχήμα 2-12:** Η παραλία του Γέρακα στο νότιο τμήμα του κόλπου του Λαγανά.

## Κεφάλαιο 3. Συλλογή δεδομένων – Μεθοδολογία

### 3.1 Συλλογή Δεδομένων

Για τις ανάγκες της μελέτης συλλέχθηκαν τοπογραφικοί χάρτες από τη Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ) κλίμακας 1:50000 καθώς και τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000. Επιπλέον συλλέχθηκαν δεδομένα από τον Άτλαντα ανέμου (Αθανασούλη και Σκαρσούλη (1992) και έγινε πρόγνωση του κυματισμού στη περιοχή μελέτης τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς της κινητοποίησης των ιζημάτων στον πυθμένα των περιοχών μελέτης.

Οι εργασίες πεδίου περιλάμβαναν την γεωμορφολογική αποτύπωση της παράλιας ζώνης, τοπογραφικές τομές κάθετες στην ακτογραμμή, δειγματοληψία επιφανειακών χερσαίων και υποθαλάσσιων ιζημάτων κατά μήκος κάθε μιας από τις τομές αυτές με παράλληλη φωτογραφική απεικόνιση της περιοχής.

### 3.2. Πρόγνωση Κυματισμού

Τα **στατιστικά ανεμολογικά του Άτλαντα ανέμου** και κύματος της Ανατολικής Μεσογείου των Αθανασούλη και Σκαρσούλη (1992) χρησιμοποιούνται, μετά τις απαραίτητες διορθώσεις που περιγράφονται κατωτέρω, για τον υπολογισμό των συχνότερα εμφανιζομένων και μεγίστων κυματικών συνθηκών, αντίστοιχα.

Για την πρόγνωση των **βασικών κυματικών χαρακτηριστικών** (περίοδος και ύψος) με δεδομένα την ταχύτητα του ανέμου ( $U_s$ ) και τη γεωγραφική απόσταση ανάπτυξης του κυματισμού ( $F$ , fetch) προτείνονται οι εξισώσεις του CEM (1984) και οι οποίες για συνθήκες διάδοσης των κυμάτων σε βαθιά νερά (δηλαδή χωρίς να επηρεάζονται από το βάθος στην περιοχή ανάπτυξης τους) δίνονται στον Πίνακα 2-1, για τις δυο ενδεχόμενες περιπτώσεις: (Α) συνθήκες πλήρους ανάπτυξης του κυματισμού (fully developed), δηλαδή ανεξάρτητα από τη διαθέσιμη απόσταση ανάπτυξης του κύματος και (Β) συνθήκες περιορισμένης ανάπτυξης κυματισμού, δηλαδή η πλήρης ανάπτυξη του κυματισμού δεν επιτυγχάνεται λόγω μη ικανής απόστασης (fetch).

**Πίνακας 2-1** .Προγνωστικές εξισώσεις του σημαντικού ύψους κύματος ( $H_{s,o}$ ), της περιόδου ( $T_m$ ) και της ελάχιστης διάρκειας πνοής του ανέμου ( $t$ ) που απαιτείται για να διαμορφωθούν οι μέγιστες τιμές τους.

<b>A. Συνθήκες πλήρους ανάπτυξης κυματισμού</b>	<b>B. Συνθήκες περιορισμένης ανάπτυξης λόγω του μήκους ανάπτυξης κυματισμού</b>
$H_{m,o} = 2.482 \cdot 10^{-2} U_A^2$ (3.1)	$H_{m,o} = 5.112 \cdot 10^{-4} U_A F^{0.5}$ (3.4)
$T_m = 8.30 \cdot 10^{-1} U_A$ (3.2)	$T_m = 6.238 \cdot 10^{-2} (U_A F)^{0.33}$ (3.5)
$t = 7.296 \cdot 10^3 U_A$ (3.3)	$t = 3.215 \cdot 10^1 \left(\frac{F^2}{U_A}\right)^{0.33}$ (3.6)

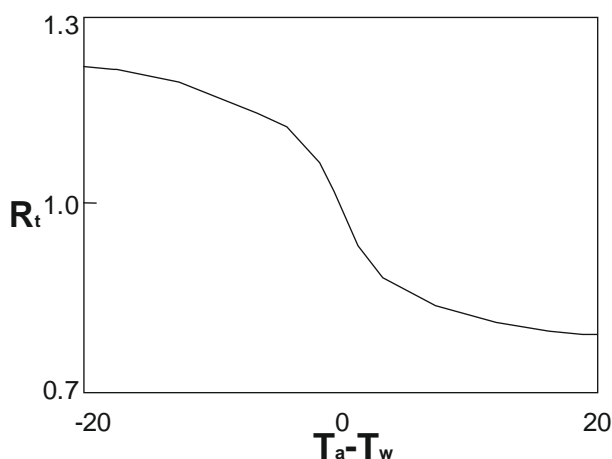
Η ποσότητα  $U_A$ , η οποία αντιστοιχεί στην ένταση του **ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας** δίνεται από τη παρακάτω σχέση, όπου ( $U$ ) είναι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας (CEM 1984):

$$U_A = 0.71 U^{1.23} \quad (3.7)$$

**Η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας ( $U$ )** είναι συνάρτηση της μετρημένης ταχύτητας του ανέμου σε απόλυτο υψόμετρο 10 m ( $U_{10}$ ):

$$U = R_T (U_{10}) \quad (3.8)$$

όπου, η σταθερά  $R_T$  συσχετίζεται με τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ατμόσφαιρας ( $T_a$ ) και της θαλάσσιας επιφάνειας ( $T_s$ ), όπως φαίνεται στο σχήμα 3-1.



**Σχήμα 3-1.** Γραφική απεικόνιση της σχέσης της σταθεράς  $R_T$  και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ ατμόσφαιρας ( $T_a$ ) και επιφανείας της θάλασσας ( $T_s$ ) (CERC, 1984).

Στη περίπτωση που δεν υπάρχουν τα σχετικά δεδομένα ( $T_a$ ,  $T_s$ ) προτείνεται η τιμή  $R_T=1.1$  (CERC, 1984). Όμως στη περίπτωση της Ελλάδας, όπου οι μηνιαίες διαφορές μεταξύ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και της επιφανειακής θαλάσσιας θερμοκρασίας κυμαίνονται στο  $1\pm 0,1$ , η τιμή της  $R_T$  μπορεί να εκληφθεί ως ίση με τη μονάδα ( $R_T=1$ ).

Το **μήκος αναπτύγματος πνοής ανέμου (fetch)** που χρησιμοποιείται στις ανωτέρω εξισώσεις πρόγνωσης προσδιορίζεται σε ευθεία γραμμή κατά τη διεύθυνση πνοής του ανέμου. Για αναπτύγματα που περιορίζονται από ακανόνιστες ακτογραμμές συνιστάται η μέτρηση του μήκους του αναπτύγματος σε εννιά σημεία (κατά μήκος της διεύθυνσης πνοής και από τέσσερα σημεία ανά  $2^\circ$  εκατέρωθεν της) και η χρήση του μέσου όρου των μετρήσεων για τους υπολογισμούς των κυματικών χαρακτηριστικών (CERC, 1984).

Για την επιλογή της κατηγορίας των εξισώσεων που θα χρησιμοποιηθούν δηλαδή των A (πλήρους ανάπτυξης) ή των B (μερικής ανάπτυξης λόγω περιορισμένου fetch) του Πίνακα 2-1, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Υπολογίζεται ο χρόνος που απαιτείται να πνέει ο άνεμος για να αναπτυχθεί πλήρως ο κυματισμός και κατόπιν για το χρόνο αυτό υπολογίζεται η θεωρητικά μέγιστη απόσταση ανάπτυξης ( $F'$ , fetch). Εάν  $F' < F$  (πραγματικό γεωγραφικό fetch) τότε χρησιμοποιούνται οι

εξισώσεις της πλήρως αναπτυγμένης θάλασσας, ενώ στην αντίθετη περίπτωση ( $F' > F$ ) χρησιμοποιούνται οι εξισώσεις με το περιορισμό του μήκους ανάπτυξης.

Κατά την εφαρμογή των παραπάνω εξισώσεων όταν στους υπολογισμούς συμμετέχει και η απόσταση ανάπτυξης του κυματισμού (fetch), πχ. στην περίπτωση πολύπλοκων μορφολογικά ακτογραμμών, ή παρεμβολή νησιών στο πεδίο ανάπτυξης του κυματισμού, έχει εισαχθεί η έννοια της **ενεργής απόστασης ανάπτυξης κυματισμού** (effective fetch).

### 3.3. Κοκκομετρική ανάλυση

Οι **εργαστηριακές αναλύσεις των δειγμάτων** που συλλέχθηκαν από τις περιοχές μελέτης, σχετίζονταν με την κοκκομετρική τους σύσταση και πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Ιζηματολογίας του τομέα Γεωγραφίας και Κλιματολογίας. Στα συλλεχθέντα δείγματα ιζημάτων πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική ανάλυση. Για την ταξινόμηση όλων των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν, καθορισμένη σειρά ανοξείδωτων κόσκινων τύπου REINTZ (Σχήμα 2-2 και Πίνακας 2-2). Η ταξινόμηση των ιζημάτων βασίστηκε στην ταξινόμηση μεγέθους κόκκων κατά Wentworth, ενώ ακολουθήθηκε η μεθοδολογία προετοιμασίας και κοκκομετρικής ανάλυσης του Folk (1980).



Διάμετρος Κοσκίνων (mm)	Διάμετρος κοσκίνων (φ)
4,000	-2,00
2,800	-1,485
2,000	-1,000
1,400	-0,485
1,000	0,000
0,710	0,494
0,500	1,000
0,355	1,494
0,250	2,000
0,180	2,474
0,125	3,000
0,090	3,474
0,063	3,989
<0,063	4,500

**Σχήμα 0-2:** Η σειρά των κοσκίνων (τύπου REINTZ) που χρησιμοποιήθηκαν στην κοκκομετρική ανάλυση

Η διαδικασία της κοκκομετρικής ανάλυσης ενός δείγματος αποτελείται από τα εξής στάδια: Αρχικά τα δείγματα ξεπλένονται με αποιονισμένο νερό ώστε να απομακρυνθούν όσο το δυνατό οι όποιες προσμίξεις αλάτων, μικροοργανισμών κ.α., προσέχοντας πάντα να μην απομακρύνεται το λεπτόκοκκο περιεχόμενο. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 2-3 φορές για κάθε δείγμα. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα, σε θερμοκρασία  $< 60^{\circ}\text{C}$  για τέτοιο χρονικό διάστημα ώστε να απομακρυνθεί η περιεχόμενη υγρασία του κάθε δείγματος (ως και 3 μέρες). Κατόπιν, το κάθε ξηρό

δείγμα ζυγίστηκε και τοποθετήθηκε στο ανώτερο τμήμα της προαναφερόμενης στήλης κοσκίνων (των οποίων η διάμετρος των οπών ελαττώνεται από την κορυφή προς την βάση), όπου και πραγματοποιήθηκε κοσκίνισμα με τη βοήθεια δονητή (Fritisch Analysette) για διάρκεια περίπου 20min. Τα κλάσματα του δείγματος που κατακρατήθηκαν σε κάθε κόσκινο καθώς και στο τάσι της βάσης, συλλέχθηκαν και ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας, ενώ το βάρος τους ανάχθηκε σε ποσοστά επί τοις εκατό (%). Βάσει των ποσοστών αυτών, δόθηκε και ο χαρακτηρισμός του κλάσματος ως προς το κοκκομετρικό του μέγεθος από το τριγωνικό διάγραμμα Χαλίκια- Άμμος- Πηλός του Folk (1980).

Για την κατασκευή των **αθροιστικών καμπύλων των δειγμάτων** χρησιμοποιήθηκε το ειδικό υπολογιστικό πρόγραμμα "GRAIN 2.0a" (Γκιώνης pers.com.) βάσει του οποίου υπολογίστηκαν οι διάμετροι που αντιστοιχούν σε ποσοστό αθροιστικής συχνότητας 5%, 16%, 25%, 50%, 75%, 84% και 95% ( $\phi_5$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{25}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{75}$ ,  $\phi_{84}$ ,  $\phi_{95}$ ) καθώς και οι στατιστικοί παράμετροι του κάθε δείγματος. Τόσο οι αθροιστικές καμπύλες των δειγμάτων, όσο και οι παράμετροι που υπολογίστηκαν μέσω αυτών, φαίνονται στο παράρτημα.

Οι επιμέρους **στατιστικοί παράμετροι** που υπολογίστηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία του Folk (1980) είναι (βλέπε κεφάλαιο 1):

- Επικρατούσα τιμή διαμέτρου ( $M_0$ )
- Διάμεσος ( $M_d$ ) ή  $D_{50}$
- Γραφική μέση τιμή (Graphic Mean) ( $M_z$ )
- Περιεκτική γραφική σταθερά απόκλισης (Inclusive Graphic Standard Deviation) ( $\sigma_i$ )
- Περιεκτική γραφική λοξότητα (ασυμμετρία)  $Sk_1$  (Inclusive Graphic Skewness)
- Κύρτωση ( $K_G$ )

### 3.4. Κινητοποίηση των ιζημάτων

Από μορφοδυναμικής πλευράς τα ιζήματα του πυθμένα τίθενται σε αιώρηση από τη δράση των κυμάτων. Εστιάζουμε στην πιθανή κινητοποίηση των ιζημάτων από τα προσερχόμενα στην ακτή θαλάσσια κύματα που είναι η γενεσιουργός αιτία της δημιουργίας των παραλιακών ρευμάτων και στην επίδραση των κυμάτων στα ιζήματα του πυθμένα κοντά στην ακτογραμμή, δηλαδή όταν το βάθος είναι μικρότερο από το ήμισυ του μήκους κύματος.

Το **μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων** του πυθμένα συνοδευόμενη έστω με μικρή μορφολογική αλλαγή ( $dc$ ) καθορίζεται από την εξίσωση του Hallemeyer (1979), ενώ η **μέγιστη μορφολογική αλλαγή του πυθμένα** λαμβάνει χώρα στη ζώνη θραύσης (βάθος θραύσης  $Db$ ) με τη δημιουργία των υποθαλάσσιων ραχών και κοιλιών.

Επίσης για τα μέγιστα και συνήθη προσερχόμενα κύματα από διαφορετικές διευθύνσεις για τα νησιά Κέρκυρα, Κεφαλλονία, Λευκάδα και Ζάκυνθος, υπολογίζουμε ποια κοκκομετρικά μεγέθη (άμμου) κινητοποιούνται. Η διερεύνηση της κινητοποίησης εκτείνεται και στα επιφανειακά ιζήματα που συλλέχθηκαν. Για την διερεύνηση της κινητοποίησης των ιζημάτων χρησιμοποιείται το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα που δίνεται από τον τύπο του Hallemeyer (1981):

$$hc = (2,28 * Hs) - \frac{68,5 * Hs^2}{g * T^2} \quad (3.9)$$

όπου  $H_s$  το σημαντικό ύψος κύματος και  $T$  η αντίστοιχη περίοδος.

Για το προσδιορισμό του βάθους θραύσης  $d_b$  χρησιμοποιείται ο τύπος :

$$\gamma_b = \frac{H_b}{d_b} \cong 0,78 \quad (3.10)$$

Όπου το ύψος από τη θραύση δίνεται από τους τύπους των Sakai & Battjes (1980) οι οποίες έχουν προαναφερθεί στην εισαγωγή:

$$\text{Όταν } H_o/L_o < 0.0208 \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H'_o} = 0.3839 \left( \frac{H'_o}{L_o} \right)^{-0.3118} \quad (3.11)$$

$$\text{Όταν } 0.0208 < H_o/L_o < 0.1 \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H'_o} = 0.6683 \left( \frac{H'_o}{L_o} \right)^{-0.1686} \quad (3.12)$$

$$\text{Όταν } 0.1 \leq H_o/L_o \quad \text{τότε} \quad \frac{H_b}{H'_o} = 1 \quad (3.13)$$

Στις προαναφερόμενες εξισώσεις το **ύψος κύματος ( $H_o$ )** αναφέρεται στο ισοδύναμο ύψος σε συνθήκες βαθιών νερών σημαντικού ύψους κύματος ( $H_o$ ) πριν υποστούν τροποποίηση λόγω ρήξης, διάθλασης και τυχόν περίθλασης του κύματος.

$$H'_o = (K_N K_S K_R) H_o \quad (3.14)$$

Θεωρώντας ότι τα προσερχόμενα στην ακτή κύματα δεν περιθλώντε και δεν διαθλώνται (ή ότι η διάθλαση είναι πολύ μικρή πριν τη θραύση των κυμάτων) το ύψος του κύματος ουσιαστικά εξαρτάται από το συντελεστή ρύχωσης ( $K_S$ ).

Στην περίπτωση της **παλινδρομικής ροής (oscillatory flow)** κοντά στο πυθμένα που προκαλείται από τα επιφανειακά διερχόμενα κύματα, η στιγμιαία διατμητική τάση που ασκούν τα κύματα δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_o = 1/2 \rho_w f_w U_\delta^2 \quad (3.15)$$

όπου, ( $f_w$ ) είναι η σταθερά τριβής που εξαρτάται από τις ιδιότητες της ροής και την τραχύτητα του πυθμένα και η οποία ως μέγιστη τιμή της για επιπεδούς αμμόδης πυθμένες ισούται με 0.3.

Η ελεύθερη ροή ( $\hat{U}_\delta$ ) δίνεται από την εξίσωση:

$$\hat{U}_\delta = \frac{\pi H_i}{T \sinh(k_i d_i)} \quad (3.16)$$

Όπου το  $H_i = H_o$  και  $T$  αντίστοιχα το ύψος και η περίοδος των προσερχόμενων κυμάτων, εντός της ζώνης ρήξης και κοντά στο όριο διάδοσης σε ρηχά νερά  $d_i = L_i/2$  εντός της ζώνης διάδοσης,  $k_i = 2\pi/L_i$  (όπου  $L_i \cong L_o \sqrt{\tanh(k_o d_i)}$ ).

Ακολουθως για τον προσδιορισμό του κατωφλιού (threshold) στο οποίο αρχίζει η κινητικότητα των κόκκων του ιζήματος του πυθμένα, χρησιμοποιείται η παράμετρος κινητικότητας ( $\theta$ ) του Shields (1937) που στη γενική της μορφή είναι :

$$\theta = \frac{\tau_o}{(\rho_s - \rho_w)g D_{50}} \quad (3.17)$$

Οι κρίσιμες τιμές ( $\theta_{cr}$ ) σε σχέση με το αδιάστατο κοκκομετρικό μέγεθος  $D^*$  δίνονται στο γράφημα του Σχήματος 1.14 το οποίο είδαμε στα εισαγωγικά κεφάλαια.





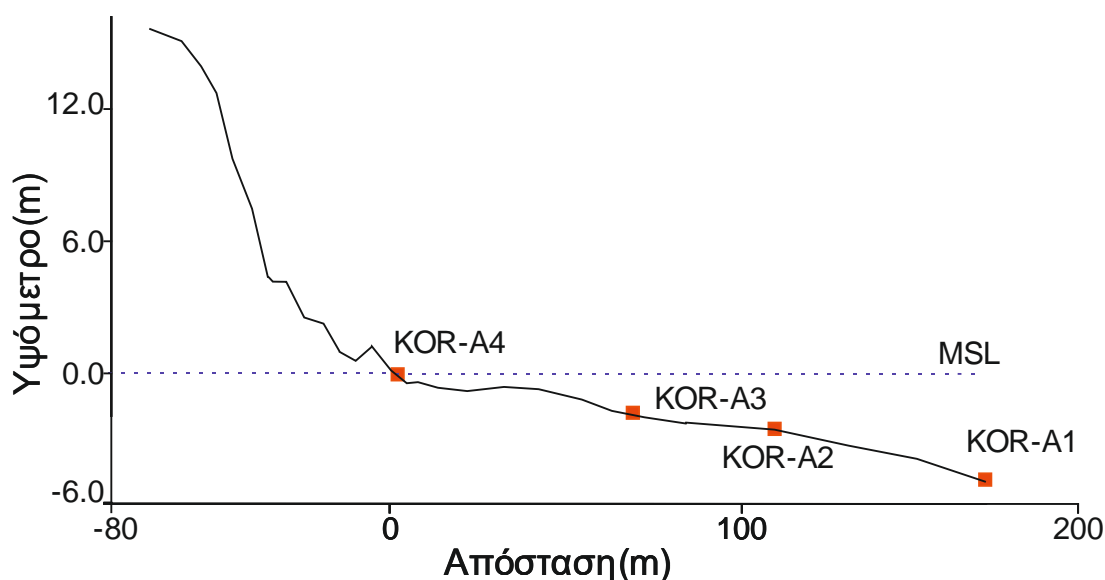
## Κεφάλαιο 4. Αποτελέσματα - Σχολιασμός

### 4.1. Τοπογραφικές τομές & Κοκκομετρία

Στην ενότητα αυτή δίνονται τα βασικά κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των επιφανειακών ιζημάτων των υπό διερεύνηση παραλιακών ζωνών και παρουσιάζονται οι τοπογραφικές τομές για κάθε περιοχή μελέτης. Σε κάθε τοπογραφική τομή σημειώνεται και η θέση λήψης των δειγμάτων

#### 4.1.1. Λιμνοθάλασσα Κορισίων Κέρκυρας

##### 4.1.1.1 Παραλία Κορισίων. Τομή KOR-A

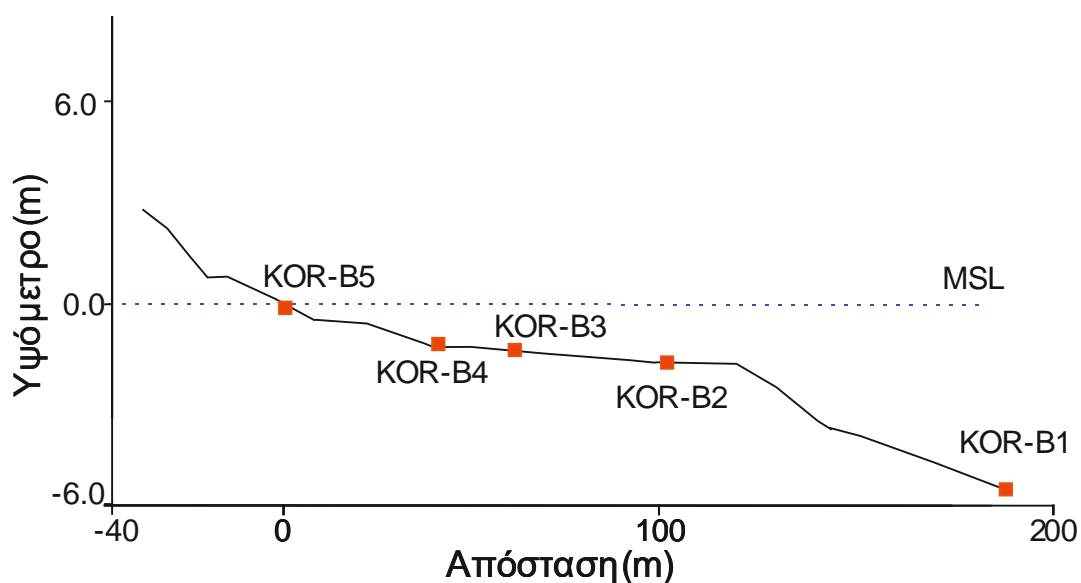


Σχήμα 4-1: Τοπογραφική τομή στη θέση Κορίσσια (τομή KOR-A) με τις θέσεις των δειγμάτων

Πίνακας 4-1: Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής KOR-A.

Τοπογραφική τομή KOR-A								
A/A Δείγμα	$M_z$ (Φ)	$\sigma_i$ (Φ)	$Sk_i$	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
KOR-A1	2.56	0.56	-0.16	0.16	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KOR-A2	2.49	0.58	-0.10	0.17	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KOR-A3	2.46	0.55	-0.06	0.18	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
KOR-A4	2.19	0.51	0.27	0.23	Μέτρια	Θετική	Πλατύκυρτη	S

#### 4.1.1.2 Παραλία Κορισσίων - Τομή KOR-B



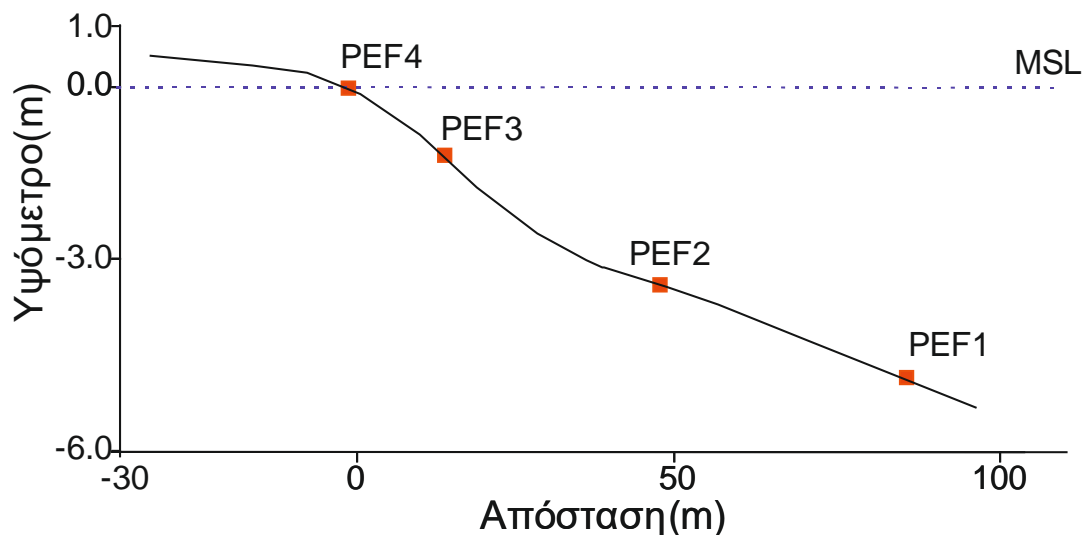
Σχήμα 4-2: Τοπογραφική τομή στη θέση Κορίσσια (τομή KOR-B) με τις θέσεις των δειγμάτων.

Πίνακας 4-2: Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής KOR-A.

Τοπογραφική τομή KOR-B								
A/A Δείγμα	$M_z$ (Φ)	$\sigma_i$ (Φ)	$Sk_i$	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
KOR-B1	2.54	0.66	-0.04	0.17	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
KOR-B2	2.56	0.58	-0.11	0.16	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KOR-B3	2.28	0.66	0.06	0.21	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
KOR-B4	2.45	0.59	-0.12	0.18	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KOR-B5	2.18	0.53	0.26	0.24	Μέτρια	Θετική	Λεπτόκυρτη	S

#### 4.1.2. Δυτικές ακτές Λευκάδας

##### 4.1.2.1. Παραλία Πευκούλια

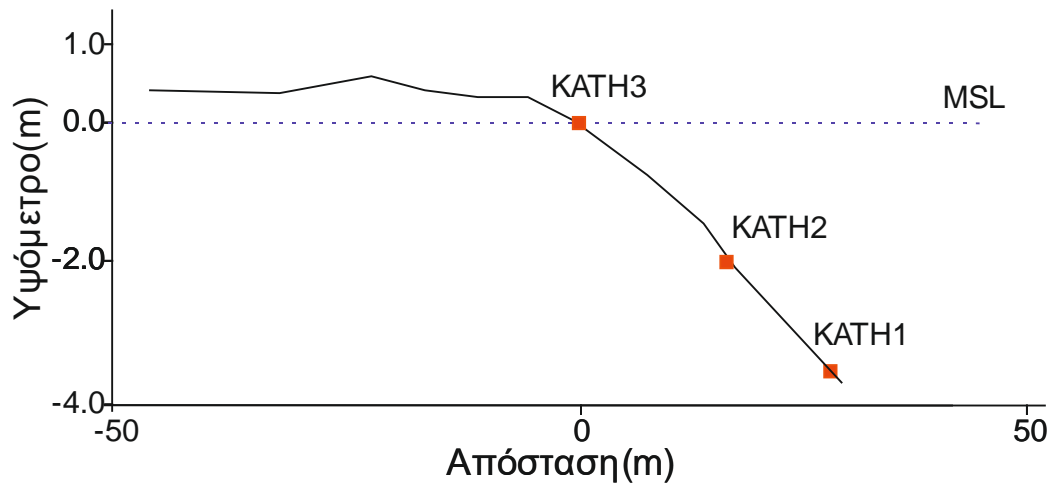


**Σχήμα 4-3:** Τοπογραφική τομή στη θέση Πευκούλια (τομή PEF) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

**Πίνακας 4-3:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής PEF.

Τοπογραφική τομή PEF								
A/A Δείγμα	M <sub>z</sub> (Φ)	σ <sub>i</sub> (Φ)	S <sub>k<sub>i</sub></sub>	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
PEF1	2.14	0.80	0.026	0.23	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
PEF2	1.45	0.66	0.04	0.37	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Μεσόκυρτη	S
PEF3	0.94	0.52	0.07	0.52	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Μεσόκυρτη	(g)S
PEF4	-1.99	1.05	-0.02	4	Κακή	Σχεδόν συμμετρική	Μεσόκυρτη	sG

#### 4.1.2.2. Παραλία Κάθισμα



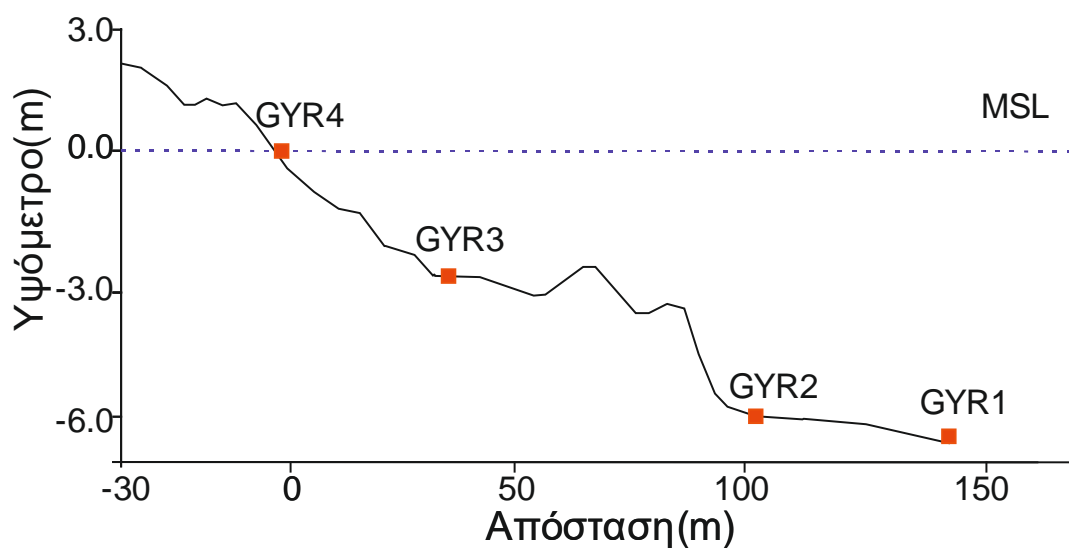
Σχήμα 4-4:

Σχήμα 4-4: Τοπογραφική τομή στη θέση Κάθισμα (τομή ΚΑΤΗ) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

Πίνακας 4-4: Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής ΚΑΤΗ.

Τοπογραφική τομή ΚΑΤΗ								
A/A Δείγμα	M <sub>z</sub> (Φ)	σ <sub>i</sub> (Φ)	Sk <sub>i</sub>	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
ΚΑΤΗ1	-0.83	0.64	-0.03	1.74	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Μεσόκυρτη	g(S)
ΚΑΤΗ2	2.25	0.77	-0.11	0.21	Μέτρια	Αρνητική	Μεσόκυρτη	S
ΚΑΤΗ3	-0.44	0.60	0.31	1.47	Μέτρια	Πολύ θετική	Λεπτόκυρτη	S

#### 4.1.2.3. Παραλία Γυράπετρας



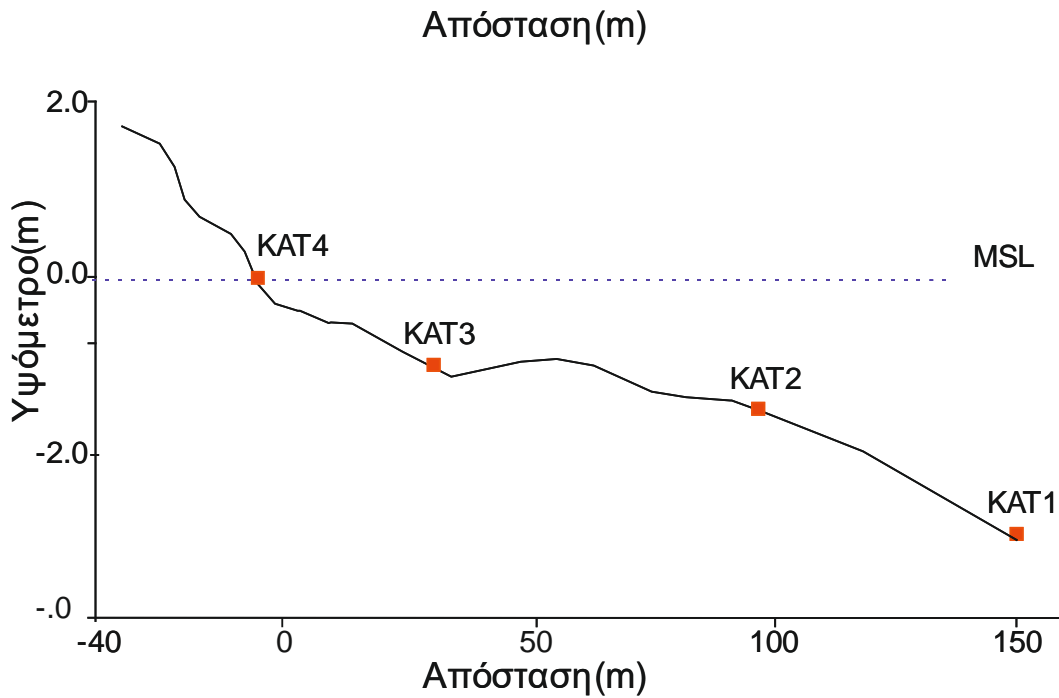
**Σχήμα 4-5:** Τοπογραφική τομή στη θέση Γυράπετρα (τομή GYR) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων

**Πίνακας 4-5:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής GYR.

Τοπογραφική τομή GYR								
A/A Δείγμα	$M_z$ (Φ)	$\sigma_i$ (Φ)	$Sk_i$	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
GYR1	1.19	0.85	-0.01	0.13	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Μεσόκυρτη	S
GYR2	2.12	0.83	-0.31	2.31	Μέτρια	Πολύ Αρνητική	Μεσόκυρτη	S
GYR3	0.67	0.64	0.01	5.27	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Μεσόκυρτη	S
GYR4	-1.60	0.60	-0.77	1.10	Μέτρια	Πολύ Αρνητική	Λεπτόκυρτη	(g)S

#### 4.1.3. Κεφαλονιά

#### 4.1.3.1. Παραλία Κατελειού

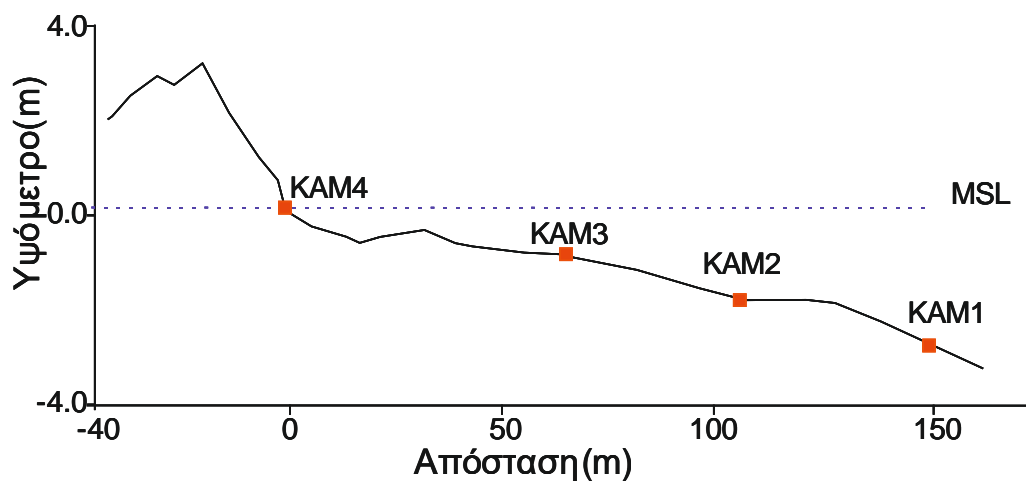


**Σχήμα 4-6:** Τοπογραφική τομή στη θέση Κατελειός(τομή ΚΑΤ) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

**Πίνακας 4-6:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής ΚΑΤ.

Τοπογραφική τομή ΚΑΤ								
A/A Δείγμα	M <sub>z</sub> (Φ)	σ <sub>i</sub> (Φ)	Sk <sub>i</sub>	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
KAT1	0.16	0.68	-0.05	0.90	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Μεσόκυρτη	(g)S
KAT2	2.88	0.72	-0.09	0.14	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Λεπτόκυρτη	S
KAT3	3.14	0.55	-0.04	0.11	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
KAT4	2.83	0.89	-0.26	0.14	Μέτρια	Αρνητική	Λεπτόκυρτη	(g)S

#### 4.1.3.2. Παραλία Καμίνια



**Σχήμα 4-7:** Τοπογραφική τομή στη θέση Καμίνια (τομή ΚΑΜ) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

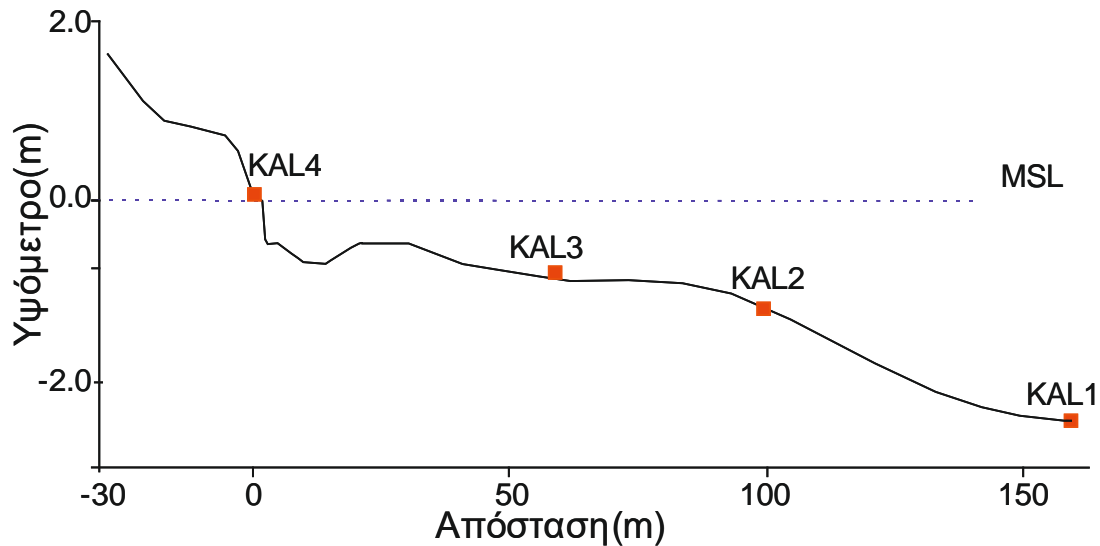
**Πίνακας 4-7:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής ΚΑΜ.

Τοπογραφική τομή ΚΑΤ								
A/A Δείγμα	$M_z$ (Φ)	$\sigma_i$ (Φ)	$S_{k_i}$	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
KAM1	2.52	0.60	-0.21	0.17	Μέτρια	Αρνητική	Μεσόκυρτη	(g)S
KAM2	2.33	0.64	-0.02	0.20	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Πλατύκυρτη	S
KAM3	2.44	0.62	-0.16	0.18	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KAM4	1.43	0.68	0.05	0.37	Μέτρια	Σχεδόν συμμετρική	Μεσόκυρτη	(g)S



#### 4.1.4. Παραλίες Λαγανά Ζακύνθου

##### 4.1.4.1. Παραλία Καλαμάκι

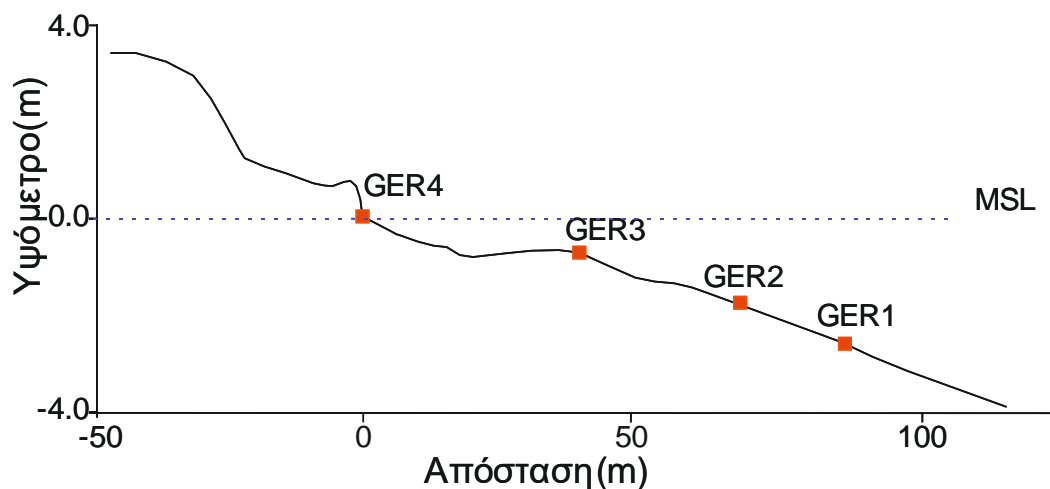


**Σχήμα 4-8:** Τοπογραφική τομή στη θέση Καλαμάκι (τομή KAL) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

**Πίνακας 4-8:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής KAL.

Τοπογραφική τομή KAL								
A/A Δείγμα	$M_z$ (Φ)	$\sigma_i$ (Φ)	$S_{k_i}$	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
KAL1	2.88	1.548	-0.126	0.14	Μέτρια	Αρνητική	Πλατύκυρτη	S
KAL2	2.51	1.492	0.019	0.18	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Λεπτόξυρτη	S
KAL3	2.13	1.568	0.252	0.21	Μέτρια	Πολύ θετική Ασυμμετρία	Πλατύκυρτη	(g)S
KAL4	1.56	1.658	-0.035	0.35	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Λεπτόκυρτη	S

#### 4.1.4.1. Παραλία Γέρακας



**Σχήμα 4-9:** Τοπογραφική τομή στη θέση Γέρακας (τομή GER) με τις υποθαλάσσιες θέσεις των δειγμάτων.

**Πίνακας 4-9:** Κοκκομετρικά αποτελέσματα επιφανειακών ιζημάτων της τομής GER.

Τοπογραφική τομή GER								
A/A Δείγμα	Mz (Φ)	σι (Φ)	Ski	D50 (mm)	Διαβάθμιση	Ασυμμετρία	Κύρτωση	Folk 1974
GER1	2.58	1.501	-0.056	0.17	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Λεπτόκυρτη	(g)S
GER2	2.78	1.540	-0.190	0.15	Μέτρια	Αρνητική ασυμμετρία	Μεσόκυρτη	S
GER3	2.49	1.539	0.034	0.18	Μέτρια	Σχεδόν Συμμετρική	Λεπτόκυρτη	(g)S
GER4	0.25	3.127	-0.160	0.98	Κακή	Αρνητική ασυμμετρία	Πλατύκυρτη	(g)S

## 4.2. Κυματικά χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 4-10, που ακολουθεί δίνονται το σημαντικό ύψος κύματος και η περίοδος που υπολογίστηκαν με βάση το ανάπτυγμα των κυμάτων για τις διευθύνσεις των προσερχόμενων κυμάτων ανοικτής θάλασσας στις ακτές των νησιών του Ιονίου.

**Πίνακας 4-10.** Οι τιμές σημαντικού ύψους κύματος (H) και περίοδος (T) των προσερχόμενων κυμάτων για τα συχνότερα και μεγίστων εμφανιζόμενων κυμάτων

ΚΕΡΚΥΡΑ		ΣΥΧΝΟΤΕΡΕΣ				ΜΕΓΙΣΤΕΣ			
	Fetch	U	f	H	T	U <sub>max</sub>	F	H <sub>s</sub>	T
<b>ΒΔ</b>	83	8.23	6.924	1.68	6.83F	26.71	0.24	3.9	8.1
<b>Β</b>	30	8.23	3.558	1.68	6.83	27.21	0.12	5.8	2.45
<b>Α</b>	15	8.23	1.445	1.68	6.83	26.08	0.10	1.65	4.6
<b>Δ</b>	360	8.23	2.936	0.65	4.26	26.08	0.18	6	12
<b>ΝΔ</b>	500	8.23	1.395	1.68	6.83	27.23	0.15	6	12
<b>Ν</b>	600	8.23	2.719	1.68	6.83	24.55	0.27	6	12
ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑ		ΣΥΧΝΟΤΕΡΕΣ				ΜΕΓΙΣΤΕΣ			
	Fetch	U	f	H	T	U <sub>max</sub>	F	H <sub>s</sub>	T
<b>Β</b>	100	8.23	3.558	1.68	6.83	27.21	0.12	4.2	8.65
<b>ΒΔ</b>	314	8.23	6.924	1.68	6.83	26.71	0.24	8.5	12.5
<b>Δ</b>	360	8.23	2.936	0.65	4.26	26.08	0.18	6.0	12.0
<b>Ν</b>	625	8.23	2.719	1.68	6.83	24.55	0.27	6.0	12.0
<b>ΝΔ</b>	800	8.23	1.395	1.68	6.83	27.23	0.15	6.0	12.0
<b>Α</b>	65	8.23	1.445	1.68	6.83	26.08	0.10	3.25	7.25
ΖΑΚΥΝΘΟΣ		ΣΥΧΝΟΤΕΡΕΣ				ΜΕΓΙΣΤΕΣ			
	Fetch	U	f	H	T	U <sub>max</sub>	F	H <sub>s</sub>	T
<b>Β</b>	15	8.23	3.55	1.68	6.83	27.21	0.12	1.6	4.6
<b>ΒΑ</b>	70	8.23	1.26	1.68	6.83	26.08	0.16	7.6	3.5
<b>Α</b>	24	5.00	1.44	1.68	6.83	26.08	0.10	2.1	5.26
<b>ΝΑ</b>	85	8.23	3.43	1.68	6.83	26.76	0.22	4.8	8
<b>Ν</b>	500	8.23	2.71	1.68	6.83	28.14	0.27	6	12
<b>ΝΔ</b>	600	8.23	1.39	1.68	6.83	27.237	0.15	6	12
ΛΕΥΚΑΔΑ		ΣΥΧΝΟΤΕΡΕΣ				ΜΕΓΙΣΤΕΣ			
	Fetch	U	f	H	T	U <sub>max</sub>	F	H <sub>s</sub>	T
<b>Ν</b>	600	8.23	2.719	1.68	6.83	28.144	0.27	6	12
<b>ΝΔ</b>	600	8.23	1.395	1.68	6.83	27.227	0.15	6	12
<b>Δ</b>	350	5.00	2.936	0.65	4.26	26.082	0.27	6	12
<b>ΒΔ</b>	115	8.23	6.924	1.68	6.83	26.711	0.24	4.6	9.2
<b>Β</b>	25	8.23	3.558	1.68	6.83	27.211	0.12	2.25	5.5

- Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, οι μέγιστες κυματικές συνθήκες έχουν περίοδο (T=12 sec) και ύψος κύματος (H=6 m), ενώ τα συνηθέστερα εμφανιζόμενα κύματα έχουν

**πρωτίστως ύψος 1.7 m και περίοδο 6.8 sec και δευτερευόντως με ύψος 0.65 m και περίοδο 4.3 sec**

Καθώς η κινητοποίηση των ιζημάτων του πυθμένα αρχίζει από μέγιστο βάθος κινητοποίησης (dc), ενώ η μεγαλύτερη στερεομεταφορά συμβαίνει στη ζώνη θραύσης (db) στον Πίνακα 4-11 δίνονται οι υπολογισμένες τιμές για το βάθος θραύσης (db) για τα συχνότερα και τα μέγιστα, όπως επίσης και το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα (dc) για τα μέγιστα κύματα.

**Πίνακας 4-11.** Βάθος θραύσης και μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα για τα συχνότερα και μέγιστα εμφανιζόμενα κύματα στα Νησιά του Ιονίου Πελάγους.

ΚΕΡΚΥΡΑ	Συχνότερα	Μέγιστα	
	db	db	dc
<b>ΒΔ</b>	2.58	5.41	7.27
<b>Β</b>	2.58	3.26	4.34
<b>Α</b>	2.58	2.17	2.86
<b>Δ</b>	1.00	8.94	11.93
<b>ΝΔ</b>	2.58	8.94	11.93
<b>Ν</b>	2.58	8.94	11.93
<b>ΚΕΦΑΛΛΗΝΙΑ</b>			
<b>Β</b>	2.58	5.89	7.93
<b>ΒΔ</b>	2.58	8.94	11.93
<b>Δ</b>	1.00	8.94	11.93
<b>Ν</b>	2.58	8.94	11.93
<b>ΝΔ</b>	2.58	8.94	11.93
<b>Α</b>	2.58	4.47	6.01
<b>ΖΑΚΥΝΘΟΣ</b>			
<b>Β</b>	2.58	2.12	2.80
<b>ΒΑ</b>	2.58	4.84	6.50
<b>Α</b>	2.58	2.77	3.68
<b>ΝΑ</b>	2.58	6.36	8.43
<b>Ν</b>	2.58	8.94	11.93
<b>ΝΔ</b>	2.58	8.94	11.93
<b>ΛΕΥΚΑΔΑ</b>			
<b>Ν</b>	2.58	8.94	11.93
<b>ΝΔ</b>	2.58	8.94	11.93
<b>Δ</b>	1.00	8.94	11.93
<b>ΒΔ</b>	2.58	6.50	8.74
<b>Β</b>	2.58	2.98	3.96

- Το βάθος θραύσης γενικά κυμαίνεται για μεν τα συχνότερα εμφανιζόμενα της τάξης των 2.6 m (εκτός από το Δ που είναι στο 1 m), για δε τα αντίστοιχα μεγέθη κυμαίνονται από 2 m έως και 9 m.
- Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων που προκαλείται από τα μέγιστα προσερχόμενα κύματα κυμαίνονται από 2.8 m έως και 12 m.

### 4.3. Κινητοποίηση των ιζημάτων

#### 4.3.1 Κινητοποίηση των υποθαλάσσιων ιζημάτων των Νήσων του Ιονίου για διαφορετικές κοκκομετρικές κλάσεις (άμμου)

Στην ενότητα αυτή γίνεται εκτίμηση του κατά πόσον τα αντιπροσωπευτικότερα κοκκομετρικά μεγέθη της άμμου (Πίνακας 4-12) μπορούν να κινητοποιηθούν από τις μέγιστες και συνήθης κυματικές συνθήκες.

Πίνακας 4-12. Κοκκομετρική ταξινόμηση της άμμου.

mm	Χαρακτηρισμός
2.0 – 1.0	Πολύ χονδρόκοκκη άμμος
1.0 -0.5	Χονδρόκοκκη Άμμος
0.5 - 0.25	Μεσόκοκκη Άμμος
0.25 – 0.125	Λεπτόκοκκη Άμμος
0.125 -0.0625	Πολύ λεπτόκοκκη Άμμος

Τα αποτελέσματα των μαθηματικών υπολογισμών που αφορούν στην **ασκούμενη επιφανειακή τάση στον πυθμένα** από τη παλινδρομική κίνηση των κυμάτων στο επίπεδο του οριακού στρώματος του πυθμένα για τις διάφορες κοκκομετρικές τάξεις της άμμου (συνήθη) των υπο-επιφανειακών παραλιακών ιζημάτων) δίνονται στον Πίνακα 4-13, μαζί με τις αντίστοιχες παραμέτρου θ του Shields.

**Πίνακας 4-13.** Τιμές της επιφανειακής τάσης και των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου του Shield ( $\theta$ ) και των κρίσιμων τιμών  $\theta_{cr}$  για τις μέγιστες κυματικές συνθήκες του Ιονίου Πελάγους

<b>H, T (6m, 12 sec)</b>			
<b>d50</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr, w)</b>	<b><math>\theta_{cr}</math></b>
2	3.629	0.114	0.039
1	1.815	0.114	0.035
0.5	0.907	0.114	0.032
0.25	0.454	0.114	0.051
0.125	0.227	0.114	0.090
0.0625	0.113	0.114	0.200
<b>H, T (1.7, 6.8s)</b>			
<b>d50</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr, w)</b>	<b><math>\theta_{cr}</math></b>
2	1.893	0.059	0.039
1	0.946	0.059	0.035
0.5	0.473	0.059	0.032
0.25	0.237	0.059	0.051
0.125	0.118	0.059	0.090
0.0625	0.059	0.059	0.200
<b>H, T (0.65, 4.25s)</b>			
<b>d50</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr, w)</b>	<b><math>\theta_{cr}</math></b>
2	0.697	0.022	0.039
1	0.348	0.022	0.035
0.5	0.174	0.022	0.032
0.25	0.087	0.022	0.051
0.125	0.118	0.059	0.090
0.0625	0.059	0.059	0.200

- Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα, οι μέγιστες κυματικές συνθήκες δύνανται να κινητοποιήσουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη. Τα συνήθη κύματα ( $H=1.7m$ ,  $T=6.8 s$ ) επίσης μπορούν να κινητοποιήσουν τα ιζήματα εκτός από αυτά που είναι λεπτότερα από 0.125 mm. Τέλος, τα συνήθη κύματα ( $H=0.65m$ ,  $T=4.25 s$ ) δεν μπορούν να κινητοποιήσουν καμία κοκκομετρική τάξη.

### 4.3.2 Κινητοποίηση των υποθαλάσσιων ιζημάτων των υπό διερεύνηση παραλιών των Νήσων του Ιονίου.

#### 4.3.2.1. Παραλία Κορισσίων - Κερκυρα (τομές KOR-A & KOR-B)

Οι κρίσιμες τιμές για την κινητοποίηση των ιζημάτων του πυθμένα στη περίπτωση των 2 τομών (KOR-A με κλίση  $m=0.02$  και KOR-B με υποθαλάσσια κλίση  $m=0.03$ ) για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων δίνονται στον Πίνακα 4-14.

**Πίνακας 4-14.** Τιμές της επιφανειακής τάσης και των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου του Shield ( $\theta$ ) και των κρίσιμων τιμών  $\theta_{cr}$  για τα δείγματα ιζήματος των προφίλ KOR-A και KOR-B για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων. Δείγματα που κινητοποιούνται για συγκεκριμένες συνθήκες εμφανίζονται με διαφορετικό χρώμα.

<b>Μέγιστες τιμές</b> ( $H=6\text{ m}$ , $T=12\text{ sec}$ ) για ΝΔ, Δ και Ν	<b>Τομή KOR-A</b>	<b><math>d_{50}</math></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	A4	0.23	4.295	0.426	0.114	0.055
	A3	0.18	3.300	0.328	0.114	0.067
	A2	0.17	3.188	0.316	0.114	0.007
	A1	0.16	2.974	0.295	0.114	0.072
	<b>Τομή KOR-B</b>	<b><math>d_{50}</math></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	B5	0.24	4.388	0.435	0.114	0.045
	B4	0.18	3.291	0.327	0.114	0.065
	B3	0.21	3.840	0.381	0.114	0.105
	B2	0.16	2.926	0.290	0.114	0.075
	B1	0.17	3.108	0.308	0.114	0.072
<b>Συνήθεις συνθήκες</b> ( $H=1.7$ , $T=6.8$ ) για ΝΔ και Ν	<b>Τομή KOR-A</b>	<b><math>d_{50}</math></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	A4	0.23	4.295	0.222	0.059	0.055
	A3	0.18	3.300	0.171	0.059	0.067
	A2	0.17	3.188	0.165	0.059	0.007
	A1	0.16	2.974	0.154	0.059	0.072
	<b>Τομή KOR-B</b>	<b><math>d_{50}</math></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	B5	0.24	4.388	0.227	0.059	0.045
	B4	0.18	3.300	0.171	0.059	0.065
	B3	0.21	3.840	0.199	0.059	0.105
	B2	0.16	2.974	0.154	0.059	0.075
	B1	0.17	3.108	0.161	0.059	0.072
<b>Συνήθεις συνθήκες</b>	<b>Τομή KOR-A</b>	<b><math>d_{50}</math></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	A4	0.23	4.295	0.012	0.003	0.055



	A3	0.18	3.300	0.009	0.003	0.067
	A2	0.17	3.188	0.009	0.003	0.007
	A1	0.16	2.974	0.008	0.003	0.072
	<b>Τομή KOR-B</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	B5	0.24	4.388	0.012	0.003	0.045
	B4	0.18	3.300	0.009	0.003	0.065
	B3	0.21	3.840	0.011	0.003	0.105
	B2	0.16	2.974	0.008	0.003	0.075
	B1	0.17	3.108	0.009	0.003	0.072

- Όπως φαίνεται από τον πίνακα οι μέγιστες κυματικές συνθήκες δύνανται να κινητοποιήσουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη. Τα συνήθη κύματα (H=1.7m, T=6.8 s) μπορούν να κινητοποιήσουν πολύ λίγα δείγματα ιζήματος (π.χ. KOR-A2, KOR-B1, KOR-B2), ενώ τα συνήθη των Δυτικών κυμάτων (H=0.65m, T=4.25 s) δεν μπορούν να κινητοποιήσουν καμία κοκκομετρική τάξη.

#### 4.3.2.2 Δυτικές ακτές Λευκάδας (τομές PEF, KATH, GYR)

Οι κρίσιμες τιμές για την κινητοποίηση των ιζημάτων του πυθμένα στη περίπτωση των 3 προφίλ (PEF με υποθαλάσσια κλίση m=0.05, KATH με κλίση m=0.12 και GYR με κλίση m=0.03) για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων δίνονται στον Πίνακα 4-15.

**Πίνακας 4-15.** Τιμές της επιφανειακής τάσης και των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου του Shield ( $\theta$ ) και των κρίσιμων τιμών  $\theta_{cr}$  για τα δείγματα ιζήματος των προφίλ PEF, KATH και GYR για τις μέγιστες και τις συνθήκες τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων. Δείγματα που κινητοποιούνται για συγκεκριμένες συνθήκες εμφανίζονται με διαφορετικό χρώμα.

<b>Μέγιστες τιμές</b> (H=6, T=2) για ΒΔ, Δ και ΝΔ	<b>Τομή PEF</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	PEF4	4	73.139	7.258	0.114	0.500
	PEF3	0.52	9.508	0.944	0.114	0.038
	PEF2	0.37	6.765	0.671	0.114	0.042
	PEF1	0.23	4.205	0.417	0.114	0.055
	<b>Τομή KATH</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	KATH3	1.47	26.957	2.675	0.114	0.035
	KATH2	0.21	3.817	0.379	0.114	0.060
	KATH1	1.74	31.836	3.159	0.114	0.140
	<b>Τομή GYR</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	GYR4	1.10	20.148	1.999	0.114	0.032
	GYR3	5.28	96.508	9.577	0.114	0.056
	GYR2	2.31	42.300	4.198	0.114	0.042
	GYR1	0.13	2.416	0.240	0.114	0.090
<b>Συνθήκες συνθήκες</b> (H= 1.7, T= 6.8) για ΒΔ και ΝΔ	<b>Τομή PEF</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	PEF4	4	73.139	3.786	0.059	0.050
	PEF3	0.52	9.508	0.492	0.059	0.037
	PEF2	0.37	6.765	0.350	0.059	0.042
	PEF1	0.23	4.205	0.218	0.059	0.056
	<b>Τομή KATH</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	KATH3	1.47	26.957	1.395	0.059	0.035
	KATH2	0.21	3.817	0.198	0.059	0.068
	KATH1	1.74	31.836	1.648	0.059	0.038
	<b>Τομή GYR</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	GYR4	1.10	20.148	1.043	0.059	0.034
	GYR3	5.28	96.508	4.995	0.059	0.050
	GYR2	2.31	42.300	2.189	0.059	0.040
	GYR1	0.13	2.416	0.125	0.059	0.090
<b>Συνήθειες συνθήκες</b>	<b>Τομή PEF</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(+)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	PEF4	4	73.139	0.202	0.003	0.050

	PEF3	0.52	9.508	0.026	0.003	0.037
	PEF2	0.37	6.765	0.019	0.003	0.042
	PEF1	0.23	4.205	0.012	0.003	0.056
	<b>Τομή KATH</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	KATH3	1.47	26.957	0.249	0.011	0.035
	KATH2	0.21	3.817	0.035	0.011	0.068
	KATH1	1.74	31.836	0.294	0.011	0.038
	<b>Τομή GYR</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	GYR4	1.10	20.148	0.186	0.011	0.034
	GYR3	5.28	96.508	0.892	0.011	0.050
	GYR2	2.31	42.300	0.391	0.011	0.040
	GYR1	0.13	2.416	0.022	0.011	0.090

- Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4-15, οι μέγιστες κυματικές συνθήκες δύνανται να κινητοποιήσουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη εκτός των περιπτώσεων των δειγμάτων PEF4 και KATH1. Τα συνήθη κύματα (H=1.7m, T=6.8 s) επίσης μπορούν να κινητοποιήσουν όλα τα δείγματα ιζημάτων εκτός των KATH2 και GYR1. Τέλος τα συνήθη των Δυτικών κυμάτων (H=0.65m, T=4.25 s) δεν μπορούν να κινητοποιήσουν καμία κοκκομετρική τάξη.

#### 4.3.2.3. ΝΑ ακτή Κεφαλληνίας (τομές ΚΑΤ & ΚΑΜ)

Οι κρίσιμες τιμές για την κινητοποίηση των ιζημάτων του πυθμένα στη περίπτωση των 2 προφίλ στο νησί της Κεφαλληνίας (ΚΑΤ με υποθαλάσσια κλίση m=0.02 και ΚΑΜ με κλίση m=0.02 για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων δίνονται στον Πίνακα 4-16.

**Πίνακας 4-16.** Τιμές της επιφανειακής τάσης και των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου του Shield ( $\theta$ ) και των κρίσιμων τιμών  $\theta_{cr}$  για τα δείγματα ιζήματος των προφίλ ΚΑΤ και ΚΑΜ για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων.

<b>Μεγιστες συνθήκες</b> (H=6, T=12) για Ν και ΝΔ	<b>Τομή ΚΑΤ</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	KAT4	0.14	2.571	0.255	0.114	0.035
	KAT3	0.11	2.074	0.206	0.114	0.032
	KAT2	0.14	2.484	0.246	0.114	0.033
	KAT1	0.90	16.365	1.624	0.114	0.031
	<b>Τομή ΚΑΜ</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	KAM4	0.37	6.786	0.673	0.114	0.040
	KAM3	0.18	3.370	0.334	0.114	0.067
	KAM2	0.20	3.637	0.361	0.114	0.065
	KAM1	0.17	3.188	0.316	0.114	0.070
<b>Συνήθεις συνθήκες</b> (H=1.7, T=6.8) για Ν και ΝΔ	<b>Τομή ΚΑΤ</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr, w)</b>	<b>fw</b>
	KAT4	0.14	2.571	0.133	0.059	0.035
	KAT3	0.11	2.074	0.107	0.059	0.032
	KAT2	0.14	2.484	0.129	0.059	0.033
	KAT1	0.90	16.365	0.847	0.059	0.031
	<b>Τομή ΚΑΜ</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(*)</b>	<b><math>\tau</math> (cr,w)</b>	<b><math>\theta</math> (w)</b>	<b><math>\theta</math> (cr)</b>
	KAM4	0.37	6.786	0.351	0.059	0.400
	KAM3	0.18	3.370	0.174	0.059	0.067
	KAM2	0.20	3.637	0.188	0.059	0.065
	KAM1	0.17	3.188	0.165	0.059	0.070

- Όπως φαίνεται από τον πίνακα 4-16, οι μέγιστες κυματικές συνθήκες δύνανται να κινητοποιήσουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη. Τα συνήθη κύματα (H=1.7m, T=6.8 s) επίσης μπορούν να κινητοποιήσουν όλα τα δείγματα ιζήματος εκτός από τα δείγματα της τομής ΚΑΜ.

#### 4.3.2.4. Κόλπος Λαγανά - Ζάκυνθος (τομές ΚΑΛ & GER)


Οι κρίσιμες τιμές για την κινητοποίηση των ιζημάτων του πυθμένα στη περίπτωση των 2 προφίλ (ΚΑΛ με κλίση m=0.016 και GER με υποθαλάσσια κλίση m=0.03 για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων δίνονται στον Πίνακα 4-17.

**Πίνακας 4-17.** Τιμές της επιφανειακής τάσης και των αντίστοιχων τιμών της παραμέτρου του Shield ( $\theta$ ) και των κρίσιμων τιμών  $\theta_{cr}$  για τα δείγματα ιζήματος των προφίλ KAL και GER για τις μέγιστες και τις συνήθεις τιμές σημαντικού ύψους και περιόδου των προσερχόμενων κυμάτων

<b>Μεγιστες συνθήκες</b> (H=6, T=12) για N, και ΝΔ	<b>Τομή KAL</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	KAL4	0.35	6.344	0.629	0.114	0.043
	KAL3	0.21	3.877	0.385	0.114	0.06
	KAL2	0.18	3.209	0.318	0.114	0.067
	KAL1	0.14	2.573	0.255	0.114	0.088
	<b>Τομή GER</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	GER4	0.98	17.968	1.783	0.114	0.032
	GER3	0.18	3.235	0.321	0.114	0.067
	GER2	0.15	2.822	0.28	0.114	0.08
	GER1	0.17	3.099	0.307	0.114	0.074
<b>Συνήθειες συνθήκες</b> (H=1.7, T=6.8)	<b>Τομή KAL</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	KAL4	0.35	6.343	0.328	0.059	0.043
	KAL3	0.21	3.877	0.201	0.059	0.06
	KAL2	0.18	3.209	0.166	0.059	0.067
	KAL1	0.14	2.573	0.133	0.059	0.088
	<b>Τομή GER</b>	<b>d<sub>50</sub></b>	<b>D(-)</b>	<b>τ (cr,w)</b>	<b>θ (w)</b>	<b>θ (cr)</b>
	G4	0.98	17.968	0.93	0.059	0.032
	G3	0.18	3.235	0.164	0.059	0.067
	G2	0.15	2.822	0.146	0.059	0.08
	G1	0.17	3.099	0.16	0.059	0.074

- Από τον πίνακα 4-17 διαπιστώνουμε ότι οι μέγιστες κυματικές συνθήκες δύνανται να κινητοποιήσουν όλα τα κοκκομετρικά μεγέθη. Τα συνήθη κύματα (H=1.7m, T=6.8 s) μπορούν να κινητοποιήσουν τα δείγματα ιζήματος GER4 και KAL 4.

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος

  
Δρ. Ευθύμιος Λέκκας  
Καθηγητής  
Δυναμικής, Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης  
Γεωλογίας και  
Φυσικών Καταστροφών

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Battjes, J.A. (1974), "Surf similarity", Proceedings 14th International Conference on Coastal Engineering, pp. 466–480
- Coastal Engineering Research Center (US). (1984). Shore Protection Manual. Department of the Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center.
- Folk, R. L., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill, Austin.
- Goda, Y. (2010). Random seas and design of maritime structures. World scientific.
- Hallemeier, R.J. (1981a) A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. Coastal Engineering. Amsterdam, v.4, p.253-277, 1981.
- Ingmanson, D.E. & Wallace, W.J. (1995). Oceanography: an introduction. Wadsworth, California.
- Kaminsky, G. M., & Kraus, N. C. (1993). Evaluation of depth-limited wave breaking criteria. In Ocean Wave Measurement and Analysis (pp. 180-193). ASCE.
- Komar, P. D. (1998). Beach processes and sedimentation.
- Komar, P. D., & Gaughan, M. K. (1972). 13th Coastal Engineering Conference.
- Komar, P.D., & Miller, M.C. (1974). Sediment threshold under oscillatory water waves. Journal of Sedimentary Petrology, 43(4), 1101-1110.
- Krumbein, W.C. (1934). The probable error of sampling sediments for mechanical analysis. American Journal of Science, (159), 204-214.
- Madsen, O.S. and Grant, W.D. (1976) Sediment transport in the coastal environment. Rept. No. 209, Ralph M Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics, Dept of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 105pp.
- McCowan, J. (1894). On the highest wave of permanent type. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 38(233), 351-358.
- Nielsen, P., 1992. Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport World Scientific (1992) (324 pp.)
- Pethick, J. S. (1984). An introduction to coastal geomorphology. Dept. of Geography, Univ. of Hull.
- Rattanapitikon, W., Vivattanasirisak, T., & Shibayama, T. (2003). A proposal of new breaker height formula. Coastal engineering journal, 45(1), 29-48.
- Sakai, T., & Battjes, J. A. (1980). Wave shoaling calculated from Cokelet's theory. Coastal Engineering, 4, 65-84.
- Shields, A. (1936). Application of Similarity Principles and Turbulence Research to Bedload Movement. (English Translation of the original German Manuscript). Hydrodynamics Laboratory, California Institute of Technology, Publication No 167, 36pp.
- Soulsby, R. L., & Whitehouse, R. J. S. (1997). Threshold of sediment motion in coastal environments. In Pacific Coasts and Ports' 97: Proceedings of the 13th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 6th Australasian Port and Harbour Conference; Volume 1 (p. 145). Centre for Advanced Engineering, University of Canterbury.
- Sunamura, T. (1984). Quantitative Predictions of Beach-Face Slopes. Geological Society of American Bulletin, 95: 242-245.
- Van Rijn, L.C. (1993). Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua, Amsterdam, the Netherlands.
- Wentworth, C.K. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. The journal of geology, 30(5), 377-392.



- Αθανασούλη, Γ.Α., Σκαρσούλη, Ε.Κ., 1992. Άτλας Ανέμου και Κύματος βορειοανατολικής Μεσογείου Θαλάσσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών.
- [http://www.coastalwiki.org/wiki/Shallow-water\\_wave\\_theory](http://www.coastalwiki.org/wiki/Shallow-water_wave_theory)