

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΚΕΣ ΓΕΩΜΟΡΦΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗ ΤΟΥ ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑΚΟΥ ΚΟΛΠΟΥ

ΓΚΙΩΝΗΣ Γ.

Εργαστήριο Θαλάσσιες Γεωλογίας και Φυσικής Ωκεανογραφίας,
Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 261 10 Ρίο

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παράκτια ζώνη του Κυπαρισσιακού κόλπου παρατηρείται μεγάλη ποικιλία ρυθμικών γεωμορφών που κυμαίνονται από beach cusps μέχρι υποθαλάσσιες ράχες και ρυθμικές ακτογραμμές. Λεπτομερείς υδροδυναμικές και μορφοδυναμικές μετρήσεις υπαίθρου και θεωρητική ανάλυση χρησιμοποιούνται για τη μελέτη του τρόπου δημιουργίας τους και την εξήγηση της επιλεκτικής εμφάνισής τους σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της ακτογραμμής. Η περιοδικότητα των ρυθμικών γεωμορφών αποδίδεται στην αλληλεπίδραση του εισερχόμενου κυματισμού με κύματα ακμής για τις μορφές μικρής κλίμακας και με κύματα infragravity για τις μορφές μεγάλης κλίμακας.

ABSTRACT

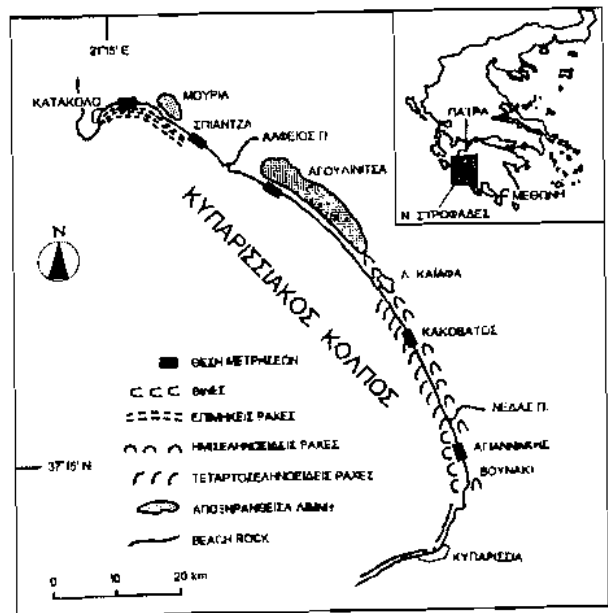
A large variety of rhythmic shoreline features, ranging from beach cusps to underwater bars and rhythmic shorelines, appear along the coast of the gulf of Kyparissia. Detailed hydrodynamic and morphodynamic measurements as well as theoretical analysis are used to study their mode of formation and to explain their selective appearance at specific sites along the coastline. The periodicity of the rhythmic forms is attributed to the interaction between the incident waves and edge waves for the smaller forms and to the interaction with infragravity waves for the larger forms.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Κυπαρισσιακός κόλπος βρίσκεται στη δυτική ακτή της Πελοποννήσου, έχει ημισεληνοειδές σχήμα και μήκος ακτογραμμής 63 km περίπου. Σημαντικά γεωμορφολογικά στοιχεία κατά μήκος της ακτής είναι η λίμνη του Καϊάφα, οι αποξηρανθείσες λίμνες της Αγουλινίτσας και της Μουριάς και η ζώνη από παράκτιες θίνες σε όλο σχεδόν το μήκος του κόλπου.

Οι σημαντικότερες γεωμορφές που εμφανίζονται στην παράκτια ζώνη του Κυπαρισσιακού κόλπου είναι οι επιμήκεις, ημισεληνοειδείς και τεταρτοσεληνοειδείς υποθαλάσσιες ράχες, οι ρυθμικές ακτογραμμές και τα beach cusps στο μέτωπο της

ακτής. Κάθε μία από τις γεωμορφές αυτές εμφανίζεται επιλεκτικά σε συγκεκριμένες θέσεις κατά μήκος της ακτογραμμής (σχ. 1). Κοινά χαρακτηριστικά όλων των γεωμορφών είναι η σταθερότητα της θέσης τους και η σταθερότητα των αποστάσεων μεταξύ διαδοχικών γεωμορφών του ίδιου τύπου. Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι ο προσδιορισμός των μορφοδυναμικών χαρακτηριστικών των γεωμορφών, ο συσχετισμός τους με τις παράκτιες υδροδυναμικές συνθήκες και ο εντοπισμός των γεωμορφολογικών διεργασιών που ευθύνονται για τη δημιουργία τους.



Σχήμα 1. Συνολτικός γεωμορφολογικός χάρτης και θέσεις μετρήσεων.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για την επίτευξη των ανωτέρω στόχων απαιτήθηκαν εκτεταμένες μετρήσεις στο ύπαιθρο καθώς και θεωρητική ανάλυση με βάση τα συλλεχθέντα και άλλα υπάρχοντα στοιχεία για την περιοχή.

Οι μετρήσεις υπαίθρου έγιναν κατά τα έτη 1988 έως 1992 σε πέντε θέσεις κατά μήκος της ακτογραμμής του Κυπαρισσιακού (σχ. 1), επιλεγμένες έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν όλες τις υπό μελέτη γεωμορφές και τα παράκτια περιβάλλοντα που εμφανίζονται στον κόλπο. Οι μετρήσεις έγιναν κυρίως τους χειμερινούς μήνες που είναι οι μήνες της εντονότερης κυματικής δράσης και συμπληρώθηκαν με μετρήσεις και παρατηρήσεις κατά τους υπόλοιπους μήνες. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές των ανεμογενών κυμάτων όλων των δυνατών διευθύνσεων και χαρακτηριστικών στον κόλπο.

Οι μεγάλης κλίμακας μεταβολές της τομής της ακτής και της θέσης της ακτογραμμής προσδιορίστηκαν με επανειλημμένες τοπογραφικές μετρήσεις με ταχύμετρο και σταδία. Οι μικροτοπογραφικές μεταβολές του μετώπου της ακτής που σχετίζονται με τη δημιουργία των ρυθμικών γεωμορφών μετρήθηκαν με τη βοήθεια ενός δικτύου από 200 χαλύβδινες βέργες διαμέτρου 5 mm και μήκους 2 m που τοποθετήθηκαν

στο μέτωπο της ακτής στη θέση Κακόβατος και κάλυπταν επιφάνεια 1.200 m². Συμπληρωματικά δίκτυα από 50 βέργες το καθένα τοποθετήθηκαν στις θέσεις Σπιάντζα και Αγιαννάκης. Διαδοχικές μετρήσεις του εκτεθειμένου ύψους των βεργών κατά την διάρκεια των μετρήσεων υπαίθρου επέτρεψαν την καταγραφή των μεταβολών του μετώπου της ακτής και τον υπολογισμό του ρυθμού στερεομεταφοράς και του ιζηματολογικού ισοζυγίου του μετώπου της ακτής. Η χρήση του μικροτοπογραφικού δικτύου προσέφερε άριστη επαναληψιμότητα ως προς τα σημεία μέτρησης και ταχύτατη τοπογραφική αποτύπωση του μετώπου της ακτής (λιγότερο από 20 λεπτά για τη μέτρηση των 200 βεργών του δικτύου στον Κακόβατο). Κατ' αυτό τον τρόπο, εξασφαλίστηκε και η απαίτηση για σταθερές υδροδυναμικές συνθήκες κατά τη διάρκεια μέτρησης του δικτύου.

Ταυτόχρονα με τις μετρήσεις των μεταβολών της ακτής προσδιορίζονταν και οι υδροδυναμικές συνθήκες στην παράκτια ζώνη. Για τον προσδιορισμό των κυματικών χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν κυματογράφοι συνεχούς αντιστάσεως ελεγχόμενοι από ηλεκτρονικό υπολογιστή με συχνότητα δειγματοληψίας 2 Hz και διάρκεια κάθε περιόδου μετρήσεων 20 min. Η διεύθυνση, το ύψος και η περίοδος των κυμάτων προσδιορίστηκαν από τις καταγραφές των κυματογράφων με ανάλυση χρονοσειρών.

Η κίνηση του νερού στο μέτωπο της ακτής μελετήθηκε με χρονοφωτογράφιση (time-lapse photography).

Η διεύθυνση και η ταχύτητα των παράκτιων ρευμάτων και η κυκλοφορία του νερού στην παράκτια ζώνη προσδιορίστηκαν με τη βοήθεια ειδικών πλωτήρων. Συμπληρωματικά στοιχεία προέκυψαν από τη μελέτη της διασποράς χρωστικής ουσίας (fluoresceine sodium) που απελευθερώθηκε σε επιλεγμένα σημεία της παράκτιας ζώνης.

Τέλος, έγινε συστηματική δειγματοληψία των επιφανειακών 2 cm των ιζημάτων της ακτής για τον προσδιορισμό των κοκκομετρικών τους χαρακτηριστικών. Τα δείγματα αναλύθηκαν με ξηρό κοσκίνισμα ανά 0.5 φ και υπολογίστηκαν οι κοκκομετρικές παράμετροι με τη μέθοδο των ροπών.

Η θεωρητική ανάλυση συνίστατο κατ' αρχήν στην επεξεργασία υπαρχόντων ανεμολογικών στοιχείων (της Ε.Μ.Υ.) για τον εντοπισμό των επικρατουσών ταχυτήτων και διευθύνσεων πνοής των ανέμων στον κόλπο. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την πρόγνωση των αναμενόμενων κυματικών χαρακτηριστικών με τη μέθοδο SMB. Για κάθε αναμενόμενο κυματισμό κατασκευάστηκαν διαγράμματα διάθλασης από την ανάλυση των οποίων προέκυψαν οι γενικές διευθύνσεις των παράκτιων ρευμάτων και της παράκτιας στερεομεταφοράς. Τέλος υπολογίστηκαν τα «μήκη κύματος» των ρυθμικών γεωμορφών που προβλέπονται από τη θεωρία των κυμάτων ακμής (edge wave theory) και συγκρίθηκαν με τις μετρημένες στο ύπαιθρο αποστάσεις των γεωμορφών αυτών.

ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΖΩΝΗΣ

α) Ρυθμικές γεωμορφές

Στον Κυπαρισσιακό κόλπο εμφανίζονται και τα τρία βασικά είδη υποθαλάσσιων ράχων, οι επιμήκειες (longitudinal), οι προσκολλημένες τεταρτοσεληνοειδείς (welded oblique) και οι ημισεληνοειδείς (crescentic). Οι ράχες αυτές αποτελούν μόνιμες γεωμορφές της παράκτιας ζώνης του Κυπαρισσιακού κόλπου όπως αποδεικνύεται από τη μελέτη αεροφωτογραφιών και από μετρήσεις υπαίθρου. Οι επιμήκειες ράχες είναι πολλαπλές (συνήθως 2-5 ράχες παράλληλες μεταξύ τους), εμφανίζονται στο βόρειο άκρο του κόλπου και οι μεταξύ τους αποστάσεις κυμαίνονται από 16 m ως 170 m. Οι τεταρτοσεληνοειδείς ράχες εντοπίζονται στο κεντρικό τμήμα του κόλπου, από τη λίμνη του Καϊάφα μέχρι τις εκβολές του Νέδα και απέχουν μεταξύ τους από 110 m ως 330 m. Οι ημισεληνοειδείς ράχες περιορίζονται στο νότιο τμήμα του κόλπου και οι μεταξύ τους αποστάσεις κυμαίνονται από 110 m ως 520 m.

Σε όλο σχεδόν το μήκος του κόλπου εμφανίζονται beach cusps με αποστάσεις που κυμαίνονται από 3 m ως 50 m, αν και στο βόρειο τμήμα (Κατάκολο) είναι εξαιρετικά σπάνια. Επίσης σε όλο το μήκος του κόλπου εμφανίζονται ρυθμικές ακτογραμμές (κυρίως νότια των εκβολών του Αλφειού) με «μήκη κύματος» της τάξης των 100-250 m.

Από τη θεωρητική ανάλυση με τη βοήθεια διαγραμμάτων διάθλασης κυματισμού και από τις μετρήσεις υπαίθρου προέκυψε ότι η επιλεκτική εμφάνιση αυτών των γεωμορφών σε συγκεκριμένες θέσεις οφείλεται σε διαφορές των μέσων υδροδυναμικών συνθηκών στην παράκτια ζώνη και σε διαφορές των χαρακτηριστικών των παράκτιων ιζημάτων.

β) Κοκκομετρικά χαρακτηριστικά

Στην παράκτια ζώνη του Κυπαρισσιακού κόλπου μπορούν να διακριθούν τρεις ιζηματολογικές περιοχές με βάση τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των ιζημάτων: 1) στο νότιο άκρο επικρατούν χονδρόκοκκα ιζήματα (χαλικούχοι άμμοι έως αμμούχοι χάλικες) με μέτρια διαβάθμιση (σχ. 2, περιοχή Α), ενώ κοντά στην Κυπαρισσία υπάρχει και beach rock, 2) στο κεντρικό τμήμα η ακτή αποτελείται από μέση άμμο καλά διαβαθμισμένη (σχ. 2, περιοχή Β) και 3) στο βόρειο άκρο (περιοχή Κατακόλου) η ακτή αποτελείται από λεπτή άμμο καλά διαβαθμισμένη (σχ. 2, περιοχή Γ).

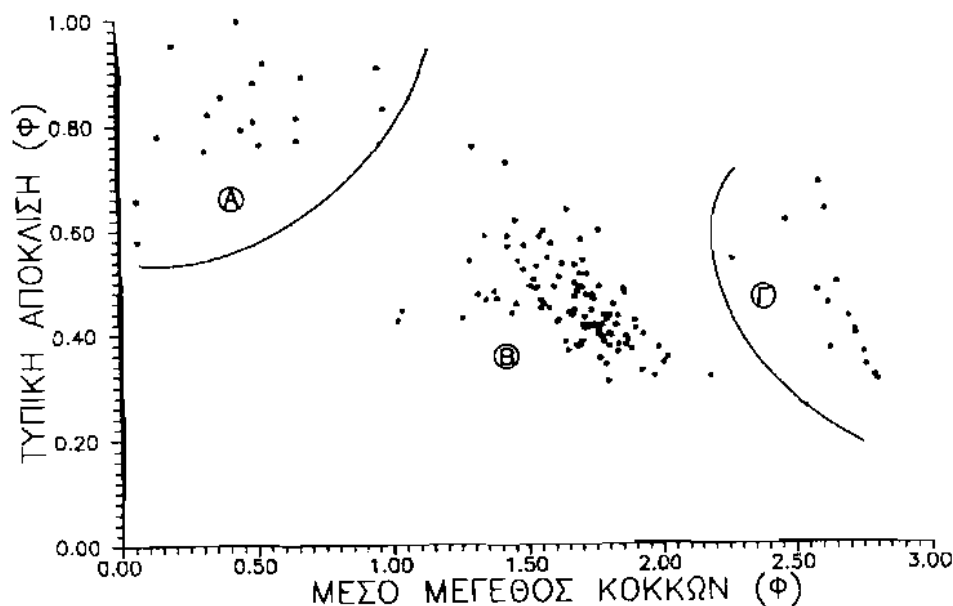
γ) Μορφοδυναμικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά

Η μέση κλίση ακτής στο νότιο άκρο του κόλπου κυμαίνεται από 7° ως 13°, στο κεντρικό τμήμα από 6° ως 11° και στο βόρειο άκρο από 1° ως 4°. Από την ανάλυση των ανεμολογικών στοιχείων και την πρόγνωση των αναμενόμενων κυματισμών προκύπτει ότι ο Κυπαρισσιακός κόλπος επηρεάζεται κυρίως από κύματα NW, W, SW και S προέλευσης με μέγιστες περιόδους 7.2 s, 10.7 s, 11.4 s και 10.4 s αντίστοιχα. Με βά-

ΚΥΠΑΡΙΣΣΙΑΚΟΣ 1988 – 1990

143 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ

ΣΕΙΡΕΣ : C,F,G,H,I,J,P,U



Σχ. 2. Κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των παράκτιων ιζημάτων του Κυπαρισσιακού κόλπου.

A: νότιες, B: κεντρικές, Γ: βόρειες ακτές.

ση τα στοιχεία αυτά, οι νότιες ακτές του Κυπαρισσιακού κόλπου χαρακτηρίζονται έντονα ανακλαστικές ($\xi=0.1-0.7$) από υδροδυναμική άποψη. Οι ακτές του κεντρικού τμήματος είναι ανακλαστικές ($\xi=1-2$). Οι ακτές στο βόρειο άκρο του κόλπου συμπεριφέρονται ως ακτές απόσβεσης της κυματικής ενέργειας ($\xi>20$) ή ως ενδιάμεσες ακτές ($\xi=2.5-20$) ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του εισερχόμενου κυματισμού. Σε ειδικές περιπτώσεις πολύ έντανου κυματισμού οι ακτές αυτές μεταπίπτουν σε ανακλαστικές ($\xi=2.3-2.5$).

ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΙΚΩΝ ΓΕΩΜΟΡΦΩΝ

α) Επιμήκειες ράχες

Οι επιμήκειες ράχες σχηματίζονται σε περιβάλλον απόσβεσης της κυματικής ενέργειας και οι αποστάσεις μεταξύ τους συσχετίζονται με το ύψος των εισερχομένων κυμάτων. Στην περίπτωση του Κατακόλου μια τυπική τομή της ακτής περιλαμβάνει τρεις παράλληλες επιμήκειες ράχες. Κατά τη διάρκεια περιόδων χαμηλού κυματισμού παρατηρείται αργή μεταφορά υλικού προς την ακτή από τις δύο ράχες που βρίσκονται πλησιέστερα προς την ακτογραμμή. Συνέπεια αυτής της στερεομεταφοράς είναι η βαθμιαία μείωση της κλίσης της ακτής και η σταδιακή προέλαση της ακτογραμμής.

β) Beach cusps

Τα beach cusps έχουν αποτελέσει αντικείμενο πολλών μελετών και στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν υποστηριχθεί διαφορετικές απόψεις για τον τρόπο δημιουργίας τους. Οι κυριότερες διαφορές εστιάζονται στο αν οι γεωμορφές αυτές είναι αποτέλεσμα διάβρωσης ή απόθεσης υλικού στο μέτωπο της ακτής και στο αίτιο που προκαλεί τη δημιουργία πολλαπλών τέτοιων γεωμορφών με σταθερές αποστάσεις μεταξύ τους.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται οι ταυτόχρονες μετρήσεις των υδροδυναμικών συνθηκών στην παράκτια ζώνη, των επακόλουθων μικροτοπογραφικών μεταβολών και του ρυθμού στερεομεταφοράς στο μέτωπο της ακτής για τον προσδιορισμό του τρόπου δημιουργίας των beach cusps. Από τη μελέτη του μέσου ρυθμού ολικής στερεομεταφοράς ATVF (Average Total Volume Flux) προκύπτει ότι τα beach cusps σχηματίζονται και αναπτύσσονται πάντα κατά τη φάση μείωσης του ολικού όγκου κινητοποιημένων ιζημάτων που έπεται μιας περιόδου έντονου κυματισμού (σχ. 3). Όπως προκύπτει από τον μέσο καθαρό ρυθμό στερεομεταφοράς ANVF (Average Net Volume Flux), κατά τη διάρκεια ανάπτυξης των beach cusps η ακτή συνολικά μπορεί είτε να διαβρώνεται είτε να προσχώνεται. Αυτά καθ' εαυτά τα beach cusps όμως σχηματίζονται με ανακατανομή των ιζημάτων του μετώπου της ακτής, όπως αποδεικνύεται από τις μικροτοπογραφικές μετρήσεις.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι αυτό του σχήματος 4, όπου η μετάβαση από την αρχικά επίπεδη κατώτερη ακτή στην τελική ακτή με beach cusps γίνεται με διάβρωση ιζημάτων από τις θέσεις των κόλπων των beach cusps και απόθεσή τους στις θέσεις των ακρωτηρίων. Όταν η ένταση του εισερχόμενου κυματισμού και ο επακόλουθος ρυθμός στερεομεταφοράς μειωθούν πολύ, η κίνηση του νερού στο μέτωπο της ακτής δεν είναι ικανή να συντηρήσει την ανάπτυξη των beach cusps που παραμένουν πλέον αμετάβλητα ως εγκαταλελειμμένες γεωμορφές. Η αρχή μιας νέας περιόδου έντονου κυματισμού έχει ως συνέπεια την απότομη αύξηση του μέσου ρυθμού ολικής στερεομεταφοράς που οδηγεί στην επιπέδωση του ενεργού τμήματος της ακτής και την καταστροφή των γεωμορφών που υπήρχαν σε αυτό (σχ. 3).

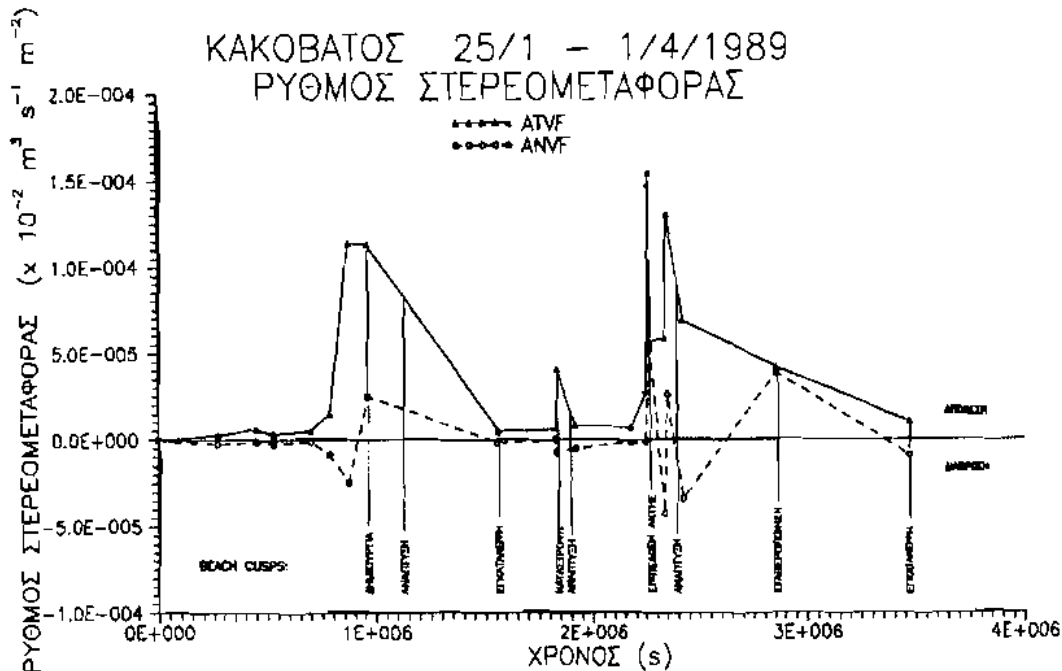
Οι σταθερές αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών «ακρωτηρίων» των beach cusps υποδεικνύουν την ύπαρξη μιας διεργασίας σχηματισμού με περιοδικότητα κατά μήκος της ακτής. Ως τέτοια διεργασία έχει προταθεί η παρουσία κυμάτων ακμής (edge waves) στην παράκτια ζώνη. Τα κύματα ακμής είναι δευτερογενείς ταλαντώσεις που εξαιτίας της διάθλασης παραμένουν παγιδευμένες κοντά στην ακτή. Τό πλάτος τους μεταβάλλεται ημιτονοειδώς κατά μήκος της ακτής και μειώνεται εκθετικά από την ακτογραμμή προς τα βαθειά νερά.

Το μήκος κύματος των κυμάτων ακμής δίνεται από τη σχέση:

$$L_e = \frac{g}{2\pi} T_e^2 \sin [(2n+1)\beta] \quad (1)$$

όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, T_e η περίοδος του κύματος ακμής, n ένας ακέραιος που δείχνει τον αριθμό διελεύσεων από τη θέση ισορροπίας πριν η ταλάντωση αποσβεσθεί στη διεύθυνση κάθετα προς την ακτογραμμή και β η μέση κλίση της ακτής.

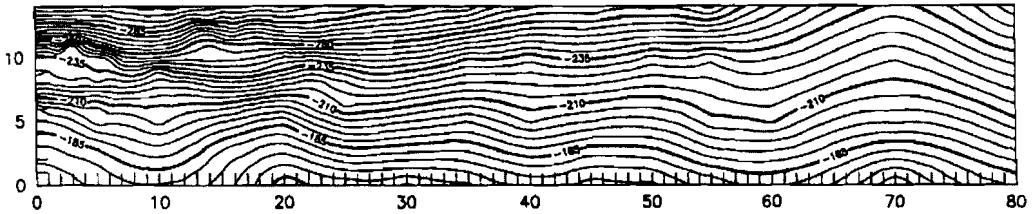
Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των κυμάτων ακμής και του εισερχόμενου κυματισμού μπορεί να δημιουργήσει beach cusps σε εργαστηρια-



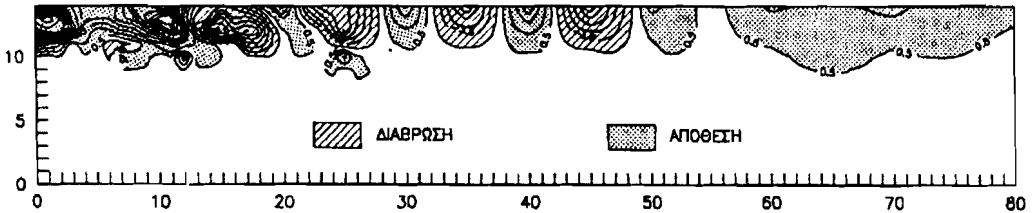
Σχ. 3. Μεταβολή του ρυθμού στερεομεταφοράς στο μέτωπο της ακτής κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

κές ακτές. Τα beach cusps αυτά έχουν μεταξύ τους αποστάσεις ίσες με το μήκος κύματος του κύματος ακμής αν οφείλονται σε σύγχρονα κύματα ακμής ή ίσες με το μισό του μήκους κύματος αν οφείλονται σε υποαρμονικά κύματα ακμής. Στην περίπτωση του Κυπαρισσιακού κόλπου υπάρχει πολύ καλή συσχέτιση μεταξύ των προβλεπόμενων από τη θεωρία των κυμάτων ακμής και των μετρηθέντων «μηκών κύματος» των beach cusps που βρίσκονταν στη φάση της δημιουργίας τους (πίνακας 1, γ και δ). Από τη φασματική ανάλυση των καταγραφών των κυματογράφων προκύπτει ότι στις περισσότερες περιπτώσεις υπήρχε στην παράκτια ζώνη υπαρμονική ταλάντωση κατά τη φάση της δημιουργίας των beach cusps (σχ. 5, α). Το γεγονός ότι κατά τις ίδιες περιόδους παρατηρήθη εναλασσόμενη κίνηση του νερού στους κόλπους των beach cusps οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η υποαρμονική ταλάντωση στην παράκτια ζώνη ήταν ένα υποαρμονικό κύμα ακμής.

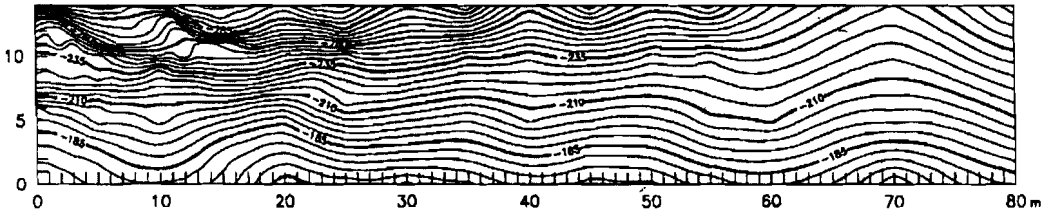
ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1989:02:01:16:40 – ΑΡΧΙΚΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ



ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1989:02:01:16:40–03:17:08 – ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΑΚΤΗΣ



ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1989:02:03:17:08 – ΤΕΛΙΚΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑ



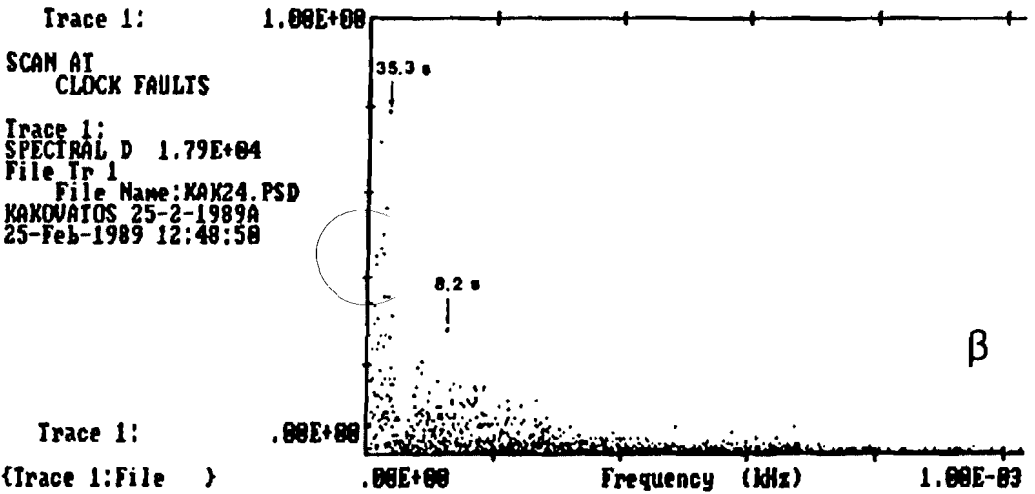
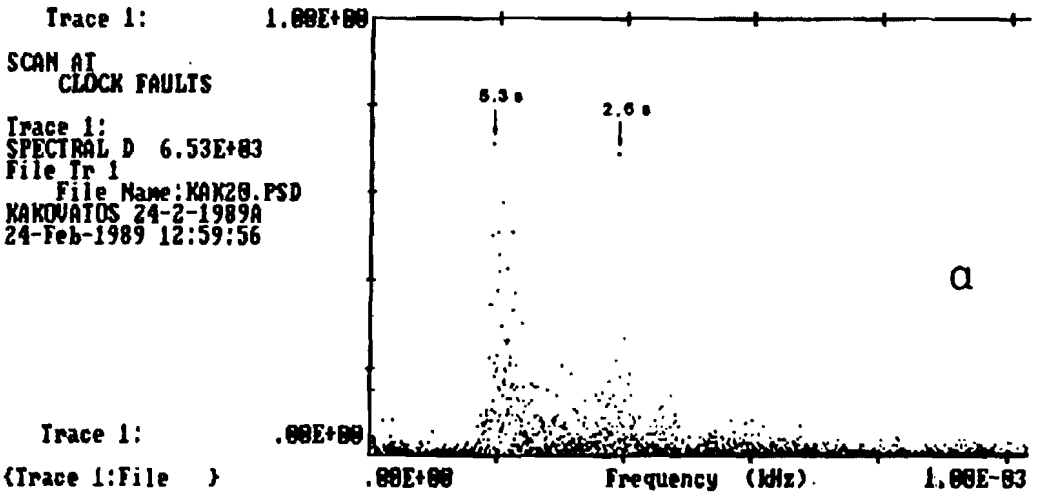
Σχ. 4. Τοπογραφικές μεταβολές της ακτής σχετιζόμενες με τη δημιουργία beach cusps.

Αντίθετα δεν υπάρχει συσχέτιση των θεωρητικά υπολογιζόμενων με τα μετρηθέντα «μήκη κύματος» των beach cusps που βρίσκονται στη φάση ανάπτυξης (πίνακας 1, α και β). Από τη θεωρητική ανάλυση (Guza and Bowen, 1981) προκύπτει ότι για να συστηρηθεί η δράση των κυμάτων ακμής θα πρέπει:

όπου β είναι η κλίση της ακτής, a_T είναι το ύψος και λ_c το «μήκος κύματος» των

$$\frac{a_T}{\lambda_c \tan \beta} \leq 0.13 \quad (2)$$

beach cusps. Στην περίπτωση των beach cusps σε φάση ανάπτυξης η τιμή του λόγου της σχέσης (2) κυμαίνεται από 0.14 ως 0.18 αποκλείοντας έτσι την ύπαρξη κυμάτων ακμής.

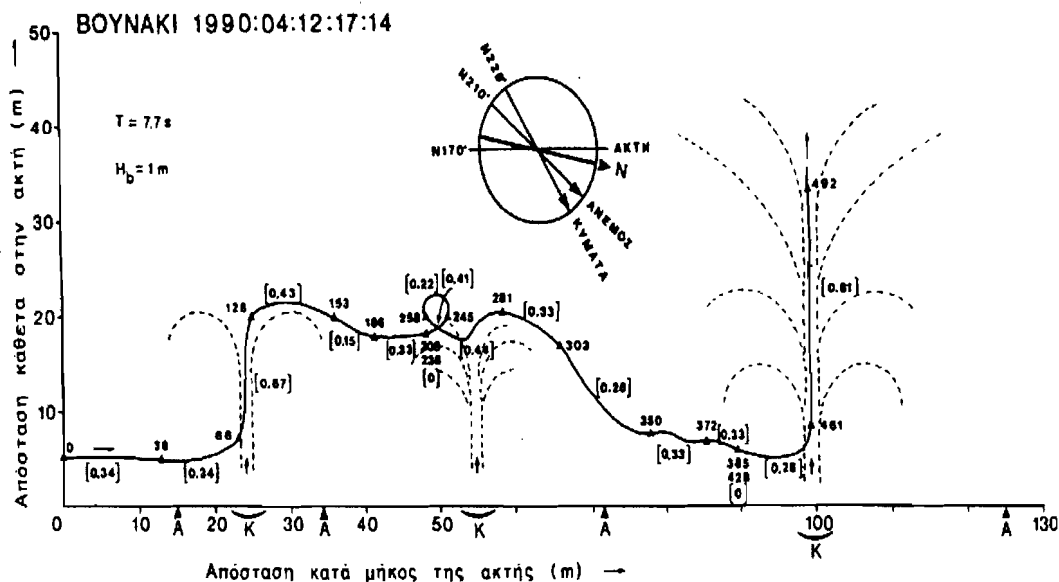


Σχ. 5. Κυματικά φάσματα με α) υποαρμονική ταλάντωση του εισερχόμενου κυματισμού και β) κύματα infragravity.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Μετρηθείσες και θεωρητικά προβλεπόμενες αποστάσεις beach cusps

ΘΕΣΗ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΩΡΑ	ΚΛΙΣΗ ΑΚΤΗΣ (°)	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ΚΥΜΑΤΩΝ ΑΚΜΗΣ				ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ BEACH CUSPS (m)			
		ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ T_e (s)	ΜΟΔΕ n	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ λ_e (m)	ΠΡΟΒΛΕ- ΠΟΜΕΝΕΣ λ_c	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ		
							ΕΛΑΧ.	ΜΕΣΗ	ΜΕΓ.
ΓΙΑΝΙΤΣΟΧΩΡΙ 1988:05:03 14:27	11.86	ΣΥΓΧΡΟΝΟ	3.20	0	3.286	3.286	3.650	5.605	7.300
				1	9.302	9.302			
		ΥΠΟΑΡΜΟΝΙΚΟ	6.40	0	13.143	6.572			
				1	37.209	18.605			
ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1988:11:11 10:50	9.45	ΣΥΓΧΡΟΝΟ	3.70	0	3.509	3.509	8.390	11.819	23.800
				1	10.150	10.150			
		ΥΠΟΑΡΜΟΝΙΚΟ	7.40	0	14.038	7.019			
				1	40.599	20.299			
ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1989:02:06 16:02	9.20	ΣΥΓΧΡΟΝΟ	6.21	0	9.627	9.627	8.780	9.430	9.930
				1	27.895	27.895			
		ΥΠΟΑΡΜΟΝΙΚΟ	12.42	0	38.506	19.253			
				1	111.581	55.791			
ΚΑΚΟΒΑΤΟΣ 1989:02:24 14:20	10.88	ΣΥΓΧΡΟΝΟ	3.84	0	4.346	4.346	7.320	8.340	9.350
				1	12.417	12.417			
		ΥΠΟΑΡΜΟΝΙΚΟ	7.68	0	17.382	8.691			
				1	49.669	24.835			

Συμπεραίνεται επομένως ότι τα beach cusps σχηματίζονται από την αλληλεπίδραση του εισερχόμενου κυματισμού και κυμάτων ακμής, τα οποία καθορίζουν τις αποστάσεις μεταξύ των «ακρωτηρίων», και στη συνέχεια αναπτύσσονται με αλληλεπίδραση του εισερχόμενου κυματισμού και των ήδη διαμορφωμένων εμβρυϊκών γεωμορφών. Το συμπέρασμα αυτό υποστηρίζεται και από τα αποτελέσματα των πειραμάτων με πλωτήρες και χρωστική για τη μελέτη της παράκτιας κυκλοφορίας ύδατος. Τα πειράματα αυτά δείχνουν την ύπαρξη ισχυρών εγκαρσίων ρευμάτων (rip currents) στις θέσεις των κόλπων (σχ. 6) τα οποία τροφοδοτούνται από ασθενέστερα ρεύματα κατά μήκος της ακτής (longshore currents). Κατ' αυτό τον τρόπο η παράκτια κυκλοφορία συνίσταται από κύτταρα (circulation cells) με διεύθυνση μεταφοράς από τα βαθιά νερά προς την ακτή στις θέσεις των ακρωτηρίων, κατά μήκος της ακτής μέχρι τις θέσεις των κόλπων και από εκεί προς τα βαθιά νερά για να επαναληφθεί ο κύκλος. Η ειδική αυτή κυκλοφορία είναι ικανή να συντηρήσει την ανάπτυξη των beach cusps μεταφέροντας ίζημα προς τα ακρωτήρια και απομακρύνοντας ίζημα από τους κόλπους.



Σχ. 6. Μέτρηση παράκτιων ρευμάτων. Οι αριθμοί δίπλα στα σημεία δείχνουν τον χρόνο σε δευτερόλεπτα και οι αριθμοί σε αγκύλες την ταχύτητα του ρεύματος σε m/s.

γ) Ημισεληνοειδείς και τεταρτοσεληνοειδείς ράχες και ρυθμικές ακτογραμμές.

Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να εξηγηθεί και η δημιουργία των ημισεληνοειδών και τεταρτοσεληνοειδών ράχων και των ρυθμικών ακτογραμμών. Απαιτούνται όμως περιοδοί πολύ μεγαλύτερες από τις αναμενόμενες που προέκυψαν από την πρόγνωση με τη μέθοδο SMB.

Πράγματι σε ορισμένα φάσματα από κυματικές καταγραφές που ελήφθησαν μετά από περιόδους ιδιαίτερα έντονου κυματισμού, παρατηρούνται περίοδοι infragravity (32 s - 54 s) που μάλιστα είναι και οι επικρατούσες ταλαντώσεις στην παράκτια ζώνη (σχ. 5, β). Η ύπαρξη αυτών των infragravity ταλαντώσεων αφ' ενός μεν εξηγεί τα μήκη κύματος των ημισεληνοειδών και τεταρτοσεληνοειδών ράχων και των ρυθμικών ακτογραμμών, αφ' ετέρου δε εξηγεί τη μονιμότητα των μεγάλων αυτών γεωμορφών. Φαίνεται έτσι ότι οι μεγάλης κλίμακας ρυθμικές γεωμορφές σχηματίζονται κατά τη διάρκεια ιδιαίτερα έντονων κυματικών επεισοδίων και μετά οι μεν υποθαλάσσιες γεωμορφές μένουν ανεπηρέαστες από τα πολύ μικρότερα κύματα μέχρι το επόμενο επεισόδιο έντονου κυματισμού, οι δε ρυθμικές ακτογραμμές συντηρούνται με αλληλεπίδραση των γεωμορφών με τον εισερχόμενο κυματισμό ακριβώς όπως και τα beach cusps.

Η ομοιότητα στον τρόπο δημιουργίας και ανάπτυξης των beach cusps και των

ΜΟΝΤΕΛΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΚΤΩΝ

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχει η αδυναμία κατάταξης των ακτών του Κυπαρισσιακού με βάση τα διάφορα μοντέλα ταξινόμησης των ακτών. Στον πίνακα 2, παραδείγματος χάριν, δίνεται από τον Carter (1988) μια συνοπτική παρουσίαση των διαφόρων μορφοδυναμικών και υδροδυναμικών χαρακτηριστικών μιας ακτής με βάση το βελτιωμένο μοντέλο των Wright and Short (1983). Η ταξινόμηση των ακτών σε ανακλαστικές, ενδιάμεσες και απόσβεσης γίνεται με βάση το μορφοδυναμικό δείκτη ξ (surf scaling parameter). Βάσει αυτού, όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι κεντρικές και νότιες ακτές του Κυπαρισσιακού κόλπου θεωρούνται ανακλαστικές, ενώ η ακτή του Κατακόλου στο βόρειο άκρο είναι είτε ενδιάμεση είτε απόσβεσης, ανάλογα με τις κυματικές συνθήκες, και σε εξαιρετικά σπάνιες περιπτώσεις μεταπίπτει σε ανακλαστική. Με βάση τα μορφοδυναμικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά όμως, οι κεντρικές και νότιες ακτές ταξινομούνται είτε ως ενδιάμεσες (αριθμός κυμάτων στη ζώνη απόσβεσης, εγκάρσια ρεύματα, υποθαλάσσιες ράχες, μέσο μέγεθος κόκκων) είτε ως ανακλαστικές (τύπος θραύσης, κλίση ακτής, κάτοψη ακτής). Αντίθετα, η ακτή του Κατακόλου κατατάσσεται στις ακτές απόσβεσης βάσει όλων των μορφοδυναμικών και υδροδυναμικών χαρακτηριστικών με εξαίρεση τη μέση κλίση και την περίοδο παλινδρόμησης που την κατατάσσουν στις ενδιάμεσες ακτές.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, η αδυναμία ταξινόμησης των ακτών του Κυπαρισσιακού που εμφανίζουν όλα τα μοντέλα οφείλεται στις μεγάλες αλλαγές κλίσης και κοκκομετρίας που υφίστανται οι ακτές του Κυπαρισσιακού κατά τη διάρκεια μιας θύελλας με συνέπεια την πρόσκαιρη μετάβαση σε άλλο τύπο παράκτιου περιβάλλοντος. Χαρακτηριστική είναι η περίπτωση του Κατακόλου όπου υπό την επίδραση ιδιαίτερα έντονου κυματισμού το λεπτόκοκκο υλικό τίθεται σε αιώρηση με αποτέλεσμα η ακτή να αποτελείται από χάλικες, πράγμα που συνεπάγεται αύξηση της κλίσης σε περίπου 9° και αλλαγή του παράκτιου περιβάλλοντος σε ανακλαστικό με συνέπεια τη δημιουργία ρυθμικών ακτογραμμών και storm cusps.

Με τη μείωση του ύψους και της περιόδου των κυμάτων κατά τη φάση εξασθένησης της θύελλας, αποτίθεται το λεπτόκοκκο υλικό μειώνοντας την κλίση της ακτής και δημιουργώντας παράλληλες ράχες. Οι ρυθμικές γεωμορφές όμως παραμένουν και συντηρούνται από την αλληλεπίδρασή τους με τον εισερχόμενο κυματισμό, μέχρι να καταστραφούν από την αργή μετατόπιση υλικού από τις υποθαλάσσιες ράχες προς την ακτογραμμή.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρουσία διαφορετικών γεωμορφών κατά μήκος της ακτογραμμής του Κυπαρισσιακού κόλπου οφείλεται στη διαφοροποίηση των κοκκομετρικών και υδρο-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
Γενετική ταξινόμηση ακτών κατά Wright and Short (1983)
(από Carter, 1988)

	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ ή ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ		
		ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ	ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ
ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	Surf scaling, ξ	0.1 – 2.5	2.5 – 20	20 – 200
	Surf similarity, lr	> 1.0	1.0 – 0.23	< 0.23
ΚΥΜΑΤΑ	Αριθμός κυμάτων στη ζώνη απόσβεσης	1	1 – 3	> 3
	Πλάτος ζώνης απόσβεσης (m)	< 10	10 – 100	100 – >1000
	Τύπος θραύσης	Plunging - Collapsing	Spilling - Plunging	Spilling
	Γωνία πρόσπτωσης στην ακτή	Εντόνως πλάγια 90° – 10°	Κάθετα - Ελαφρώς πλάγια 10° - 0°	Κάθετα 0°
	Τύπος και περίοδος Edge waves	Σύγχρονα και υποαρμονικά < 16 s	Ανάμικτα 5 – 30 s	Infragravity 30 – 70 s
	Περίοδος παλινδρόμησης	5 – 10 s	10 – 30 s	Μέχρι 60 s
ΡΕΥΜΑΤΑ	Παράκτια κυματογενή	Γραμμικά / παράλληλα με την ακτή	Μαιανδρικά - Ελικοειδή	Rip cells
	Εγκάρσια (Rips)	Ανύπαρκα ή ασθενή εφήμερα και μετακινούμενα	Ανάμικτα	Ισχυρά, μεγάλης διάρκειας και σταθερής θέσης
ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	Υποθαλάσσιες ράχες	Ανύπαρκες	1 ή 2 ημισεληνοειδείς, συχνά προσκολλημένες στην ακτή	Πολλαπλές, παράλλη- λες ως ημισεληνοειδείς Τεταρτοσεληνοειδείς σε ακτές χαμηλής ενέργειας
	Κλίση ακτής	> 3°	3° – 1°	< 1°
	Τομή ακτής	Κοίλη με σκαλοπάτι	Ελαφρά κοίλη	Ευθύγραμμη
	Κάτοψη ακτής	Cusps στη ζώνη διαβροχής	Υβώματα και κοιλώματα	Surf Cusps
ΙΖΗΜΑΤΑ	Είδος και μέσο μέγεθος (Φ)	Χονδρή άμμος, χάλικες και κροκάλες < 0	Μέση άμμος 0 έως +2	Ιλύς ως λεπτή άμμος > +2
	Διαβάθμιση κατά μήκος της ακτής	Συχνή σε όλο το μήκος της ακτής, ιδιαίτερα σε χονδρόκοκκα ιζήματα	Συχνή σε τμήματα της ακτής	Σπάνια
ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ	Τρόπος μετακίνησης Dean's $s \Omega$ (1973)	Κύλιση < 1	Αναπήδηση 1 – 6	Αιώρηση > 6
	Επικρατούσα διεύθυνση	Κατά μήκος της ακτής	Ανάμικτη	Κάθετα στην ακτή
	Λόγος ρυθμού μεταφοράς / κυματική ισχύ	Μεγάλος (εκτός από διαβαθμισμένες ή πολύ χονδρόκοκκες ακτές)	Μέσος	Μικρός

Με τη μείωση του ύψους και της περιόδου των κυμάτων κατά τη φάση εξασθένησης της θύελλας, αποτίθεται το λεπτόκοκκο υλικό μειώνοντας την κλίση της ακτής και δημιουργώντας παράλληλες ράχες. Οι ρυθμικές γεωμορφές όμως παραμένουν και συντηρούνται.

δυναμικών συνθηκών. Οι μικρής κλίμακας ρυθμικές γεωμορφές σχηματίζονται κατά την φάση μείωσης του ρυθμού στερεομεταφοράς που έπεται μιας περιόδου έντονου κυματισμού, με ανακατανομή των ιζημάτων της ακτής λόγω αλληλεπίδρασης του εισερχόμενου κυματισμού με κύματα ακμής. Η ανάπτυξη των γεωμορφών γίνεται με αλληλεπίδραση του εισερχόμενου κυματισμού και των εμβρυϊκών γεωμορφών. Οι μεγάλης κλίμακας ρυθμικές γεωμορφές δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση του εισερχόμενου κυματισμού με κύματα *infragravity* κατά τη διάρκεια ιδιαίτερα έντονων κυματικών επεισοδίων. Η παρουσία κυμάτων *infragravity* στην παράκτια ζώνη είναι ιδιαίτερα σηματική, γιατί εκτός των άλλων έχουν τη δυνατότητα να μετακινήσουν τεράστιες ποσότητες ιζημάτων δημιουργώντας προβλήματα σε παράκτια τεχνικά έργα. Η συνύπαρξη στο ίδιο τμήμα ακτής γεωμορφών που σχηματίζονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα οφείλεται σε προσωρινές αλλαγές της ανακλαστικότητας της ακτής κατά τη διάρκεια περιόδων έντονου κυματισμού. Για να χρησιμοποιηθούν τα διάφορα μοντέλα ταξινόμησης για τη μελέτη ακτών των οποίων τα μορφοδυναμικά και υδροδυναμικά χαρακτηριστικά υφίστανται έντονες μεταβολές, απαιτούνται λεπτομερείς και μακροχρόνιες μετρήσεις των συνθηκών που επικρατούν στην παράκτια ζώνη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Carter, R.W.G. (1988). *Coastal environments*. Academic Press, London, 617 pp.
- Φερεντίνος, Γ. και Γκιώνης, Γ. (1992). *Γεωμορφολογία ακτών*. Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα, 141 pp.
- Ghionis, G. (1986). *The morphodynamics of beach cusps*. Unpubl. M.Sc. Thesis, University of Toronto, Canada, 130 pp.
- Ghionis, G. and Ferentinos, G. (1992). *The morpho- and hydrodynamics of the coastal zone of the gulf of Kyparissia*. 33rd Congress-Plenary Assembly of SIESM, Trieste, Italy.
- Guza, R.T. and Bowen, A.J. (1981). *On the amplitude of beach cusps*. *J. Geophys. Res.*, v. 86, 4125-4132.
- Kristensen, P.J., Ghionis, G. and Christiansen, C. (1992). *Beach cusp granulometry: A study of beach cusp sediment grain-size statistics*. *Proc. Int. Coastal Congr.*, Kiel, Germany, 661-670.
- Wright, L.D. and Short, A.D. (1983). *Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia*. In «*Handbook of Coastal Processes and Erosion*» (P.D. Komar, ed.), 35-64, CRC Press, Boca Raton.