



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ**

**Διδακτορική διατριβή**



**Δυναμική ακτών με παρουσία παραλιακών  
ψαμμιτών**

**Μιχάλης Ι. Βουσδούκας**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΝΤΩΝΗΣ Φ. ΒΕΛΕΓΡΑΚΗΣ**

**ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2006  
ΜΥΤΙΛΗΝΗ**



*Στην οικογένεια μου και τους δασκάλους μου...*

---

## Ευχαριστίες

Φτάνοντας σε αυτόν τον 'πρώτο' σταθμό του μακρινού (ελπίζω!!) ταξιδιού, στο 'σύμπαν' της θαλάσσιας έρευνας, αποτελεί πηγαία επιθυμία και ανάγκη, να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου και βαθιά φιλία στον επιβλέποντα μου καθηγητή Αντώνη Φ. Βελεγράκη. Νιώθω ευτυχής που είχα την ευκαιρία να μοιραστώ μαζί του έναν στόχο και μια κοινή πορεία, παίρνοντας παράλληλα μαθήματα, που θεωρώ ότι θα με συνοδεύουν μια ζωή... Ανεκτίμητη ήταν και η υποστήριξη και καθοδήγηση του ...συν-επιβλέποντα μου Θεοφάνη Καραμπά και για αυτό τον ευχαριστώ πολύ, αυτόν, αλλά και τον Επ. Καθηγητή Γιώργο Τσιρτσή που επίσης αποτελεί μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής. Θα ήταν αδύνατο να παραβλέψω την βοήθεια των Βαγενά Ανδρέα, Ραφαήλ Μελιωνίτη, Γιώργου Βαλαή, Στέργιου Ζαριογιάννη και Ευστρατίας Μακρυιώστα, ειδικά στις ιδιαίτερα επίπονες εργασίες πεδίου. Είμαι βέβαιος ότι χωρίς την συμβολή τους, η συλλογή πολλών από των δεδομένων της διατριβής μου, θα ήταν ανέφικτη. Πολύτιμη ήταν η βοήθεια των ανθρώπων του Danish Technical University και ειδικά των καθηγητών Rolf Deigaard και Mutlu Sumer, με τους οποίους η συνεργασία μου έδωσε εξαιρετική ώθηση και μου διέδρανε, όχι μόνο τον γνωστικό ορίζοντα, αλλά και την συνολική αντίληψη πάνω στο αντικείμενο της έρευνας. Ευχαριστώ πολύ τους Γιάννη Ίσαρη και Αντώνη Ελευθερίου που με τις φωτογραφίες που μου έδωσαν, με βοήθησαν να βελτιώσω την παρουσίαση της διατριβής μου, τον Βασίλη Τρουγώνη που αποτέλεσε μια σχεδόν αστειρευτή πηγή όσον αφορά στο MATLAB και τον Γιώργο Αλεξανδρακή για την βοήθεια της τελευταίας στιγμής! Ευχαριστώ πολύ τον Επικ. Καθ. Κ. Καλαμποκίδη και τους ανθρώπους του Εργαστηρίου Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών του Τμήματος Γεωγραφίας, του Πανεπιστημίου Αιγαίου, για τα ανεμολογικά δεδομένα, τον Καθ. Ι. Χατζόπουλο για την χορήγηση του χωροβάτη στα πρώτα στάδια των εργασιών πεδίου, τον Δήμο Πολιχνίτου για την παραχώρηση του εικαστικού μηχανήματος, καθώς και τον Δρ. Χρήστο Αναγνώστου για την χορήγηση των ισοκίμων ανάλυσης δειγμάτων ιζήματος. Ευχαριστώ πολύ την Διονυσία για την συμπαράσταση και την βοήθεια με το GIS, καθώς και την Κατερίνα για την συμπαράσταση και την φιλία. Ευχαριστώ επίσης το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων για την χρηματοδότηση της έρευνας στα πλαίσια του προγράμματος Ηράκλειτος:: Υποτροφίες έρευνας με προτεραιότητα στη βασική έρευνα'. Τέλος θεωρώ τον εαυτό μου τυχερό, καθώς είχα την ευκαιρία να εργαστώ στο θετικό και από πολλές απόψεις 'ιδανικό' περιβάλλον του Τμήματος Επιστήμης της Θάλασσας και των ανθρώπων που το απαρτίζουν. Τους ευχαριστώ και αυτούς θερμά....

## Περίληψη

Οι παραλιακοί ψαμμίτες ή ακτόλιθοι (ΠΨ) δημιουργούνται από την συνεκτικοποίηση του παράκτιου ιζήματος από την καθίζηση κυρίως ανθρακικού συγκολλητικού τσιμέντου στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη. Η παρούσα διατριβή έχει σαν σκοπό την διεξοδική έρευνα των ελάχιστα μελετημένων αποτελεσμάτων τους στην παράκτια μορφοδυναμική, χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους όπως συλλογή μορφολογικών, ιζηματολογικών και κυματικών δεδομένων πεδίου, χρήση δυσδιάστατων αριθμητικών προσομοιώσεων των παράκτιων κυματισμών και κυματογενούς κυκλοφορίας, καθώς και την χρήση ειδικά τροποποιημένων μονοδιάστατων μορφοδυναμικών μοντέλων για την προσομοίωση και διαγνώση των διεργασιών σε παραλίες με παραλιακούς ψαμμίτες. Το πεδίο μελέτης είναι η μικροπαλιρροιακή παραλία των Βατερών (Ν. Λεσβος) (μήκος περίπου 7 km), της οποίας σημαντικό τμήμα (περίπου 3 km) βρέθηκε να καλύπτεται από σχηματισμούς ΠΨ.

Η ανάλυση των δεδομένων πεδίου έδειξε ότι οι παραλιακοί ψαμμίτες επηρεάζουν σημαντικά την μορφολογία/ιζηματολογία της παραλίας των Βατερών. Η περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών αντιδρά διαφορετικά από την υπόλοιπη παραλία και μπορεί να παρομοιαστεί σαν 'ίμάντας' μεταφοράς ιζημάτων από το χερσαίο και αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα της παραλίας προς τα ανοικτά. Τα μορφολογικά δεδομένα επίσης έδειξαν ότι η άνω επιφάνεια των σχηματισμών ελέγχει σε μεγάλο βαθμό το τελικό σχήμα (κλίση) του παραλιακού προφίλ, 'κλειδώνοντας' το και περιορίζοντας έτσι την δυναμική του. Στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων σχηματίζεται ένα 'σκαλοπάτι' υποσκαφής ύψους 0.5-1 m, το οποίο φαίνεται να 'φιλτράρει' την ιζηματομεταφορά κάθετα προς την παραλία, ευνοώντας την απομάκρυνση των παραλιακών ιζημάτων και την σταδιακή έκθεση των ΠΨ. Η υποσκαφή των υποκείμενων των ΠΨ ιζημάτων στην περιοχή του σκαλοπατιού από τις ιδιαίτερες ροές/τύρβη που αυτό δημιουργεί, έχει σαν αποτέλεσμα την μηχανική καταπόνηση/θραύση, διαφορική καθίζηση και γενικά την μετακίνηση των σχηματισμών από την αρχική τους στάθμη, μία διεργασία που προκαλεί ερωτηματικά στην ευρεία χρήση τους σαν ιχνηλάτες (proxies) της χρονικής εξέλιξης της θαλάσσιας στάθμης. Τα αποτελέσματα από τα μορφοδυναμικά μοντέλα δείχνουν ότι η παρουσία παραλιακών ψαμμιτών διαφοροποιεί σημαντικά την παραλιακή μορφοδυναμική και επιβεβαιώνουν τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και ιζηματοδυναμικές διεργασίες που ανιχνεύθηκαν στις εργασίες πεδίου. Φαίνεται ότι ο σχηματισμός των παραλιακών ψαμμιτών συνοδεύεται σχεδόν πάντα από την δημιουργία σκαλοπατιού υποσκαφής στο υποθαλάσσιο όριο τους, το οποίο επιδρά σημαντικά στην παραλιακή μορφοδυναμική και ότι οι παραλιακοί ψαμμίτες προκαλούν την μεταφορά του υπερκείμενου των σχηματισμών ιζήματος προς τα ανοικτά.

Η μελέτη επίσης έδειξε ότι οι κυριότερες επιπτώσεις των ΠΨ στην παραλιακή μορφοδυναμική σχετίζονται με (α) το 'κλείδωμα' του παραλιακού προφίλ, (β) την διαφορετική απόκριση του πυθμένα στην παράκτια υδροδυναμική, (γ) το 'φιλτράρισμα' της κάθετης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς και (δ) την μεταβολή της αλληλεπίδρασης των επιφανειακών θαλάσσιων ροών με αυτές των υπόγειων νερών και τον περιορισμό/απουσία της ροής δια μέσου του υποστρώματος του πυθμένα. Αναπτύχθηκε ένα θεωρητικό μοντέλο (conceptual model) της χρονικής εξέλιξης παραλιών με παραλιακούς ψαμμίτες, το οποίο βασίστηκε σε όλα τα ευρήματα της μελέτης και το οποίο προτείνει ότι οι παραλίες με θαμμένους ΠΨ σταδιακά εξελίσσονται σε βραχώδεις ακτές με σημαντικές μορφοδυναμικές και οικολογικές (και αισθητικές και κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις). Αφού μάλιστα ο σχηματισμός των παραλιακών ψαμμιτών ενοείται από την αύξηση της θερμοκρασίας (που σήμερα αποτελεί μία πραγματικότητα), το φαινόμενο αναμένεται να έχει ολοένα και μεγαλύτερες επιπτώσεις στην μορφοδυναμική των παραλιών και χρήζει ιδιαίτερης παρακολούθησης.

---

## Abstract

Beachrocks are coastal hard and impermeable formations, which are often found along tropical, subtropical and temperate shorelines. They are formed by the lithification of coastal sediments in the intertidal zone, due to precipitation of carbonate cements from coastal sea and fresh waters. The main objective of the present thesis is the comprehensive study of the effects of the beachrocks on beach morphodynamics. Towards this objective, time series of morphological, sedimentological and wave data were collected from the micro-tidal, 7 km long, beach of Vatera (S. Lesvos, Greece), the central part of which (with a length of 3 km) is occupied by beachrocks. In addition to the collection/analysis of field data, the inshore wave regime and circulation was studied through the use of 2-D wave models. Moreover, the behaviour of beachrock-infected beaches was also studied, through the use of two 1-D morphodynamic (profile evolution) models: a Boussinesq approximation-based model and a model based on the energetic approach.

The field data show that the beachrocks have a strong impact on the sediment dynamics/morphodynamics of the Vatera beach. The area occupied by beachrocks reacts very differently than the remainder of the beach, emulating a sediment 'conveyor belt', which transports sediment from the subaerial and shallow marine part of the beach profile offshore. If this process was not in place, the beach in this area would be accreting, as this part of the Vatera coastline has been found, on the basis of the sedimentological/morphological field evidence and simulations of the wave-induced circulation, to be a convergence zone of parallel to the coast sediment transport pathways. The analysis of the beach profile time series also showed that the upper surface of the beachrocks 'locks' the shape/slope of the beach profile and confines its dynamics.

The field data show that a consistent development of a scarp (with a 0.5 -1 m height) at the offshore margin of the beachrocks. This feature seems to 'filter' the onshore/cross-shore sediment transport, as it blocks the onshore and promotes the offshore transport; the result of this process is the gradual transport of the beach sediments offshore and beachrock outcropping. The undercutting of the beachrocks at the scarp, i.e. the removal of the underlying sediments due to the development of secondary flows/turbulence may result in the mechanical strain/fracture and differential subsidence of the formations and, generally, in their dislocation; this raises questions concerning the practice to use the level of beachrocks as a sea level proxy. The results from the morphodynamic models show that the presence of beachrocks changes considerably the beach morphodynamics and support the field evidence. It seems that the beachrock formation is consistently accompanied by the formation of a scarp at its offshore margin (which has significant impacts on beach morphodynamics) and that beachrocks promote offshore sediment transport.

The study showed that the major impacts of beachrocks on beach morphodynamics are related to: (a) the 'locking' of the beach profile; (b) the different response of the seabed to the beach hydrodynamics; (c) the 'filtering' of the onshore/cross-shore sediment transport and (d) changes in the interactions between nearshore marine and ground flows. A conceptual model is presented, concerning the temporal evolution of beachrock-infected beaches, and which has been based on all the findings of the present study. The model suggests that beaches which initially contain newly-formed buried beachrocks will gradually develop into rocky coasts; this, in turn, will have a multitude of morphodynamic, ecological, aesthetic and socio-economic effects. Moreover, as beachrock formation is promoted by temperature rise (which now is believed to be the current climatic trend), beachrock formation is expected to become more frequent and affect more beaches; therefore, it requires further detailed research.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ</b> .....	<b>5</b>
2.1	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ, ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	11
2.2	ΥΦΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	12
2.3	ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ .....	14
2.4	ΠΗΓΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ .....	18
2.5	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ .....	18
2.5.1	<i>Παράκτια μορφοδυναμική</i> .....	18
2.5.2	<i>Άλλες επιπτώσεις</i> .....	21
<b>3</b>	<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ</b> .....	<b>23</b>
3.1	ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΙ ΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ .....	23
3.2	ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ .....	29
3.3	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ .....	29
3.3.1	<i>Η εκθετική σχέση στο προφίλ ισορροπίας</i> .....	30
3.3.2	<i>Άλλες προσεγγίσεις υπολογισμού</i> .....	33
3.3.3	<i>Αδυναμίες της θεωρίας του προφίλ ισορροπίας</i> .....	34
3.4	ΠΡΩΤΗ ΓΕΝΙΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	35
3.5	ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ .....	36
3.5.1	<i>Υδροδυναμικά μοντέλα</i> .....	38
3.6	ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ .....	41
3.6.1	<i>Παραδείγματα εξισώσεων υπολογισμού στερεομεταφοράς</i> .....	42
3.7	ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΣΙΣΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΦΥΣΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ (PROCESS BASED) .....	46
3.7.1	<i>Μεταφορά κοντά στον πυθμένα</i> .....	46
3.7.2	<i>Μεταφορά σε αιώρηση</i> .....	48
3.7.3	<i>Μεταφορά στην ζώνη αναρρίχησης</i> .....	49
3.7.4	<i>Κριτική των μοντέλων</i> .....	49
<b>4</b>	<b>ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ</b> .....	<b>51</b>
4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ/ΓΕΝΙΚΑ .....	51
4.2	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ .....	51
4.3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ .....	53
4.4	ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ .....	54
4.5	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ .....	56
<b>5</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΙ</b> .....	<b>59</b>
5.1	ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	59
5.1.1	<i>Τοπογραφικά δεδομένα</i> .....	59
5.1.2	<i>Ιζηματολογικά δεδομένα</i> .....	63
5.1.3	<i>Κυματικά δεδομένα</i> .....	64
5.2	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	66
5.2.1	<i>Ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων με χρήση Empirical Orthogonal Functions</i> .....	66
5.2.2	<i>Κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων ιζημάτων</i> .....	68
5.2.3	<i>Ανάλυση κυματικών δεδομένων</i> .....	70
5.2.4	<i>Εκτίμηση κυματισμών από ανεμολογικά δεδομένα</i> .....	75
5.3	ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ .....	76
5.3.1	<i>Μοντέλο μορφολογικής μεταβολής παραλιακού προφίλ βασισμένο στην ενεργητική προσέγγιση</i> .....	76
5.3.2	<i>Προσαρμογή μοντέλου στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ</i> .....	80
5.3.3	<i>Δυσδιάστατο μοντέλο μη γραμμικών διασπειρόμενων κυματισμών για την προσομοίωση της παράκτιας στερεομεταφοράς (Karambas and Karathanassi, 2004)</i> .....	81
5.3.4	<i>Μονοδιάστατο μοντέλο αναρρίχησης κυματισμών (Karambas, 2004)</i> .....	86
5.3.5	<i>Μοντέλο μετάδοσης κυματισμών μεγάλης κλίμακα WAVE-LS (Καραμπάς, 2004)</i> .....	87

5.3.6	Μοντέλο κυματογενούς κυκλοφορίας WICIR (Wave Induced CIRculation) (Καραμπάς, 2004)	88
<b>6</b>	<b>ΠΑΡΑΛΙΑΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ</b>	<b>91</b>
6.1	ΓΕΝΙΚΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΛΠΟΥ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ	91
6.2	ΠΑΡΑΛΙΑΚΗ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ	95
6.2.1	<i>Βραχείες αποτυπώσεις (άνω τμήμα του παραλιακού προφίλ)</i>	95
6.2.2	<i>Μακρές αποτυπώσεις</i>	99
6.3	ΕΟΦ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ P2 ΚΑΙ P8	106
6.4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΣΧΟΛΙΑ	112
<b>7</b>	<b>ΠΑΡΑΛΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ</b>	<b>114</b>
7.1	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	114
7.1.1	<i>Σταθμοί S</i>	114
7.1.2	<i>Σταθμοί P</i>	118
7.2	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	123
7.2.1	<i>Σταθμοί S</i>	123
7.2.2	<i>Σταθμοί P</i>	127
7.3	ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
<b>8</b>	<b>ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ</b>	<b>140</b>
8.1	ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ-ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ	140
8.2	ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	151
8.3	ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	158
<b>9</b>	<b>ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΙΩΝ ΜΕ ΠΨ</b>	<b>160</b>
9.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ BUSSINESQ	160
9.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ	168
9.3	ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑ	172
<b>10</b>	<b>ΣΥΖΗΤΗΣΗ</b>	<b>174</b>
10.1	ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ	174
10.2	ΤΥΠΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΟΥΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	179
10.3	ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ	185
10.3.1	<i>«Κλείδωμα» του σχήματος του προφίλ</i>	185
10.3.2	<i>Διαφορετικές υδροδυναμικές ιδιότητες πυθμένα</i>	187
10.3.3	<i>Ασυνεχής τροφοδοσία ιζήματος από τον πυθμένα</i>	189
10.3.4	<i>Ροή μέσα από το πορώδες σώμα του πυθμένα</i>	192
10.3.5	<i>Διάβρωση ή πρόελαση (απόθεση ιζημάτων)</i>	199
10.4	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	204
10.5	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	208
<b>11</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b>	<b>211</b>
11.1	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	211
11.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	216
<b>12</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	<b>217</b>
12.1	ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	217
12.2	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	234



## Ευρετήριο σχημάτων και εικόνων

ΣΧΗΜΑ 2-1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΤΟΝΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ. ....	7
ΣΧΗΜΑ 2-2 ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ $\text{CaCO}_3$ ΑΠΟ ΤΟ pH (Α) (NEUMEIER, 1998) ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ (Β) ( <a href="http://edafologia.ugr.es/carbonat/paramew.htm">HTTP://EDAFOLOGIA.UGR.ES/CARBONAT/PARAMEW.HTM</a> ). ....	14
ΣΧΗΜΑ 2-3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ $\text{CaCO}_3$ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΛΟΓΩ ΜΕΙΞΗΣ ΓΛΥΚΟΥ ΚΑΙ ΑΛΜΥΡΟΥ ΝΕΡΟΥ. (NEUMEIER, 1998). ....	15
ΣΧΗΜΑ 2-4 ΣΧΕΣΗ ΤΟΥ pH ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΙΟΝΤΑ ΚΑΙ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ (NEUMEIER, 1998). ....	16
ΣΧΗΜΑ 3-1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗΣ ΑΚΤΗΣ.....	23
ΣΧΗΜΑ 3-2 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΣΕ ΑΚΤΗ ΤΗΣ Ν. ΑΓΓΛΙΑΣ ΚΑΙ ΑΔΡΑΝΕΣ ΒΑΘΟΣ (CLOSURE DEPTH) (ΚΟΛΟΒΟΥΙΑΝΝΙΣ, 1999). ....	25
ΣΧΗΜΑ 3-3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΠΟΥ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΟ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ (BASCOM 1964) .....	26
ΣΧΗΜΑ 3-4 ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (EUROSION, 2004).....	27
ΣΧΗΜΑ 3-5 ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΤΟΥ BRUUN ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ Α ΚΑΙ Μ (Α) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ ΟΠΩΣ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΤΟΥ BRUUN (1954), LARSON (1991) ΚΑΙ BODGE (1992), KOMAR AND MCDUGAL (1994). ....	31
ΣΧΗΜΑ 4-1 Ο ΚΟΛΠΟΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ. Η ΠΑΡΑΛΙΑ ΠΕΡΙΚΛΕΙΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΑΚΡ. ΑΓ. ΦΩΚΑΣ ΣΤΑ ΔΥΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟ ΑΚΡΩΤΗΡΙ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΕΝΟΥΣ ΠΑΡΑΚΤΙΟΥΣ ΚΡΗΜΝΟΥΣ.....	51
ΣΧΗΜΑ 4-2 ΑΕΡΟΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, ΣΤΗΝ ΟΠΟΙΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΟΤΙ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΕΝΑ ‘ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΟ ΣΠΙΡΑΛ’. Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΚΑΛΥΤΕΡΑ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΕΙΝΑΙ $r=0.96 e^{0.001(27.9)}$ .....	53
ΣΧΗΜΑ 4-3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ .....	54
ΣΧΗΜΑ 4-4 ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2004-2005 (Α) ΚΑΙ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2003-2005 (Β). ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΤΑΘΜΟ ΑΚΡΑΣΙΟΥ (Κ. ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΔΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ). ....	55
ΣΧΗΜΑ 4-5 (Α) ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΑΚΡΑΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ 1/3/2003 ΕΩΣ 8/6/2004 ΚΑΙ 8/6/2004 ΕΩΣ 6/7/2005 ΚΑΙ (Β) ΧΑΡΤΗΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ 3 ΚΥΡΙΩΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΑΝΕΜΩΝ, ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ. ....	56
ΣΧΗΜΑ 4-6 ΑΠΟΛΥΤΗ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗΣ (Α) ΚΑΙ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ (Β) ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ RCP-WAVE (ΜΕΣΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ). ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΝ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ, ΣΥΜΠΠΤΟΥΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ (ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ). ....	58
ΣΧΗΜΑ 5-1 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΚΑΙ ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΟΙ 23 ΣΤΑΘΜΟΙ S (ΚΟΚΚΙΝΑ ΣΗΜΕΙΑ) ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΕ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑΣ, ΕΝΩ ΟΙ 11 ΣΤΑΘΜΟΙ 11 P (ΚΙΤΡΙΝΑ ΣΗΜΕΙΑ) ΔΕΙΧΝΟΥΝ ΤΙΣ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ ΜΕΓΑΛΗΣ ΧΩΡΟ-ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΕΣ 1.1 ΚΑΙ 1.2). ΟΙ ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΤΗΝ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΔΡΟΜΕΣ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΙΟΥΛΙΟ 2005. ....	59
ΣΧΗΜΑ 5-2 ΔΙΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΠΟΛΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΑΜΕΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΕΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ. ....	65
ΣΧΗΜΑ 5-3 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ P2 (Α) P8 (Β). ΟΙ ΔΥΟ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΝΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΜΙΚΡΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ, ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΣΤΟ ΓΡΑΦΗΜΑ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ. ....	71
ΣΧΗΜΑ 5-4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟΡΟΥΤΙΝΑΣ ΕΞΑΛΕΙΨΗΣ ΚΟΡΥΦΩΝ ΠΟΥ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ. ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΕΝΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΜΕ 6 ‘ΚΑΡΦΙΑ’ (ΜΠΛΕ ΓΡΑΜΜΗ) ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΩΝΤΑΙ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΟΥΣ (ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ) (Α). ΣΤΟ (Β) ΓΙΝΕΤΑΙ ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΜΙΑΣ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ. ....	73
ΣΧΗΜΑ 5-5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΠΡΟΦΙΛ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ.....	76

ΣΧΗΜΑ 5-6 ΣΥΝΗΘΗΣ ΔΙΕΥΘΕΤΗΣΗ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΑΚΤΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΤΙΚΗ ΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ (Α), ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΥΟ ΔΙΑΔΟΧΙΚΩΝ ΣΗΜΕΙΩΝ ΤΩΝ ΚΑΝΑΒΟΥ, ΟΠΟΥ ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΕΣ «ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΟΥΝ» ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ (Β).	80
ΣΧΗΜΑ 6-1 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΟΠΩΣ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΕ ΤΟΝ ΑΠΡΙΛΙΟ 2004. ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΨ (ΚΙΤΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ) ΚΑΙ Η ΠΟΡΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΟΥ ΣΚΑΦΟΥΣ, ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑΣ (ΣΥΝΕΧΗΣ ΓΡΑΜΜΗ).	91
ΣΧΗΜΑ 6-2 ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ S (ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2004).	92
ΣΧΗΜΑ 6-3 ΠΡΟΦΙΛ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 (Α ΚΑΙ Β) ΚΑΙ P8 (Γ ΚΑΙ Δ). ΜΕ ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΕΓΙΝΑΝ ΑΠΟ ΑΥΤΟΔΥΤΗ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΤΑ ΒΑΘΗ ΠΟΥ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΚΑΝ ΜΕ ΤΟ Ε/Σ ΑΜΦΙΤΡΙΤΗ ΤΟΝ ΙΟΥΛΙΟ 2005.	93
ΣΧΗΜΑ 6-4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ P2 ΜΕ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΟ ΤΙΣ ΕΙΣΩΣΕΙΣ ΤΟΥ BRUUN (1954) (Α), LARSON (1991) (Β) ΚΑΙ BODGE (1992) ΚΑΙ KOMAR AND MCDUGAL (1994) (Γ).	94
ΣΧΗΜΑ 6-5 ΠΡΟΦΙΛ ΠΟΥ ΑΠΟΤΥΠΩΘΗΚΑΝ ΣΤΟΥΣ 11 Ρ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-6/2004. Η ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗΝ ΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ.	96
ΣΧΗΜΑ 6-6 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΟΓΚΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ (ΜΠΑΡΕΣ) ΚΑΙ Η ΠΡΩΤΗ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΟΣ ΤΗΣ (ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ), ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΘΜΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-6/2004.	97
ΣΧΗΜΑ 6-7 ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΘΜΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-6/2004.	98
ΣΧΗΜΑ 6-8 ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 (Α) ΚΑΙ P8 (Β) ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 8/2004-9/2005. Η ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗΝ ΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ, ΟΠΩΣ ΑΥΤΗ ΠΡΟΕΚΥΨΕ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΣΚΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΑΜΜΟΥ. ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΥΠΑΡΧΕΙ ΩΣ ΕΝΘΕΤΟ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΑΠΟ ΤΟ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ ΣΤΟ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΟΡΙΟ ΤΩΝ ΠΨ ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ P8.	100
ΣΧΗΜΑ 6-9 ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΜΕΧΡΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ 90 Μ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ) ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ P2 (Α), ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ (ΣΤΑΘΜΗΣ) (Β). Η ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗΝ ΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ.	102
ΣΧΗΜΑ 6-10 ΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΜΕΧΡΙ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ 90 Μ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΗ ΤΟΥ) ΣΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ P8 (Α), ΚΑΙ ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ (ΣΤΑΘΜΗΣ) (Β). Η ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ ΑΝΑΠΑΡΙΣΤΑ ΤΗΝ ΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ.	103
ΣΧΗΜΑ 6-11 ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΟΓΚΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ P2 ΚΑΙ P8 (Α, Β), ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 8/2004-9-2005 (Γ).	105
ΣΧΗΜΑ 6-12 ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΑΝΩ ΤΜΗΜΑΤΟΣ (ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΚΑΙ ΑΒΑΘΟΥΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΥ) ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-9/2005) ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 (Α) ΚΑΙ P8 (Β).	106
ΣΧΗΜΑ 6-13 ΠΡΩΤΗ ΕΟΦ ΧΩΡΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ (SPATIAL EIGENFUNCTION) ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 (Α) ΚΑΙ P8 (Β), ΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ (ΔΙΑΚΕΚΟΜΜΕΝΗ ΓΡΑΜΜΗ) ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ. Η ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΕΓΙΝΕ ΣΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΠΟΥ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥΣ ΨΑΜΜΙΤΕΣ (ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 90%).	108
ΣΧΗΜΑ 6-14 ΠΡΩΤΗ ΕΟΦ ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 ΚΑΙ P8 (Α) ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΑΚΡΑΣΙΟΥ (Β), ΒΛΕΠΕ ΚεΦΑΛΑΙΟ 4.4).	109
ΣΧΗΜΑ 6-15 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΟΓΚΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΝΩ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ, ΑΝΑ ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ, ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 ΚΑΙ P8 (Α) ΚΑΙ Η ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΑΝΑ ΜΗΝΑ, ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-9/2005 (Β).	110
ΣΧΗΜΑ 6-16 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΤΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ, ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ P2 ΚΑΙ P8, ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 6/2003-9/2005.	111
ΣΧΗΜΑ 7-1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ ΣΤΟ ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ.	115
ΣΧΗΜΑ 7-2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΥΒΩΜΑΤΟΣ (BERM) ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ.	116

ΣΧΗΜΑ 7-3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ/ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ (SWASH ZONE) ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ (ΣΤΑΘΜΟΙ S1-S23).....	117
ΣΧΗΜΑ 7-4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΑΝΩΤΕΡΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ (P7-P11) ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ (P1-P5) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ Η ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΜΕ ΣΤΑΘΜΗ -1>D>1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΥΤΕΣ .....	119
ΣΧΗΜΑ 7-5 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΧΕΡΣΑΙΟΥ ΥΒΩΜΑΤΟΣ (BERM) ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ (P7-P11) ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ (P1-P5) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΚΑΙ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ Η ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΜΕ ΣΤΑΘΜΗ -1>D>1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΥΤΕΣ.....	120
ΣΧΗΜΑ 7-6 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ/ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ (SWASH ZONE) ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ (P7-P11) ΚΑΙ ΔΥΤΙΚΗΣ (P1-P5) ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΟΤΗΤΑΣ. ΣΤΗΝ ΔΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΕΝ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ ΘΕΡΙΝΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΖΩΝΗ ΔΙΑΒΡΟΧΗΣ, ΑΦΟΥ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΙΧΑΝ ΑΠΟΚΑΛΥΦΘΕΙ ΟΙ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ. ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ Η ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΚΛΙΣΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΜΕ ΣΤΑΘΜΗ -1>D>1) ΚΑΤΑ ΤΙΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΥΤΕΣ.....	121
ΣΧΗΜΑ 7-7 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (ΣΕ Φ) ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ 11 ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ S. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ.....	123
ΣΧΗΜΑ 7-8 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ (Σ <sub>1</sub> , ΣΕ Φ) ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ 11 ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ S, ΚΑΤΑ FOLK (1980). ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΔΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ.....	124
ΣΧΗΜΑ 7-9 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΛΟΞΟΤΗΤΑΣ (SK <sub>1</sub> , ΚΑΘΑΡΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ) ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ S. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ .....	125
ΣΧΗΜΑ 7-10 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ (K <sub>G</sub> , ΚΑΘΑΡΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ) ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ 11 ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ S. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ.....	126
ΣΧΗΜΑ 7-11 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ (ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ), ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ Η ΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ (ΔΙΑΣΤΗΜΑ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ 90%).....	127
ΣΧΗΜΑ 7-12 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΔΙΝΕΤΑΙ ΕΠΙΣΗΣ ΤΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΠΕΡΙΟΔΟ (ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ), ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ Η ΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	128
ΣΧΗΜΑ 7-13 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	129
ΣΧΗΜΑ 7-14 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	130
ΣΧΗΜΑ 7-15 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΛΟΞΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	131
ΣΧΗΜΑ 7-16 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΛΟΞΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	132
ΣΧΗΜΑ 7-17 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ P ΤΗΝ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ.....	133

ΣΧΗΜΑ 7-18 ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΚΥΡΤΩΣΗΣ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΚΑΘΕΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Ρ ΤΗΝ ΧΕΙΜΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΑΠΟΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ Η ΓΡΑΜΜΗ ΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ. ....	134
ΣΧΗΜΑ 7-19 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ (Α) ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΜΕΣΗΣ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙΝΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ. ΜΕ ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΩΝ ΠΨ, ΠΟΥ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΝΑ ΣΥΜΠΙΠΤΕΙ ΜΕ ΤΑ ΤΜΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΙΟ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΟ ΙΖΗΜΑ. ...	136
ΣΧΗΜΑ 8-1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΜΕ ΤΙΣ ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΑ ΕΠΟΧΗ, ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟ HINDCASTING ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΕΤΩΝ 2004-2005. ΟΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΧΟΥΝ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΕΙ ΟΙ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΥΨΟΣ ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ ΑΠΟ 0.5 Μ ΚΑΙ ΜΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ. ....	141
ΣΧΗΜΑ 8-2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΜΕΣΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	142
ΣΧΗΜΑ 8-3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	143
ΣΧΗΜΑ 8-4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΔ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	144
ΣΧΗΜΑ 8-5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΚΡΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	145
ΣΧΗΜΑ 8-6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΚΡΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΝΑ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	146
ΣΧΗΜΑ 8-7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΚΡΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ Ν ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	147
ΣΧΗΜΑ 8-8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΑΚΡΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΝΔ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	148
ΣΧΗΜΑ 8-9 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΚΡΑΙΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΝΔ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ. (Α) ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ (ΜΑΥΡΑ ΒΕΛΗ) ΚΑΙ ΥΨΟΣ (ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ) ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕΣΑ ΣΤΟΝ ΚΟΛΠΟ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ, (Β) ΚΥΜΑΤΟΓΕΝΗ ΡΕΥΜΑΤΑ (ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) Η ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S. ....	149
ΣΧΗΜΑ 8-10 ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΙ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΜΕΝΩΝ ΣΤΑΔΙΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Ρ2 ΚΑΙ Ρ8. ....	152
ΣΧΗΜΑ 8-11 ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Ρ2 ΚΑΙ Ρ8 ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΝΑΝ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΤΡΕΙΣ ΠΟΛΟΥΣ. ....	153
ΣΧΗΜΑ 8-12 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΩΝ ΠΟΛΩΝ 2 ΚΑΙ 3 ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Ρ2 ΚΑΙ Ρ8. ΣΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΠΛΑΙΣΙΟ Η ΔΙΑΦΟΡΑ ΦΑΣΗΣ ΟΠΩΣ ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΤΙΜΗΣ. ....	155
ΣΧΗΜΑ 8-13 ΑΝΑΛΥΣΗ FOURIER ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΠΟΛΟΥΣ 2 ΚΑΙ 3 ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ Ρ2 ΚΑΙ Ρ8. ....	156

ΣΧΗΜΑ 9-1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΚΤΗΣ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ 0.5 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 3 SEC.....	161
ΣΧΗΜΑ 9-2 ΑΡΧΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΑΚΤΗΣ (Α), ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ 1.5 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 6 SEC (Β). .....	162
ΣΧΗΜΑ 9-3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ H=1 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=4 SEC ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΚΤΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ D50=0.2 ΜΜ, ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Α), ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Β) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (Γ). ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΠΕΡΙΠΟΥ 6 ΩΡΕΣ.....	163
ΣΧΗΜΑ 9-4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ H=1 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=4 SEC ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΚΤΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ D50=0.4 ΜΜ, ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Α), ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Β) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (Γ). ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΠΕΡΙΠΟΥ 6 ΩΡΕΣ.....	164
ΣΧΗΜΑ 9-5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ H=1 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=4 SEC ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΚΤΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ D50=0.6 ΜΜ, ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Α), ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Β) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (Γ). ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΠΕΡΙΠΟΥ 6 ΩΡΕΣ.....	165
ΣΧΗΜΑ 9-6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ H=1 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=4 SEC ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΡΕΙΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΚΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ D50=0.2 ΜΜ. (Α) ΑΡΧΙΚΟ ΠΡΟΦΙΛ, (Β) ΤΕΛΙΚΟ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΠΨ ΚΑΙ (Γ) ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ. ΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΡΚΟΥΝ ΠΕΡΙΠΟΥ 6 ΩΡΕΣ. ....	166
ΣΧΗΜΑ 9-7 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ H=3.5 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=8 SEC ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΚΤΗΣ ΜΕ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ D50=0.4 ΜΜ, ΧΩΡΙΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Α), ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ (Β) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ (Γ).....	167
ΣΧΗΜΑ 9-8 ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΣΤΙΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ (Α). ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Η ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕ ΤΟΥΣ ΠΨ (ΜΑΥΡΗ ΓΡΑΜΜΗ), ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΕΝΑ ΣΤΡΩΜΑ ΑΜΜΟΥ ΠΑΧΟΥΣ 10 CM (Β).....	169
ΣΧΗΜΑ 9-9 ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ Α) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΜΜΩΔΟΥΣ ΑΚΤΗΣ, Β) ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ ΚΑΙ Γ) Η ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ, ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ 5 ΩΡΩΝ, ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΕΣΟΥ ΥΨΟΥΣ H <sub>0</sub> =0.5 Μ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=4 SEC ΚΑΙ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ 0.5 ΜΜ. ....	170
ΣΧΗΜΑ 9-10 ΠΑΡΑΛΙΑΚΟ ΠΡΟΦΙΛ ΟΠΩΣ ΥΠΟΛΟΓΙΖΕΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗΣ Α) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΜΜΩΔΟΥΣ ΑΚΤΗΣ, Β) ΜΕ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΠΨ ΚΑΙ Γ) Η ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗ, ΜΕΤΑ ΤΟ ΠΕΡΑΣ ΜΙΑΣ ΘΥΕΛΛΑΣ 5 ΩΡΩΝ, ΜΕ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΕΣΟΥ ΥΨΟΥΣ H <sub>0</sub> =2 Μ ΚΑΙ ΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ T=8 SEC ΚΑΙ ΜΕΣΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ 0.5 ΜΜ. ....	171
ΣΧΗΜΑ 10-1 ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ ΠΟΥ ΒΑΣΙΖΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ. ....	178
ΕΙΚΟΝΑ 10-2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΛΙΕΣ ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ ΚΑΛΑΦΑΤΗΣ (Α, Γ) ΚΑΙ SUPER PARADISE (Β) (ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΤΩΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ). ....	180
ΕΙΚΟΝΑ 10-3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ ΛΕΣΒΟΥ (Α, Γ), ΧΡΥΣΟΠΗΓΗΣ ΣΙΦΝΟΥ (Β) ΚΑΙ SUPER PARADISE ΜΥΚΟΝΟΥ (ΦΩΤΟ ΑΠΟ ΑΝΤΩΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ) (Δ). ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΥ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΚΑΤΑΛΗΨΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ (Α-Γ), ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ Ο ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΚΑΛΟΠΑΤΙΟΥ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ (Δ). ....	181
ΕΙΚΟΝΑ 10-4 ΠΑΛΛΙΟΤΕΡΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΟ ΠΛΩΜΑΡΙ (ΛΕΣΒΟΣ), SANTIAGO DE CUBA, ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ (ΙΣΣΑΡΗΣ, 2005) ΚΑΙ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΡΟΔΟ. ΕΙΝΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΟ ΟΤΙ ΟΙ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΒΡΙΣΚΟΝΤΑΙ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗ ΘΕΣΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΤΩΡΙΝΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΖΟΥΝ ΣΗΜΑΔΙΑ ΕΝΤΟΝΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ (Α, Γ) .....	182
ΕΙΚΟΝΑ 10-5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΣΕ ΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ. Α) SALVADOR, ΒΑΗΙΑ, BRAZIL, Β), Γ) BARACOA, CUBA. ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΕΙΣ ΟΙ 3-ΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ ΚΑΙ Η ΘΡΑΥΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ (Α) ΚΑΙ Η ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΕΚΘΕΣΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ (Β).....	183
ΣΧΗΜΑ 10-6 ΣΚΑΛΟΠΑΤΙ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΙΑ ΤΩΝ ΒΑΤΕΡΩΝ (Β) ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΑΝΑΝΤΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟ (ΜΠΛΕ ΓΡΑΜΜΗ) ΚΑΙ ΤΟ ΚΑΤΑΝΤΗ ΤΟΥ (ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ). ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Η ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΒΑΡΥΝΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ. ....	188
ΕΙΚΟΝΑ 10-7 ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ ΦΤΕΛΙΑ ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ (ΦΩΤΟ ΑΠΟ ΑΝΤΩΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ) (Α) ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΑΦΥΤΟ ΧΑΛΚΙΔΙΚΗΣ (Β). ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ (Γ) Η ΠΡΟΧΩΡΗΜΕΝΗ	

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΩΠΟΥ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΚΑΙ (Δ) Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΤΕΛΕΥΤΑΙΩΝ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ.....	189
ΣΧΗΜΑ 10-8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΨ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΣΤΕΡΕΟΠΑΡΟΧΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (Α) (ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ BUSSINESQ ΓΙΑ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΥΨΟΥΣ 1 Μ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 6 SEC). ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΗ ΓΡΑΜΜΗ ΣΤΟ (Β) ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Η ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΨ ΠΟΥ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ ΣΤΑΘΕΡΗ ΣΕ ΜΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΜΗ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΜΕ ΙΖΗΜΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ.....	191
ΕΙΚΟΝΑ 10-9 ΠΑΛΛΙΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΑ ΒΑΤΕΡΑ ΜΕ ΕΝΤΟΝΑ ΣΗΜΑΔΙΑ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗΣ. ΟΙ ΜΙΚΡΕΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΔΡΕΣ ΠΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΙ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ «ΠΑΓΙΔΕΣ» ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΜΠΟΡΕΙ ΝΑ ΑΝΑΤΑΡΑΧΘΕΙ ΜΟΝΟ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΕΝΤΟΝΕΣ ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ. ....	192
ΣΧΗΜΑ 10-10 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΑΝΤΙΜΑΧΟΜΕΝΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ Η ΡΟΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ: (Α) ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΘΕΤΗ ΡΟΗ (Β) ΚΑΙ ΑΠΟΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΛΟΓΩ ΛΕΠΤΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΟΡΙΑΚΟΥ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΚΘΕΣΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΤΥΡΒΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ (BUTT ET AL, 2001). ....	195
ΕΙΚΟΝΑ 10-11 ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΕΣ ΣΤΑ ΒΑΤΕΡΑ. ΔΙΑΚΡΙΝΕΤΑΙ Η ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΑΝΩ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ ΜΕ ΤΟ ΙΖΗΜΑ ΝΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΥΠΟ ΤΗΝ ΣΥΝΕΧΗ ΕΠΗΡΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΩΣΗΣ, ΚΑΘΙΣΤΩΝΤΑΣ ΤΟ ΠΙΟ ΕΥΛΑΩΤΟ ΣΤΗΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΠΕΡΧΟΜΕΝΟΥΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥΣ. .	197
ΣΧΗΜΑ 10-12 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΠΟΡΩΔΗ ΠΥΘΜΕΝΑ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΦΑΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΚΥΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	198
ΕΙΚΟΝΑ 10-13 ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΚΑΛΑΦΑΤΗΣ ΚΑΙ SUPER PARADISE ΤΗΣ ΜΥΚΟΝΟΥ. ΕΙΝΑΙ ΕΜΦΑΝΗΣ Η ΕΝΤΟΝΗ ΕΚΘΕΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ, ΕΝΩ ΣΤΗΝ ΖΩΝΗ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΙΟ ΠΑΝΩ ΚΑΛΥΠΤΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΙΖΗΜΑ.	200
ΣΧΗΜΑ 10-14 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΤΟ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΠΟΥ ΠΡΟΤΕΙΝΑΝ ΟΙ MASSELINK AND PULEO (2006). ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΔΙΑΚΡΙΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΡΓΟΥΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΨ, ΜΕ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙ ΑΥΤΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΕΝΤΟΝΑ ΚΑΙ ΜΕ ΓΑΛΑΖΙΟ ΑΥΤΑ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΝΤΑΙ ΛΙΓΟΤΕΡΟ. ....	202
ΣΧΗΜΑ 10-15 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΠΟΥ ΠΕΡΙΓΡΑΦΕΙ ΤΙΣ ΜΑΚΡΟΧΡΟΝΙΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΨΑΜΜΙΤΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΑΚΤΗ.....	206

## Ευρετήριο πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 2-1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΠΕΡΙΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΕΩΝ ΠΨ ΟΠΩΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΝΤΑΙ ΣΕ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ (BC ΒΙΟΚΛΑΣΤΙΚΟ, CALC ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟ, VOLC ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ, IGN IGNEOUS, AR ΑΡΑΓΟΝΙΤΙΚΟ, C ΑΣΒΕΣΤΙΤΙΚΟ, MICR ΜΙΚΡΙΤΙΚΟ, PEL PELOIDAL, FIBR FIBROUS, PAL PALISSADIC, AC ACICULAR, TR ΤΡΟΠΙΚΟ, MED ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ).....	8
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-1 ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΙΣ ΜΕΣΕΣ ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ (ΒΑΛΛΗΣ, 2004).....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 4-2 ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΜΕΣΟΥΣ ΘΥΕΛΛΩΔΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥΣ (ΒΑΛΛΗΣ, 2004)....	57
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-1 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ 23 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ S, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ) .....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-2 ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ 11 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΠΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ P, Η ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΘΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΙΖΗΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΠΡΟΦΙΛ (ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ) .....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-3 ΒΡΑΧΕΙΕΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ (ΧΕΡΣΑΙΟ ΚΑΙ ΑΒΑΘΕΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ) ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P1-P11 .....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 5-4 ΜΑΚΡΕΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΠΟΤΥΠΩΣΕΙΣ (ΧΕΡΣΑΙΟ ΚΑΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΑΡΑΛΙΑΚΟΥ ΠΡΟΦΙΛ) ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P2 ΚΑΙ P8. ....	63
ΠΙΝΑΚΑΣ 6-1 ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ EOF ΚΑΙ ΤΟ ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΟΥ ΕΚΦΡΑΖΟΥΝ.....	107
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-1 ΕΥΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ S. ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ, ΒΛΕΠΕ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Π2. ....	114
ΠΙΝΑΚΑΣ 7-2 ΕΥΡΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ P. ΓΙΑ ΤΙΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	119
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-1 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΑΝ ΜΕΣΕΣ ΑΝΤΙΠΡΟΣΩΠΕΥΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ. ΟΙ ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΟΙΚΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	140
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-2 ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΥΜΑΤΙΣΜΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΟ ΔΥΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΑΝ ΑΚΡΑΙΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ. ΟΙ ΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΝΑΦΕΡΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΑΝΟΙΚΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ.....	144
ΠΙΝΑΚΑΣ 8-3 ΚΥΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ .....	154

## Βασικοί συμβολισμοί

$a, b$	συντελεστές Forchheimer
$B$	περίσσεια τύρβης κοντά στον πυθμένα
$c$	ταχύτητα μετάδοσης επιφανειακού κυλίνδρου θραυόμενου κύματος
$C_g$	ταχύτητα ομάδας
$d$	βάθος
$D$	Απώλεια κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης
$d_{50}$	μέση διάμετρος κόκκων
$D_s$	μέτρο της συνάρτησης πηγής
$E$	συντελεστής τυρβώδους ιξώδους
$E$	κυματική ενέργεια
$F$	απώλεια ενέργειας λόγω τριβής πυθμένα
$f_w$	εμπειρικός συντελεστή τριβής
$H$	ύψος κύματος
$h$	συνολικό βάθος $h=d+\zeta$
$h_p$	πάχος του στρώματος του νερού στο πορώδες μέσο
$K$	υδραυλική διαπερατότητα
$k$	κυματικός αριθμός
$L$	μήκος κύματος κυματισμών
$q$	ειδική παροχή που διαπερνά τον πορώδη πυθμένα
$Q$	αδιάστατη στερεοπαροχή στη ζώνη αναρρίχησης
$q_b$	στερεομεταφορά της ροής του λεπτού οριακού στρώματος
$q_{cap}$	δυναμικό στερεομεταφοράς
$q_R$	στερεομεταφορά στην ζώνη αναρρίχησης
$q_s$	στερεομεταφορά σαν φορτίο σε αιώρηση
$R$	μέγιστο ύψος αναρρίχησης
$s$	ειδικό βάρος των κόκκων
$S_{xx}$	τάση ακτινοβολίας
$t_{1/2}$	χρονική διάρκεια κατά την οποία αναπτύσσεται ο επιφανειακός κύλινδρος.
$\tan \varphi$	κλίση της ελεύθερης επιφάνειας
$t_B$	χρόνος έναρξης της θραύσης
$U$	ταχύτητα
$U_{b-max}$	εύρος της οριζόντιας ταχύτητας του πυθμένα
$U_d$	ρεύμα επαναφοράς (μέση ταχύτητα)
$u_p$	μέση ταχύτητα στο πορώδες στρώμα
$w_1(x), w_2(x)$	παράμετροι απορρόφησης
$W_s$	πλάτος πηγής
$W_s$	ταχύτητα καταβύθισης των ιζημάτων
$W_w$	βυθισμένο βάρος της άμμου
$x_s$	κέντρο της συνάρτησης πηγής
$A$	παράμετρος προφίλ ισοροπίας
$A_b$	εύρος ταλαντωτικής κίνησης στον πυθμένα
$\delta$	πάχος επιφανειακού κυλίνδρου
$Z$	ανύψωση στάθμης θάλασσας
$\eta_\gamma$	ύψος των αμμοκυμάτων
$\theta_{25}$	παράμετρος Shields
$K_N$	απόλυτη τραχύτητα πυθμένα (Nikuradse roughness)



---

$\lambda$	πορώδες
$M_u$	όρος επίδρασης της μη ομοιόμορφης κατανομής ταχύτητας
$v_s$	συντελεστής τυρβώδους ιξώδους
$\xi$	παράμετρος Iribarren
$\rho$	πυκνότητα του νερού
$\rho_s$	πυκνότητα της άμμου
$\tau$	διατμητική τάση πυθμένα
$T$	περίοδος του κύματος.
$\tau_\delta$	όρος τριβής στον πυθμένα
$\varphi$	γωνία μετάδοσης των κυματισμών
$\omega$	γωνιακή ταχύτητα

## 1 Εισαγωγή

Οι παραλιακοί ψαμμίτες ή ακτόλιθοι (ΠΨ) αποτελούν σχηματισμούς που δημιουργούνται από την συνεκτικοποίηση του παράκτιου ιζήματος στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και στο επίπεδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης και εμφανίζονται κυρίως στο όριο της ακτογραμμής (π.χ. Milliman, 1974). Η συνεκτικοποίηση προκαλείται από την καθίζηση (κυρίως) ανθρακικού συνδετικού υλικού από τα παράκτια θαλασσινά ύδατα ή/και τα ύδατα του παράκτιου υδροφόρου ορίζοντα, συνδέεται με αυξημένες θερμοκρασίες και έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία σκληρών, μη διαπερατών επιφανειών κάτω από το παραλιακό ίζημα (Neumeier, 1998). Οι σχηματισμοί, αν και αρχικά θαμμένοι, με την πάροδο του χρόνου εμφανίζονται, αυξάνοντας σταδιακά την βραχώδη επιφάνεια της ακτής.

Η διεργασία σχηματισμού των παραλιακών ψαμμιτών μελετήθηκε λεπτομερώς την περίοδο 1960-1970 (π.χ. Russell, 1962, 1993· Alexandersson, 1969, 1972· Tietz and Muller, 1971), χωρίς, όμως, να διευκρινισθεί πλήρως. Οσον αφορά δε τις επιπτώσεις τους στην παραλιακή μορφοδυναμική και οικολογία, υπάρχουν ελάχιστες αναφορές ερευνητικών μελετών (π.χ. Cooper, 1991· Russell, 1959, 1962).

Το φαινόμενο εμφάνισης παραλιακών ψαμμιτών έχει γίνει ιδιαίτερα αισθητό τα τελευταία έτη. Η παραλιακή (ιζηματική) διάβρωση αποκαλύπτει τις πρόσφατες, αλλά και τις παλαιότερες εμφανίσεις, ενώ υπάρχουν ενδείξεις ότι η ίδια η διεργασία σχηματισμού των ΠΨ, έχει επιταχυνθεί. Σε μια εποχή που ο πλανήτης υπόκειται σε σημαντικές περιβαλλοντικές μεταβολές, με τα διάφορα σενάρια ανόδου της θερμοκρασίας και θαλάσσιας στάθμης να θεωρούνται πλέον πολύ πιθανά (Church et al, 2001), η μελέτη των ΠΨ αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον αφού ο σχηματισμός τους (α) συνδέεται με αυξημένες θερμοκρασίες και (β) λαμβάνει χώρα στην παράκτια ζώνη, η οποία δέχεται ολοένα και περισσότερες πιέσεις.

Οι παράκτιες περιοχές αποτελούν τις πλέον ανεπτυγμένες περιοχές του πλανήτη, καθώς πάνω από το 40% του πληθυσμού (60% στη Ευρώπη) και το μεγαλύτερο μέρος της οικονομικής δραστηριότητας συγκεντρώνονται σε μία παράκτια ζώνη πλάτους 100 km (Geo-3, 2002). Η σημασία της παράκτιας ζώνης στην Ελλάδα είναι ακόμα μεγαλύτερη μια και φιλοξενεί το 70% του πληθυσμού, το 80% της βιομηχανίας και το 90% του τουρισμού, που αποτελεί ένας από τους σημαντικότερους οικονομικούς πόρους της χώρας (Eurosion, 2004). Η σημασία της παράκτιας έρευνας αυξάνει δεδομέ-

νου ότι, σύμφωνα με πρόσφατες έρευνες, το ~32% των Ελληνικών ακτών αντιμετωπίζουν πρόβλημα διάβρωσης (Βελεγράκης et al., 2005). Επιπλέον, το 25% της Ελληνικής νησιωτικής ακτογραμμής φαίνεται να βρίσκεται κάτω από καθεστώς διάβρωσης (Eurosion, 2004), γεγονός ιδιαίτερα ανησυχητικό αν συνυπολογισθεί ότι το ποσοστό των νησιωτικών παραλιών δεν ξεπερνά το 30% του συνόλου της Ελληνικής νησιωτικής ακτογραμμής (Βελεγράκης et al, 2005).

Στο πρόβλημα της διάβρωσης έρχεται να προστεθεί το γεγονός ότι ο ελλαδικός χώρος αποτελεί 'καυτή' περιοχή για το φαινόμενο σχηματισμού ΠΨ, με εμφανίσεις σε πληθώρα αιγιαλών (βλέπε Μαρουκιάν και Τζιάβος, 1985· Leontaris, 1986· Neumeier 1999· Λειβαδίτης, 2004· Αλεξούλη-Λειβαδίτη και Λειβαδίτης, 2004· Γκιώνης et al, 2004· Παυλόπουλος et al, 2004), που συχνά συνοδεύονται από σημαντικές επιπτώσεις. Υπάρχουν ήδη κάποιες ενδείξεις που συνδέουν την παρουσία ΠΨ με 'ασυνήθιστη' μορφοδυναμική συμπεριφορά της παραλιακής ζώνης και ίσως και με διάβρωση (π.χ. Cooper, 1991· Calvet et al, 2003), ενώ η εικόνα μειωμένης αισθητικής και εγκατάλειψης που παρουσιάζουν οι αιγιαλοί με προχωρημένη έκθεση ΠΨ δεν αφήνει αμφιβολίες για τις σοβαρές επιπτώσεις τους.

Οι ακτές της νησιωτικής Ελλάδα λόγω των γεωμορφολογικών, κοινωνικό-οικονομικών και κλιματολογικών ιδιαιτεροτήτων τους, είναι ευαίσθητα συστήματα των οποίων τα προβλήματα είναι ικανά να αγγίξουν όλες τις κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες των νησιών και κυρίως τον τουρισμό. Η νησιωτική Ελλάδα χαρακτηρίζεται από υψηλό γενικά ανάγλυφο, μικρά υδρολογικά δίκτυα και μικρά αποθέματα κατάλληλων για δημιουργία αιγιαλού, κλαστικών ιζημάτων. Έτσι, οι παραλίες των νησιωτικών περιοχών είναι συνήθως μικρού μήκους και περιορισμένου εύρους ('παραλίες τσέπης'). Σε αυτές είναι πολύ συχνή η παρουσία μεγάλων κλίσεων του παράκτιου πυθμένα που έχουν ως αποτέλεσμα τα ιζήματα που απομακρύνονται στα ανοικτά από θυελλώδεις κυματισμούς, να μην μπορούν να επιστρέψουν στις παραλίες κάτω από τους ήπιους κυματισμούς (Duke et al, 1991). Οι συνθήκες αυτές κάνουν τις ελληνικές νησιωτικές παραλίες ιδιαίτερα ευάλωτες, τόσο στην αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης, όσο και στις άλλες κλιματικές αλλαγές (π.χ. στην αύξηση του μεγέθους και συχνότητας των ακραίων κυματισμών και φουσκοθαλασσιών (storm surges) και φυσικά στον σχηματισμό παραλιακών ψαμμιτών. Σε αυτές τις φυσικές αιτίες έρχονται να προστεθούν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που επιτείνουν την διάβρωση της παράκτιας ζώνης, διακόπτοντας άμεσα ή έμμεσα την μεταφορά ιζημάτων

(λιμενικές κατασκευές, δημιουργία φραγμάτων στα ανάντη και εξαγωγή ιζήματος από τις παραλίες). Ενώ όμως η κατανόηση των παράκτιων διεργασιών και της δυναμικής είναι θεμελιώδης για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τη σωστή χρήση/διαχείριση των παρακτίων πόρων, ελάχιστες προσπάθειες έχουν γίνει στη Ελλάδα για την παρακολούθηση της διάβρωσης τους και την μελέτη και κατανόηση των αιτίων της (Βελεγράκης et al, 2005).

Τα αποτελέσματα της εμφάνισης παραλιακών ψαμμιτών στην παραλιακή μορφοδυναμική έχει ελαχιστα μελετηθεί. Το φαινόμενο παραμένει γνωστό κυρίως μόνο στους γεωλόγους και παρά το γεγονός ότι έχει σημαντικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς (μορφοδυναμική, οικολογία), η μέχρι τώρα γνώση μας περιορίζεται στην ορυκτολογία και γεωχημεία τους. Ο κυριότερος λόγος είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι ΠΨ αντιμετωπίζονται ως μια στατική παράμετρος και όχι ως ένας δυναμικός παράγοντας της παραλιακής μορφοδυναμικής.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή έχει ως σκοπό να συμπληρώσει μέρος αυτού του κενού. Δίνει έμφαση στις δυναμικές διεργασίες που επηρεάζουν την μορφολογία και ιζηματολογία ακτών με παραλιακούς ψαμμίτες. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η παραλία των Βατερών που βρίσκεται στην Ν. Λέσβο και αποτελεί αντιπροσωπευτικό παράδειγμα ελληνικής νησιωτικής παραλίας ('παραλία τσέπης', υψηλό ανάγλυφο, μικρά υδρολογικά δίκτυα) με την παρουσία παραλιακών ψαμμιτών. Επιπλέον, κριτήριο για την επιλογή της παραλίας αυτής αποτέλεσε η μικρή σχετικά ανθρωπογενής επίδραση, που επέτρεψε τη καλύτερη μελέτη των φυσικών διεργασιών της.

Για το σκοπό της μελέτης εφαρμόστηκε ένα ευρύ φάσμα από ερευνητικές μεθόδους, όπως η συλλογή ιζηματολογικών, μορφολογικών και κυματικών δεδομένων, καθώς και μορφοδυναμικά και υδροδυναμικά 'μοντέλα'. Οι μέθοδοι παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5, αφού προηγηθούν 3 εισαγωγικά κεφάλαια που περιγράφουν τους παραλιακούς ψαμμίτες (Κεφάλαιο 2), τις μορφοδυναμικές διεργασίες στην παράκτια ζώνη (Κεφάλαιο 3) και την περιοχή μελέτης (Κεφάλαιο 4). Ακολουθεί η παρουσίαση των αποτελεσμάτων και η συζήτηση των δεδομένων της παράκτιας μορφολογίας (Κεφάλαιο 6), των ιζημάτων (Κεφάλαιο 7) της υδροδυναμικής (Κεφάλαιο 8), καθώς των αποτελεσμάτων των μορφοδυναμικών μοντέλων (Κεφάλαιο 9). Στην συνέχεια γίνεται συζήτηση των επιπτώσεων της παρουσίας παραλιακών ψαμμιτών στην παράκτια μορ-

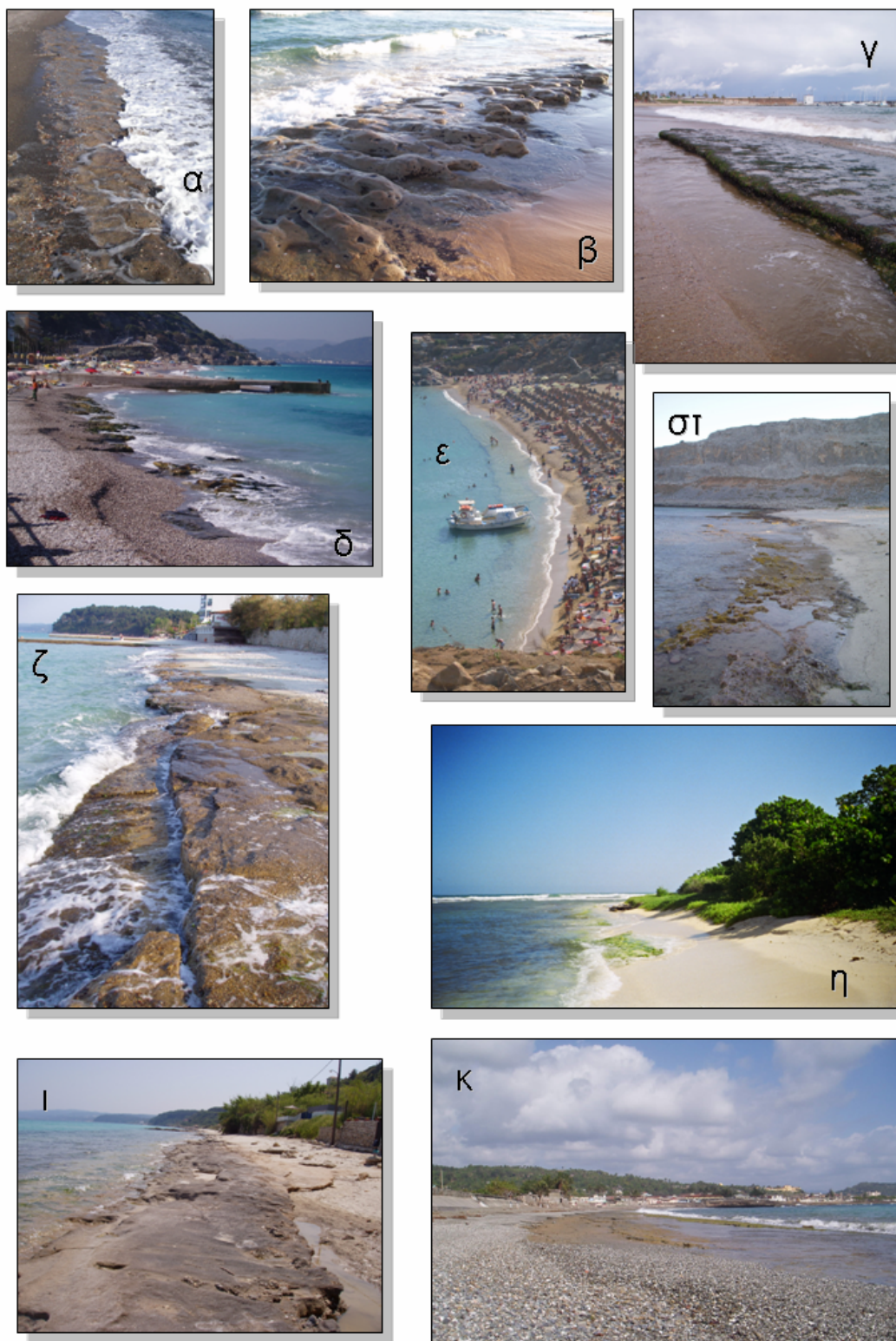
---

φοδυναμική (Κεφάλαιο 10). Τέλος, στο Κεφάλαιο 11 παρατίθενται τα τελικά συμπεράσματα της εργασίας.

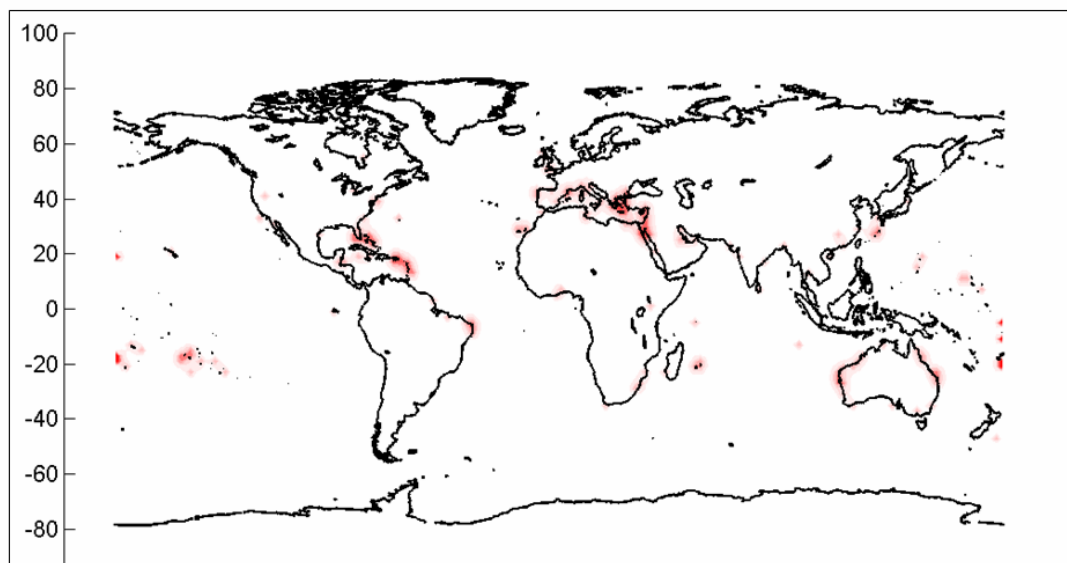
## 2 Παραλιακοί ψαμμίτες

Οι παραλιακοί ψαμμίτες (beachrocks) προέρχονται από την συνεκτικοποίηση παρακτίων χαλαρών ιζημάτων (άμμων, χαλικιών) στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη. Το συγκολλητικό υλικό ( $\text{CaCO}_3$ ) μπορεί να είναι ασβεστιτικό (calcitic), αραγωνιτικό (aragonitic), ή και τα δύο, το οποίο προέρχεται από χημικές διεργασίες που σχετίζονται με το θαλάσσιο ή/και μετεωρικό (γλυκό) νερό. Η διεργασία λαμβάνει χώρα είτε επιφανειακά ή/και κάτω από ένα λεπτό στρώμα ιζημάτων στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και συμπεριλαμβάνει ιζήματα ποικίλων διαμέτρων και κλαστικής ή/και βιογενικής προέλευσης (Bathurst, 1975· Hopley, 1986· Cooper, 1991· El-Sated and Abou Auf, 1995· Neumeier, 1999· Kneale and Viles, 2000). Οι παραλιακοί ψαμμίτες (ΠΨ), λόγω της ιδιότητάς τους να δημιουργούνται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, θεωρούνται δείκτες για τον εντοπισμό των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης παλαιότερων περιόδων, έχοντας χρησιμοποιηθεί σε πολλές σχετικές έρευνες (π.χ. Yaltirak, 2002· Tatumi, 2003· Bezerra, 2003).

Η πρώτη επίσημη αναφορά παρουσίας ΠΨ έγινε το 1817 από τον Sir Francis Beauford (the Admiralty Hydrographer) (Goudie, 1969) και στην συνέχεια από τον Δαρβίνο στο Pernambuco της Βραζιλίας (Darwin, 1841). Από τότε έχουν αναφερθεί εμφανίσεις σε πολλές ακτές του κόσμου (βλέπε Πίνακας 2-1 και Σχήμα 2-1) (π.χ. Russell, 1962, 1993· Alexandersson, 1969, 1972· Tietz and Muller, 1971· Bernier, 1988· El-Sated, 1988a, 1988b· Strasser et al, 1989· Holail and Rashed, 1992· Plomaritis, 1999· Tatumi, 2003· Spurgeon, 2003· Calvet et al, 2003), με την Ελλάδα να εμφανίζεται σαν ιδιαίτερα 'θερμή' περιοχή για το φαινόμενο (βλέπε Leontaris, 1986· Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α. και Λειβαδίτης Γ., 2004· Γκιώνης Γ. et al, 2004· Παυλόπουλος Κ. et al, 2004, αλλά και Σχήμα 2-1). Μέχρι την δεκαετία του '70 επικρατούσε η άποψη ότι ο σχηματισμός ΠΨ αποτελεί χαρακτηριστικό φαινόμενο τροπικών και υποτροπικών ακτών (π.χ. Ginsburg, 1953· Russell, 1963· Van de Plassche, 1986). Παρόλα αυτά πιο πρόσφατη βιβλιογραφία έδειξε ότι υπάρχει σχηματισμός ΠΨ και σε μεγαλύτερα πλάτη (στην εύκρατη ζώνη) (π.χ. Kneale, 2000· Yaltirak, 2002).



**Εικόνα 2-1** Παραδείγματα εμφανίσεων παραλιακών ψαμμιτών από την παραλία των Βατερών (α), Salvador, Bahia, Brazil (β), Barcelona, Spain (γ), Ρόδος (δ), στ) Super Paradise, Μύκονος (φωτό: Αντώνης Ελευθερίου) (ε), Καλιθέα Χαλκιδικής (ζ) Morceeba, Venezuela (η) Αθυτος Χαλκιδικής (ι) και Baracoa, Cuba (κ).



**Σχήμα 2-1** Παγκόσμιος χάρτης με τις περιοχές έντονης παρουσίας παραλιακών ψαμμιτών, με βάση τις εμφανίσεις που αναφέρονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις.

Αξίζει να σημειωθεί ότι μεταξύ άλλων φυσικοχημικών παραμέτρων η διαλυτότητα του νερού σε  $\text{CaCO}_3$ , επηρεάζεται άμεσα από την θερμοκρασία και μάλιστα μειώνεται καθώς η τελευταία αυξάνει (Σχήμα 2-4(β)). Αυτή η ιδιότητα σημαίνει ότι καθώς ανεβαίνει η μέση θερμοκρασία του νερού, αυτό τείνει προς το σημείο κορεσμού του, με αποτέλεσμα να ευνοείται η καθίζηση του  $\text{CaCO}_3$ . Αυτός είναι και ο λόγος που το φαινόμενο των ΠΨ είναι εντονότερο σε θερμές τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Συνεπώς με την προοπτική του σεναρίου της ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη, η διεργασία συνεκτικοποίησης των παράκτιων ιζημάτων αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον... Μια 'αναγωγική προσέγγιση' του φαινομένου (αγνοώντας τυχόν αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αν αποδειχθεί αληθές το παραπάνω σενάριο, ο σχηματισμός ΠΨ αναμένεται να εμφανίζεται ολοένα και συχνότερα.



**Πίνακας 2-1** Συγκεντρωτικός πίνακας με περιγραφικά στοιχεία εμφανίσεων ΠΨ όπως παρουσιάζονται σε επιστημονικές δημοσιεύσεις (Bc βιοκλαστικό, calc ασβεστίτικο, volc ηφαιστειακό, ign igneous, Ar αραγονιτικό, C ασβεστίτικο, micr μικριτικό, pel peloidal, fibr fibrous, pal palissadic, ac acicular, tr τροπικό, med μεσογειακό)

<i>Location</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Beach sediment</i>	<i>Type of cement</i>	<i>Estimated age</i>	<i>Climate</i>	<i>Tidal Range (m)</i>	<i>Proposed formation reason</i>	<i>Reference</i>
Maharashtra	72.54	18.52		Ar	1263 – 1083 BP	Sub Tr	1-3		Badve et al, 1997
Persian Gulf	54.07	24.1	Bc, plat	Ar		Sub Tr	1.5	sea wat. evap.	Evamy, 1973
Bilbao, Spain	-3.12	43.35		Ar		T	3		Knox, 1973
Red Sea (Gulf of Aqaba)	34.94	29.52		Ar		Sub Tr	0.6		Lazar et al 2004
Bahamas	-76	23.67	Bc, ilot	Ar		Sub Tr	1		Shapiro et al 1995
French Polynisia	-	-	Bc, volc	Ar				mix with fr. wat	Trichet, 1965
SW Marmara Sea	149.79	17.48		Ar	205006 - 107006 BP	T	<0.1		Yaltirak et al, 2002
British Honduras	-80.55	28.5	Sand	Ar, C			0.4	various env.	Stoddart & Cann, 1965
NW Caribbean	≈88.3	≈16.5		Ar, high Mg- C, low Mg- C	1661 – 571 BP	Sub-Tr hum-26-29 C(water)	0.3	meteoric vadose phreatic	Gischler, E. & A. J. Lomando, 1997
Seychelles	55.46	-4.56		Ar, high Mg-C			3		Badyukova & Svitoch, 1986
South Jeddah	39.19	21.12	Sand	Ar, high Mg-C		Sub Tr	0.3		El-Shater & Abou Auf, 1995
Med coasts of Israel	≈34.5	≈32		Ar, high Mg-C		Med	<0.1	Precipitation of under intertidal marine condition	Gavish & Friedmam, 1969
Bahamas	≈77	≈24.9		Ar, high Mg-C		Sub Tr	<0.1	various env.	Strasser & Davaud, 1986
Tunisia	10.89	33.53		Ar, high Mg-C		Med	<0.1	biol, phys/chem fact	Strasser et al, 1989
Grand Cayman, Caribbean Sea	-81.27	19.33	Bc calc	Ar, Mg- C		Sub Tr	0.26	sea wat. evap.	Moore & Billings, 1971· Moore, 1973
Paraiba st, NE Brazil	-34.57	≈7		Ar, Mg- C	3503 – 2903 BP	Tr	2.8		Tatumi et al, 2003
Heron Island, Great Barrier Reef	151.7	-23.4		Ar, Mg- C		Sub-Tr 20-26 C(water)	1-2	biol, precip	Webb, 1999
South Florida	-80.97	25.2	Calc sand	Ar ac			2.1	sea wat. evap.	Ginsburg, 1953
Abu Dhabi UAE	54.39	24.34	Bc plat	Ar ac		Sub Tr	2	sea wat. evap.	Kendall et al, 1994
Bahamas	-74.47	24.14	Bc calc	Ar ac		Sub Tr	1		Kindler & Bain, 1993
Florida	-82.08	26.73	Bc, ilot	Ar ac		Sub Tr	0.5	sea wat. evap.	Multer, 1971
Red Sea (Gulf of Aqaba)	34.7	28.29	Bc, ilot	Ar ac		Sub Tr	0.6	biol	Nesteroff, 1955
Great Barrier Reef	146.11	- 18.07	Bc, ilot	Ar ac, Mg-C micr			0.1	mix with fr. wat	Scoffin, 1983

<i>Location</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Beach sediment</i>	<i>Type of cement</i>	<i>Estimated age</i>	<i>Climate</i>	<i>Tidal Range (m)</i>	<i>Proposed formation reason</i>	<i>Reference</i>
US Virgin Island	-64.76	17.7	Bc, volc	Ar ac, pel, Mg pal			0.30-0.35	biol, phys/chem fact deg	Moore, 1977
Canary islands	≈-17.87	≈28.5	Volc	Ar fibr	34003 – 1588 BP	Sub- Tr	1.2-1.3		Calvet, 2003
Mozambique	35.34	-22.05	Bc	Ar fibr	1076 – 756 BP	Sub Tr	3.3		Siesser, 1974
Shark Bay, W. Australia	113.72	-25.85	Bc	Ar micr			1.7	biol, sea wat. evap.	Logan, 1974
Qatar, Persian Gulf	50.88	25.59	Bc	Ar micr ac, pel, Mg-C pal		Sub Tr	1.5	biol, phys/chem fact	Taylor & Illing, 1969
Floreana bay, Galapagos	-90.87	-0.89	Volc	Ar, micr, ac					Prager, 1991
Heron Island, Great Barrier Reef	151.7	-23.3	Bc, ilot	Ar, micr ac			0.1		Davies & Kinsey, 1973
Bahamas	-75.31	23.64	Bc, volc	Ar, micr ac, Mg-C pal		Sub Tr	1		Whittle et al, 1993
Bahamas	≈-74.5	≈24.1	Bc calc	Ar, micr, ac		Sub Tr	1		Beier, 1985
Northern Corsica	9.15	41.38		Ar, micr, ac	33 - 2006 BP	Med, 13-23 C (water)	0.2	biol, mix with fr. wat., hyp alk biol	Bernier 1997
French Polynisia	-149.79	-17.47	Bc, volc	Ar, micr, ac					Bernier et al, 1990- Bernier 1996
Crete, Greece	25.45	35.29		C		Med	<0.1	precip from fr. wat. deg	Boekschoten, 1962
US Virgin Island	-64.57	17.76	Bc	C			0.30-0.35		Hanor, 1978
S Wales	-4.17	51.55		C		T	7		Hird & Tucker, 1988
Hong Kong	114.2	22.17		C		Sub Tr	1-1.5		Hsi-Lin
Keeling Islands	96.82	-12.18	Calc	C			<0.1	precip from fr. wat.	Russell & McIntire, 1965
Mauritius	≈57.6	≈-20		C			0.6-1.2	precip from fr. wat.	Russell & McIntire, 1965
Seychelles	55.53	-4.79	Calc	C			1.5	precip from fr. wat.	Russell & McIntire, 1965
Anabyssos, Greece	23.91	37.75		C		Med	<0.1	precip from fr. wat.	Russell, 1962
Barcelona, Spain	2.24	41.43		C		Med	0.8	precip from fr. wat.	Russell, 1962
Rabat, Morocco	-6.79	34.09		C		T	3.5	precip from fr. wat.	Russell, 1962
South Carolina	-79.73	32.79		C		T	2.3	precip from fr. wat.	Russell, 1962
St George, West Indian	-61.85	17.15		C		Sub Tr	0.3 – 0.9	precip from fr. wat.	Russell, 1962
Voula, Greece	23.72	37.87		C		Sub Tr	<0.1	precip from fr. wat.	Russell, 1962
Ikaria, Greece	26.09	37.64		C		Med	<0.1	precip from fr. wat.	Russell, 1962, 1963
Fiji	178.6	-17.69	Sand	C			1.9	precip from fr. wat.	Russell, 1963
Galicia, Spain	-9.06	42.57		C ac	2199 – 1523 BP	T hum	3.25	deg & sea wat. evap.	Rey et al, 2004
North Uist, Scotland	-7.27	57.66	quartz and glauconite	Ar, C		T 4,9-5,6 C (water)	3-4	pre-exist. of cem., biol., deg.	Kneale, 2000
NE, S Africa	18.6	-34.07	Quartz, Bc sand	Ar, C, micr/fibr	>25000 BP		1-2	sea wat. evap.	Siesser, 1974

<i>Location</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Beach sediment</i>	<i>Type of cement</i>	<i>Estimated age</i>	<i>Climate</i>	<i>Tidal Range (m)</i>	<i>Proposed formation reason</i>	<i>Reference</i>
Castiglione, Italy	11.19	42.5		High Mg-C		Med	<0.1	sea wat. precip.	Alexandersson, 1969, 1972
Karpathos, Greece	27.18	35.6		High Mg-C		Med	<0.1	sea wat. precip.	Alexandersson, 1969, 1972
Rhodos, Greece	27.73	36		High Mg-C		Med	<0.1	sea wat. precip.	Alexandersson, 1969, 1972
Valencia, Spain	-0.29	39.3		High Mg-C		Med	<0.1	sea wat. precip.	Alexandersson, 1969, 1972
Stazousa, Cyprus	33.56	34.8		High Mg-C		Med	<0.1	sea wat. precip.	Alexandersson, 1972
Canary Islands	≈-14	≈-28.3	Volc sand	Ar, high Mg-C		Sub Tr	1.8-4.5	sea wat. evap.	Tietz & Muller, 1971
SE Michigan	-83	42.3		low Mg-C		T		deg	Binkley 1980
St Martin's Island, Bangladesh	91.07	22.35		low Mg-C, needles		Sub Tr	3-6	3 stages of development	Chowdhury, 1997
Siesta Key, Florida	-82.62	27.74		low Mg-C, spar	4003 – 2106 BP	Sub Tr	2.1		Spurgeon, 1997
Alexandria	29.94	31.22		Mg- C micr		Med	<0.1	precip. from mar. wat.	El-Sayed, 1988· Holail & Rashed, 1992
Coast of Israel	34.79	32.16	Bc	Mg-C		Med	0.4		Magaritz et al, 1979
Egypt Red Sea coast	34.29	26.08	Bc calc	Ar ac, Mg-C micr		Sub Tr	0.6		Mansour, 1993
Egypt Red Sea and Med coast	≈36.1	≈26.8		Ar ac, Mg-C micr		Sub Tr	<0.1	precip. from mar. wat.	Holail & Rashed, 1992
Togo coastline W Africa	1.44	6.17	Silicic, cordon	Mg-C micr, pal, Pel		Tr			Amieux et al, 1989
Maui, Hawaii	-	20.93	Bc, volc	Mg-C micr, pel, pal			3	deg	Meyers, 1987
Corinth, Greece	22.96	37.96	Calc, ign	Ar, Mg-C		Med 13-23 C (water) T	0.3		Dunkel et al, 1988
Alepou Bay, Bulgaria	27.71	42.36	cordon	Mg-C, pal, micr			0.1-0.2		Georgiev, 1989
Lake Taupo, New Zealand	176	-38.8	Volc, diatoms	Silica				mix of lake wat. with hot therm. wat	Jones et al, 1997
Jamaica	-77.99	18.44	Bc calc	Various types		Sub Tr	1.5	deg	Pigott & Trumbly, 1985
East Lome, Togo	1.23	6.1				Tr		biol	Bernier 1996
Ierapetra, Crete	25.7	35				Med	0.2	biol	Bernier 1996
Syria	35.89	35.87				Med	0.2	biol	Bernier 1996
Delos	25.15	37.2				Med	0.2	biol	Bernier 1996· Bernier & Dalongeville, 1988
NE Brazil	≈-36.1	≈-5.08			3330 BP	Tr	2.8		Caldas et al, 2006
Queensland, Australia	152.41	-24.1	Bioclastic, ilot				2.6		Chivas et al, 1986
Ceylon	81.31	6.19	Quartz sand			Tr	0.7	precip from fr. wat.	Cooray, 1968
Tonga	-	-21.2					1.5-1.6		Dickinson et al 1999

<i>Location</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Beach sediment</i>	<i>Type of cement</i>	<i>Estimated age</i>	<i>Climate</i>	<i>Tidal Range (m)</i>	<i>Proposed formation reason</i>	<i>Reference</i>
Samoa island	-	-					1.5-1.6		Dickinson, 1998
Tuvalu	172.05	13.86				Tr	1.5-1.6		Dickinson, 1999
Myconos island, Greece	25.2	37.2				Med	<0.1		Fouache & Dalongeville, 2003
Pheia, Greece	21.18	37.39				Med	<0.1		Fouache & Dalongeville, 2003
Rhenia island, Greece	25.3	37.2				Med	<0.1		Fouache & Dalongeville, 2003
Kokwe island, Kenya	36.07	0.62	Volc, diatoms			Tr	1-3		Jones et al, 1997
Gulf of Aqaba	34.41	28.26	Bc calc			Sub Tr	0.6	biol, phys/chem fact	Krumbein, 1979
Barbados, West Indies	-59.44	13.17	Calc			Sub Tr	1.1		McLean, 1967
Lake basin, SW England	-2.99	51.32	oolitic breccia			T			Milroy & Wright, 2000
Crete, Greece	≈25	≈35			9000 – 111 BP	Med	<0.1		Neumeier, 1998
Peloponissos, Greece	≈22.6	≈37				Med	<0.1		Neumeier, 1998
Stereia Ellada, Greece	≈23.5	≈38				Med	<0.1		Neumeier, 1998
Modern Godavari delta	82.19	16.51				Sb Tr humid	2		Ramkumar et al, 2000
Marshall Islands	162.15	11.3					1	mix with fr. wat	Schmalz, 1971

## 2.1 Μορφολογικά, ιζηματολογικά και βιολογικά χαρακτηριστικά

Οι διαστάσεις των ΠΨ παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση (μήκος από μερικά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα, εύρος από λιγότερο από ένα μέτρο έως 300-400 μέτρα και πάχος από 0.3 έως 3 μέτρα). Η διαγένεση τους λαμβάνει χώρα στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη αλλά μπορεί να συνεχίζεται προς τα ενδότερα της παραλίας κάτω από τα χαλαρά ιζήματα (Russell and McIntire, 1965· El Sated, 1988α· Plomaritis, 1999). Οι σχηματισμοί παρουσιάζουν επίπεδες στρώσεις που κλίνουν προς την θάλασσα, είτε με την γενική (π.χ. Moore, 1973· Bodyukova and Svitoch, 1986), είτε με μεγαλύτερη κλίση (5° -15°) από αυτή της υπόλοιπης παραλίας (Russell, 1962· Russell and McIntire, 1965· Beier, 1985· Chowdhury et al, 1997· Plomaritis, 1999). Οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από ζωνοποίηση, με τις παλαιότερες (εξωτερικές) ζώνες να βρίσκονται προς τη μεριά της θάλασσας και τις νεώτερες (εσωτερικές) προς την χέρσο (Russell, 1959, Strasser et al, 1989). Οι νεώτερες ζώνες παραλιακών ψαμμιτών

βρίσκονται στα αρχικά στάδια διαγένεσης με συγκολλητικό υλικό μόνο κοντά στις επαφές των κόκκων (πορώδες 42% έως 55%), ενώ οι παλαιότερες είναι σκληρότερες και τραχύτερες, σε πιο προχωρημένο στάδιο διαγένεσης, με τους πόρους μεταξύ των κόκκων να έχουν γεμίσει με συγκολλητικό υλικό (πορώδες 15-35%) και με χαρακτηριστικά μηχανικής, βιολογικής και χημικής διάβρωσης (ρωγμές, κοιλότητες, διάυλους κ.α.) (Ginsburg, 1953· McLean, 1967· Alexandersson, 1969· Milliman, 1974· Plomaritis, 1999). Οι παραλιακοί ψαμμίτες δημιουργούν περιβάλλοντα κατάλληλα για αποίκηση από αλλόχθονους οργανισμούς. Οι διάφορες ζώνες τους υποστηρίζουν διαφορετικά είδη, με τις εσωτερικές ζώνες αποικούμενες κυρίως από κυανόφυτα ενώ οι εξωτερικές από ροδόφυτα, γαστερόποδα, μαλάκια κλπ. (Russell, 1959· Davies and Kinsey, 1973· El-Sated and Abou Auf, 1995· Plomaritis, 1999).

Από την μελέτη των βενθικών βιοκοινοτήτων που εξαπλώνονται στην επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών που εμφανίζονται στην παραλία των Βατερών (Makrykosta et al, 2006), φάνηκε ότι η ανάπτυξη των σχηματισμών σε μια περιοχή αλλάζει αμετάκλητα την οικολογία της γύρω τους περιοχής. Συνολικά στα Βατερά αναγνωρίστηκαν 38 τάξα από το Φυτικό (Φαιοφύκη, Ροδοφύκη) και Ζωικό (Δακτυλιοσκώληκες, Μαλάκια, Καρκινοειδή, Σωληνοειδή, Εχινόδερμα, Ασκίδια) Βασίλειο, που στη συντριπτική τους πλειοψηφία είναι χαρακτηριστικοί κάτοικοι σκληρού υποστρώματος. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων έδειξε ότι αν και η πληθυσμιακή πυκνότητα και βιομάζα μειώνονται γενικά προς τα μικρότερα βάθη, η μείωση αυτή είναι σημαντικά μικρότερη τη θερινή περίοδο. Επίσης, η μέση πληθυσμιακή πυκνότητα των πλάνητων οργανισμών αυξάνεται στα μεγαλύτερα βάθη, ιδιαίτερα την άνοιξη. Οι κατανομές αυτές μπορεί να είναι αποτέλεσμα αφενός μεν του κύκλου ζωής των οργανισμών (μέγιστη ανάπτυξή τους τη θερινή περίοδο) και αφετέρου της επίδρασης των κυματισμών. Πράγματι, τα αποτελέσματα ενός μονοδιάστατου κυματικού υδροδυναμικού μοντέλου που εφαρμόστηκε στην περιοχή μελέτης, έδειξαν ότι η διατμητική τάση πυθμένα (δηλ. δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας) λόγω κυματισμών συσχετίζεται αρνητικά, τόσο με την πληθυσμιακή πυκνότητα όσο και με τη βιομάζα των βενθικών οργανισμών.

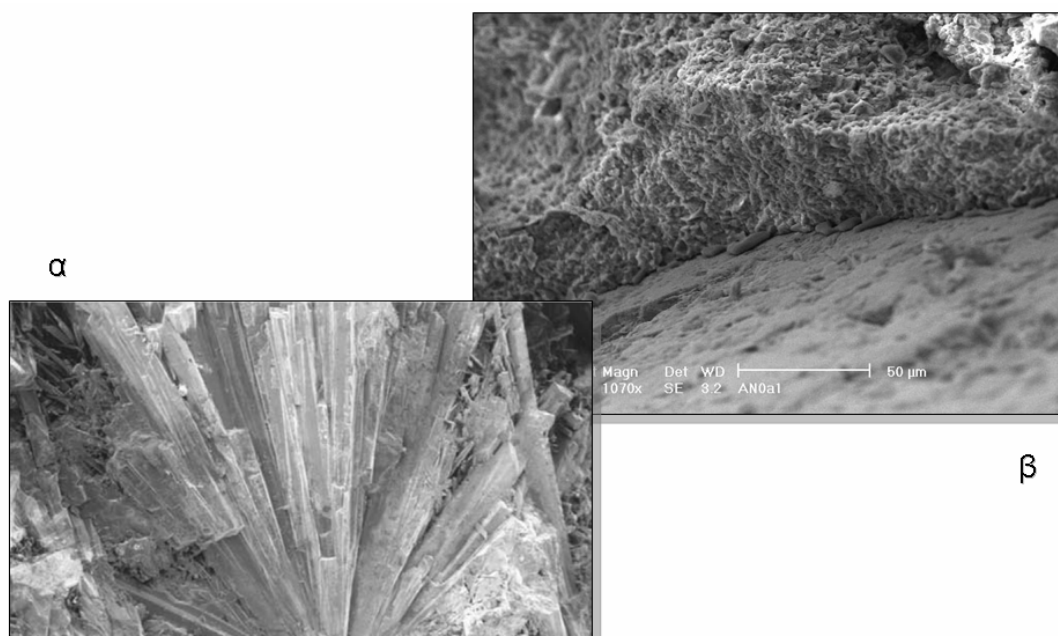
## **2.2 Υφή του υλικού συνεκτικοποίησης**

Το συνδετικό υλικό των παραλιακών ψαμμιτών αποτελείται κυρίως από  $\text{CaCO}_3$ , που συνήθως είναι ρομβοεδρικό (calcite) ή ορθορομβικό (aragonite), ανάλογα με την θερ-

μοκρασία, το pH και την παρουσία άλλων στοιχείων (π.χ. Mg) (Milliman, 1974). Η παρουσία αραγωνιτικού ή ασβεστιτικού συνδετικού υλικού μας δίνει πληροφορίες για την προέλευση των ψαμμιτών, μια και το ασβεστιτικό συνήθως κατακρημνίζεται από γλυκό νερό, ενώ το αραγωνιτικό από αλμυρό (Stoddart and Cann, 1965).

Τα ανθρακικά μέταλλα συνήθως περιέχουν πρόσθετα κατιόντα στο πλέγμα τους και που στον αραγωνιτικό άνθρακα είναι συνήθως μεγάλα, ενώ στον ασβεστιτικό άνθρακα μικρά. Πολύ συχνή είναι η παρουσία κατιόντος Mg, που μπορεί να μεταβάλει σημαντικά την διαλυτότητα του συγκολλητικού υλικού, ευνοώντας την κατακρήμνισή του (Alexandersson, 1969). Παρόλα αυτά αν η περιεκτικότητα του ασβεστιτικού υλικού σε  $MgCO_3$  είναι υψηλή (πάνω από 10-15 % κατά mole), τότε η διαλυτότητα στο θαλασσινό νερό αυξάνει αισθητά σε σχέση με αυτή του αραγωνιτικού, με αποτέλεσμα την μη καθίζηση στο αλμυρό νερό, ασβεστιτικού υλικού με υψηλό περιεχόμενο Mg (Milliman, 1974).

Επιπλέον ο τύπος του συγκολλητικού υλικού καθορίζει και τον τρόπο που καταλαμβάνονται οι πόροι του ιζήματος. Στο ασβεστιτικό υλικό σχηματίζονται διαδοχικές λεπτές στρώσεις γύρω από τους κόκκους (Russell, 1962), ενώ στο αραγωνιτικό σχηματίζονται βελονοειδείς κρύσταλλοι, κάθετοι στην επιφάνεια των κόκκων (βλέπε Εικόνα 2-2) (Ginsburg, 1953· Siesser, 1974· Beier, 1985· Chowdhurg et al, 1997).

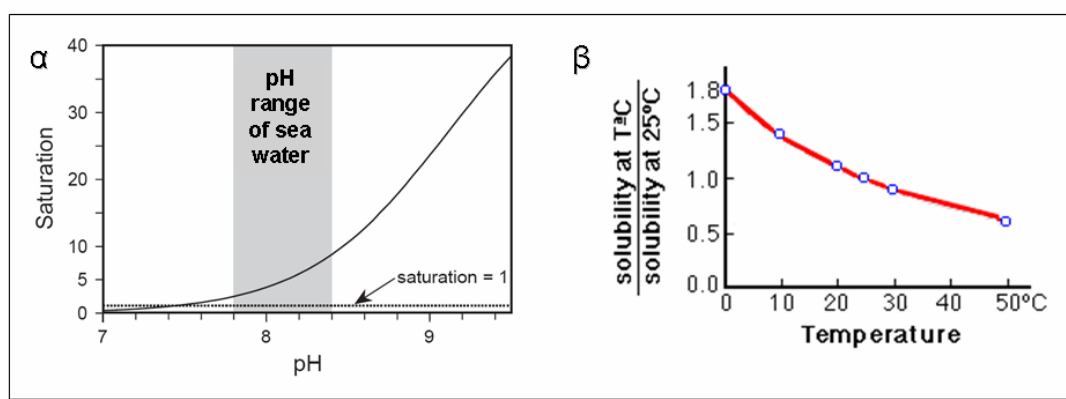


**Εικόνα 2-2** Φωτογραφίες σχηματισμών παραλιακών ψαμμιτών από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Διακρίνονται οι βελονοειδείς κρύσταλλοι αραγωνιτικού συγκολλητικού υλικού (α) και ασβεστιτικό υλικό (β) σε στρώσεις (φωτογραφίες από Ίσσαρης, 2005).

### 2.3 Μηχανισμοί δημιουργίας

Οι παραλιακοί ψαμμίτες διακρίνονται σε: (i) σχηματισμούς που βρίσκονται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και (ii) σχηματισμούς στην υπερπαλιρροιακή ζώνη. Οι πρώτοι (beach sandstones) αποτελούνται από συνεκτικοποιημένα ιζήματα λόγω χημικών αντιδράσεων που σχετίζονται με το θαλασσινό νερό, ενώ οι δεύτεροι (cay sandstones), που σχηματίζονται πάνω από την ψηλότερη στάθμη της θάλασσας, προκύπτουν από καθίζηση συγκολλητικού υλικού από μετεωρικό (γλυκό) νερό (Bathurst, 1975). Οι παραπάνω διαφορετικοί τύποι συνεκτικοποίησης μπορεί να λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους και για αυτό τον λόγο δεν αναφέρονται ξεχωριστά στην βιβλιογραφία.

Η συνεκτικοποίηση του ιζήματος εξαρτάται ισχυρά από το πορώδες του, τον μηχανισμό παροχής συγκολλητικού υλικού (Marshall and Davies, 1981) και την υδροδυναμική ενέργεια που παρέχεται στο παράλιο σύστημα. Ιζήματα με μεγάλο πορώδες είναι πιο επιρρεπή στην συνεκτικοποίηση, με ρυθμό που εξαρτάται από τον βαθμό υπερκορεσμού σε  $\text{CaCO}_3$ . Επίσης παρόλο που η συνεκτικοποίηση λαμβάνει χώρα σε υψηλής ενέργειας υποπαλιρροιακά περιβάλλοντα, η παρουσία περίσσειας κυματικής ενέργειας περιορίζει την διεργασία διαγένεσης, μια και η έντονη ανατάραξη του ιζήματος εμποδίζει την συνεκτικοποίηση του (Harris, 1978· Dravis, 1979). Επιπλέον είναι σημαντικό ότι έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στην χημεία του θαλασσινού νερού στους πόρους των ιζημάτων πριν από την συνεκτικοποίηση, όπως εμπλουτισμός σε  $\text{Ca}^{++}$  και ελάττωση των ιόντων  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}_2^+$  και  $\text{SO}_4^-$  (Bourrouilh-Le Jan, 1997).

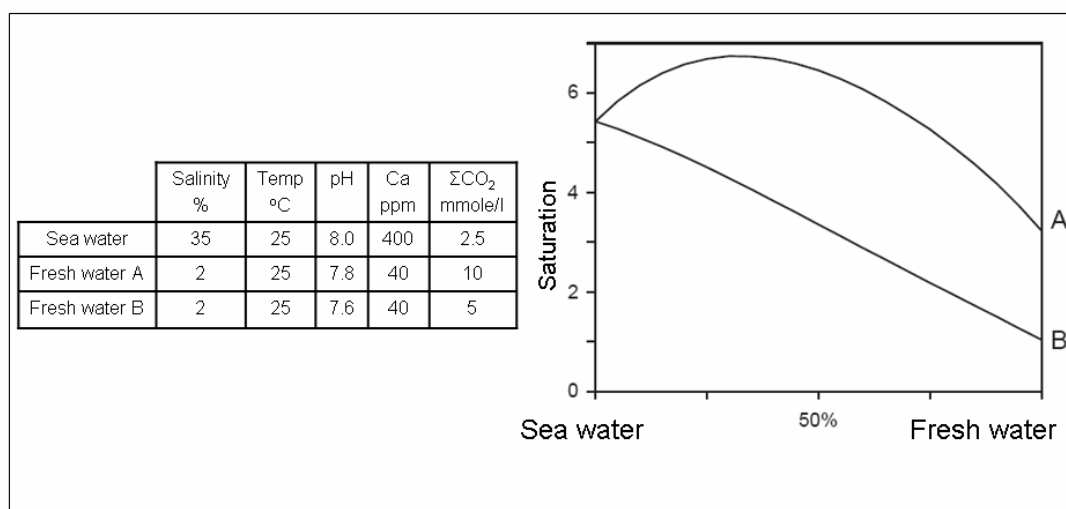


**Σχήμα 2-2** Εξάρτηση της διαλυτότητας του νερού σε  $\text{CaCO}_3$  από το pH (α) (Neumeier, 1998) και από την θερμοκρασία του νερού (β) (<http://edafologia.ugr.es/carbonat/paramew.htm>).

Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες για την δημιουργία των ΠΨ, για την εγκυρότητα των οποίων δεν υπάρχουν ακόμα επιστημονικές αποδείξεις. Σύμφωνα με αυτές το φαινόμενο μπορεί να συμβαίνει:

(α) Λόγω άμεσης καθίζησης συγκολλητικού υλικού από το θαλάσσιο νερό μετά από αύξηση της θερμοκρασίας (π.χ. Ginsburg, 1953). Η άμεση καθίζηση από το θαλάσσιο νερό λαμβάνει χώρα όταν το τελευταίο είναι κορεσμένο σε  $\text{CaCO}_3$  και επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες, που αφορούν αυξημένη θερμοκρασία στο νερό και τα ιζήματα της παράκτιας ζώνης και συνεπώς μειωμένη διαλυτότητα σε  $\text{CaCO}_3$  (βλέπε Σχήμα 2-2(β)· Ginsburg, 1953)

(β) Λόγω της μείξης των υπογείων θαλασσίων και μετεωρικών (γλυκών) νερών που αλλάζει την διαλυτότητα του  $\text{CaCO}_3$  (π.χ. Moore, 1973· Milliman, 1974). Η μίξη αυτή λαμβάνει χώρα στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, προκαλώντας την μείωση της θερμοδυναμικής σταθεράς διαλυτότητας του  $\text{CaCO}_3$ , λόγω μειωμένης αλατότητας και αυξημένης θερμοκρασίας, οδηγώντας στην καθίζηση των συγκολλητικού υλικού (βλέπε Σχήμα 2-3).



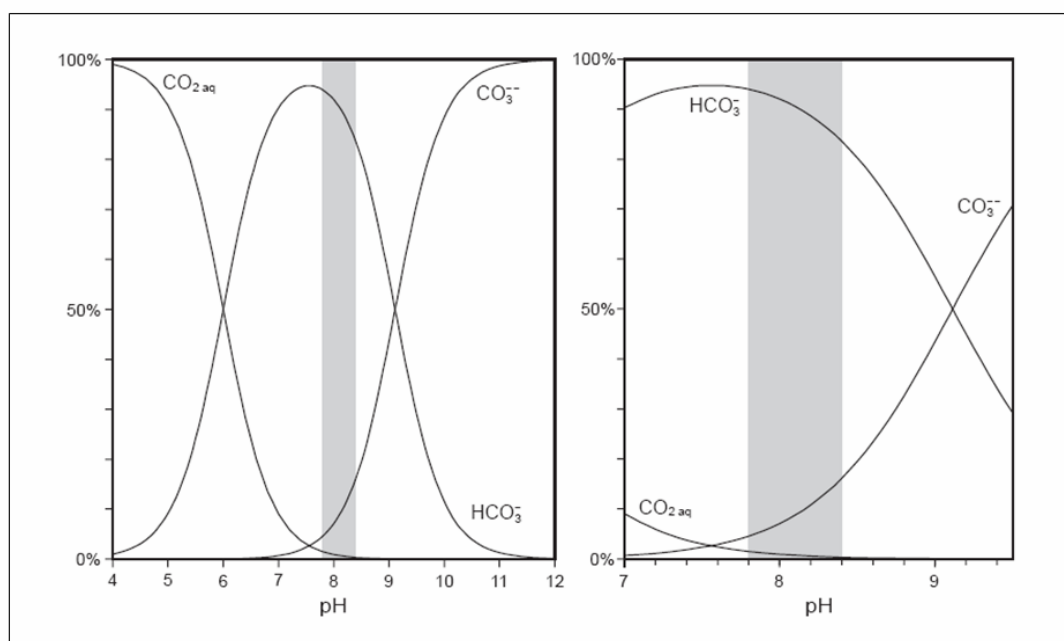
**Σχήμα 2-3** Επίδραση της αλατότητας στην διαλυτότητα του νερού σε  $\text{CaCO}_3$  και μεταβολή του σημείου κορεσμού λόγω μείξης γλυκού και αλμυρού νερού. (Neumeier, 1998).

(γ) Λόγω της διαπίδυσης/εξάτμισης γλυκού νερού εμπλουτισμένου σε  $\text{CaCO}_3$  από τον υδροφόρο ορίζοντα ανύδρων (arid) περιοχών, με σημαντικές εποχιακές/ημερήσιες αλλαγές θερμοκρασίας (π.χ. Russell and McIntire, 1965· Stoddard and Cann, 1965). Η θεωρία αυτή ήταν μια από τις πρώτες που διατυπώθηκαν για να ερμηνεύσουν την δημιουργία παραλιακών ψαμμιτών (Russell, 1959, 1962, 1963, 1967· Jones 1961·



Deboo, 1962) και υπήρξε αντικείμενο έντονης αμφισβήτησης (Stoddard and Cann, 1965· Milliman, 1974). Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, η διεργασία ξεκινά στον άνω όριο των υπόγειων παραλιακών υδάτων, περιοχή όπου διαφοροποιούνται σημαντικά η υφή και η επίστρωση των ιζημάτων. Η θερμοκρασία των τελευταίων αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα και ευνοεί την καθίζηση, όταν ξεπερνά τους 20°C για τουλάχιστον την μισή διάρκεια του έτους (Russell and McIntire, 1965). Συνεπώς για πλάτη μεγαλύτερα από 20° N ή 20° S, η εποχιακή αύξηση της θερμοκρασίας των υπόγειων νερών είναι πολύ σημαντική.

Καθώς η χημεία των υπόγειων νερών εξαρτάται από την τοπική λιθολογία, η παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων στην περιοχή συνεργεί στο κορεσμό σε CaCO<sub>3</sub>. Για παράδειγμα, στην Ικαρία ψαμμίτες εμφανίζονται μόνο σε ακτές με εκτεταμένους ανθρακικούς σχηματισμούς (π.χ. ασβεστόλιθους, μάρμαρα). Παρόλα αυτά έχουν παρατηρηθεί εμφανίσεις ψαμμιτών και σε περιοχές χωρίς ανθρακικούς σχηματισμούς όπως για παράδειγμα στην Χαβάη (Russell, 1962).



**Σχήμα 2-4** Σχέση του pH με την περιεκτικότητα του νερού σε ανθρακικά ιόντα και διοξείδιο του άνθρακα (Neumeier, 1998).

(δ) Λόγω της απομάκρυνσης του διοξειδίου του άνθρακα (degassing) από το γλυκό νερό (βλέπε Σχήμα 2-4) υδροφόρων οριζόντων που περιέχουν διαλυμένο CaCO<sub>3</sub> σε μεγάλες συγκεντρώσεις (Hanor, 1978). Ο πρώτος που διατύπωσε την άποψη ότι η απελευθέρωση CO<sub>2</sub> από κορεσμένα σε άνθρακα υπόγεια νερά μπορεί να επηρεάσει

την συνεκτικοποίηση των ιζημάτων ήταν ο Field (1919). Ακολούθησαν διάφορες σχετικές έρευνες (Daly, 1924· Russell, 1970) και ο Hanor (1978) έκανε την ολοκληρωμένη διατύπωση της θεωρίας, που είναι και η πιο πρόσφατη. Ο Hanor υποστηρίζει ότι η κατακόρυφη διασπορά υγρού ή αερίου στην ζώνη του φρεατικού υδροφόρου ορίζοντα, που προκύπτει από την παλιρροιακή ταλάντωση του υδροφόρου, επαρκεί για να προκαλέσει την εξαγωγή (degassing) CO<sub>2</sub> από τα υπόγεια νερά που ρέουν προς την θάλασσα. Η απώλεια CO<sub>2</sub> επιτείνεται από την παλιρροιακή άντληση της αέριας φάσης, κατά μήκος της διαφασικής περιοχής (vadose zone). Καθώς το πορώδες του ιζήματος μειώνεται από την καθίζηση του συγκολλητικού υλικού, η ικανότητα εξαγωγής CO<sub>2</sub> και δημιουργίας νέου υλικού μειώνεται. (Hanor, 1978). Βασικός παράγοντας για την διεργασία αυτή είναι ο ικανός χρόνος παραμονής των νερών σε περιοχές της χέρσου, ώστε να δημιουργείται μεγάλη πίεση CO<sub>2</sub> (P<sub>CO2</sub>) και διαλυμένο CaCO<sub>3</sub>, αλλά και στην περιοχή προς την ακτή, ώστε να λαμβάνει χώρα η εξαγωγή CO<sub>2</sub> (πριν το νερό καταλήξει στην θάλασσα· Russell and McIntire, 1965· Matthews, 1971· Hanor, 1978). Αυτή είναι η τυπική περίπτωση για τροπικά κλίματα, όπου οι εποχιακές βροχοπτώσεις προκαλούν επεισοδιακές διακυμάνσεις στην εκβολή υπόγειων νερών (Hanor, 1978).

Το πλεονέκτημα της θεωρίας σε σχέση με τις προηγούμενες έγκειται στο γεγονός ότι δεν προϋποθέτει παρουσία μόνιμου υδροφόρου ορίζοντα. Έτσι μπορεί να δικαιολογήσει την δημιουργία ΠΨ σε μικρά νησιά, με μοναδικό όρο την ύπαρξη θετικής μέσης ροής προς την θάλασσα, ώστε να επιτευχθεί επεισοδιακή, ή συνεχής δημιουργία συγκολλητικού υλικού.

(ε) Λόγω βιογεωχημικών διεργασιών (Davies and Kinsey, 1973· Neumeier, 1999) διάφορες οργανικές διεργασίες όπως η μικροβιακή δράση (Nesteroff, 1954· Guilcher, 1961· Puri and Collier, 1967· Neumeier, 1999), η αποσύνθεση οργανικής ύλης (Field, 1920· Daly, 1920, 1924) και η συνεκτική δράση επικαθήμενων αλγών (Cloud, 1959· Maxwell, 1962), έχουν προταθεί ως ικανές για την δημιουργία ΠΨ. Από την άλλη η θεωρία αυτή έχει απορριφθεί από τον Milliman (1974), με επιχείρημα την ύπαρξη πολλών εμφανίσεων πάνω σε άμμο, που έχει πολύ μικρό οργανικό φορτίο, αλλά και την απουσία αλγών στο εσωτερικό των σχηματισμών. Οι Davies and Kinsey, (1973) κατέληξαν σε αντίστοιχα συμπεράσματα μελετώντας τις εμφανίσεις στο Heron Island, Αυστραλία. Παρόλα αυτά, έχει παρατηρηθεί ότι η μικροβιακή δράση μπορεί

να βοηθήσει την καταβύθιση  $\text{CaCO}_3$  (λόγω εξαγωγής  $\text{CO}_2$ ), μια και ελέγχει την πίεση του  $\text{CO}_2$  (Hanor, 1978).

## 2.4 Πηγές άνθρακα

Συνήθως, τα κελύφη και άλλα υλικά που βρίσκονται στην περιοχή αποτελούν την κύρια πηγή άνθρακα και του οξυγόνου των μετεωρικών νερών, για την δημιουργία του συγκολλητικού υλικού. Δεδομένου ότι τα τελευταία βρίσκονται συνήθως σε αφθονία σε περιοχές απομακρυσμένες από το μέτωπο της ακτής, η πιο πιθανή εκδοχή είναι ότι το βιογενετικό υλικό διαλύεται και επαναποτίθεται σαν ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό. Τα περισσότερα από αυτά τα κελύφη ήταν αρχικά αραγωνιτικά και για αυτόν τον λόγο διαλύονται εύκολα σε μετεωρικό νερό.

Άλλη πηγή άνθρακα είναι η εσωτερική αναδιανομή μέσα στο ίζημα με διάλυση-καθίζηση κόκκων άνθρακα μετά την φάση σταθεροποίησης τους, είτε λόγω βακτηριακής οξειδωσης οργανικής ύλης, είτε από νερό των πόρων, μη κορεσμένο σε αραγωνίτη ή/και ασβεσίτη με μεγάλη περιεκτικότητα σε Mg. Γενικά οι πηγές άνθρακα για το ασβεστιτικό συγκολλητικό υλικό είναι βιογενετικός άνθρακας, θραύσματα ανθρακικών πετρωμάτων (carbonate rock clasts) και οργανική ύλη στο έδαφος (James and Choquette, 1990· Walderhaug and Bjorkum, 1992· South and Talbot, 2000).

## 2.5 Επιπτώσεις παραλιακών ψαμμιτών

### 2.5.1 Παράκτια μορφοδυναμική

Η πρώτη επίσημη αναφορά πάνω στις επιπτώσεις των ΠΨ στην παράκτια μορφοδυναμική, έγινε από τον Cooper (1991), ο οποίος εστιάζοντας κυρίως σε μεγάλες χρονικές κλίμακες (τουλάχιστον αρκετά χρόνια), τους χαρακτηρίζει ως «καταβόθρες ιζηματοσ» (sediment sink) και εντοπίζει τις σημαντικότερες αλλαγές που επιφέρουν στις ακτές, στις ακόλουθες:

**Μείωση της διαθέσιμης ποσότητας ιζημάτων στην ακτή.** Μπορεί αρχικά η συνεκτικοποίηση να λαμβάνει χώρα στα θαμμένα στρώματα υλικού, που δεν συμμετέχουν στις διεργασίες μεταφοράς, όμως με το πέρασ του χρόνου συνεχίζεται και προς τα πάνω, μειώνοντας τον όγκο των διαθέσιμων για κίνηση χαλαρών υλικών. Κάτι τέτοιο σύμφωνα με τον Cooper, μπορεί να συντελέσει στην υποχώρηση της ακτογραμμής, ακόμα και αν η στάθμη της θάλασσας παραμείνει αμετάβλητη. Επίσης από υπολογισμούς που αφορούσαν την ακτή Zululand της Νοτίου Αφρικής, ο συνολικός όγκος

των σχηματισμών εκτιμήθηκε περίπου ίσος με  $120.000 \text{ m}^3/\text{km}$  ακτογραμμής, ποσότητα που θεωρείται σημαντική για το ιζηματολογικό ισοζύγιο παράκτιας στερεομεταφοράς της συγκεκριμένης περιοχής. Επιπλέον από την ραδιοχρονολόγηση των ΠΨ ο Cooper υπολόγισε τον ετήσιο ρυθμό μείωσης του όγκου ιζημάτων, περίπου ίσο με  $14 \text{ m}^3/\text{km}\cdot\text{yr}$  και κατέληξε ότι το υλικό της παραλίας γινόταν όλο και πιο χονδρόκοκκο, κάτι που αποτελεί ένδειξη μειωμένης τροφοδοσίας και διάβρωσης.

**Μεταβολές στην παράκτια μορφολογία.** Η ιζηματομεταφορά κάθετα και παράλληλα στην ακτογραμμή, καθώς και η κίνηση του νερού μέσα από το πορώδες σώμα του πυθμένα, καθορίζουν σημαντικά της μορφοδυναμικές διεργασίες στην παράκτια ζώνη (Komar, 1998· Horn, 2002· Butt et al, 2001). Φαινόμενα όπως η συνεκτικοποίηση του πυθμένα μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο, μια και αλλάζουν την ισορροπία των δρώντων δυνάμεων, αλλοιώνοντας τους μηχανισμούς στερεομεταφοράς και μορφολογικής μεταβολής. Επιπλέον καθώς οι ΠΨ συχνά σχηματίζονται ανά περιοχές, εμποδίζουν την παράλληλη κυκλοφορία των ιζημάτων και προκαλούν μορφές και μεταβολές στην ακτογραμμή, ανάλογες με αυτές των έργων προστασίας ακτών, αλλοιώνοντας το αρχικά ομαλό σχήμα της. Ένα παράδειγμα δίνεται από τον Cooper (1991), που επισήμανε στην ακτή Zululand τον σχηματισμό μικρών κόλπων λογαριθμικού σχήματος κατάντη (downdrift) των κυριότερων σχηματισμών, στους οποίους αποδίδεται η εμφάνιση κυψελών κυκλοφορίας (coastal cells), Μάλιστα ο Cooper καταλήγει ότι η παρουσία ΠΨ και οι συνέπειες της στην παράκτια μορφοδυναμική εξέλιξη, περιπλέκει επιπλέον την ερμηνεία/πρόγνωση των μορφολογικών μεταβολών κάτω από τις τρέχουσες, αλλά και μελλοντικές κλιματικές συνθήκες (π.χ. άνοδος θαλάσσιας στάθμης και αύξηση συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων).

Οι Russell and McIntire (1965) αναφέρουν ότι μετά την έκθεση των ΠΨ στον κόλπο Mbusa (South Africa), αλλάζει ραγδαία η μορφοδυναμική συμπεριφορά της ακτής. Ο Russell (1959) αναφέρει την μείωση κατά περίπου ένα τέταρτο της εκτεθειμένης επιφάνειας ΠΨ στις ακτές των Puerto Rico, Antigua και Guadeloupe, κατά τους χειμερινούς μήνες, κάτι που αντιτίθεται στην αναμενόμενη εναλλαγή χειμερινής υποχώρησης-καλοκαιρινής προέλασης της παραλίας. Οι Vousdoukas et al (2005) επισημαίνουν την εμφάνιση παρόμοιας συμπεριφοράς στην ακτή των Βατερών (βλέπε επίσης κεφάλαιο 6).

Οι Thieler et al (1995) μελέτησαν την ακτή Wrightsville (North Carolina) καταλήγοντας ότι η παρουσία σκληρού υποστρώματος, επηρεάζει σημαντικά την μορφοδυνα-

μική και εμποδίζει την εκτίμηση του «αδρανούς βάθους» (closure depth), ενώ δεν είναι ξεκάθαρο αν αυτή απορροφά ή ενισχύει την κυματική ενέργεια. Οι Munoz-Perez et al (1999) παρατήρησαν ότι οι κυματισμοί που φτάνουν στην ακτή, διανύοντας αμμώδη πυθμένα, είναι υψηλότεροι από αυτούς που εμφανίζονται σε συνεκτικοποιημένο πυθμένα, ενώ ο Smith (2001), κατέληξε στο αντίθετο συμπέρασμα αναφέροντας ότι στην ακτή Gold Coast (Australia), η απορρόφηση κυματικής ενέργειας είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με αμμώδη πυθμένα. Τέλος, οι Norcross et al (2002) απέτυχαν να εφαρμόσουν την θεωρία του προφίλ ισορροπίας του Bruun (1954) για την ακτή Kailua που φιλοξενεί ΠΨ, κάτι που βέβαια είναι πολύ πιθανό να οφείλεται και σε άλλες αιτίες.

Οι Rey et al (2004) μελετώντας εμφανίσεις ΠΨ στις ακτές της Galicia, Spain, επισημαίνουν ότι για μικρές χρονικές κλίμακες, η έκθεση τους έχει αναμφισβήτητη επίδραση στην υδροδυναμική, ειδικά στον βαθμό που αυτή επιδρά στην παράκτια μορφοδυναμική εξέλιξη. Παρατηρήσεις πεδίου καταλήγουν στον εντοπισμό μιας «ανώμαλης» διαδικασίας διάβρωσης, ενώ για μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες, αποδίδουν την έκθεση των σχηματισμών κατά μήκος της ακτογραμμής, σε διατάραξη του ισοζυγίου ιζήματος στην ευρύτερη παράκτια περιοχή, όπως αυτό διαμορφώνεται από τις πηγές και τους μηχανισμούς μεταφοράς.

Από την άλλη, συχνά οι ΠΨ αναφέρονται σαν φυσική προστασία των ακτών από ακραία καιρικά φαινόμενα (βλέπε Rossi, 1988· Calvet et al, (2003), ειδικά σε ιδιαίτερα 'ευάλωτες' ακτές, όπως αυτές μικρών νήσων (π.χ. Chowdhury et al, 1995). Μάλιστα, ο Dickinson (1999) ισχυρίζεται ότι για τις ατόλες του κεντρικού Ειρηνικού η συνεκτικοποίηση των ιζημάτων και μάλιστα η προέλαση της, μπορεί να προστατέψει τα νησάκια από τον αφανισμό, στην περίπτωση που το σενάριο της κλιματικής αλλαγής, αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη και ανόδου της στάθμης της θάλασσας, πραγματοποιηθεί.

Στο χώρο των μαθηματικών μοντέλων, η μαθηματική προσομοίωση της μορφολογικής εξέλιξης παρουσία σκληρού πυθμένα, είναι μια περίπτωση που σπάνια αναφέρεται και η κυριότερη προσπάθεια είναι αυτή των Kraus and Larson (1998). Αναπτύσσοντας μια ειδικά τροποποιημένη μορφή του μοντέλου SBEACH, προσομοιώνουν την μεταβολή παραλιακών προφίλ με παρουσία στον πυθμένα σκληρών επιφανειών «hard-bottoms» και καταλήγουν ότι τέτοιες ακτές παρουσιάζουν πολύ διαφοροποιημένη μορφοδυναμική συμπεριφορά. Στις περιπτώσεις που εξετάζουν, οι «σκληροί

πυθμένες» μπορεί να βρίσκονται, είτε στο μέτωπο της ακτής, στο εύρος της στάθμης της θάλασσας, είτε σε βαθύτερες περιοχές, αποτελώντας συνεχείς, ή διακριτές επιφάνειες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εκτεταμένη διάβρωση προκύπτει στα όρια των «σκληρών» περιοχών και σε διάφορες περιπτώσεις σχηματίζονται «σκαλοπάτια υποσκαφής» όπως αυτά που παρατηρούνται σε πολλές ακτές με παρουσία ΠΨ. Οι Hanson and Militello (2005) κάνουν μια ανάλογη απόπειρα στις δύο διαστάσεις, τροποποιώντας το μοντέλο GENESIS και καταλήγουν ότι παρουσία μερικώς βραχώδη πυθμένα, παρατηρούνται λιγότερες περιοχές απόθεσης ιζήματος, κάτι που αποδίδουν στις περιορισμένες ποσότητες του τελευταίου.

Μια διαφορετική περίπτωση που είναι άξια αναφοράς είναι η τοποθέτηση κυματοειδών στρωμάτων στον πυθμένα (distorted ripple mats), σαν μέσο προστασίας από την διάβρωση της ακτής (Ono et al, 2004). Το στρώμα τοποθετείται στον πυθμένα λίγα μέτρα μακριά από το όριο της ακτής και μπορεί να παρομοιαστεί με μια παλιότερη εμφάνιση ΠΨ, από περιόδους που η στάθμη της θάλασσας ήταν χαμηλότερη. Εργαστηριακά πειράματα και μαθηματικές προσομοιώσεις δείχνουν ότι το σύστημα μετριάξει την διάβρωση του μετώπου της ακτής, προκαλώντας μικρότερη απομάκρυνση ιζήματος και σχηματισμό μεγαλύτερου υποθαλάσσιου υβώματος, ενώ κατάντη παρατηρείται η υποσκαφή του πυθμένα και ο σχηματισμός «σκαλοπατιού». Η διαφορά με την περίπτωση των ΠΨ έγκειται στην τοποθέτηση (οι ΠΨ σχηματίζονται κύρια στην ζώνη αναρρίχησης), καθώς και στο ειδικό σχήμα των distorted ripple mats, που αποσκοπεί στην μεγαλύτερη απορρόφηση της κυματικής ενέργειας.

### 2.5.2 Άλλες επιπτώσεις

Οι ΠΨ μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την οικολογία των παράκτιων περιοχών, καθώς η χλωρίδα και πανίδα που εμφανίζεται σε αμμώδη περιβάλλοντα, μπορεί να ‘αντικατασταθεί’ από αυτή που συνηθίζεται σε βραχώδη περιβάλλοντα. Στις περιπτώσεις των Ελληνικών νήσων, με τις περιορισμένου μήκους παραλίες, τα αποτελέσματα μπορεί να ιδιαίτερα σημαντικά, αφού η αποίκηση των σχηματισμών από αλλόχθονους οργανισμούς αυξάνει τις πιέσεις στις, ήδη εύθραυστες, αυτόχθονες βιοκοινωνίες των παραλίων με χαλαρά ιζήματα.

Επιπλέον, οι επιπτώσεις στην κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη των παρακτίων περιοχών μπορεί να είναι καταστροφικές, ιδιαίτερα στην περίπτωση των Ελληνικών νήσων των οποίων η οικονομία εξαρτάται από τον θερινό τουρισμό. Τα Ελληνικά νησιά χα-

ρακτηρίζονται (συνήθως) από παραλίες με μικρό μήκος και εύρος (rocket beaches), που είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην δημιουργία/ανάπτυξη των παραλιακών ψαμμιτών, που μπορεί, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, να μετατραπούν μερικώς, ή και ολικώς σε βραχώδεις ακτές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα (α) την αισθητική υποβάθμιση τους, (β) λειτουργικά προβλήματα όπως το γεγονός ότι η αποίκηση των ψαμμιτών από διάφορα είδη οργανισμών (και ιδιαίτερα από τα κυανοφύκη) κάνει ιδιαίτερα επικίνδυνη την διάβαση τους από τους λουόμενους, αυξάνοντας την πιθανότητα τραυματισμών και (γ) την αναγκαιότητα κατασκευής πισινών ακόμα και από πολύ μικρές ξενοδοχειακές μονάδες και ξενώνες (10-20 κλινών) με μεγάλο οικονομικό, αισθητικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα αποτελέσματα έρευνας ερωτηματολογίων που έλαβε χώρα στις προσβεβλημένες από ΠΨ ακτές των Βατερών και του Πλωμαρίου στην Ν. Λέσβο (Μακρυκώστα, 2006). Σκοπός της έρευνας ήταν να δώσει στοιχεία για τις επιπτώσεις των ΠΨ στον τουριστικό τομέα και να τονίσει την σημασία του προβλήματος, με βάση την τρέχουσα κατάσταση και το πώς αυτή γίνεται αντιληπτή από τους τουρίστες. Οι ερωτηθέντες ήταν αλλοδαποί τουρίστες, των οποίων το 70.2% είχαν αντιληφθεί την παρουσία των ΠΨ, ενώ 83% είχε πλήρη άγνοια του φαινομένου της δημιουργίας τους, ως μια φυσική διεργασία.

Για το 41.1% των ερωτηθέντων η παρουσία των ΠΨ επηρέασε αρνητικά την αξιολόγηση της παραλίας και στην υποθετική περίπτωση απουσίας των σχηματισμών, η αξιολόγηση της ακτής ήταν ψηλότερη για το 36.6% των περιπτώσεων. Τα αποτελέσματα των ερωτήσεων σχετικών με την αίσθηση κινδύνου από τους ΠΨ ήταν γενικά ουδέτερα, ενώ το 64.2% θεωρεί ότι οι τοπικές αρχές και η Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να πάρουν μέτρα για την προστασία των κολυμβητών. Το 50.9% θεωρεί ότι τα μέτρα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εμποδιστεί η 'προέλαση' του φαινομένου και το 55.4% του δείγματος είναι διατεθειμένο να συνεισφέρει και οικονομικά για την εκπόνηση σχετικής έρευνας, με ποσά που δείχνουν να μην σχετίζονται με το ετήσιο εισόδημα.

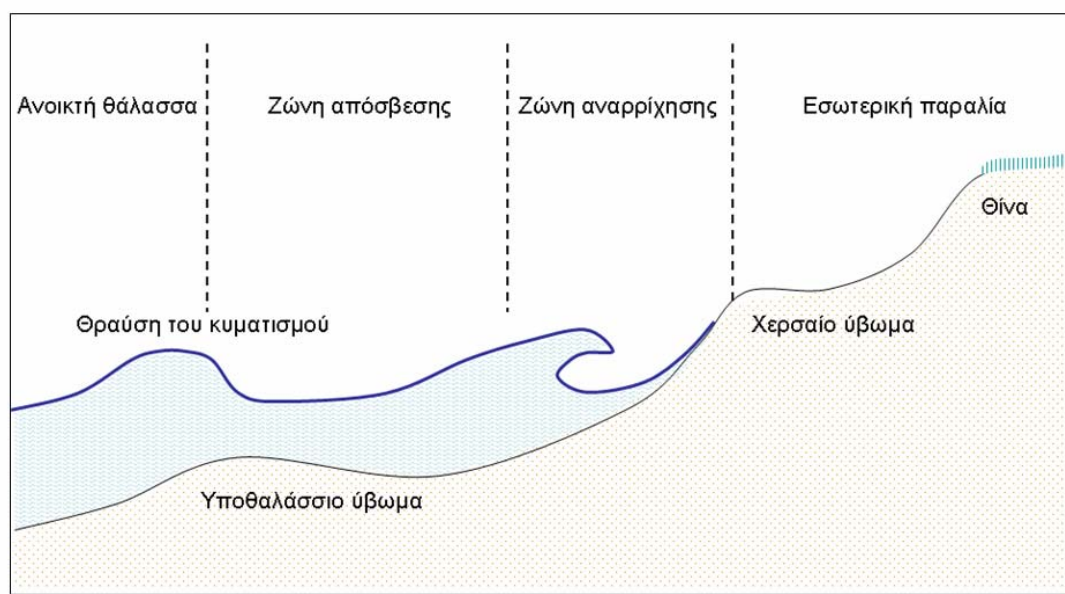
Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η εμφάνιση/εξάπλωση των ΠΨ μπορεί να αποτελέσει σοβαρό πλήγμα στον τουρισμό καταστρέφοντας έτσι ολοκληρωτικά τον μεγαλύτερο φυσικό πόρο των νησιών, αλλά και της χώρας που δεν είναι άλλος από την τουριστική αξιοποίηση των ακτών (Βελεγράκης et al, 2005).

### 3 Παράκτια Μορφοδυναμική και Μαθηματικά Μοντέλα

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στις μορφοδυναμικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη, εστιάζοντας στην περιγραφή τους και κυρίως στις μέχρι τώρα προσπάθειες μαθηματικής μοντελοποίησης τους.

#### 3.1 Το Παραλιακό Προφίλ και οι Μεταβολές του

Το γενικευμένο προφίλ των παραλιών αποτελείται από τμήματα (ζώνες) που ελέγχονται από την τοπική υδροδυναμική (και τις αιολικές διεργασίες ιζηματομεταφοράς) και το είδος των ιζημάτων. Αυτά ανήκουν τόσο στην χέρσο όσο και στον θαλάσσιο πυθμένα και ξεκινώντας από την ανοικτή θάλασσα είναι τα εξής (Σχήμα 3-1):



**Σχήμα 3-1** Μορφολογικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού παραλιακού προφίλ παλιρροιακής ακτής

Η ζώνη ανοιχτής θάλασσας είναι το τμήμα της παράκτιας ζώνης στην οποία τα κύματα δεν νιώθουν τον πυθμένα γιατί το βάθος είναι μεγάλο σε σύγκριση με το μήκος κύματος ( $d > L/2$ ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η διάδοση των κυματισμών να επηρεάζεται κύρια από τις ιδιότητες του θαλασσινού νερού και το ανεμολογικό καθεστώς.

Η ζώνη διάθλασης/θραύσης είναι το τμήμα της παράκτιας περιοχής στο οποίο οι κυματισμοί αρχίζουν να 'νιώθουν' το πυθμένα (βάθος  $d < L/2$ ), καθίστανται ασταθείς και εν τέλει θραύονται. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι προσδιορισμού του σημείου θραύσης, αλλά ο επικρατέστερος στηρίζεται στον εμπειρικό κανόνα ότι η θραύση λαμβάνει χώρα όταν το ύψος  $H$  γίνει περίπου ίσο με  $0.8 d$  ( $H$  είναι το ύψος κύματος



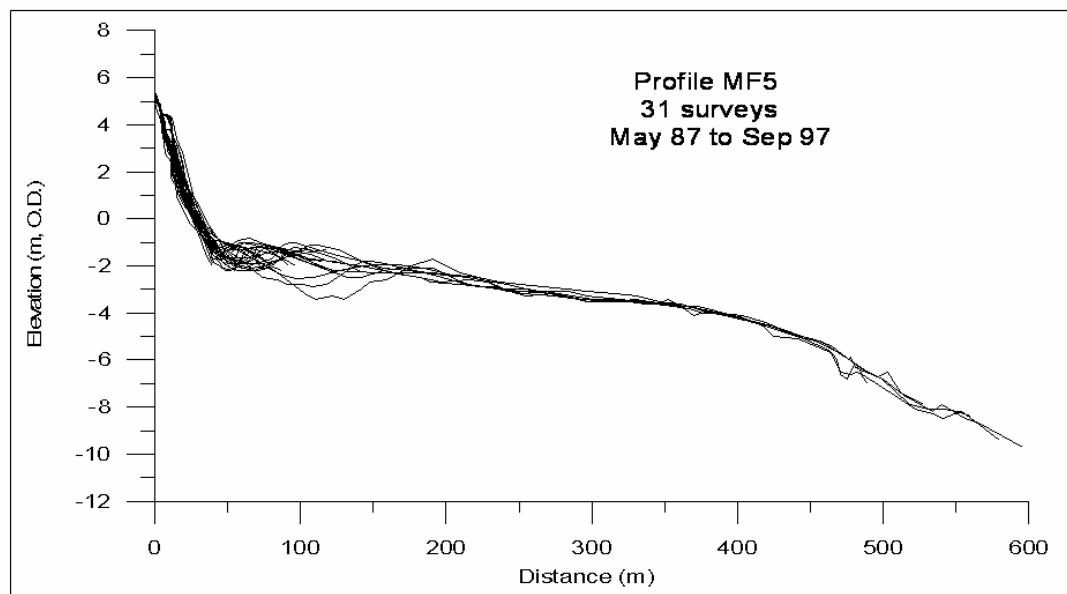
και  $d$  το μέσο βάθος). Το θραυόμενο κύμα χαρακτηρίζεται από απότομη κλίση της ελεύθερης επιφάνειας στην εμπρόσθια πορεία του και ιδιαίτερα κοντά στην κορυφή του, όπου οι ταχύτητες των σωματιδίων του νερού υπερβαίνουν την ταχύτητα φάσης (Komar 1998).

Η ζώνη απόσβεσης (*surf zone*) είναι το τμήμα της παράκτιας περιοχής όπου αποσβένεται μεγάλο ποσοστό της κυματικής ενέργειας λόγω τύρβης, ενώ σημαντικό τμήμα της μετατρέπεται σε δυναμική. Στην ζώνη αυτή αναπτύσσονται τα επιμήκη και εγκάρσια κυματογενή ρεύματα τα οποία είναι υπεύθυνα για την παράλληλη προς την ακτή μεταφορά ιζήματος.

Η ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής (*swash zone*) είναι το τμήμα της παραλίας που εκτίθεται στους κυματισμούς, καλυπτόμενο και αποκαλυπτόμενο, καθώς τα νερά διαδοχικά αναρριχώνται και αποτραβιούνται προς την θάλασσα (Komar, 1998). Η έκταση της αναρρίχησης των κυμάτων εξαρτάται από το ύψος και την περίοδο τους, με συνέπεια το όριο της ζώνης διαβροχής να μην είναι σταθερό, η οποία συνήθως συμπίπτει μορφολογικά με το μέτωπο της παραλιακής ζώνης.

Το *χερσαίο προφίλ* στο οποίο μπορεί να έχουμε ένα ή περισσότερα υβώματα (*berms*) (με ή χωρίς απότομο μέτωπο (*berm scarp*)), αποτέλεσμα απόθεσης ιζήματος από παλαιότερους κυματισμούς μεγαλύτερου ύψους αναρρίχησης (ή διαφορετικής στάθμης θάλασσας για παλιρροιακές ακτές). Σε πολλές παραλίες το άνω τμήμα ('εσωτερική παραλία') καλύπτεται από θίνες, οι οποίες μένουν ανέπαφες από τους κυματισμούς με εξαίρεση κάποια ακραία περιστατικά.

Εκτός από το χερσαίο ύβωμα και τις θίνες, άλλα σημαντικά στοιχεία του υποθαλάσσιου προφίλ αποτελούν (α) ο *επιμήκης ιζηματογενής υποθαλάσσιος ύφαλος αναβαθμός* (*longshore bar*) και (β) η *επιμήκης αύλακα προς την πλευρά της χέρσου* (*longshore trough*). Η μορφολογία και ιζηματολογία τους εξαρτάται από την παράκτια υδροδυναμική και την γενική μορφολογία του πυθμένα στα ανοικτά της ακτής, ενώ κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες μπορούν να υπάρχουν περισσότερα από ένα ζεύγη (Komar, 1998).



**Σχήμα 3-2** Χρονικές μεταβολές παραλιακού προφίλ σε ακτή της Ν. Αγγλίας και αδρανές βάθος (closure depth) (Kolovoyiannis, 1999).

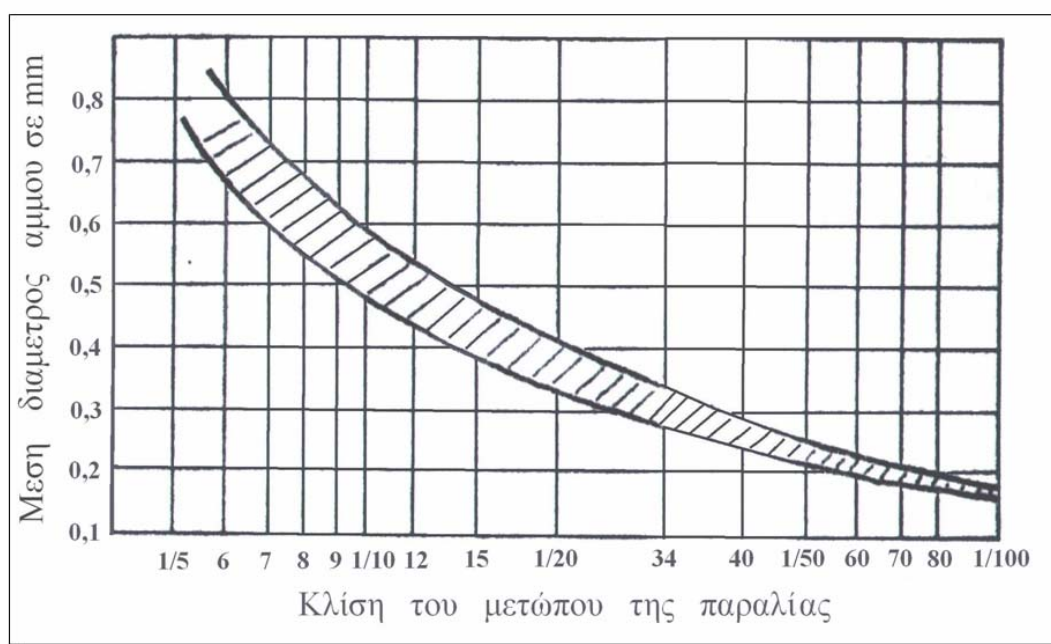
Σε κάθε προφίλ υπάρχει ένα σημείο πέρα από το οποίο το βάθος είναι τέτοιο, ώστε η τοπογραφία του πυθμένα παραμένει σταθερή και μένει ανεπηρέαστη ακόμα και από τους ακραίους κυματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή (Σχήμα 3-2). Το βάθος αυτό λέγεται οριακό βάθος μετακίνησης των ιζημάτων του πυθμένα ή για συντομία, ‘βάθος κλεισίματος’ (closure depth) και ο Hallermeier (1980) πρότεινε την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό του:

$$h_c = 2.28H_e - 68.5 \left( \frac{H_e^2}{gT_e^2} \right) \quad (3-1)$$

Όπου  $h_c$  είναι το βάθος κλεισίματος,  $H$  το ύψος κύματος κοντά στην ακτή και  $T$  η περίοδος, ενώ ο δείκτης  $e$  υποδηλώνει την τιμή που μεγαλύτερη της εμφανίζεται μόνο 12 ώρες ετησίως.

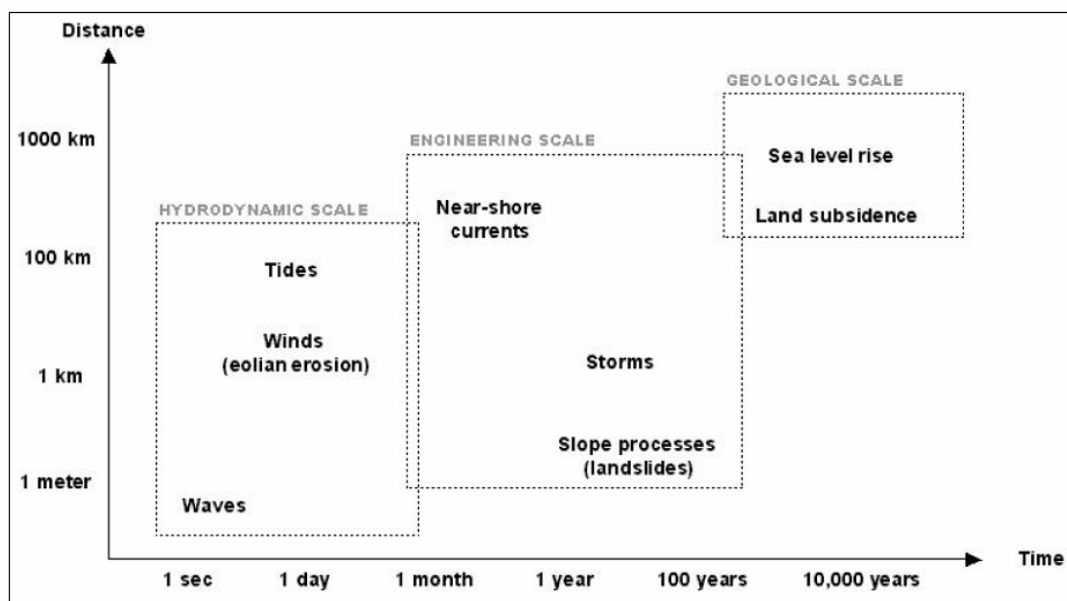
Στην φύση συναντώνται ακτές με διαφορετικές κλίσεις, με τις παραλίες χαμηλής κλίσης να συνίστανται συνήθως από λεπτόκοκκη άμμο και να δημιουργούν ευρείες ζώνες απόσβεσης των κυμάτων (Bascom, 1964). Αντίθετα, οι παραλίες μεγάλων κλίσεων αποτελούνται συνήθως από χονδρόκοκκα ιζήματα (χάλικες και βότσαλα) και έχουν περιορισμένες ζώνες απόσβεσης (Komar, 1998). Ο Dyer (1986) βασισμένος στις διαφορετικές κλίσεις των παραλίων και τη διαφοροποίηση των παραλιακών κυματικών ζωνών, κατηγοριοποίησαν τις ακτές σε (α) απορροφητικές (με προφίλ μικρής

κλίσης και διευρυμένες ζώνες κυματικής απόσβεσης), (β) ανακλαστικές (παραλίες με προφίλ μεγάλης κλίσης και περιορισμένες ζώνες κυματικής απόσβεσης) και (γ) ενδιάμεσου τύπου παραλίες που χαρακτηρίζονται επίσης από πληθώρα μορφολογικών στοιχείων (όπως σύνθετους ύφαλους αναβαθμούς) και σύνθετη παράκτια κυκλοφορία (Wright and Short, 1983).



**Σχήμα 3-3** Διάγραμμα που δείχνει τη μεταβολή της κλίσης του μετώπου της παραλίας σε συνάρτηση με το μέσο μέγεθος ιζήματος (Bascom 1964)

Τα ιζήματα της παραλίας μπορεί να αποτελούνται από οποιοδήποτε διαθέσιμο υλικό κατάλληλης κοκκομετρίας. Η σύστασή τους αντικατοπτρίζει τις διάφορες πηγές καθώς και την σημαντικότητα της κάθε μίας από αυτές στην τροφοδοσία της παραλίας (Bascom 1964). Όσον αφορά την κάθετη προς την ακτή κατανομή της κοκκομετρίας των ιζημάτων, φαίνεται ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της κλίσης της παράλιας και του μέσου μεγέθους των ιζημάτων (Σχήμα 3-3). Συνήθως, τα αδρομερέστερα ιζήματα εντοπίζονται στη ζώνη όπου λαμβάνει χώρα η θραύση των μεγαλύτερων κυμάτων, ενώ το μέγεθος του υλικού μειώνεται τόσο προς τα ανοιχτά όσο και προς την ακτή. Μια γενική παρατήρηση είναι ότι το μέσο μέγεθος αντανακλά το επίπεδο κυματικής ενέργειας (Inman, 1949), ενώ στο άνω τμήμα του προφίλ τα ιζήματα συνήθως είναι πιο λεπτόκοκκα καθώς επηρεάζονται κυρίως από την ανεμογενή μεταφορά.



Σχήμα 3-4 Χωροχρονικές κλίμακες αλλαγής του παραλιακού προφίλ (EuroSION, 2004).

Οι μορφολογικές μεταβολές κάθετα στην ακτή και συνεπώς η προσομοίωσή τους, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τις χωρο-χρονικές τους κλίμακες ως εξής (Σχήμα 3-4):

- Μεταβολές του μετώπου της παραλίας (shore and shoreface, βλέπε Σχήμα 3-1) που λαμβάνουν χώρα σε σχετικά μεγάλες χωρο-χρονικές κλίμακες (π.χ. της τάξης μερικών km και δεκαετιών, αντίστοιχα) και σχετίζονται και με μεταβολές στο ευρύτερο σχήμα της ακτογραμμής (Sunamura, 1983· EuroSION, 2004).
- Μεταβολές στη ζώνη απόσβεσης (surf zone) που λαμβάνουν χώρα σε μικρότερες χρονικές κλίμακες και αφορούν κυρίως εποχικές μεταβολές (όπως δημιουργία-μετατόπιση υποθαλάσσιου αναβαθμού και χερσαίου (έξαλου) υβώματος) που σχετίζονται με τις εποχικές μεταβολές των κυματικών συνθηκών. Γενικά, αναφέρονται στα διαβρωτικά αποτελέσματα των ισχυρών χειμερινών κυματισμών και στην σταδιακή ανάκαμψη του προφίλ, κατά την διάρκεια των ήπιων θερινών κυματισμών.
- Μεταβολές του παραλιακού προφίλ που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια ακραίων καιρικών φαινομένων (θυελλωδών κυματισμών) που ολοκληρώνονται σε χρονικές κλίμακες ωρών-ημερών. Οι μεταβολές αυτές συνήθως εκτείνονται σε όλη την περιοχή μεταξύ της ακτογραμμής και του βάθους κλεισίματος (closure depth) (Σχήμα 3-2).

Γενικά, η μεταβολή της θέσης της ακτογραμμής μπορεί συνήθως να αναλυθεί σε μια ‘μέση’ τάση και μια υψίσυχη συνιστώσα (Van Rijn, 1998), η κάθε μια από τις οποίες χαρακτηρίζεται από διαφορετικές χρονικές κλίμακες και ελέγχεται από άλλες παραμέτρους.

Η παρουσία και η θέση των κυριότερων μορφολογικών στοιχείων μιας παραλίας (των χερσαίων (έξαλων) και υποθαλάσσιων αναβαθμών) (βλέπε Σχήμα 3-1), δίνει πληροφορίες για παλαιότερα ακραία κυματικά φαινόμενα. Η σημασία της σχετικής θέσης των υβωμάτων είναι μεγάλη, καθώς τα υβώματα συνδέονται με την θραύση των κυματισμών (Ruessink et al, 2000). Η μετατόπιση τους προς τα βαθύτερα αυξάνει το πλάτος της ζώνης θραύσης και συνεπώς την εξασθένηση της κυματικής ενέργειας που φτάνει στην ακτογραμμή (Komar, 1998).

Κάτι πολύ σημαντικό είναι ότι τα υποθαλάσσια υβώματα δεν είναι ευθύγραμμα κατά μήκος της ακτής, αλλά συνήθως παρουσιάζουν ασυνέχειες, καθώς διακόπτονται από κανάλια που προκαλούν τα ρεύματα διαφυγής (rip channels), αλλά και σχηματίζουν ημισεληνοειδείς και μαιανδρικούς σχηματισμούς (βλέπε Εικόνα 3-1) (Lippmann and Holman, 1990· Van Rijn, 1998· Van Enckevort and Ruessink, 2001· Van Enckevort, 2001).



**Εικόνα 3-1** Ημισεληνοειδή υποθαλάσσια υβώματα καταγεγραμμένα από ανοικτό διάφραγμα για 10 min (Lippmann and Holman, 1995, περιέχεται σε Komar, 1998)

### **3.2 Μοντέλα μορφολογικής εξέλιξης παραλιακού προφίλ**

Παρά την σύνθετη και μη-γραμμική φύση των παράκτιων μορφοδυναμικών διεργασιών, καταβάλλεται συνεχής προσπάθεια από την ‘επιστημονική κοινότητα’ προς την κατεύθυνση της κατανόησης, προσομοίωσης και πρόγνωσης τους, η οποία έχει οδηγήσει σε σημαντική πρόοδο. Η χρήση αριθμητικών ομοιωμάτων συνοδεύεται από σημαντικούς περιορισμούς σε υπολογιστική ισχύ αλλά και σε θεωρητικό υπόβαθρο, που καθιστούν κάποιες παραδοχές αναπόφευκτες. Ένα σύνηθες παράδειγμα είναι η θεώρηση ότι οι διαφορές στην μορφολογία κατά μήκους της ακτής δεν είναι σημαντικές, με αποτέλεσμα η μορφολογική εξέλιξη της τελευταίας να μπορεί να περιγραφεί από μονοδιάστατα (1-D), ή εγκάρσια στην ακτή, δισδιάστατα (2-DV) μοντέλα. Παρά την σημαντική κριτική που έχουν δεχτεί, τα μοντέλα αυτά βελτιώνονται συνεχώς και έχουν καθιερωθεί σαν εργαλεία στην διαχείριση παράκτιων περιοχών, καθώς και σε μελέτες πρόγνωσης μορφολογικής εξέλιξης σε περιπτώσεις ανθρωπογενούς παρέμβασης, όπως οι κατασκευές στην ακτογραμμή και η ανάπλαση παραλιακών ζώνων (Grasmeijer and Ruessink, 2003).

Τα μορφοδυναμικά μοντέλα εξέλιξης του παραλιακού προφίλ αναπαριστούν μεταβολές στον χώρο και στον χρόνο και η ολοκλήρωση σε μια από τις δύο αυτές διαστάσεις, μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικούς τύπους μοντέλων. Οι τρεις κύριες προσεγγίσεις είναι: α) η ολοκλήρωση στον χρόνο και στον χώρο, β) η ολοκλήρωση μόνο στον χώρο και γ) οι συνεχείς υπολογισμοί και στα δύο πεδία. Στην πρώτη περίπτωση το τελικό σχήμα του προφίλ προκύπτει από μια ή μερικές εξισώσεις, όπως στην προσέγγιση του προφίλ ισορροπίας που περιγράφεται εκτενώς παρακάτω, ενώ η δεύτερη αναφέρεται σε μοντέλα μερικής ισορροπίας. Η τελευταία περίπτωση αφορά στον υπολογισμό της στερεομεταφοράς σε κάθε σημείο του προφίλ, ενσωματωμένη σε ένα δυναμικό αριθμητικό πρόγραμμα, που υπολογίζει την μεταβολή του προφίλ, κατά την διάρκεια μιας θύελλας.

### **3.3 Υπολογισμός του προφίλ ισορροπίας**

Η βαθυμετρία επηρεάζει σημαντικά τις υδροδυναμικές διεργασίες κοντά στην ακτή, με αποτέλεσμα η περιγραφή της να αποτελεί βασική προϋπόθεση για την μελέτη των μετασχηματισμών των κυματισμών, της δημιουργίας ρευμάτων και την εκτίμηση της

στερεομεταφοράς. Παρατηρήσεις σε φυσικές ακτές έδειξαν ότι η κλίση του προφίλ είναι μεγαλύτερη κοντά στην ακτή και μειώνεται σταδιακά προς την κατεύθυνση της θάλασσας, γεγονός που ενέπνευσε την έννοια του προφίλ ισορροπίας (Komar, 1998).

Σαν παραλιακό προφίλ ισορροπίας ορίζεται το σχήμα της παραλιακής διατομής που ακολουθεί η ακτή όταν εκτεθεί σε σταθερούς κυματισμούς και στάθμη θάλασσας, για επαρκές χρονικό διάστημα. Η προσέγγιση αυτή στηρίζεται στις δύο ακόλουθες βασικές παραδοχές: i) η μεταβολή του προφίλ (συνήθως διάβρωση) κατά την διάρκεια μιας θύελλας, επηρεάζεται από το ύψος των επερχόμενων κυματισμών και την ταχύτητα κατακάθισης του ιζήματος (που εξαρτάται κύρια από τα χαρακτηριστικά των ιζημάτων), συνεπώς σχετίζεται με την αύξηση της στάθμης που προκαλεί η θύελλα (store surge) και ii) το τελικό σχήμα του προφίλ πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η συνολική ποσότητα ιζήματος να παραμένει σταθερή. Σημαντικό μέγεθος είναι το βάθος πέρα από το οποίο το προφίλ δεν επηρεάζεται από τους κυματισμούς (closure depth) και είναι 'μορφολογικά ανενεργό'.

Η πρώτη απόπειρα περιγραφής του προφίλ ισορροπίας έγινε από τον Fenneman (1902) και πριν από την εργασία σταθμό του Bruun (1962), οι Waters (1939) και Rector (1954) είχαν ήδη υποστηρίξει την εγκυρότητα της έννοιας του προφίλ ισορροπίας, κυρίως κάτω από σταθερές εργαστηριακές συνθήκες.

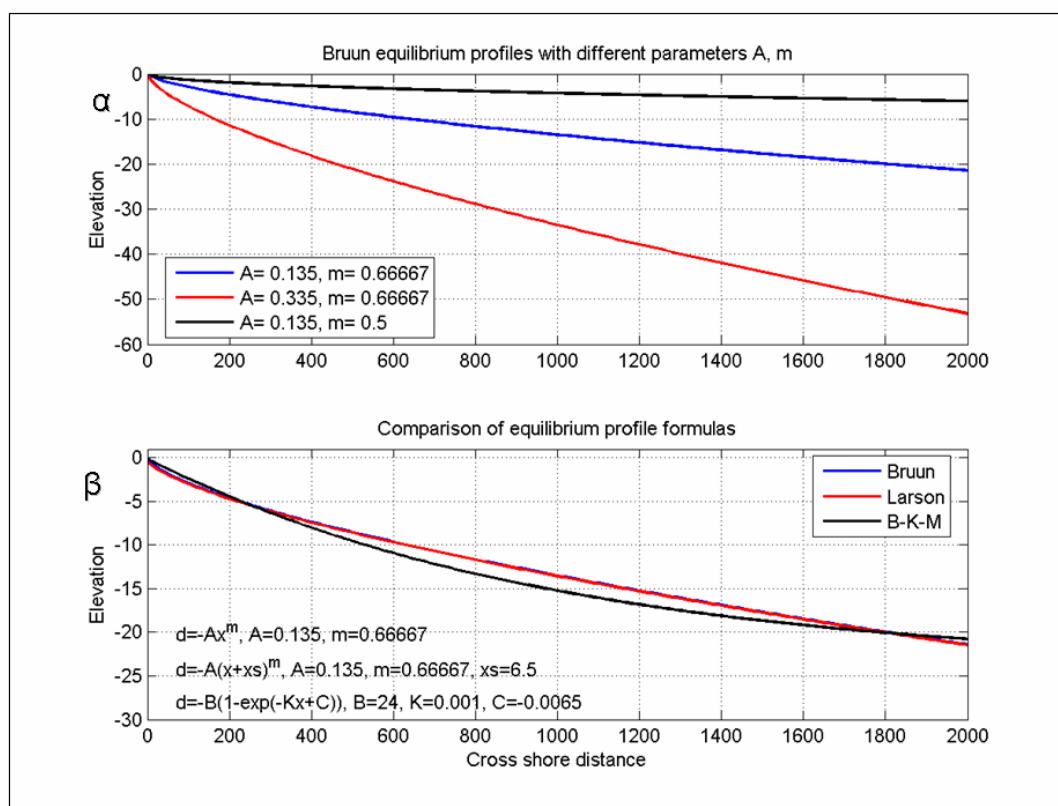
### 3.3.1 Η εκθετική σχέση στο προφίλ ισορροπίας

Ο Bruun (1954) ανέπτυξε μια εξίσωση για την πρόβλεψη του προφίλ ισορροπίας, μελετώντας Δανέζικες ακτές στην Βόρεια Θάλασσα και στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Πρότεινε μια απλή εκθετική σχέση (power law) μεταξύ του βάθους ( $d$ ) και της κάθετης στην ακτή απόστασης ( $x$ ) (βλέπε Σχήμα 3-5(α)):

$$d = Ax^m \quad \text{όπου} \quad m = 2/3 \quad (3-2)$$

Η σταθερά  $A$  (της οποίας οι διαστάσεις εξαρτώνται από τις τιμές του εκθέτη του  $x$ ), ελέγχει το σχήμα του προφίλ (shape factor) και σχετίζεται με την τάση του ιζήματος για σταθεροποίηση. Βασισμένος σε δεδομένα από ακτές στην περιοχή Thyboran της Δανίας, ο Bruun υπολόγισε την τιμή του  $A$  ίση με  $A=0.135 \text{ m}^{1/3}$ . Στην συνέχεια η εμπειρική αυτή εξίσωση εφαρμόστηκε από τον ίδιο, για την πρόβλεψη της διάβρωσης

λόγω ανόδου της στάθμης της θάλασσας στην ακτή της Florida (Bruun, 1962) και αυτή η προσέγγιση είναι ευρέως διαδεδομένη ως: «ο κανόνας του Bruun».



**Σχήμα 3-5** Ευαισθησία του προφίλ ισορροπίας του Bruun στις παραμέτρους  $A$  και  $m$  (α) και σύγκριση του σχήματος του προφίλ ισορροπίας όπως προκύπτει από τις σχέσεις του Bruun (1954), Larson (1991) και Bodge (1992), Komar and McDougal (1994).

Ο Dean (1977) απέδειξε την εκθετική συσχέτιση για το σχήμα του προφίλ ισορροπίας, με το επιχείρημα ότι στην φύση η απώλεια κυματικής ισχύος  $D$  τείνει σε μια σταθερή τιμή ισορροπίας:

$$\frac{\partial(\bar{E} \cdot C_g \cdot \cos(\alpha))}{\partial x} = -D \quad (3-3)$$

Όπου  $E$  η κυματική ενέργεια,  $C_g$  η ομαδική ταχύτητα,  $\alpha$  η γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών και  $D$  οι απώλειες κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης, ανά μονάδα όγκου νερού, κατά μήκος της ζώνης απόσβεσης (σε  $W/m^3$ ).

Θεωρώντας μονοχρωματικά κύματα και για σταθερό συντελεστή θραύσης  $\gamma = H/d$ , υπολόγισε την τιμή του εκθέτη  $m$  στην εξίσωση (3-2) και αναλυτικά, καταλήγοντας



σε μια ανάλογη εκθετική συσχέτιση (2/3). Επιπλέον για την ίδια περίπτωση ο συντελεστής  $A$  (σε  $m^{1/3}$ ) μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση:

$$A = \left( \frac{24}{5} \cdot \frac{D_{eq}}{\rho g \sqrt{g} \gamma^2} \right)^{2/3} \quad (3-4)$$

όπου ο ρυθμός (ισορροπίας) απώλειας ενέργειας  $D_{eq}$  βασίζεται στην διάμετρο και το σχήμα του υλικού και η τιμή του συντελεστή  $A$  κυμαίνεται μεταξύ 0.079 και 0.398 (Dean, 1977). Οι Hughes and Chiu (1978) έδειξαν ότι η τιμή  $A=0.10 m^{1/3}$  παρείχε την καλύτερη συσχέτιση για ακτές της Florida (Dean, 1982). Ο Moore (1982) τόνισε την σχέση του  $A$  με την μέση διάμετρο των ιζημάτων, δείχνοντας ότι αυξάνοντας το μέγεθος του υλικού, μεγαλώνει το  $A$  και συνεπώς και η κλίση της παραλίας. Ο Dean (1987) υποστήριξε ότι ο συντελεστής μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της ταχύτητας καταβύθισης, από την σχέση:

$$A = 0.067 \cdot w^{0.44} \quad (3-5)$$

Ο Vellinga (1986) είχε προτείνει πρωτύτερα την παρακάτω εξίσωση για το  $A$ :

$$A = 0.7 \cdot \left( \frac{H_o}{L_o} \right)^{0.17} \cdot w^{0.44} \quad (3-6)$$

Ο λόγος του σημαντικού ύψους κύματος  $H_{so}$  και του μήκους κύματος  $L_o$  στα βαθιά (offshore), περιγράφει την «καμπυλότητα» των κυματισμών. Μεγάλες τιμές καμπυλότητας, καθώς και ύπαρξη χονδρόκοκκου υλικού, αυξάνει την τιμή του  $A$  και συνεπώς την κλίση του προφίλ (Vellinga, 1986).

Οι παραπάνω εξισώσεις περιγράφουν το σχήμα του προφίλ, κυρίως στην περίπτωση μιας θύελλας και με δεδομένο ότι ισχύει η παραδοχή ότι αυτή διαρκεί επαρκή χρόνο για να λάβει χώρα η μεταβολή. Στην πράξη όμως, το σχήμα της παραλίας δεν αντιστοιχεί σε κατάσταση ισορροπίας και συχνά δεν είναι καν κοντά σε αυτή λόγω της μόνιμης μεταβολής των κυματικών συνθηκών. Επίσης, για πιο γενικές εφαρμογές ο συντελεστής  $A$  παραμένει άγνωστος και είναι πολύ πιθανό να σχετίζεται και με άλλες παραμέτρους, όπως οι υδροδυναμικές συνθήκες, η μεταβολή της στάθμης της θάλασσας και τα παράκτια ρεύματα. Η πιο πρόσφατη απόπειρα υπολογισμού του  $A$  έγινε από τους Turker and Kabdash (2005), που κατέληξαν στην παρακάτω εξίσωση:

$$A = \frac{\alpha_1}{(\kappa^2 X_L)^{2/3}} \left[ \frac{3}{5} H_b^2 \cdot h_b^{-1/2} + \Gamma^2 \cdot h_b^{3/2} \right]^{2/3} \quad (3-7)$$

όπου  $a_1$  είναι μια σταθερά αναλογίας,  $X_L$  η μέση τιμή της απόστασης που διανύουν οι κόκκοι του ιζήματος και βασίζεται στα χαρακτηριστικά των ιζημάτων αλλά και των κυματισμών (βλέπε Turker and Kabdash, 2004),  $H_b$  και  $h_b$  το ύψος κύματος και το βάθος κατά την θραύση, αντίστοιχα και  $\Gamma$  η σταθερά εξασθένησης των κυματισμών (wave decay constant).

### 3.3.2 Άλλες προσεγγίσεις υπολογισμού

Ο Vellinga (1986) έχοντας στόχο να ελέγξει την ασφάλεια θινών σε Ολλανδικές ακτές, επέκτεινε την δουλειά του Van de Graaff (1977) πάνω στον υπολογισμό του προφίλ ισορροπίας, καταλήγοντας στην παρακάτω εξίσωση:

$$\frac{7.6}{H_o} = 0.47 \left[ \left( \frac{7.6}{H_o} \right)^{1.28} \cdot \left( \frac{w_s}{0.0268} \right)^{0.56} \cdot x + 18 \right]^{0.5} - 2 \quad (3-8)$$

Η εξίσωση ισχύει μέχρι απόσταση  $x_{\max}$  από την ακτή ίση με:

$$x_{\max} = 250 \cdot \left( \frac{H_o}{7.6} \right)^{1.28} \cdot \left( \frac{0.0268}{w_s} \right)^{0.56} \quad (3-9)$$

Σε αυτό το σημείο το βάθος ισούται με:

$$d_{\max} = 0.75 \cdot H_o \quad (3-10)$$

Το υπόλοιπο υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ θεωρείται ότι έχει σταθερή κλίση ίση με 1:12.5, ενώ το χερσαίο κομμάτι 1:1.

Ο Larson (1991) πρότεινε την παρακάτω συνάρτηση για το σχήμα του προφίλ (Σχήμα 3-5(β)):

$$f(x) = -A \cdot (x + x_s)^{\frac{2}{3}} \quad (3-11)$$

όπου η τρίτη παράμετρος  $x_s$  ορίζει μια οριζόντια απόσταση που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων σε δεδομένα πεδίου για ελάττωση του σφάλματος.

Μια διαφορετική (Νεπέριος) εκθετική σχέση περιγραφής του προφίλ ισορροπίας προτάθηκε από τους Bodge (1992) και Komar and McDougal (1994) (Σχήμα 3-5(β)):

$$f(x) = -B \cdot (1 - e^{-kx+C}) \quad (3-12)$$

όπου οι τρεις συντελεστές  $B$ ,  $k$ , και  $C$  προκύπτουν από βελτιστοποίηση και εξακρίβωση με δεδομένα πεδίου. Ο συντελεστής  $B$  παρουσίασε συσχέτιση με χαρακτη-

ριστικά του κυματικού πεδίου και των ιζημάτων του πυθμένα, ενώ το  $k$  είχε επίσης σχέση με τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά. Ο Bodge (1992) βασιζόμενος σε παρατηρήσεις πεδίου έδωσε εκτιμήσεις της τάξης  $3 \cdot 10^{-5}$  και  $1.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$  για το  $k$  και από 2.7 έως 70 m για το  $B$ .

Ο Lee (1994) πρότεινε την παρακάτω λογαριθμική εξίσωση σαν πιο κατάλληλη για τον υπολογισμό του προφίλ ισορροπίας:

$$f(x) = - \left[ D + \frac{1}{F} \ln \left( \frac{x}{G} + 1 \right) \right] \quad (3-13)$$

όπου, η παράμετρος  $G$  σχετίζεται με το μέγεθος του ιζήματος πυθμένα και το  $F$  υπολογίζεται από την περίοδο  $T$  μέσω της σχέσης  $F = 4\pi^2 / gT^2$ . Ο όρος  $D$  προστίθεται για τον ίδιο λόγο που εισάγονται τα  $x_s$  and  $C$  στις εξισώσεις (3-11) και (3-12). Για το προφίλ ισορροπίας που προτείνεται από τον Lee, οι τιμή του  $F$  σε διαφορετικές ακτές κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και  $0.003 \text{ m}^{-1}$  και του  $G$  μεταξύ 1 και 30 m.

Η πιο πρόσφατη απόπειρα υπολογισμού του προφίλ ισορροπίας έγινε από τους Romanczyk et al (2005), που χρησιμοποίησαν τις ήδη υπάρχουσες εξισώσεις για το υποθαλάσσιο βαθύτερο τμήμα του προφίλ, σε συνδυασμό με μια δεύτερης τάξης πολυωνυμική σχέση για το πιο ρηχό, «υγρό» μέρος, αλλά και το χερσαίο προφίλ. Με αυτόν τον τρόπο επέκτειναν τους υπολογισμούς ψηλότερα στην παραλία, πάνω από την στάθμη της θάλασσας, ενώ οι εξισώσεις που χρησιμοποίησαν για το βαθύτερο μέρος ήταν οι (3-11) και (3-12), καθώς και η (3-11) σε τροποποιημένη μορφή με 3 παραμέτρους:

$$f(x) = -A \cdot (x + x_s)^\rho \quad (3-14)$$

Όπου  $\rho$  μια τρίτη παράμετρος για την οποία προτείνεται ως αρχική εκτίμηση η τιμή 2/3.

### 3.3.3 Αδυναμίες της θεωρίας του προφίλ ισορροπίας

Ήδη από τον ορισμό του παραλιακού προφίλ ισορροπίας είναι προφανές ότι υπάρχουν διάφορα προβλήματα, τα οποία κυρίως σχετίζονται με την ανάγκη παρέλευσης ‘επαρκούς’ χρόνου κάτω από συγκεκριμένες κυματικές συνθήκες για τον σχηματισμό του. Ο ίδιος ο Bruun (1992) έκανε το πολύ ενδιαφέρον σχόλιο:

*“...οι υποθέσεις του Dean και του Bruun έχουν κυρίως ακαδημαϊκό χαρακτήρα στα έντονα τρισδιάστατα και ασυνεχή παράκτια περιβάλλοντα. Το γεγονός ότι έρχονται σε*

*συμφωνία με πραγματικά δεδομένα μπορεί να είναι συμπτωματικό και τα αποτελέσματα του Dean και του Bruun δεν πρέπει να εφαρμόζονται πέρα από τις δυνατότητες τους. Το παραλιακό προφίλ είναι ένα πολύ δυναμικό στοιχείο υποκείμενο σε σημαντικές μεταβολές και η συμπεριφορά του περιγράφεται καλύτερα από μεθόδους στατιστικής, παρά φυσικής”.*

Κριτική στην έννοια του προφίλ ισορροπίας έχουν ασκήσει και άλλοι ερευνητές, όπως ο Komar (1998) και οι Pilkey et al (1993). Οι Pilkey et al (1993) αμφισβήτησαν έντονα την εγκυρότητα της, ειδικά σε περιπτώσεις ακτών που έχουν υποστεί ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (με π.χ. κρηπιδώματα (revetments), θαλάσσια τοιχία (seawalls) κλπ).

### **3.4 Πρώτη γενιά μορφοδυναμικών μοντέλων**

Η προσέγγιση του προφίλ ισορροπίας είχε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων στα οποία ο υπολογισμός της στερεοπαροχής στηρίζονταν στην απόκλιση του προφίλ από το σχήμα ισορροπίας του, για τις δεδομένες κυματικές συνθήκες. Τα μορφοδυναμικά μοντέλα ψεύδο-ισορροπίας (quasi-equilibrium models) χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στις δεκαετίες του ‘70 και ‘80 και σταδιακά αντικαθίστανται από πιο σύγχρονα μοντέλα (process based models). Παρόλα αυτά λόγω του γεγονότος ότι είναι δοκιμασμένα και δομημένα σε εμπειρικές εξισώσεις, που πρόεκυψαν από ανάλυση μεγάλων χρονοσειρών πραγματικών δεδομένων, αποτελούν μια πιο ‘ολιστική άποψη’ και σε συνδυασμό με την απλότητα και τους μικρούς σχετικά υπολογιστικούς χρόνους τους, μπορεί να είναι χρήσιμα σαν εργαλεία λήψης αποφάσεων και παράκτιας διαχείρισης, ειδικά στα πρώτα στάδια.

Μια από τις πρώτες προσπάθειες βασισμένη στις αρχές που περιγράφονται παραπάνω, έγινε από τον Swart (1974), ενώ ο Larson (1988) ανέπτυξε το μοντέλο SBEACH, το οποίο επιπλέον αποδίδει μορφολογικές μεταβολές του προφίλ σε μακρο-κλίμακα, όπως ο σχηματισμός και η κίνηση των υποθαλάσσιων αναβαθμών. Για τον υπολογισμό της στερεοπαροχής αναπτύχθηκαν διάφορες εμπειρικές εξισώσεις, που αφορούν διαφορετικά τμήματα του προφίλ, από την ανάλυση μετρήσεων κατά την διάρκεια δύο μεγάλων πειραμάτων σε δεξαμενές (wave-tank experiments) (Larson and Kraus, 1989). Ο Roelvink ανέπτυξε μια εκδοχή ημι-ισορροπίας του μοντέλου DUROS του Vellinga, και το ονόμασε DUIN, το οποίο στην ερευνητική μορφή του χρησιμοποιήθηκε από Ολλανδικές αρχές, για την μελέτη των επιπτώσεων ανθρώπινων παρεμβά-

σεων και της γενικότερης παράκτιας μορφοδυναμικής (DELFT HYDRAULICS, 1990). Οι Kriebel and Dean (1985) στήριξαν το μοντέλο τους στην παραδοχή ότι το προφίλ τείνει προς το σχήμα ισορροπίας του, αλλά οι υπολογισμοί στερεομεταφοράς βασίστηκαν στην διαφορά μεταξύ των πραγματικών και τιμών ισορροπίας της απώλειας κυματικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου (Kriebel, 1990· Kriebel et al, 1991).

Μια πρόσφατη δουλειά των Larson et al (2004) αποτελεί παράδειγμα μιας διαφορετικής, από το προφίλ ισορροπίας, προσέγγισης για εύκολο προσδιορισμό της μορφολογικής μεταβολής του παραλιακού προφίλ. Το αναλυτικό αυτό μοντέλο, που βασίζεται στην θεωρία του κυματικού αντίκτυπου (wave impact approach· Overton et al, 1994· Nishi and Kraus, 1996), υπολογίζει την απόσταση υποχώρησης της ακτής και τον όγκο του απομακρυσμένου ιζήματος από παράκτιες θίνες, λόγω έντονων θυελλών.

Η κριτική που έχει ασκηθεί στα απλοποιημένα αυτά μοντέλα, αφορά το γεγονός ότι, παρόλο που οι θεωρητικές τους παραδοχές έχουν σαφή βάση, οι εμπειρικοί συντελεστές που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις, καλύπτουν πολλές διαφορετικές διεργασίες και πιθανότητα η χρήση μιας τιμής τους για όλες τις ακτές, περικλείει σημαντικά σφάλματα. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα αυτών των μοντέλων είναι ότι έχουν μικρές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ και μπορούν να συνδυαστούν με απλοποιημένα μοντέλα παράλληλης στην ακτή μορφοδυναμικής εξέλιξης. Από την άλλη, για την πρόβλεψη μεταβολών σε μεγάλες χρονικές κλίμακες, τα μαθηματικά ομοιώματα έχουν παραπλήσια χαρακτηριστικά, αλλά οι εμπειρικοί συντελεστές μπορούν να υπολογίζονται από υπορουτίνες περιγραφής των φυσικών διεργασιών (process-based models) (De Vriend et al, 1993). Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να συνδυαστεί η γενικότερη εφαρμοσιμότητα των μοντέλων περιγραφής των φυσικών διεργασιών, με την αποτελεσματικότητα των εμπειρικών μοντέλων και σε τέτοιες εφαρμογές είναι δυνατόν να ενσωματωθεί και η γνώση των μακροπρόθεσμων διεργασιών, για την αποφυγή αποκλίσεων λόγω αθροιστικής δράσης βραχυπρόθεσμων σφαλμάτων (που προκύπτουν από επέκταση των βραχυχρόνιων τάσεων σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες) (Roelvink and Broker, 1993).

### **3.5 Σύγχρονα μοντέλα μορφολογικής εξέλιξης**

Οι De Vriend et al (1993) κατηγοριοποίησαν τα μορφολογικά μοντέλα σε τέσσερις κατηγορίες: μορφολογικής εξέλιξης ακτογραμμής, παραλιακού προφίλ, παράκτιας ζώνης (coastal area models) και σημειακά μοντέλα (local models). Η πρώτη και τε-

λευταία κατηγορία βρίσκονται έξω από το πέδιο της παρούσας διατριβής. Βαρύτητα θα δοθεί στα μαθηματικά ομοιώματα που περιγράφουν την μεταβολή εγκάρσια στην ακτή, ή/και στις 3 διαστάσεις. Τα μοντέλα συνήθως αποτελούνται από υπορουτίνες που για κάθε χρονικό βήμα πραγματοποιούν τους ακόλουθους υπολογισμούς: α) περιγραφή των υδροδυναμικών συνθηκών με δεδομένα την βυθομετρία και τις κυματικές συνθήκες στα βαθιά νερά, β) υπολογισμός της ιζηματομεταφοράς λόγω κυματογενών ρευμάτων και κυματισμών και γ) υπολογισμός της μεταβολής της βαθυμετρίας κατά την διάρκεια του χρονικού βήματος. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το πέρας της επιθυμητής διάρκειας προσομοίωσης, ώστε να εξασφαλιστεί η δυναμική αλληλεπίδραση των στοιχείων του μορφοδυναμικού συστήματος.

Η λύση του υδροδυναμικού πεδίου, καθώς και των σημειακών ρυθμών στερεοπαροχής γενικά είναι πολύπλοκη και πραγματοποιείται, είτε μέσω εμπειρικών εξισώσεων, ή εξισώσεων βασισμένων στην φυσική περιγραφή των διεργασιών. Οι πρώτες προέκυψαν ύστερα από ανάλυση εργαστηριακών δεδομένων ή πεδίου και υστερούν στην λεπτομέρεια καθώς περιγράφουν τις γενικότερες τάσεις που εμφανίζονται. Από την άλλη οι θεωρητικά βασισμένες εξισώσεις στηρίζονται σε αναγωγές και επιδιώκουν την ξεχωριστή ερμηνεία και αριθμητική προσομοίωση, των διαφορετικών διεργασιών (π.χ. δημιουργία τύρβης λόγω θραύσης των κυμάτων, οριακό στρώμα πυθμένα), από την σύνθεση των οποίων προκύπτει η συνολική μορφοδυναμική συμπεριφορά. Όπως θα φανεί και παρακάτω τέτοια μοντέλα συχνά ενσωματώνουν και εμπειρικές εξισώσεις.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές αναφορές σε μορφοδυναμικά μοντέλα που παρουσιάζουν σημαντικές ή αμελητέες διαφορές στην δομή, το θεωρητικό υπόβαθρο και το αριθμητικό σχήμα. Όλα τα παραπάνω σε συνδυασμό με την διαρκή εξέλιξη των ήδη υπάρχοντων ομοιωμάτων, καθιστούν την κατηγοριοποίηση τους αρκετά δύσκολη και όχι πάντα ξεκάθαρη. Μια τέτοια προσπάθεια ακολουθεί στις επόμενες παραγράφους, στην οποία κρίθηκε σκόπιμο να περιγραφούν και να κατηγοριοποιηθούν ξεχωριστά τα διάφορα υδροδυναμικά μοντέλα, από αυτά της στερεοπαροχής και στο τέλος να γίνει λόγος για τα πλέον σύγχρονα μαθηματικά ομοιώματα που βασίζονται στην περιγραφή των φυσικών διεργασιών.

### 3.5.1 Υδροδυναμικά μοντέλα

Τα υδροδυναμικά μοντέλα ποικίλουν πολύ με βάση τα χαρακτηριστικά, την πολυπλοκότητα και το θεωρητικό υπόβαθρο, ενώ ένας τρόπος διαχωρισμού είναι το κατά πόσο κάνουν συνεχείς στον χρόνο υπολογισμούς (phase-resolving), ή μετά από ολοκλήρωση ως προς την περίοδο (phase-averaged). Στις πιο αναπτυγμένες τους μορφές μετά τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών στο οριζόντιο επίπεδο, συνδυάζονται με υπορουτίνες που περιγράφουν τις ροές στην κάθετη κατεύθυνση. Παρακάτω γίνεται κατηγοριοποίηση των υδροδυναμικών μοντέλων ανάλογα με τις διαστάσεις που λαμβάνουν υπόψη στους υπολογισμούς.

Οι κυματικές συνθήκες στα βαθιά μπορούν να εισαχθούν με δύο τρόπους: (α) Με την παραμετρική προσέγγιση, θεωρώντας ότι το φυσικό κυματικό πεδίο είναι περιορισμένου εύρους όσον αφορά στην συχνότητα και στην διεύθυνση και μπορεί να απλοποιηθεί σε έναν αντιπροσωπευτικό κυματισμό, για τον οποίο γίνονται όλοι οι περαιτέρω υπολογισμοί (e.g. Roelvink and Stive, 1989· Nairn and Southgate, 1993), ή (β) την πιθανολογική προσέγγιση (probabilistic approach) (π.χ. Mase and Iwagaki, 1982· Mizuguchi, 1982· Dally and Dean, 1986· Van Rijn and Wijnberg, 1996), κατά την οποία οι υπολογισμοί του μοντέλου λαμβάνουν χώρα για ξεχωριστές κυματικές κλάσεις, στον βαθμό που εμφανίζεται η κάθε μία.

#### **Μονοδιάστατα μοντέλα (1D)**

Τα μονοδιάστατα μοντέλα βασίζονται συνήθως στο κυματικό μοντέλο των Battjes and Janssen (1978), όπου επιλύεται η εξίσωση ενέργειας του κύματος, της οποίας η γενική παραδοχή είναι ότι η ροή κυματικής ισχύος, κάθετα στην ακτή, ισούται με την απώλεια ενέργειας των κυματισμών, λόγω θραύσης και τύρβης πυθμένα. Από αυτήν την προσπάθεια προέκυψαν πολυάριθμες παραλλαγές, που εμπεριέχουν διάφορες βελτιώσεις, όπως ενσωμάτωση μη γραμμικών κυματισμών (Leontiev, 1997), ακόμα και επέκταση σε δύο διαστάσεις (π.χ. το μοντέλο LITPACK (Deigaard et al, 1986)).

Πολλά υδροδυναμικά μοντέλα επικεντρώνονται στην επίλυση διαφορετικών εκδοχών των εξισώσεων ορμής και μάζας της ροής του νερού, όπως των μη γραμμικών εξισώσεων κυματισμών στα ρηχά νερά (nonlinear shallow water (NSW)) (π.χ. Hibberd and Peregrine, 1979· Kobayashi et al, 1989), που όμως δεν εφαρμόζονται σε πολύ μικρά βάθη, λόγω της απουσίας διασποράς συχνοτήτων (frequency dispersion). Οι εξισώσεις Boussinesq είναι μια ελκυστική εναλλακτική στις NSW, καθώς λαμβάνουν υπό-

ψη το παραπάνω φαινόμενο και μπορούν να εφαρμοστούν σε ευρύτερο κυματικό φάσμα και μεγαλύτερο τμήμα της ακτής (π.χ. Freilich and Guza, 1984· Elgar et al, 1990). Σε αντίθεση με τις εξισώσεις NSW, οι εξισώσεις Boussinesq δεν οδηγούν σε άμεση θραύση των κυματισμών σε ρηγά νερά, γιατί η διασπορά συχνοτήτων τείνει να ισορροπήσει την διασπορά εύρους (amplitude dispersion) των κυματισμών και να σταθεροποιήσει το προφίλ τους. Για τον παραπάνω λόγο η εφαρμογή τους στην ζώνη απόσβεσης, απαιτεί την εισαγωγή κριτηρίων θραύσης και μηχανισμών διασποράς ενέργειας. Παραδείγματα μοντέλων που επιλύουν τις εξισώσεις Boussinesq είναι αυτά των Karambas and Koutitas (1992) και Eldeberky and Battjes (1996).

Οι μη-γραμμικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις αρμονικές συνιστώσες του φάσματος, προσομοιώνονται αυτόματα στα μοντέλα τύπου Boussinesq. Η πληρέστερη απόδοση τους είναι εφικτή, είτε με τις εξισώσεις μάζας και ορμής στο πεδίο του χρόνου, είτε με εξισώσεις εξέλιξης στο πεδίο των συχνοτήτων (evolution equations) (π.χ. Eldeberky and Battjes, 1996).

### **Δισδιάστατα-κάθετα στην ακτή μοντέλα (2DV)**

Μόλις ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της κυματικών παραμέτρων, για την εκτίμηση της στερεοπαροχής απαιτείται η περιγραφή των ροών, που στα πιο απλά μοντέλα γίνεται με εξισώσεις που υπολογίζουν την ένταση του υπό-επιφανειακού ρεύματος επαναφοράς (undertow). Η ακρίβεια των υπολογισμών βελτιώνεται με την ενσωμάτωση υπορουτίνων αναλυτικού υπολογισμού του κατακόρυφο πεδίου της ταχύτητας (1DV μοντέλα). Τέτοιες υπορουτίνες περιγράφουν πολλά από τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα στην εγκάρσια στην ακτή κατεύθυνση, όπως το οριακό στρώμα του πυθμένα, την παραγωγή τύρβης και το δευτερογενές κυματογενές ρεύμα κοντά στον πυθμένα (wave streaming).

Οι περισσότεροι ολοκληρωμένοι στο βάθος υδροδυναμικοί υπολογισμοί έχουν σαν βασική παραδοχή την παρουσία μη ιξώδους ρευστού, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η προσθήκη ενός όρου απώλειας ενέργειας στην εξίσωση ορμής, ώστε να συμπεριληφθεί η επίδραση της θραύσης και της απόσβεσης των κυματισμών. Οι δύο κύριες κατηγορίες μοντέλων θραύσης είναι αυτά που βασίζονται στην θεώρηση του επιφανειακού κυλίνδρου (roller model) (π.χ. Madsen et al, 1997) και τα μοντέλα τυρβώδους ιξώδους (π.χ. Kennedy et al, 2000), με παρεμφερή αποτελέσματα. Πρόσφατα ο Lynett (2006) πρότεινε μια εκθετική διόρθωση του κατακόρυφου προφίλ της ταχύ-



τητας, που λόγω της παραδοχής μη ιξώδους ρευστού στους υδροδυναμικούς υπολογισμούς, είναι συνήθως ευθύγραμμο.

Ένα παράδειγμα κατακόρυφου 1DV υδροδυναμικού μοντέλου που κάνει υπολογισμούς σε κάθε χρονική στιγμή (intra-wave), είναι αυτό του Fredsøe (1984). Το μοντέλο περιγράφει το οριακό στρώμα πυθμένα υπό την δράση κυματισμών (oscillatory boundary layer model) και υπολογίζει την χρονική διακύμανση της διατμητικής τάσης του πυθμένα και του πάχους του οριακού στρώματος, από την ταχύτητα της ροής λίγο πάνω από αυτό. Συνδυάζεται με μια υπορουτίνα που περιγράφει το προφίλ των ρευμάτων, κάτω από την επιφάνεια αφρισμού (surface roller), βασισμένο στη μέση διατμητική τάση λόγω θραύσης. Μια άλλη περίπτωση μοντέλου που περιγράφει τις ροές στον κατακόρυφο άξονα, βασίζεται στον υπολογισμό της τύρβης (με μία ή δύο εξισώσεις) κατά μήκος όλης της στήλης και περιγράφεται μαζί με το προηγούμενο από τους Elfrink et al (1996).

Οι Rakha et al (1997) συνδύασαν ένα μονοδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο Boussinesq (με κατεύθυνση κάθετη στην ακτή), με ένα κατακόρυφο 1DV ώστε να υπολογίζουν την στερεοπαροχή σε κάθε χρονική στιγμή (intra-wave), καταλήγοντας σε ένα ψεύδο-δυσδιάστατο μοντέλο μορφοδυναμική εξέλιξης προφίλ (Quasi-2DV model). Το μοντέλο COBRAS (Lin and Liu, 1998· Liu et al, 1999, 2000· Hsu et al, 2002) με την σειρά του λύνει τις εξισώσεις Navier–Stokes, στην δυσδιάστατη, κατακόρυφη μορφή του Reynolds (2DV Reynolds Averaged Navier–Stokes (RANS) equations), που βασίζονται στην ανάλυση της στιγμιαίας πίεσης και ταχύτητας στην μέση τιμή και την διακύμανση της. Οι τάσεις του Reynolds (Reynolds stresses) υπολογίζονται μέσω ενός μη γραμμικού μοντέλου μη-ισοτροπικής τύρβης (nonlinear k–ε turbulence model).

### **Δυσδιάστατα-οριζόντια υδροδυναμικά μοντέλα (2DH)**

Τα μοντέλα αυτά έχουν σαν στόχο να περιγράψουν την υδροδυναμική στο οριζόντιο επίπεδο, λύνοντας τις εξισώσεις διατήρησης ορμής και μάζας, σε μορφή ολοκληρωμένα ως προς το βάθος. Αφού υπολογισθούν οι κυματικές παράμετροι και οι τάσεις ακτινοβολίας στον χώρο, συνήθως ακολουθεί η περιγραφή των ρευμάτων από ένα μοντέλο παράκτιας κυκλοφορίας. Παραδείγματα εξισώσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε τέτοια μοντέλα είναι οι εξισώσεις διατήρησης φασματικής ενέργειας (spectral energy conservation equations) (Karlsson, 1969), ήπιας κλίσης (mild slope) σε γραμ-

μική (Copeland, 1985), ή μη γραμμική μορφή (π.χ. Dingemans, 1997) και οι δυσδιάστατες εξισώσεις Boussinesq. Παραδείγματα δυσδιάστατων μοντέλων είναι των Madsen and Larsen (1987), Carmo and Santos (1996), Brocchini et al, 2001) και Dibajnia et al (2004), ενώ μια αρκετά πλήρης επισκόπηση γίνεται από τους Nicholson et al (1997).

### **Ψεύδο-τριδιάστατα μοντέλα (Quasi-3D models)**

Με ανάλογο τρόπο με τα μονοδιάστατα (1DH), τα δυσδιάστατα μοντέλα μπορούν να συνδυαστούν με υπορουτίνες που περιγράφουν τις ροές στον κατακόρυφο άξονα, σχηματίζοντας ψεύδο-τριδιάστατα υδροδυναμικά μοντέλα. Σε συνδυασμό με ρουτίνες υπολογισμού στερεοπαροχής μπορούν να εφαρμοστούν για την περιγραφή μορφολογικών μεταβολών είτε του προφίλ, είτε της ακτής συνολικά (π.χ. Watanabe et al, 1986· Bos et al, 1996). Στις πρώτες προσπάθειες οι υπολογισμοί ήταν ολοκληρωμένοι στην κυματική περίοδο (π.χ. De Vriend and Stive, 1987· Briand and Kamphuis, 1993) και σχετικά πρόσφατα, οι Elfrink et al (1996) εφάρμοσαν την κυματική θεωρία για τον υπολογισμό των κυματικών παραμέτρων σε συνεχή χρόνο, προχωρώντας σε ανάλογους υπολογισμούς στερεομεταφοράς. Παραδείγμα μοντέλου που πραγματοποιούν συνεχείς στο χρόνο υπολογισμούς είναι αυτό του Rakha (1998).

Πρόσφατα παρουσιάστηκαν «πραγματικά» τριδιάστατα υδροδυναμικά μοντέλα που επιλύουν εξισώσεις που περιγράφουν άμεσα τις ροές στον χώρο, τα οποία βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης και αποτελούν την πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Το σημαντικό τους μειονέκτημα είναι ότι, λόγω των σύνθετων υπολογισμών που εκτελούν, έχουν υψηλές απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Ένα πρόσφατο παράδειγμα είναι το DELFT3D-FLOW (Lesser et al, 2004), που επιλύει τις εξισώσεις ασταθών κυματισμών ρηχών νερών (unsteady shallow-water equations) σε τρεις διαστάσεις.

### **3.6 Μοντέλα υπολογισμού στερεοπαροχής**

Η ιζηματομεταφορά λαμβάνει χώρα με τρεις τρόπους: ως φορτίο πυθμένα (bed load), σε αιώρηση (suspended load) και σαν στρώμα αιωρούμενου ιζήματος κοντά στον πυθμένα (κάτω από ειδικές συνθήκες) (sheet flow). Μπορεί να υπολογιστεί σαν συνολικό φορτίο, ή από τον συνδυασμό των 'συνιστωσών' της, μέσω εξισώσεων που, είτε στηρίζονται σε κάποια θεωρητική αρχή, είτε έχουν σκοπό να αποδώσουν την διεργασία με ακρίβεια. Σε αναλογία με τα υδροδυναμικά μοντέλα, οι υπολογισμοί μπο-

ρεί να λαμβάνουν χώρα για την συνολική μεταφορά στο πέρας μιας περιόδου (time averaged), ή και σε συνεχή χρόνο (intra-wave).

Κυρίως σε παλαιότερα μοντέλα, λόγω της απλουστευμένης περιγραφής των κυματικών χαρακτηριστικών από το υδροδυναμικό μοντέλο, διάφοροι υπολογισμοί που αφορούσαν στις ροές, ενσωματώνονταν σε αυτούς της στερεοπαροχής, ώστε να παρέχουν την απαραίτητη λεπτομερή περιγραφή. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα σε διάφορες περιπτώσεις να μην είναι σαφής ο διαχωρισμός των τμημάτων του μοντέλου (sub-modules), εφόσον συχνά οι υπολογισμοί στερεοπαροχής περιλαμβάνουν και άλλους υπολογισμούς σχετικούς με την υδροδυναμική, π.χ. κυματικής ασυμμετρίας, δευτερογενούς ρεύματος κτλ (βλέπε Dibajnia and Watanabe (1992)).

Οι διαθέσιμοι τρόποι υπολογισμού της ιζηματομεταφοράς είναι αρκετοί και περιλαμβάνουν από σχετικά απλές εξισώσεις συνολικού φορτίου, μέχρι πολύπλοκες υπορουτίνες που περιγράφουν αναλυτικά την δημιουργία τύρβης, τις διαφορές φάσης μεταξύ ροής και μεταφοράς, την στερεοπαροχή σαν μια διφασική ροή και πλήθος άλλων διεργασιών. Οι Davies et al (2002) σε μια γενική επισκόπηση διαχωρίζουν τα μοντέλα σε ερευνητικής (research) και πρακτικής (practical) χρήσης, με βάση τις απαιτήσεις τους σε χρόνο υπολογισμού και κατ' επέκταση την δυνατότητα εφαρμογής του σε εμπορική χρήση, ή για λήψη αποφάσεων.

Στις δεκαετίες 70 και 80, όταν τα μαθηματικά ομοιώματα δεν μπορούσαν ακόμα να εφαρμοστούν ευρέως, αναπτύχθηκαν εμπειρικές εξισώσεις που εκτιμούσαν την γενική κατεύθυνση της στερεοπαροχής, με σκοπό την ερμηνεία της κατάστασης των ακτών (e.g. Dean, 1977). Υπάρχουν διάφοροι τέτοιοι «δείκτες» (π.χ. Shibayama and Horikawa, 1982· Kajima et al, 1982), που με την χρήση αδιάστατων παραμέτρων, όπως η κλίση των κυματισμών  $H/L$  και το σχετικό μέγεθος κόκκων  $D/H$ , εκτιμούν την παραλιακή μορφοδυναμική συμπεριφορά (διάβρωση ή απόθεση). Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ κάποιες από αυτές χρησιμοποιούνται σπάνια πλέον, άλλες έχουν ενσωματωθεί στο σύγχρονα μαθηματικά ομοιώματα.

### 3.6.1 Παραδείγματα εξισώσεων υπολογισμού στερεομεταφοράς

Μία από τις πρώτες προσπάθειες υπολογισμού του ρυθμού μεταφοράς ιζημάτων στο θαλάσσιο περιβάλλον, πραγματοποιήθηκε από τον Bijker (1968), που τροποποίησε την εξίσωση του Frijlink (1952), για την εκτίμηση μεταφοράς από ρεύμα, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση αλληλεπίδρασης κυμάτων και ρευμάτων. Σαν

κατεύθυνση μεταφοράς λαμβάνεται αυτή του ρεύματος, μια και η εξίσωση προτάθηκε για τον υπολογισμό της παράλληλης στην ακτή μεταφοράς:

$$q_{sb} = C_b d \sqrt{\frac{\mu_c \tau_c}{\rho}} \exp\left(-0.27 \frac{(\rho_s - \rho)gd}{\mu_c \tau_{cw}}\right) \quad (3-15)$$

$$q_{ss} = 1.83 q_{sb} \left( I_1 \ln\left(\frac{33h}{\delta_c}\right) + I_2 \right) \quad (3-16)$$

όπου  $q_{sb}$  και  $q_{ss}$ , η στερεοπαροχή σε φορτίο πυθμένα και σε αιώρηση αντίστοιχα,  $d$  η μέση διάμετρος κόκκων,  $h$  το βάθος,  $C_b$  ο συντελεστής θραύσης,  $\delta_c$  η παράμετρος αμμοκυμάτια (ripple parameter),  $\tau_c$  η διατμητική τάση λόγω ρεύματος μόνο,  $\tau_{cw}$  η διατμητική τάση λόγω συνδυασμένης δράσης κυματισμών και ρεύματος,  $\rho_s$  και  $\rho$ , οι πυκνότητες ιζήματος και νερού,  $I_1$ ,  $I_2$  τα ολοκληρώματα του Einstein (φορτίο σε αιώρηση) και  $\delta_c = 100d / h$  το αδιάστατο πάχος του οριακού στρώματος.

Ο Dean (1977) πρότεινε μια εξίσωση βασισμένη στην παραδοχή, ότι η απομάκρυνση ιζήματος συνεχίζεται, μέχρι η τιμή της απώλειας κυματικής ενέργειας ανά μονάδα όγκου νερού, να σταθεροποιηθεί σε μια ορισμένη τιμή, σε όλο το μήκος της ζώνης απόσβεσης. Βασισμένος στην παραπάνω θεώρηση εξέφρασε την στερεοπαροχή τοπικά  $S$ , σαν συνάρτηση της διαφοράς της απώλειας κυματικής ενέργειας  $D$ , από μια ορισμένη τιμή ισορροπίας  $D_{eq}$ , με την παρακάτω σχέση (Kriebel and Dean, 1985):

$$S = K (D - D_{eq}) \quad (3-17)$$

όπου,  $K$  μια αδιάστατη παράμετρος και το μοντέλο αργότερα δέχτηκε διάφορες βελτιώσεις από τον Kriebel (1986, 1987, 1990).

Μία από τις πιο διαδεδομένες εξισώσεις υπολογισμού στερεομεταφοράς είναι αυτή του Bailard (1981), που προέκυψε από το μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης του Bagnold (1966), το οποίο συνδέει την ροή ιζήματος, με τον τοπικό ρυθμό απώλειας ενέργειας:

$$q_s = \frac{0.5 f_{cw}}{g(s-1)} \left( \frac{\epsilon_b}{\tan \varphi} \langle |u|^2 u \rangle + \frac{\epsilon_s}{w_s} \langle |u|^3 u \rangle \right) \quad (3-18)$$

όπου  $\epsilon_b$ ,  $\epsilon_s$  συντελεστές σχετικοί με τα φορτία πυθμένα και σε αιώρηση αντίστοιχα (bed load and suspended load efficiencies),  $\varphi$  η γωνία τριβής του ιζήματος και σύμβολα  $\langle \rangle$  υποδηλώνουν μέσες τιμές για διάφορες κυματικές περιόδους. Ο πρώτος όρος στην παρένθεση αναφέρεται στην μεταφορά σαν φορτίο πυθμένα και ο δεύτερος

σε αιώρηση, ενώ η εξίσωση έχει δεχτεί πληθώρα βελτιώσεων σε μεταγενέστερες εφαρμογές (π.χ. Roelvink and Stive, 1989· Nairn, 1990· Leontiev, 1997).

Η εξίσωση του Van Rijn (1989) είναι εκφρασμένη, με ανάλογο τρόπο με αυτή του Bijker, σαν το άθροισμα της μεταφοράς φορτίου πυθμένα (λαμβάνοντας υπόψη τους κυματισμούς) και σε αιώρηση ολοκληρωμένη ως προς το βάθος. Η κατεύθυνση κίνησης των ιζημάτων είναι αυτή του ρεύματος και η μορφή της εξίσωσης για το φορτίο πυθμένα είναι η ακόλουθη:

$$q_{sb} = 0.25dD_*^{-0.3} \left( \frac{\tau_{cf}}{\rho} \right)^{0.5} \left( \frac{\tau_{cw} - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right)^{1.5} \quad \text{Όπου} \quad (3-19)$$

$$D_* = ((s - 1)gd^3)^{1/3} \quad (3-20)$$

$D_*$  είναι το αδιάστατο μέγεθος ιζήματος,  $\tau_{cf} = \mu_c \alpha_{cw} \tau_c$  η ολική διατμητική τάση μόνο για ρεύμα (λαμβάνοντας υπόψη τον σχηματισμό αμμορυτίδων στον πυθμένα),  $\tau_{cr}$  η κρίσιμη τιμή διατμητικής τάσης για την μεταφορά,  $\mu_c = f_c/f_{ct}$  μία παράμετρος σχήματος και  $\alpha_{cw}$  παράμετρος που επηρεάζει την μέση διατμητική τάση και συνδέεται με την επίδραση των κυματισμών.

Η μεταφορά σε αιώρηση υπολογίζεται λύνοντας την εξίσωση συνέχειας του ιζήματος ως προς το βάθος:

$$\frac{dc}{dz} = - \frac{(1-c)^5 c w_s}{\epsilon_{scw}} \quad (3-21)$$

όπου  $c(z)$  η μέση στον χρόνο συγκέντρωση σε ύψος  $z$ , το  $(1-c)^5$  αντιστοιχεί στην μείωση της ταχύτητας καταβύθισης λόγω της αλληλεπίδρασης με γειτονικούς κόκκους και  $\epsilon_{scw}$  η παράμετρος μίξης στην περίπτωση παρουσίας κύματος και ρεύματος.

Η εξίσωση υπολογισμού μεταφοράς των Dibajnia and Watanabe (1992) και Dibajnia (1995), χωρίζει την μεταφορά σε δύο φάσεις ανά περίοδο, ανάλογα με την κατεύθυνση κίνησης της ροής. Επίσης είναι ενδιαφέρον ότι προβλέπει την παρουσία ποσότητας ιζήματος σε αιώρηση, κατά την αντιστροφή της κατεύθυνσης ροής, λαμβάνοντας έτσι υπόψη την διαφορά φάσης, μεταξύ της κίνησης του νερού και των κόκκων (phase-lag effect), όπως πρώτα την περιέγραψε ο Dohmen-Janssen (1999). Η προσέγγιση αυτή, όπως και των Bailard (1981) και Ribberink (1998), μπορεί να δεχτεί και προσθήκη μη γραμμικών κυματισμών.

Ο Ribberink (1998) πρότεινε ένα ημι-σταθερό μοντέλο υπολογισμού της μεταφοράς σαν φορτίο πυθμένα, όπου η στιγμιαία μεταφορά προκύπτει από την διαφορά της τρέχουσας παραμέτρου Shields  $\Psi(t)$ , από την κρίσιμη τιμή της  $\Psi_{cr}$ . Η γενική εξίσωση είναι της μορφής:

$$\overrightarrow{q_{sb}} = m_{Rib} \sqrt{(s-1)gd^3} \cdot \left( \left| \overrightarrow{\Psi(t)} \right| - \Psi_{cr} \right)^{n_{Rib}} \frac{\overrightarrow{\Psi(t)}}{\left| \overrightarrow{\Psi(t)} \right|} \quad (3-22)$$

$$\overrightarrow{\Psi(t)} = 0.5 f_{cw} |u(t)| \frac{\overrightarrow{u(t)}}{(s-1)gd} \quad (3-23)$$

όπου η στιγμιαία ταχύτητα  $u(t)$  και ο συντελεστής τριβής για ροή από κύμα και ρεύμα  $f_{cw}$ , υπολογίζονται με βάση την μέθοδο των Madsen and Grant (1976) και  $m_{Rib} = 11$ ,  $n_{Rib} = 1.65$ , είναι σταθερές πειραματικά υπολογισμένες.

### 3.7 Μοντέλα βασισμένα στην φυσική περιγραφή των διεργασιών (Process based)

Πολλές από τις παραπάνω εξισώσεις, ειδικά στην μορφή που προτάθηκαν αρχικά, περιέχουν πολλές παραδοχές και απλοποιήσεις (π.χ. παρουσία λείου πυθμένα, υπολογισμοί ολοκληρωμένοι ανά περίοδο) και δεν μπορούν να αξιοποιήσουν πλήρως την λεπτομερή υδροδυναμική περιγραφή των σύγχρονων μοντέλων. Από την άλλη σε εκείνες που το θεωρητικό υπόβαθρο είναι κατάλληλο, έχουν γίνει διάφορες βελτιώσεις, ώστε να αποδώσουν τα φαινόμενα ιζηματομεταφοράς με μεγαλύτερη πληρότητα και σε συνδυασμό με υδροδυναμικά μοντέλα, να συνθέσουν σύγχρονα εργαλεία για την περιγραφή της παράκτιας μορφολογικής εξέλιξης.

Τα σύγχρονα αυτά μοντέλα αποτελούν την σύνθεση υπορουτινών που αναφέρονται στις δυνάμεις που συντελούν στην συνολική μεταβολή, αφού πρώτα τις αναλύσουν, ερμηνεύσουν και περιγράψουν μαθηματικά. Αυτή η σταδιακή εξέλιξη αποτέλεσε αθροιστικό αποτέλεσμα της συνολικής έρευνας και των εμπειριών από εργαστηριακές μελέτες ή πεδίου, ακολουθώντας την υπάρχουσα θεωρητική γνώση και γίνεται εφικτή λόγω της συνεχούς αύξησης της υπολογιστικής ισχύος. Τα ομοιώματα αυτά αποτελούνται από υδροδυναμικά μοντέλα υψηλής τάξης (π.χ. Boussinesq), που επιδιώκουν την αναλυτικότερη δυνατή περιγραφή των ροών, η οποία συνήθως για να αξιοποιηθεί πλήρως, απαιτεί τον υπολογισμό της στερεοπαροχής σε συνεχή χρόνο. Στις επόμενες ενότητες αναφέρονται παραδείγματα εξισώσεων ιζηματομεταφοράς, καθώς και μια μικρή συζήτηση για τις αδυναμίες και τις υπάρχουσες τάσεις των σύγχρονων μορφοδυναμικών μοντέλων.

#### 3.7.1 Μεταφορά κοντά στον πυθμένα

Οι περισσότερες εξισώσεις υπολογισμού της μεταφοράς σαν φορτίο πυθμένα είναι βασισμένες σε άλλες που χρησιμοποιήθηκαν για ποτάμια περιβάλλοντα και γενικά συνδέουν τον αδιάστατο ρυθμό μεταφοράς ιζήματος  $\Phi$ , με την παράμετρο Shields  $\theta$ :

$$\Phi = func(\theta, \theta_{cr}) \quad \text{όπου} \quad \Phi = \frac{q_b}{(g(s-1)d^3)^{0.5}} \quad (3-24)$$

Ο Soulsby (1997) αναφέρει 8 κλασσικές εξισώσεις όπως αυτές που προτάθηκαν από τους Meyer-Peter and Muller (1948), Bagnold (1966), Van Rijn (1993), Yalin (1973), Madsen (1976), Ashida and Michiue (1971), Wilson and Nielsen (1987) και των Engelund and Fredsøe (1976) μερικές από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω:

$$\text{Meyer-Peter \& Muller (1948)} \quad \Phi = 8(\vartheta - \vartheta_{cr})^{3/2} \quad (3-25)$$

$$\text{Nielsen (1992)} \quad \Phi = 12\vartheta^{0.5}(\vartheta - \vartheta_{cr}) \quad (3-26)$$

$$\text{Ribberink (1998)} \quad \Phi = 11(\vartheta - \vartheta_{cr})^{1.65} \quad (3-27)$$

$$\text{Engelund and Freds\o{e} (1976)} \quad \Phi = \frac{30}{\pi\mu_d}(\vartheta - \vartheta_{cr})(\sqrt{\vartheta} - 0.7\sqrt{\vartheta_{cr}}) \quad (3-28)$$

όπου για την πιο πολύπλοκη, τελευταία εξίσωση ο όρος  $\mu_d = \tan(\phi_d)$  εκφράζει την δυναμική τριβή και το  $\phi_d$  την γωνία δυναμικής τριβής. Επίσης με την πάροδο των χρόνων οι εξισώσεις έχουν δεχτεί διάφορες βελτιώσεις, όπως η διόρθωση της κρίσιμης τιμής της παραμέτρου Shields για κεκλιμένο πυθμένα από τον Fredsøe (1984).

Η μεταφορά κοντά στον πυθμένα μπορεί θεωρηθεί ότι λαμβάνει χώρα με δύο μηχανισμούς: α) την «κανονική» μεταφορά φορτίου πυθμένα, που λαμβάνει χώρα πάνω από αμμορυτίδες, για συνθήκες ροής της τάξης  $\theta_{cr} \leq \theta \leq 0.8$  και της οποίας ο ρυθμός υπολογίζεται με μια από τις παραπάνω σχέσεις και β) για την μεταφορά κατά την οποία η κίνηση των ιζημάτων γίνεται σε ένα σχετικά ομογενές στρώμα άμμου και νερού (sheet flow), πάχους μερικών mm, για τιμές της παραμέτρου Shields  $\theta_{cr} \geq 0.8$ . Σε αυτήν την περίπτωση, που εμφανίζεται κάτω από μεγάλους κυματισμούς, αναπτύσσονται μεγάλοι ρυθμοί στερεομεταφοράς, που έχουν σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση των αμμορυτίδων και ο ακριβής προσδιορισμός τους έχει σημαντικό αντίκτυπο στην πιστότητα των μοντέλων. Για την δεύτερη περίπτωση μεταφοράς (σε «στρώμα»), ο Bagnold (1956) ανέπτυξε την έννοια της τάσης διασποράς (dispersive stress), που αντιστοιχεί στην διαφορά μεταξύ της τάσης που ασκεί η ροή στο πάνω μέρος του στρώματος μεταφοράς και της κρίσιμης τιμής για την έναρξη της κίνησης των κόκκων.

Η ροή μέσα στο στρώμα πυθμένα, πραγματοποιείται κάτω από καθεστώς συνεχών συγκρούσεων μεταξύ των κόκκων και για την αναλυτική προσομοίωση της, γενικά απαιτείται η χρήση μοντέλων επίλυσης διφασικών ροών (π.χ. Asano, 1990· Li and , 1995· Villaret et al, 2000· Dong and Zhang, 2002). Η δυσκολία έγκειται στο γεγονός ότι τέτοιοι κώδικες είναι πολύ πολύπλοκοι, απαιτούν εξαιρετικά υψηλούς υπολογιστικούς χρόνους και δεν είναι κατάλληλοι για τον υπολογισμό της στερεοπαροχής. Έτσι στην πλειοψηφία τους, τα «ερευνητικά» μοντέλα δεν περιλαμβάνουν ειδική υπορουτίνα για την στερεοπαροχή σε στρώμα, παρά μόνο την προσεγγίζουν με παραμετροποίηση των εξισώσεων μεταφοράς φορτίου πυθμένα (Davies et al, 1997). Ο Wilson (1989) και πιο πρόσφατα οι Sumer et al (1996) συσχέτισαν εμπειρικά τα χα-



ρακτηριστικά του σταθερού στρώματος πυθμένα, με την διατμητική τάση, ενώ μεταγενέστερες σχετικές έρευνες έχουν γίνει από τους Malarkey et al (2003) και Soulsby and Damgaard (2005).

### 3.7.2 Μεταφορά σε αιώρηση

Η γενική εξίσωση υπολογισμού της στιγμιαίας στερεομεταφοράς φορτίου σε αιώρηση σε δεδομένη απόσταση από την ακτή, δίνεται από την ολοκλήρωση ως προς το βάθος, του γινομένου της ταχύτητας επί την συγκέντρωση σε κάθε σημείο:

$$S = \int_{-d}^0 uC dz \quad (3-29)$$

Με δεδομένο ότι το προφίλ της ταχύτητας περιγράφεται από το υδροδυναμικό μοντέλο, απομένει ο υπολογισμός του προφίλ της συγκέντρωσης ιζήματος, που είναι εφικτός με την χρήση της εξίσωσης τυρβώδους διάχυσης (turbulent diffusion equation):

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w_f \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \varepsilon_{sd} \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (3-30)$$

Για την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός του συντελεστή τυρβώδους ιξώδους (eddy viscosity coefficient), ο οποίος μπορεί να πάρει μια εμπειρικά προσδιορισμένη σταθερή τιμή, ή να προκύψει από μοντέλα που περιγράφουν την ανάπτυξη τύρβης. Η επιλογή μπορεί να γίνει από διαφορετικά μοντέλα, που μπορεί να αφορούν την επίλυση μιας, ή περισσότερων εξισώσεων (π.χ. k, k-e, k-e- $\omega$  models). Επιπλέον για την επίλυση της εξίσωσης (3-30), απαιτείται να οριστούν οριακές συνθήκες για την συγκέντρωση, που θεωρείται συνήθως μηδενική στην ελεύθερη επιφάνεια της θάλασσας, ενώ για τον υπολογισμό της στον πυθμένα υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις. Ο Einstein (1950) συνέδεσε την συγκέντρωση ιζήματος στον πυθμένα  $C_b$  με την στερεομεταφορά σε φορτίο πυθμένα κάθε σημείου, οι Englund and Fredsoe (1976) πρότειναν μια εξίσωση βασισμένη σε ντετερμινιστική περιγραφή και οι Zyserman and Fredsoe (1994) πρότειναν την παρακάτω εμπειρική εξίσωση:

$$C_b = \frac{0.331(\vartheta - \vartheta_{cr})^{1.75}}{1 + \frac{0.331}{C_m}(\vartheta - \vartheta_{cr})^{1.75}} \quad (3-31)$$

όπου  $C_m$  μια σταθερά με τιμή 0.32.

### 3.7.3 Μεταφορά στην ζώνη αναρρίχησης

Οι μηχανισμοί μεταφοράς στην ζώνη αναρρίχησης έχουν μελετηθεί λιγότερο σε σχέση με αυτούς της ζώνης απόσβεσης και πιθανοί λόγοι είναι η δυσκολία στην λήψη δεδομένων στερεομεταφοράς στο πεδίο και η πολύπλοκη φύση των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα. Επί παραδείγματι η συνολική ιζηματομεταφορά αποτελεί μια μικρή ποσότητα, που προκύπτει από την διαφορά δύο σημαντικά μεγαλύτερων, συνεπώς η πιθανότητα εσφαλμένης εκτίμησης, ακόμα και της κατεύθυνσης της ολικής κίνησης, είναι πολύ πιθανή.

Από την άλλη οι συνθήκες υδροδυναμικής και στερεομεταφοράς στην ζώνη αναρρίχησης είναι πολύ σημαντικές για διάφορους λόγους, όπως το γεγονός ότι σε αυτήν την περιοχή πραγματοποιείται σημαντικό μέρος της παράλληλης στην ακτογραμμική μεταφοράς (littoral sediment transport), καθώς τα επίπεδα τύρβης είναι μερικές τάξεις μεγέθους υψηλότερα σε σχέση με άλλα τμήματα της ακτής, με ανάλογο αντίκτυπο στην συγκέντρωση ιζήματος σε αιώρηση. Επίσης η αναρρίχηση των κυματισμών ασκεί υψηλές δυνάμεις δοκιμάζοντας την αντοχή παράκτιων κατασκευών και προκαλεί την διάβρωση θινών και χερσαίων κρημνών στην ακτή. Τέλος οι διεργασίες στην ζώνη αναρρίχησης επηρεάζουν σημαντικά τον μηχανισμό ανάκτησης των ακτών μετά από θύελλες (Elfrink and Baldock, 2002).

Είναι κοινώς αποδεκτό για την επιστημονική κοινότητα ότι τα μοντέλα που περιγράφουν την ζώνη αναρρίχησης, βρίσκονται σε πρώιμα στάδια και έχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης, με αποτέλεσμα την έντονη ερευνητική δραστηριότητα προς αυτήν την κατεύθυνση. Λόγω του γεγονότος ότι οι ΠΨ σχηματίζονται κυρίως στην ζώνη αναρρίχησης, οι υδροδυναμικές διεργασίες της τελευταίας, καθώς και οι μηχανισμοί ιζηματομεταφοράς, θα συζητηθούν διεξοδικά σε παρακάτω ενότητες (βλέπε κεφάλαιο 10).

### 3.7.4 Κριτική των μοντέλων

Η πιστότητα των μοντέλων που βασίζονται στην περιγραφή των μορφοδυναμικών διεργασιών στην παράκτια ζώνη, επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως απλοποιητικές παραδοχές, έλλειψη επαρκούς θεωρητικού υπόβαθρου και τεχνικούς περιορισμούς σχετικούς με την ταχύτητα υλοποίησης υπολογισμών από τους Η/Υ. Κάποιες από τις αδυναμίες που έχουν εντοπιστεί σχετίζονται με την ελλιπή περιγραφή του στοχαστικού χαρακτήρα της ταχύτητας και διεύθυνσης των κυματισμών και

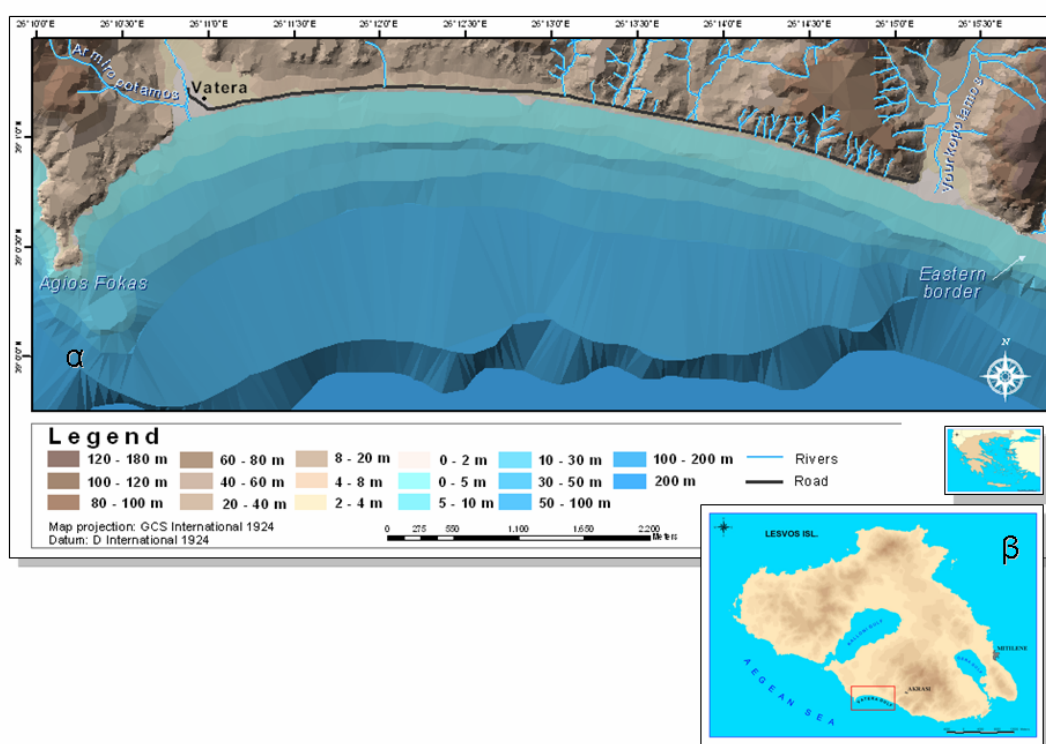
της πολυπλοκότητας/μή γραμμικότητας των κυματογενών ροών (π.χ. της ασυμμετρίας της ταχύτητας κοντά στον πυθμένα (υψηλές αρμονικές), της μέσης ροής στο οριακό στρώμα, της κάθετης και παράλληλης προς την ακτή κυκλοφορίας, διαφόρων χαμηλόσυχνων φαινομένων όπως οι υποβαρυτικές κινήσεις και της κυματικής συνιστώσας της στερεομεταφοράς). Άλλες αδυναμίες εντοπίζονται στην περιγραφή των φαινομένων στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης και του στοχαστικού χαρακτήρα του ιζήματος (Van Rijn et al, 2003· Camenen and Larroude, 2003).

Οι υπολογισμοί της στερεομεταφοράς συνήθως περιέχουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο εσφαλμένων εκτιμήσεων. Το κυριότερο πρόβλημα είναι ότι, λόγω της απουσίας αναλυτικών λύσεων, βασίζονται σε εμπειρική πληροφορία που όμως, δεν καλύπτει το φάσμα των υπαρκτών περιπτώσεων. Επιπλέον, τα περισσότερα μοντέλα υπολογίζουν το δυναμικό μεταφοράς (transport capacity models), με αποτέλεσμα να παραλείπουν την ύπαρξη χωρικών διαφορών φάσης μεταξύ ροής και στερεομεταφοράς. Δεδομένης της περιορισμένης ικανότητας των μοντέλων μορφολογικής εξέλιξης για ακριβείς ποσοτικές προβλέψεις, οι Van Rijn et al (2003) καταλήγουν ότι στις καλύτερες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εργαλεία λήψης αποφάσεων, βοηθώντας στην αξιολόγηση διαφορετικών σεναρίων. Από την άλλη, αποτελούν πολύ δυναμικά διαγνωστικά εργαλεία και έτσι θα χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια αυτής της μελέτης.

## 4 Περιοχή Μελέτης

### 4.1 Εισαγωγή/Γενικά

Ο Κόλπος των Βατερών βρίσκεται στην νότια ακτή της Λέσβου (ΒΑ Αιγαίο), σε απόσταση περίπου 50 km από την πρωτεύουσα της Λέσβου, τη Μυτιλήνη (Σχήμα 4-1). Η παραλία των Βατερών είναι μία μεγάλη ‘παραλία τσέπης’ (rocket beach, βλέπε Carter, 1988), δηλαδή μία παραλία που περικλείεται από βραχώδη ακρωτήρια, το Ακρωτήριο του Αγίου Φωκά στα δυτικά και το ακρωτήριο που σχηματίζεται από υψηλούς, τεκτονισμένους παράκτιους κρημνούς στα ανατολικά (Σχήμα 4-1).



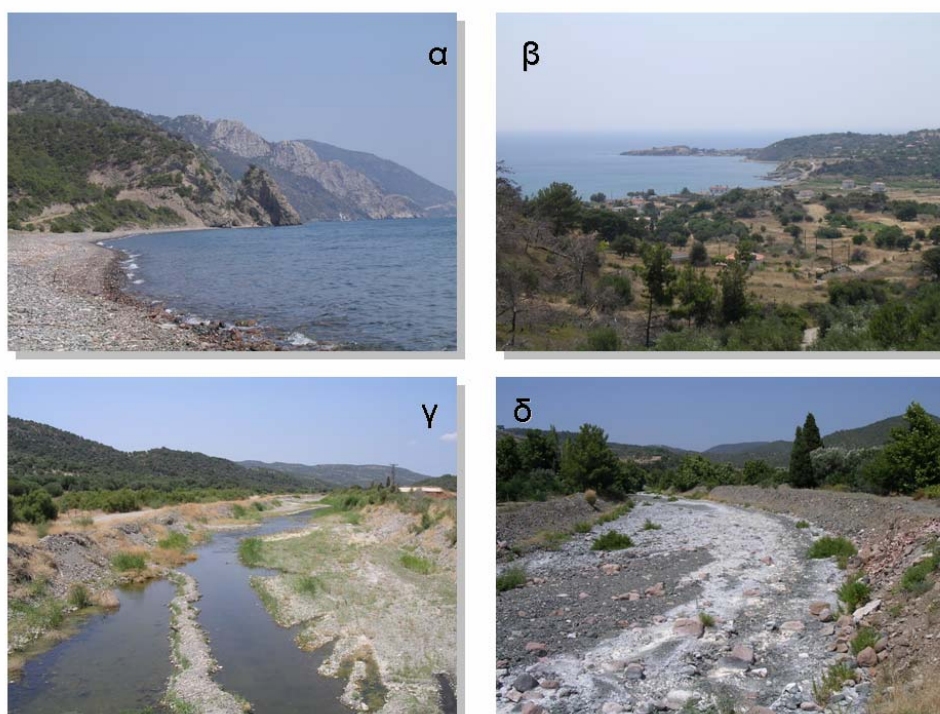
**Σχήμα 4-1** Ο Κόλπος των Βατερών. Η παραλία περικλείεται από το Ακρ. Αγ. Φωκάς στα δυτικά και το ακρωτήριο που σχηματίζεται από τεκτονισμένους παράκτιους κρημνούς.

### 4.2 Γεωμορφολογία

Η ακτή του Κόλπου των Βατερών τροφοδοτείται με χειμαρρο-ποτάμια ιζήματα από τους ποταμούς Αλμυροπόταμο και Βουρκοπόταμο (Σχήμα 4-1). Στο ανατολικό μέρος της παραλίας, υπάρχουν επίσης και πολλά εποχικά ρυάκια και ρέματα, τα οποία αποστραγγίζουν τους χαμηλούς κρημνούς και πρηνή που βρίσκονται πίσω από την παραλία (Σχήμα 4-1). Ο πυθμένας του Κόλπου των Βατερών έχει ομαλό ανάγλυφο αλλά σχετικά μεγάλη κλίση (το βάθος υπερβαίνει τα 100 m σε απόσταση 2.5 km από την

ακτή). Η ακτή μπορεί να διακριθεί, με βάση τα γεωμορφολογικά της χαρακτηριστικά, σε δύο βασικά τμήματα:

- Το δυτικό τμήμα με μήκος περίπου 1.5 km (δηλ. το τμήμα από το Ακρ. Α. Φωκάς έως και το αλουβιακό πεδίο του Αλμυροποτάμου), το οποίο χαρακτηρίζεται από βραχώδη ακτή με έντονο ανάγλυφο (Εικόνα 4-1 (β)).
- Το ανατολικό τμήμα, που εκτείνεται από τον Αλμυροπόταμο έως και το ανατολικό φυσικό όριο του Κόλπου των Βατερών (Εικόνα 4-1 (α)) και χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη αμμώδη/χαλικώδη παραλία (Παραλία Βατερών), μήκους  $\approx 7$  km και μέσου πλάτους (χερσαίας) παραλίας 25 m. Η παράκτια περιοχή πίσω από την παραλία χαρακτηρίζεται από αρκετά έντονο ανάγλυφο, με το υψόμετρο να ξεπερνά τα 120 m σε απόσταση 800 m από την ακτή.



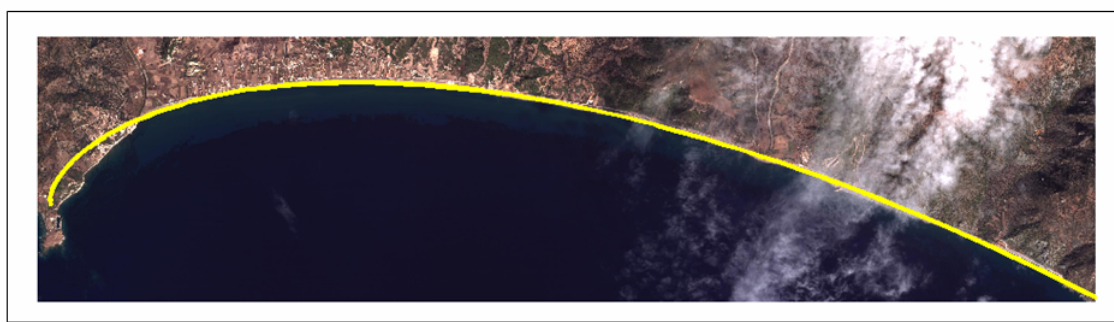
**Εικόνα 4-1** Το ανατολικό (α) και δυτικό όριο (Ακρ. Α. Φωκάς) (β) της ακτής του Κόλπου των Βατερών. Στις εικόνες (γ) και (δ) φαίνονται οι κύριοι ποταμοί της περιοχής, οι ποταμοί Αλμυροπόταμος και Βουρκοπόταμος

Η ακτογραμμή φαίνεται ότι ακολουθεί την σχέση του ‘λογαριθμικού σπινάλ’ (Silvester, 1960· 1970), κάτι που αποτελεί ένδειξη ότι βρίσκεται κοντά στην κατάσταση ισορροπίας (Σχήμα 4-2). Το σχήμα του λογαριθμικού σπινάλ στην ακτογραμμή θεωρείται ότι είναι αποτέλεσμα της παράκτιας κατανομής της κυματικής ενέργειας

λόγω κυματικής διάθλασης και περίθλασης και περιγράφεται σε πολικές συντεταγμένες από την σχέση:

$$r = r_0 e^{\theta \cot(a)} \quad (4.1)$$

όπου  $r$  είναι η ακτίνα του λογαριθμικού σπιδάλ,  $r_0$  είναι η ακτίνα από το κέντρο του λογαριθμικού σπιδάλ ως την αρχή της καμπύλης,  $\theta$  είναι η μεταβαλλόμενη γωνία μεταξύ του  $r$  και του  $r_0$  και  $a$  είναι η γωνία του σπιδάλ που ορίζεται από την γωνία μεταξύ της ακτίνας και της εφαπτομένης στην καμπύλη σε οποιοδήποτε σημείο. Στην περίπτωση της παραλίας των Βατερών οι συντελεστές  $r_0$  και  $a$  βρέθηκε ότι παίρνουν τιμές  $r_0=0.96$  και  $a=27.9$ , αντίστοιχα (Βαλαής, 2004· Ζαρκογιάννης, 2004).

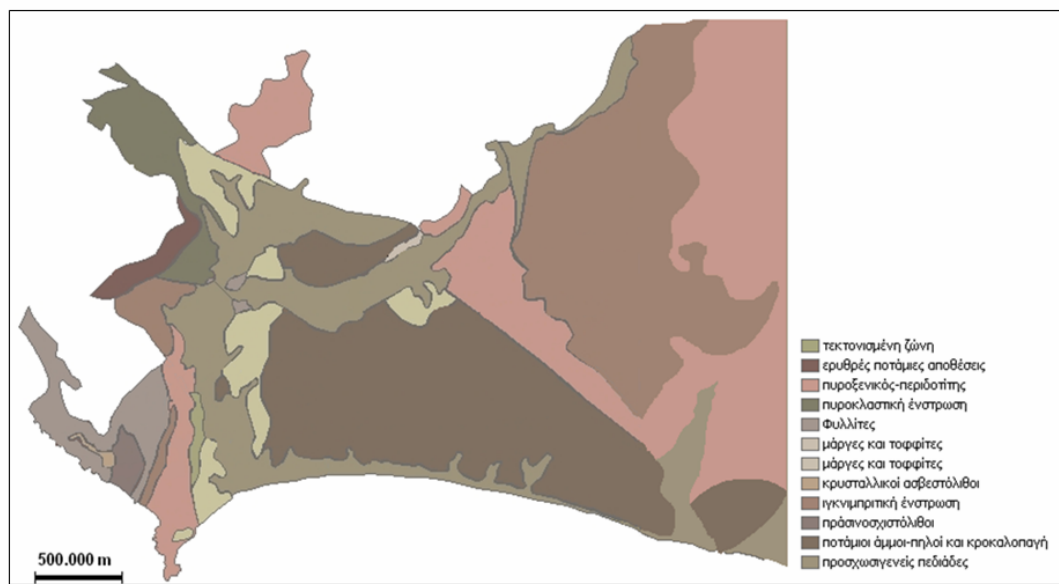


**Σχήμα 4-2** Αεροφωτογραφία της ακτής των Βατερών, στην οποία φαίνεται ότι το σχήμα της ακτογραμμής προσεγγίζεται από ένα 'λογαριθμικό σπιδάλ'. Η εξίσωση που περιγράφει καλύτερα το σχήμα της ακτογραμμής είναι  $r=0.96 e^{\theta \cot(27.9)}$ .

### 4.3 Γεωλογία

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται κυρίως από πυριγενή πετρώματα (οφιόλιθους, ιγνιμβρίτες και λάβες). Η ακτή χαρακτηρίζεται από την παρουσία Πλειστοκαινικών αποθέσεων (ποτάμιες άμμους, πηλούς και κροκαλοπαγή), τα πάχη των οποίων φθάνουν σε μερικές περιπτώσεις τα 100 m, και προέρχονται από την απόθεση των προϊόντων διάβρωσης των παλαιότερων πυριγενών πετρωμάτων και κροκαλοπαγών της λεκάνης απορροής. Υπάρχουν επίσης Ολοκαινικές αλουβιακές αποθέσεις και παραλιακά ιζήματα, αποτελούμενες κυρίως από άμμους, λατύπες, τέφρα και αργίλους (Σχήμα 4-4).

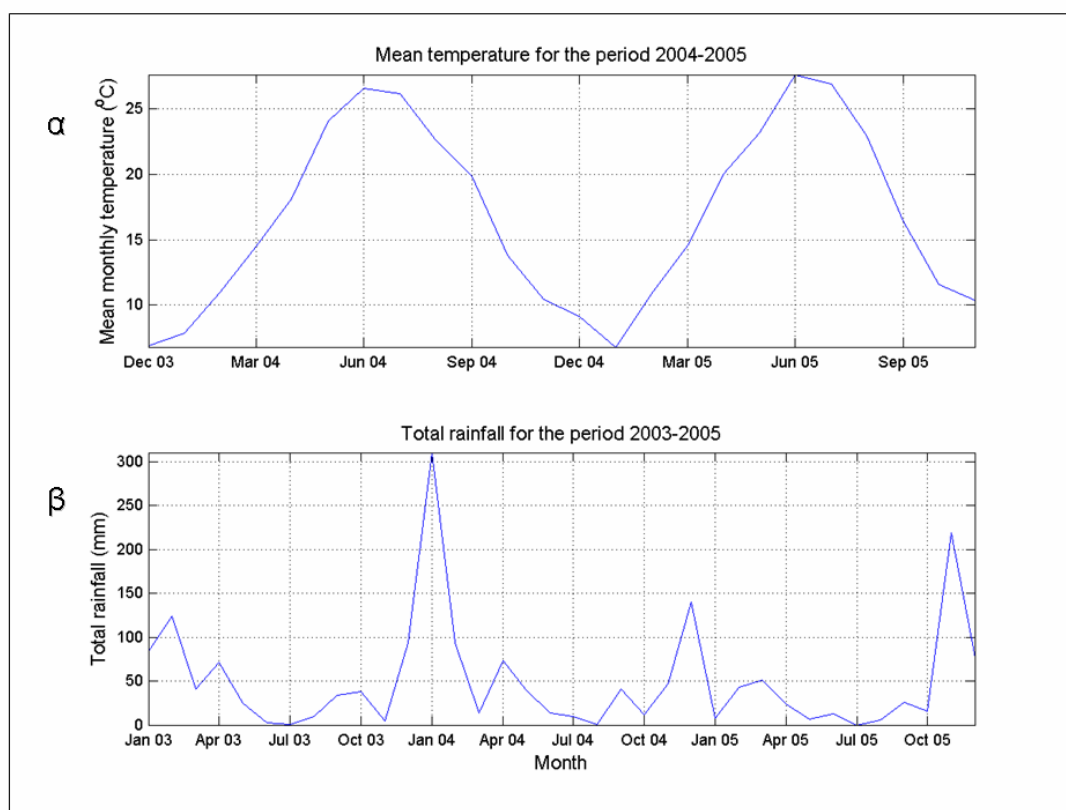
Το εδαφικό κάλυμμα της περιοχής είναι κυρίως όξινο λόγω της παρουσίας ηφαιστειακών ορυκτών. Τέλος, τα ύδατα του Αλμυροπόταμου έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα/οξείδια σιδήρου λόγω της παρουσίας γεωθερμικών νερών και της ορυκτολογικής σύστασης των πετρωμάτων της περιοχής.



Σχήμα 4-3 Γεωλογικός χάρτης της περιοχής των Βατερών

#### 4.4 Κλιματικές συνθήκες

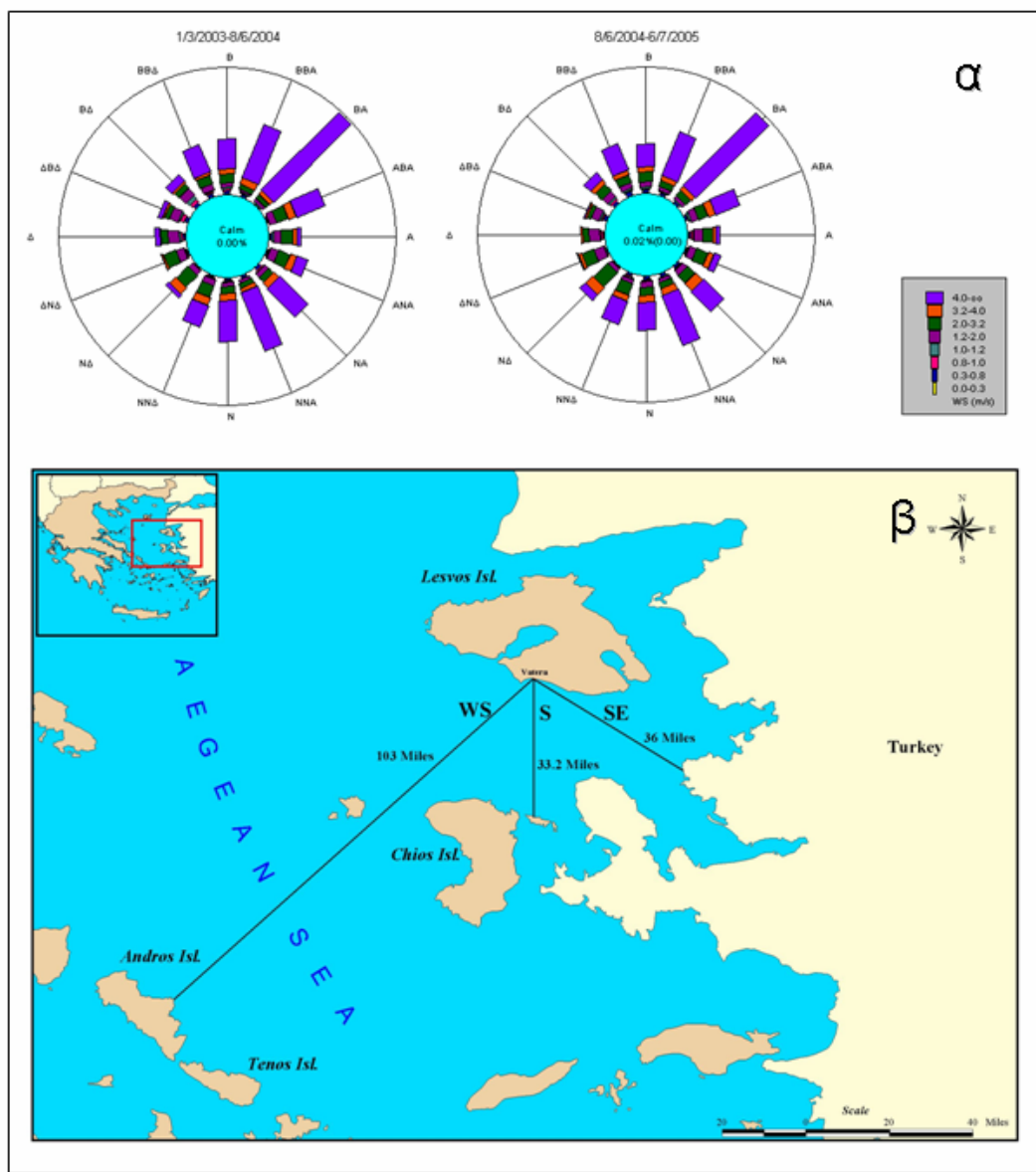
Το κλίμα της περιοχής είναι μεσογειακού τύπου (ετήσιο εύρος θερμοκρασιών  $<20^{\circ}\text{C}$ ), με βροχοπτώσεις κυρίως κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών (Ιντζίδου, 1993). Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία από το Μετεωρολογικό Σταθμό Ακρασιού, στα βόρεια του Κόλπου των Βατερών (Σχήμα 4-1), η θερμοκρασία παρουσιάζει μέγιστες τιμές την περίοδο Ιουλίου-Αυγούστου, ενώ το ύψος βροχής παρουσιάζει μέγιστο τον Ιανουάριο (Σχήμα 4-4).



**Σχήμα 4-4** Μέση μηνιαία θερμοκρασία για την περίοδο 2004-2005 (α) και συνολική μηνιαία βροχόπτωση για την περίοδο 2003-2005 (β). Στοιχεία από το Μετεωρολογικό Σταθμό Ακρασιού (Κ. Καλαμποκίδης, Τμήμα Γεωγραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου).

Οι επικρατέστεροι άνεμοι στην περιοχή πνέουν κυρίως από τα ΒΑ (με ταχύτητες  $\leq 20$  m/s) και ΝΑ (με ταχύτητες  $\leq 10$  m/s), ενώ κατά την άνοιξη και το θέρος εμφανίζονται επίσης και ΝΔ άνεμοι ( $\leq 5$  m/s) (Σχήμα 4-5 (α)). Ο προσανατολισμός της ακτής έχει σαν αποτέλεσμα τον επηρεασμό της από μόνον τους ΝΔ, Ν, και ΝΑ ανέμους (Σχήμα 4-5(β)). Οι ΝΔ άνεμοι σχετίζονται με σχετικά μεγάλο ανάπτυγμα κυματισμών (~100 nm), ενώ οι Ν και ΝΑ άνεμοι σχετίζονται με μικρότερα αναπτύγματα (33 και 36 nm, αντίστοιχα). Η ακτή των Βατερών είναι μικρο-παλιρροιακή, με παλιρροιακό εύρος της τάξης των 10 cm (Tsimplis, 1994· Tsimplis et al, 1995).





Σχήμα 4-5 (α) Ροδογράμματα από ανεμολογικών δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού Ακρασίου για τις περιόδους 1/3/2003 έως 8/6/2004 και 8/6/2004 έως 6/7/2005 και (β) χάρτης αναπτύγματος των 3 κύριων κατευθύνσεων ανέμων, που επηρεάζουν την παραλία των Βατερών.

#### 4.5 Παράκτια υδροδυναμική

Οι κυματικές συνθήκες στα ανοικτά των Βατερών υπολογίστηκαν με τον αλγόριθμο HINDCASTING (CEM) για τις μέσες ανεμολογικές συνθήκες που επικρατούν καθ' όλη τη διάρκεια του έτους (Πίνακας 4-1) και για τους μέσους θυελλώδεις ανέμους (Πίνακας 4-2). Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών φαίνεται ότι οι ισχυρότεροι κυματισμοί που επηρεάζουν τη μορφολογία και ιζηματολογία της περιοχής μελέτης έχουν ΝΑ και ΝΝΑ διεύθυνση, παρόλο το μικρό τους ανάπτυγμα. Επιπλέον, όπως

ήταν αναμενόμενο φαίνεται ότι τα ισχυρότερα κυματικά συμβάντα, τόσο υπό «φυσιολογικές», όσο και υπό «ακραίες» συνθήκες, λαμβάνουν χώρα την περίοδο του φθινοπώρου και του χειμώνα. Γενικά η παράκτια ζώνη των Βατερών θα μπορούσε να θεωρηθεί μια προστατευμένη παραλία με απουσία έντονων κυματισμών ειδικά κατά τη θερινή περίοδο.

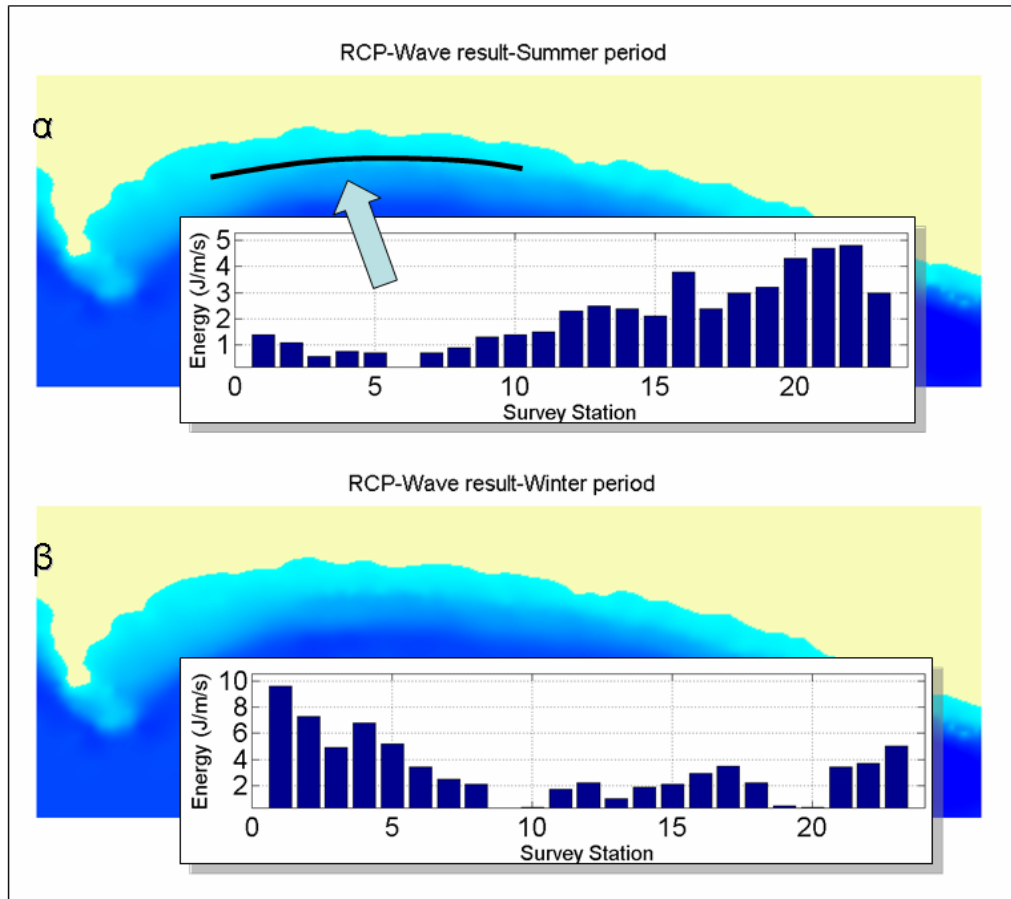
**Πίνακας 4-1** Κυματικές παράμετροι για τις μέσες καιρικές συνθήκες (Βαλαής, 2004)

<i>Περίοδος</i>	<i>Μέση ταχύτητα ανέμων</i>	<i>Διεύθυνση</i>	<i>Ανάπτυγμα</i>	<i>H<sub>∞</sub></i>	<i>T</i>
	<i>m/sec</i>		<i>km</i>	<i>m</i>	<i>m/sec</i>
Καλοκαίρι	2.5	NΔ	167	0,3	2,98
Φθινόπωρο	5.4	NNA	45	0,34	2,51
Χειμώνας	5.4	NA	56	0,38	2,7
Άνοιξη	2.9	NΔ	167	0,35	3,14

**Πίνακας 4-2** Κυματικές παράμετροι για τους μέσους θυελλώδεις ανέμους (Βαλαής, 2004)

<i>Περίοδος</i>	<i>Μέση ταχύτητα ανέμων</i>	<i>Διεύθυνση</i>	<i>Ανάπτυγμα</i>	<i>H<sub>∞</sub></i>	<i>T</i>
	<i>m/sec</i>		<i>km</i>	<i>m</i>	<i>m/sec</i>
Καλοκαίρι	5.7	NΔ	167	0,7	3,97
Φθινόπωρο	10.9	NNA	45	0,73	3,23
Χειμώνας	12.3	NNA	45	0,83	3,37
Άνοιξη	5.1	NNA	45	0,32	2,46

Οι Βαλαής (2004) και Ζαρκογιάννης (2004) χρησιμοποίησαν το μοντέλο RCP-WAVE (Ebersole, 1986) για να περιγράψουν τον μετασχηματισμό-περίθλαση-διάθλαση των κυματισμών, για τις πιο αντιπροσωπευτικές κυματικές συνθήκες κατά την διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 4-6 (Vousdoukas et al, 2006) και δείχνουν ότι (α) η ροή ενέργειας είναι αισθητά μειωμένη το καλοκαίρι, (β) κατά την καλοκαιρινή περίοδο οι κυματισμοί επηρεάζουν κυρίως το ανατολικό τμήμα της ακτής (όπου και οι NΔ άνεμοι προσπίπτουν κάθετα), ενώ στο υπόλοιπο κεντρικό-δυτικό μέρος η ροή ενέργειας είναι μικρή και (γ) κατά την διάρκεια του χειμώνα οι κυματισμοί επιδρούν περισσότερο στο δυτικό τμήμα της ακτής (όπου και οι NNA, NA άνεμοι προσπίπτουν κάθετα) και λιγότερο στο κεντρικό και ανατολικό.



**Σχήμα 4-6** Απόλυτη τιμή της ροής κυματικής ενέργειας παράλληλα στην ακτή κατά την διάρκεια της καλοκαιρινής (α) και χειμερινής περιόδου (β) σύμφωνα με το υδροδυναμικό μοντέλο RCP-WAVE (μέσες συνθήκες). Οι περιοχές χαμηλής ενέργειας την καλοκαιρινή περίοδο, συμπίπτουν με την περιοχή εμφάνισης ΠΨ (μαύρη γραμμή).

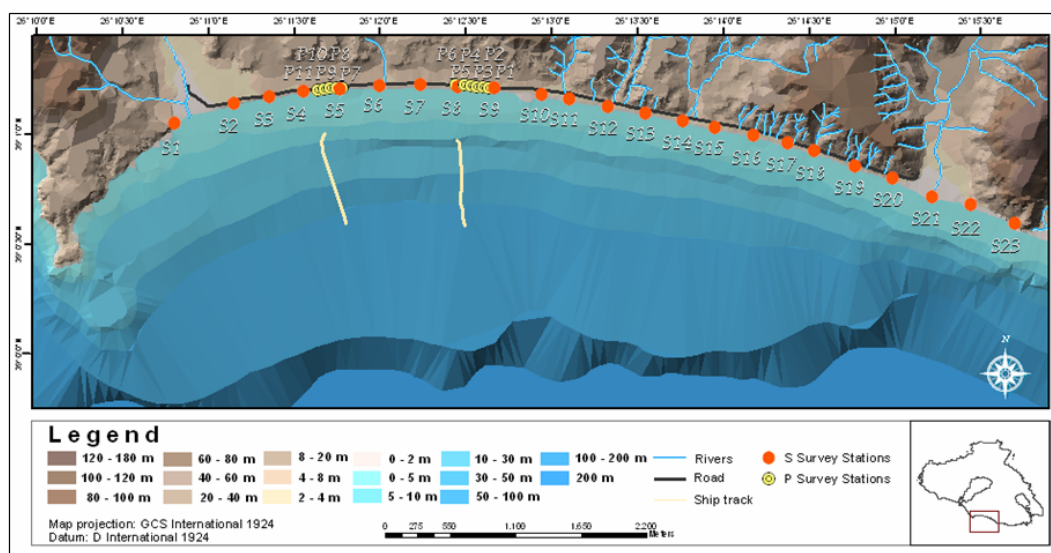
## 5 Μέθοδοι

### 5.1 Συλλογή δεδομένων

#### 5.1.1 Τοπογραφικά δεδομένα

Ο βασικός μορφολογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (Σχήμα 5-1) προέκυψε από τον συνδυασμό των υπαρχόντων τοπογραφικών/βαθυμετρικών χαρτών της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Χρησιμοποιήθηκαν δύο τοπογραφικοί και ένας βαθυμετρικός χάρτης. Οι τοπογραφικοί χάρτες (Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) έχουν κλίμακα 1:5000, έτος έκδοσης το 1977 και ανάλυση ισοϋψών 2–4 m, ενώ ο βαθυμετρικός χάρτης (Υδρογραφικής Υπηρεσίας του Πολεμικού Ναυτικού) έχει κλίμακα 1:150000 και έτος έκδοσης το 2000. Η ψηφιοποίηση των χαρτών και ο συνδυασμός τους έγινε σε περιβάλλον GIS.

Επιπλέον την 21/07/2005 πραγματοποιήθηκε εξόρμηση με το Ε/Σ Αμφιρίτη του ΤΕΘ, με σκοπό την αποτύπωση της βυθομετρίας μπροστά από τις δύο περιοχές των σταθμών P και μέρους της συνολικής παραλίας των Βατερών (βλέπε Σχήμα 5-1 για την πορεία του σκάφους).



**Σχήμα 5-1** Μορφολογία περιοχής μελέτης και κατανομή των σταθμών συλλογής τοπογραφικών και ιζηματολογικών δεδομένων. Οι 23 σταθμοί S (κόκκινα σημεία) αναφέρονται σε δειγματοληψίες μικρής χωρο-χρονικής διακριτικότητας, ενώ οι 11 σταθμοί P (κίτρινα σημεία) δείχνουν τις δύο περιοχές τοπογραφικών αποτυπώσεων μεγάλης χωρο-χρονικής διακριτικότητας (βλέπε και Πίνακες 1.1 και 1.2). Οι γραμμές στην θάλασσα περιοχή αναφέρονται στις βυθομετρικές διαδρομές που έγιναν στην περιοχή τον Ιούλιο 2005.

Στις τοπογραφικές αποτυπώσεις χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές μέθοδοι. Στα χερσαία και αβαθή υποθαλάσσια τμήματα της παραλίας (μέχρι βάθους  $\approx 1.5$  m), η αποτύπωση έγινε με την βοήθεια χωροβάτη (TopCom AT-G4), ενώ στα υποθαλάσσια τμήματα, από αυτοδύτη (Εικόνα 5-1) με την βοήθεια υψηλής ακρίβειας, βαθμονομημένου αισθητήρα πίεσης και βαθμονομημένου σκοινιού, το οποίο σταθεροποιούνταν σε σταθερά χερσαία και υποθαλάσσια σημεία πρόσδεσης που σχημάτιζαν μία κάθετη προς την ακτογραμμική γραμμή (μήκους μέχρι και 250 m). Η διακριτότητα των μετρήσεων ήταν 4 m για την υποβρύχια μέτρηση και 1 m για το άνω τμήμα του προφίλ. Η ακρίβεια της μέτρησης με χωροβάτη και σταδία υπολογίσθηκε σε 0.02 m, ενώ με τον βαθμονομημένο αισθητήρα πίεσης ίση με 0.05 m. Καθώς η παρουσία κυματισμών ελαττώνει σημαντικά την ακρίβεια των υποθαλάσσιων μετρήσεων (λόγω δυσκολιών στην κατακόρυφη τοποθέτηση της σταδίας και υψίσυχων μεταβολών της πίεσης και συνεπώς της θαλάσσιας στάθμης), όλες οι αποτυπώσεις έγιναν κάτω από πολύ ήπιες κυματικές συνθήκες.

Για επαλήθευση και εξακρίβωση της ‘συνάφειας’ των δύο διαφορετικών μεθόδων αποτύπωσης, κοινά τμήματα των προφίλ αποτυπώθηκαν και με τις δύο μεθόδους· και για ήπιες κυματικές συνθήκες, τα αποτελέσματα της σύγκρισης ήταν ικανοποιητικά.

Σαν σταθερά σημεία αναφοράς των αποτυπώσεων χρησιμοποιήθηκαν (για κάθε σταθμό) 2 σταθερά σημεία εκατέρωθεν του παραλιακού δρόμου. Αυτά τα σημεία, η θέση των οποίων αποτυπώθηκε με συσκευή DGPS (Ashtech ProMark 2), όριζαν την κατακόρυφη απόσταση από το υψομετρικό σημείο αναφοράς (elevation datum), καθώς και την ευθεία πάνω στην οποία βρισκόταν η κάθε παραλιακή τομή υπό παρακολούθηση.



**Εικόνα 5-1** Μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στις μορφολογικές αποτυπώσεις. (α) Εκσκαφή της παραλίας για την τοπογραφική αποτύπωση της άνω επιφάνειας του παραλιακού ψαμμίτη· (β) αποτύπωση με σταδία και χωροβάτη του άνω (χερσαίου και αβαθούς υποθαλάσσιου) τμήματος του παραλιακού προφίλ· και (γ) αποτύπωση του υποθαλάσσιου τμήματος του παραλιακού προφίλ από αυτοδύτη και αισθητήρα πίεσης.

Έγιναν τοπογραφικές αποτυπώσεις σε 2 διαφορετικές ομάδες σταθμών δειγματοληψίας (Σχήμα 5-1). Η πρώτη (S) ομάδα αποτελούνταν από 23 σταθμούς (Πίνακας 5-1) κατανεμημένους κατά μήκος της ακτογραμμής, ανά διαστήματα περίπου 300 m και επηλέχθηκαν με σκοπό να αποτυπωθεί η γενικότερη τοπογραφία της παραλίας των Βατερών. Οι αποτυπώσεις αυτές αφορούσαν μόνο τα χερσαία και αβαθή (μέχρι βάθους 1.5 m περίπου) υποθαλάσσια τμήματα του παραλιακού προφίλ.

Η δεύτερη (P) ομάδα σταθμών (Σχήμα 5-1 και Πίνακας 5-2) αφορούσε δύο ξεχωριστές περιοχές με ΠΨ. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι ΠΨ της δυτικής περιοχής χαρακτηρίζονται από πλέον προχωρημένη συνεκτικοποίηση. Στην περιοχή αυτή, οι σταθμοί τοπογραφικών αποτυπώσεων και δειγματοληψιών ιζημάτων (Σταθμοί P7-P11, Σχήμα 5-1) απείχαν 50 m μεταξύ τους. Στην ανατολική περιοχή (Σταθμοί

P1-6, Σχήμα 5-1), οι 5 πρώτοι σταθμοί (P1-P5) απέιχαν επίσης 50 m μεταξύ τους ενώ ο Σταθμός P6 βρισκόταν 150 m δυτικά του P5.

**Πίνακας 5-1** Συντεταγμένες της θέσης των 23 δειγματοληπτικών σταθμών S, καθώς και ημερομηνία αποτύπωσης και πλήθος δειγμάτων ιζήματος που συλλέχθηκαν κατά μήκος του προφίλ (χειμώνας-καλοκαίρι)

Σταθμός	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Περίοδος αποτύπωσης	Πλήθος δειγμάτων ιζήματος
S1	39.00.97	26.10.79	03/02/2004	12
S2	39.01.06	26.11.12	03/02/2004	7
S3	39.01.11	26.11.34	03/02/2004	9
S4	39.01.14	26.11.34	03/02/2004	8
S5	39.01.15	26.11.76	03/02/2004	8
S6	39.01.17	26.11.98	03/02/2004	7
S7	39.01.15	26.12.21	03/02/2004	10
S8	39.01.16	26.12.41	03/02/2004	9
S9	39.01.15	26.12.64	03/02/2004	8
S10	39.00.58	26.12.48	03/02/2004	8
S11	39.01.07	26.13.04	03/02/2004	8
S12	39.00.55	26.13.11	03/02/2004	7
S13	39.01.04	26.13.31	03/02/2004	8
S14	39.00.51	26.13.37	03/02/2004	9
S15	39.00.59	26.13.55	03/02/2004	8
S16	39.00.47	26.14.02	03/02/2004	10
S17	39.00.56	26.14.21	03/02/2004	12
S18	39.00.43	26.14.23	03/02/2004	8
S19	39.00.49	26.14.44	03/02/2004	9
S20	39.00.36	26.14.51	03/02/2004	8
S21	39.00.31	26.15.05	03/02/2004	9
S22	39.00.29	26.15.18	03/02/2004	8
S23	39.00.33	26.15.40	03/02/2004	-

**Πίνακας 5-2** Συντεταγμένες της θέσης των 11 δειγματοληπτικών σταθμών P, η περίοδος παρακολούθησης και πλήθος δειγμάτων ιζήματος που συλλέχθηκαν κατά μήκος του προφίλ (χειμώνας-καλοκαίρι)

Σταθμός	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Πρώτη αποτύπωση	Τελευταία αποτύπωση	Πλήθος αποτυπώσεων	Πλήθος δειγμάτων ιζήματος
P1	39 01 00.26	26 12 29.86	Ιουν 03	Ιουν 04	5	14
P2	39 01 00.42	26 12 27.85	Ιουν 03	Σεπτ 05	11	12
P3	39 01 00.64	26 12 25.74	Ιουν 03	Ιουν 04	5	12
P4	39 01 00.77	26 12 23.68	Ιουν 03	Ιουν 04	6	11
P5	39 01 00.99	26 12 21.55	Ιουν 03	Ιουν 04	5	14
P6	39 01 00.94	26 12 18.49	Ιουν 03	Ιουν 04	5	13
P7	39 00 59.98	26 11 38.57	Ιουν 03	Ιουν 04	5	11
P8	39 00 59.90	26 11 36.53	Ιουν 03	Σεπτ 05	11	12
P9	39 00 59.71	26 11 34.48	Ιουν 03	Ιουν 04	5	10
P10	39 00 59.56	26 11 32.39	Ιουν 03	Ιουν 04	5	9
P11	39 00 59.32	26 11 30.23	Ιουν 03	Ιουν 04	5	11

Η τοπογραφική αποτύπωση των παραλιακών προφίλ των σταθμών S2, S4, S8, S10, S12, S14, S16, S18, S20, S21 και S22 έλαβε χώρα την 3<sup>η</sup> Μαρτίου 2004. Οι 5 (βραχείες) αποτυπώσεις των άνω τμημάτων (χερσαίων και αβαθών υποθαλάσσιων) των παραλιακών προφίλ στους σταθμούς P ξεκίνησαν την 14η Ιουνίου 2003 και ολοκληρώθηκαν την 8η Ιουνίου 2004 (Πίνακας 5-3).

**Πίνακας 5-3** Βραχείες τοπογραφικές αποτυπώσεις (χερσαίο και αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα του παραλιακού προφίλ) στους σταθμούς P1-P11.

<i>Ημερομηνία</i>	
Αποτύπωση B1	14 Ιουνίου 2003
Αποτύπωση B2	17 Νοεμβρίου 2003
Αποτύπωση B3	11 Δεκεμβρίου 2003
Αποτύπωση B4	11 Φεβρουαρίου 2004
Αποτύπωση B5	8 Ιουνίου 2004

Κατά την διάρκεια του πρώτου έτους παρακολούθησης, οι σταθμοί P2 και P8 αποδείχτηκαν χαρακτηριστικοί για κάθε μία από τις δύο περιοχές, με αποτέλεσμα οι επόμενες αποτυπώσεις να επικεντρωθούν σε αυτούς τους δύο σταθμούς. Οι αποτυπώσεις επεκτάθηκαν και στα υποθαλάσσια τμήματα του παραλιακού προφίλ (μέχρι βάθη 5 m), με την μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω.

Επιπλέον, με την βοήθεια εκσκαφέα του Δήμου Πολυχνίτου Λέσβου, την 11/12/2003 ανασκάφηκαν τα χερσαία τμήματα των παραλιακών προφίλ στους σταθμούς P2, P4 και P8 μέχρι και την θαμμένη άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών, η οποία και αποτυπώθηκε.

<i>Ημερομηνία</i>	
Αποτύπωση M1	5 Αυγούστου 2004
Αποτύπωση M2	11 Φεβρουαρίου 2005
Αποτύπωση M3	15 Μαρτίου 2005
Αποτύπωση M4	26 Μαΐου 2005
Αποτύπωση M5	6 Ιουλίου 2005
Αποτύπωση M6	24 Σεπτεμβρίου 2005

**Πίνακας 5-4** Μακρές τοπογραφικές αποτυπώσεις (χερσαίο και υποθαλάσσιο τμήμα του παραλιακού προφίλ) στους σταθμούς P2 και P8.

### 5.1.2 Ιζηματολογικά δεδομένα

Η δειγματοληψία των παραλιακών ιζημάτων έλαβε χώρα κατά την διάρκεια του έτους 2004 και αφορούσε στην συλλογή δειγμάτων επιφανειακών ιζημάτων από τους σταθ-



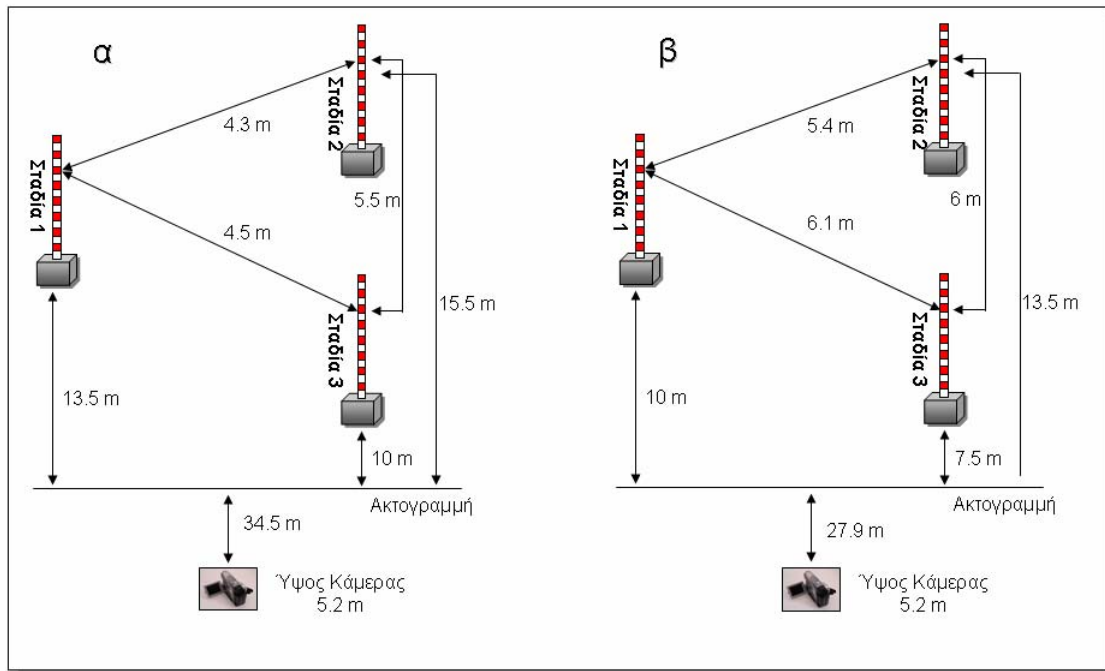
μούς S και P (Σχήμα 5-1). Για να μελετηθούν οι εποχικές μεταβολές στην κατανομή των παραλιακών ιζημάτων, συλλέχθηκαν δείγματα τόσο κατά την θερινή (Μάρτιος 2004), όσο και την χειμερινή περίοδο (Ιούλιος 2004). Η συλλογή των δειγμάτων έγινε με αρπάγη χειρός και αφορούσε επιφανειακό ίζημα (δηλαδή ίζημα που βρίσκεται μέχρι και 10 cm από την επιφάνεια). Από τους σταθμούς της ομάδας S συλλέχθηκαν (κατά μέσο όρο) 4 δείγματα κατά μήκος του χερσαίου παραλιακού προφίλ κάθε περιόδου, ενώ στους σταθμούς P 6 δείγματα. Τα 4 σημεία συλλογής δείγματος ήταν το άνω τμήμα και μέσο του προφίλ, το χερσαίο ύβωμα και η ζώνη αναρρίχησης, ενώ για τους σταθμούς P συλλέχθηκαν επιπλέον δείγματα από ζώνες που το υλικό παρουσιάζονταν διαφοροποιημένο, με βάση την κρίση του συλλέκτη. Συνολικά συλλέχθηκαν 190 δείγματα από τους σταθμούς S (92 την θερινή και 98 την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας, βλέπε Πίνακας 5-1) και 129 δείγματα από τους σταθμούς P (63 την θερινή και 66 την χειμερινή περίοδο δειγματοληψίας, βλέπε Πίνακας 5-2).

### 5.1.3 Κυματικά δεδομένα

Μια δειγματοληψία συλλογής κυματικών δεδομένων έλαβε χώρα τον Ιούλιο του 2005, με σκοπό την καταγραφή της υψηλής συχνότητας μεταβολών της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας, λόγω της διέλευσης των κυματισμών, σε τρία σημεία των προφίλ P2 και P8. Στον πρώτο σταθμό οι ΠΨ εκτίθενται σε μια μικρή περιοχή του υποθαλάσσιου προφίλ και η παρουσία τους δεν αναμένεται να επηρεάζει σημαντικά την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας στην ζώνη απόσβεσης. Από την άλλη στην σταθμό P8 οι σχηματισμοί είναι εκτεθειμένοι σε μεγάλη έκταση και στο θαλάσσιο όριο τους έχει δημιουργηθεί ένα «σκαλοπάτι» ύψους 0.75 cm, λόγω υποσκαφής από τους κυματισμούς. Σκοπός των εργασιών ήταν να μελετηθεί η προέλαση και θραύση των κυματισμών κατά μήκους των τομών, με αυξημένο ενδιαφέρον στον σταθμό P8, λόγω της μη-διαπερατής και ασυνεχούς φύσης του πυθμένα.

Τρεις βαθμονομημένοι στύλοι σταθεροποιημένοι σε βάσεις από τσιμέντο, ώστε να μην επηρεάζονται από την κυματική δράση, τοποθετήθηκαν σε τριγωνική διάταξη κοντά στην περιοχή θραύσης των κυματισμών (βλέπε Σχήμα 5-2). Ειδικά στον σταθμό P8, η διάταξη ήταν τέτοια ώστε ο ένας πόλος να βρίσκεται πάνω στο σκαλοπάτι και ο άλλος ακριβώς μετά από αυτό (εκατέρωθεν κάθετα στην ακτή). Ψηφιακή βιντεοκάμερα κατέγραψε την προέλαση των κυματισμών και μέσω ειδικού λογισμικού επε-

ξεργασίας εικόνας (βλέπε ενότητα 5.2.3 παρακάτω), δημιουργήθηκαν χρονοσειρές μεταβολής θαλάσσιας στάθμης.



Σχήμα 5-2 Διάταξη των βαθμονομημένων πόλων και της κάμερας για τη καταγραφή της προσέλευσης των κυματισμών και την καταγραφή της μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης.

## 5.2 Ανάλυση δεδομένων

### 5.2.1 Ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων με χρήση Empirical Orthogonal Functions.

Η χωρική και χρονική μεταβλητότητα των παραλιακών προφίλ μελετάται στατιστικά με την χρήση εμπειρικών ορθογώνιων ιδιοσυναρτήσεων (Empirical Orthogonal Functions, EOFs) (Komar, 1998). Η ανάλυση που στηρίζεται στον υπολογισμό των ιδιοτιμών κατάλληλα τροποποιημένων πινάκων μορφοδυναμικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκε αρχικά από μετεωρολόγους και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά σε παράκτια έρευνα από τους Winant et al (1975). Ουσιαστικά η μέθοδος αποσκοπεί στο να απομονώσει την χωρική και χρονική εξάρτηση των δεδομένων, ώστε αυτά να αναπαρασταθούν με την μορφή γραμμικών συνδυασμών των αντίστοιχων συναρτήσεων στον χρόνο και στον χώρο. Οι συναρτήσεις αυτές περιγράφουν την μεταβολή της διεύθετης του προφίλ, ως προς την απόσταση από σταθερά σημεία των δεδομένων και ως προς τις χρονικές μεταβολές της διάταξης του προφίλ, κατά την διάρκεια της παρακολούθησης (Winant et al, 1975). Η μέθοδος αναλύει την μεταβολή των τοπογραφικών δεδομένων στις κύριες συνιστώσες της και προσδιορίζει τις επικρατέστερες μορφές της, απλοποιώντας την διερεύνηση της γενικότερης τάσης των δεδομένων και διευκολύνοντας την ταξινόμηση των προφίλ.

Οι πρώτες εφαρμογές της μεθόδου έγιναν σε μονοδιάστατα δεδομένα, όπως χρονοσειρές αποτυπώσεων ενός προφίλ (χρονική μεταβολή), ή τομές διαδοχικών σταθμών κατά την διάρκεια της ίδιας ημέρας (χωρική μεταβολή). Οι Winant et al (1975) χρησιμοποίησαν EOFs για την ανάλυση τοπογραφικών δεδομένων 2 ετών από την περιοχή Torrey Pines Beach (California) και κατέληξαν ότι σχεδόν όλη η μεταβολή του προφίλ αποδίδεται από τις 3 πρώτες χωρικές ιδιοσυναρτήσεις, που αντιστοιχούν στις τρεις μεγαλύτερες ιδιοτιμές. Η μεγαλύτερη χωρική ιδιοσυνάρτηση (e1) αναπαριστά το «μέσο» προφίλ της χρονοσειράς, η δεύτερη (e2) παρουσιάζει την μέγιστη τιμή στην θέση του καλοκαιρινού χερσαίου και την ελάχιστη στην θέση του υποθαλάσσιου υβώματος, ενώ η τρίτη συνάρτηση (e3) αντιστοιχεί σε ένα ευρύτερο μέγιστο της χαμηλότερης παλιρροιακής στάθμης.

Ο Aubrey (1979) τόνισε παραπέρα την σημασία των 3 μεγαλύτερων χρονικών ιδιοσυναρτήσεων καταλήγοντας ότι: (i) η πρώτη συνάρτηση (c1), όταν αναπαρασταθεί σε σχέση με τον χρόνο, φανερώνει την γενικότερη τάση του προφίλ για διάβρωση ή α-

πόθεση, (ii) η δεύτερη συνάρτηση (c2) μεταβάλλεται συστηματικά με τις εποχές και αποκαλύπτει σχετικούς μηχανισμούς, κάθετης στην ακτή, ιζηματομεταφοράς λόγω εποχικής διακύμανσης της κυματικής ενέργειας και (iii) η τρίτη ιδιοσυνάρτηση (c3) αποδίδει πιο υψίσυχνες μεταβολές για χρόνους μικρότερους από μήνα, χωρίς όμως ακόμα να έχει ξεκαθαριστεί πλήρως η φυσική της σημασία.

Στην περίπτωση των τοπογραφικών δεδομένων των Βατερών έγινε χρήση της μεθόδου στην μονοδιάστατη μορφή, για την σειρά των αποτυπώσεων κάθε σταθμού δειγματοληψίας ξεχωριστά και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως οι πρώτες χωρικές και χρονικές ιδιοσυναρτήσεις.

Οι υπολογισμοί που λαμβάνουν χώρα κατά την ανάλυση EOF περιγράφονται παρακάτω:

Δεδομένου ότι για κάθε σταθμό έχουμε  $n_t$  αποτυπώσεις σε  $n_s$  σημεία του προφίλ (που απέχουν  $z$  από ένα σταθερό σημείο αναφοράς), τα δεδομένα διατάχθηκαν με τον εξής τρόπο:

$$\begin{matrix} t_1 \\ t_2 \\ \dots \\ t_{n_t} \end{matrix} \Rightarrow H = \begin{bmatrix} z_{t_1, x_1} & z_{t_1, x_2} & \dots & \dots & z_{t_1, x_{n_s}} \\ z_{t_2, x_1} & z_{t_2, x_2} & \dots & \dots & z_{t_2, x_{n_s}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ z_{t_{n_t}, x_1} & z_{t_{n_t}, x_2} & \dots & \dots & z_{t_{n_t}, x_{n_s}} \end{bmatrix} \quad (5-1)$$

όπου  $t_j$  είναι ο χρόνος και  $z$  η στάθμη του προφίλ σε απόσταση  $x_i$ .

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένας πίνακας (H)  $n_t \times n_s$ , με στοιχεία  $z(t_j, x_i)$ , που αποτελείται από  $n_t$  γραμμές και  $n_s$  στήλες, πχ.

$$H = [z_{t_j, x_i}] \quad (j = 1, 2, \dots, n_t, i = 1, 2, \dots, n_s) \quad (5-2)$$

Από τον πίνακα H, προκύπτουν 2 τετράγωνοι πίνακες A και B:

$$A = \frac{1}{n_z n_t} (H^T H) \quad (5-3)$$

$$B = \frac{1}{n_z n_t} (H H^T) \quad (5-4)$$

όπου  $H^T$  είναι ο αντίστροφος του H. Συνεπώς ο πίνακας A έχει διαστάσεις  $n_s \times n_s$  και ο B  $n_t \times n_t$ . Επιπλέον οι A και B είναι Hermitian τετράγωνοι πίνακες και έχουν θετικές πραγματικές ιδιοτιμές και ιδιοσυναρτήσεις. Για τον A, υπάρχουν  $n_z$  ιδιοτιμές και ιδιοσυναρτήσεις, έτσι ώστε:

$$Ae_i = \lambda_i e_i \quad (5-5)$$

όπου  $e_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n_s$ ) είναι οι χωρικά συσχετισμένες ιδιοσυναρτήσεις.

Ομοίως για τον B, ορίζονται  $n_t$  ιδιοτιμές και ιδιοσυναρτήσεις:

$$Be_j = \lambda_j e_j \quad (5-6)$$

Όπου  $e_j$  ( $j = 1, 2, \dots, n_t$ ) είναι οι χωρικά συσχετισμένες ιδιοσυναρτήσεις

Μπορεί να αποδειχθεί μαθηματικά ότι οι A και B έχουν τις ίδιες  $n$  ( $n \leq n_s$  and  $n \leq n_t$ ) μη μηδενικές ιδιοτιμές (Landesman and Hestenes, 1992). Θεωρήθηκε ότι  $e_k$  και  $c_k$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ ) είναι οι ιδιοσυναρτήσεις των A και B που σχετίζονται με τις μη μηδενικές ιδιοτιμές, όπου  $e_k = [e_k(z_1), e_k(z_2), \dots, e_k(x_{ns})]$  και  $c_k = [c_k(t_1), c_k(t_2), \dots, c_k(t_{nt})]$ . Σε αυτήν την περίπτωση η στάθμη του προφίλ σε απόσταση  $z_i$  και χρόνο  $t_j$  μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση του  $i^{\text{στου}}$  στοιχείου του  $e_k$ , του  $j^{\text{στου}}$  στοιχείου του  $c_k$  και των μη μηδενικών ιδιοτιμών:

$$C(x_i, t_j) = \sum_{k=1}^n a_k e_k(i) c_k(j) \quad (5-7)$$

όπου

$$a_k = \sqrt{\lambda_k n_t n_z} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad (5-8)$$

Μια βασική παραδοχή της ανάλυσης EOF είναι ότι τα δεδομένα έχουν κοινή προέλευση. Κάτι τέτοιο ικανοποιείται από τα τοπογραφικά δεδομένα των Βατερών καθώς οι μετρήσεις είχαν κοινή προέλευση και σταθερή χωρική ανάλυση ίση με 0.5 m. Οι υπολογισμοί έγιναν με ειδικό αλγόριθμο σε περιβάλλον MATLAB.

### 5.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων ιζημάτων

Αρχικά, το κάθε ένα από τα δείγματα χωρίστηκε σε τέσσερα υπο-δείγματα (με την τεχνική του τεταρτημορίου (Folk, 1980), από τα οποία δύο χρησιμοποιήθηκαν στην κοκκομετρική ανάλυση. Τα δύο υποδείγματα (αντίθετα τεταρτημόρια του δείγματος) ακολούθως ενοποιήθηκαν και το δείγμα του προέκυψε ξεπλύθηκε με 2 lt απιονισμένου νερού για την απομάκρυνση των αλάτων και τοποθετήθηκε σε κλίβανο (στους  $\sim 50$  °C) για ξήρανση. Καθώς τα δείγματα δεν περιείχαν μεγάλα ποσοστά πηλού (ίλος και άργιλος <2-3%), χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ξηρού κοσκινίσματος. Το κάθε δείγμα τοποθετήθηκε σε δονητική συσκευή με σειρά κόσκινων από -1φ (2 mm) έως

4φ (0.063 mm) (ανά 1φ), για διάστημα 12 λεπτών. Λόγω του μεγάλου ποσοστού ιζημάτων μεγάλου μεγέθους που εμφανίστηκε σε πολλά δείγματα, πραγματοποιήθηκε επιπλέον διαχωρισμός τους σε σειρά αυτοσχέδιων κόσκινων με 'μάτι' -5.6φ, -4.6φ, και -3.2φ. Το βάρος της κάθε κλάσης που κατακρατήθηκε στα κόσκινα μετρήθηκε σε αναλυτικό ζυγό τύπου Kern GJ 3100-2M με ακρίβεια 0.01gr. Τέλος, το βάρος κάθε κλάσης προστέθηκε αθροιστικά για την δημιουργία αθροιστικών κοκκομετρικών καμπύλων.

Οι βασικές στατιστικές παράμετροι των δειγμάτων εκτιμήθηκαν με την γραφική μέθοδο Folk (Folk, 1980), σύμφωνα με την οποία, οι στατιστικές παράμετροι υπολογίζονται από την αθροιστική καμπύλη του δείγματος, με την βοήθεια συγκεκριμένων τιμών (βλέπε παρακάτω). Οι τιμές αυτές αναφέρονται στα κοκκομετρικά μεγέθη τα οποία είναι περισσότερο (ή λιγότερο αδρόκοκκα) από συγκεκριμένα ποσοστά βάρους του δείγματος. Έτσι το μέγεθος κόκκων φ<sub>25</sub> είναι εκείνο το οποίο είναι περισσότερο λεπτόκοκκο από το 25% του δείγματος. Οι βασικές στατιστικές παράμετροι που προσδιορίζονται είναι (Folk, 1980):

- Γραφικός μέσος ( $M_Z$ ), που δίνεται από την σχέση  $M_Z = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84})/3$ . Ο γραφικός μέσος παρέχει καλύτερη συνολικά εικόνα για το μέσο μέγεθος των ιζηματικών κόκκων του δείγματος από τον μέσο ( $M_d$ ), αφού ελέγχεται από 3 σημεία της καμπύλης.
- Περιεκτική γραφική απόκλιση ( $\sigma_I$ ), που δίνεται από την σχέση  $\sigma_I = (\phi_{84} - \phi_{16})/4 + (\phi_{95} - \phi_5)/6.61$ . Η περιεκτική γραφική απόκλιση αντιπροσωπεύει το 90% της κατανομής και θεωρείται ότι δίνει την καλύτερη συνολικά εικόνα της διαβάθμισης. Η απόκλιση είναι πολύ σημαντική παράμετρος, αφού δείχνει πόσο καλά διαβαθμισμένα (ομοιόμορφα) είναι τα ιζήματα. Η διαβάθμιση του ιζήματος είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόκλισης, δηλ. μικρότερη  $\sigma_I$  αντιστοιχεί σε καλύτερη διαβάθμιση:  $\sigma_I < 0.5\phi$ , καλή διαβάθμιση·  $0.5\phi < \sigma_I < 1\phi$ , μέτρια διαβάθμιση·  $\sigma_I > 1\phi$ , φτωχή διαβάθμιση.
- Περιεκτική γραφική λοξότητα ( $Sk_I$ ), που είναι μέτρο της λοξότητας αθροιστικής καμπύλης και δίνεται από την σχέση  $Sk_I = (\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50})/2(\phi_{84} - \phi_{16}) + (\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50})/2(\phi_{95} - \phi_5)$ . Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει το 90% της κατανομής και προσδιορίζει την λοξότητα και στις 'ουρές' της αθροιστικής καμπύλης (εκεί δηλ. που αναμένονται οι πιο κρίσιμες διαφορές στα δείγματα

των ιζημάτων), σε αντίθεση με άλλες λοξότητες που αντιπροσωπεύουν τα περισσότερα κεντρικά τμήματα της. Είναι καθαρός αριθμός και μπορεί να πάρει αρνητικό ή θετικό πρόσημο, αντιστοιχώντας στην παρουσία παραπάνω λεπτόκοκκων (+) ή αδρόκοκκων (-) κόκκων στο ίζημα.

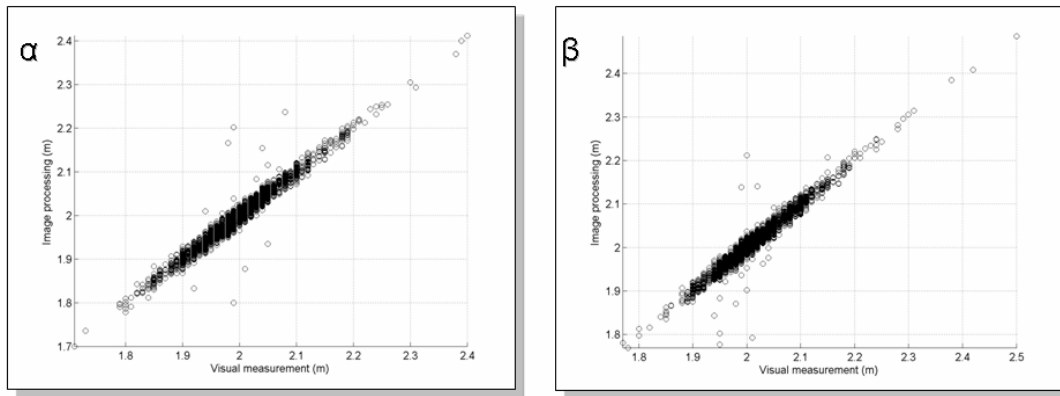
- Κύρτωση ( $K_G$ ), που δίνεται από την σχέση  $K_G = (\phi_{95} - \phi_5) / 2.44(\phi_{75} - \phi_{25})$  και είναι επίσης καθαρός αριθμός. Με την κύρτωση εκτιμάται η διαβάθμιση στις ‘ουρές’ της κατανομής σε σχέση με την διαβάθμιση στο κεντρικό τμήμα της. Εάν το κεντρικό τμήμα της κατανομής είναι καλύτερα διαβαθμισμένο από τις ‘ουρές’ ( $K_G > 1.10$ ) η κατανομή χαρακτηρίζεται λεπτοκυρτική, εάν συμβαίνει το αντίστροφο, ( $K_G < 0.90$ ) η κατανομή χαρακτηρίζεται πλατυκυρτική, ενώ αν η διαβάθμιση είναι παρόμοια στο κέντρο και άκρα της κατανομής ( $0.90 < K_G < 1.10$ ) η κατανομή χαρακτηρίζεται μεσοκυρτική (Folk, 1980).

Οι στατιστικές παράμετροι των δειγμάτων εκτιμήθηκαν με την βοήθεια του λογισμικού PARCUM (Voulgaris et al, 1991).

### 5.2.3 Ανάλυση κυματικών δεδομένων

Η προέλαση των κυματισμών βιντεοσκοπήθηκε για την δημιουργία χρονοσειρών στάθμης θάλασσας από ένα λογισμικό επεξεργασίας εικόνας, που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού MATLAB και αποτελείται από υπορουτίνες χωρίζοντας την επεξεργασία σε στάδια.

Η επεξεργασία ξεκινά με την εισαγωγή και ανάλυση του βίντεο σε καρέ (η λήψη έγινε με 25 καρέ το δευτερόλεπτο, αλλά στην επεξεργασία επιλέχθηκαν 5), ενώ παράλληλα βαθμονομείται η εικόνα. Κατά την διάρκεια της δειγματοληψίας είχε εξασφαλιστεί ότι η κάμερα και οι πόλοι ήταν ακινητοποιημένοι, ώστε σε κάθε εικονοστοιχείο να αντιστοιχεί μια σταθερή τιμή στάθμης. Η βαθμονόμηση γίνεται με την βοήθεια λήψης που πραγματοποιήθηκε ειδικά για αυτόν τον σκοπό και όπου η απόσταση από τον πυθμένα μετρείται με σταδία, σε διάφορα σημεία του πόλου και με παρεμβολή ολοκληρώνεται η αντιστοίχιση μιας τιμής θαλάσσιας στάθμης, σε κάθε εικονοστοιχείο. Συνεπώς για την πραγματοποίηση της μέτρησης αρκεί ο εντοπισμός του εικονοστοιχείου που ανήκει στο χαμηλότερο σημείο του πόλου που δεν καλύπτεται από την θάλασσα.



**Σχήμα 5-3** Επαλήθευση μεθόδου επεξεργασίας εικόνας με οπτική μέτρηση για τον υπολογισμό της μεταβολής της ελεύθερης επιφάνειας στον σταθμό P2 (α) P8 (β). Οι δύο χρονοσειρές φαίνονται να παρουσιάζουν μικρές διαφορές, όπως φαίνεται και στο γράφημα διασποράς.

Το κάθε καρέ, για οικονομία υπολογιστικής ισχύος, εστιάζεται στην περιοχή των πόλων και εισάγεται στο λογισμικό με την μορφή τρισδιάστατου πίνακα, όπου το τρίτο επίπεδο αντιστοιχεί στις 3 χρωματικές συνιστώσες (R-G-B). Στην συνέχεια η στάθμη της θάλασσας εντοπίζεται από ξεχωριστή υπορουτίνα, που αναλύει τις τιμές του κόκκινου και του μπλε χρώματος. Για κάθε εικονοστοιχείο του καρέ δημιουργείται ένας πίνακας  $n \times n$  (στην περίπτωση των Βατερών  $n=5$ ), εμπεριέχοντας τις τιμές κόκκινου από τα περιβάλλοντα pixels. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται αντί του εικονοστοιχείου, για να αποφευχθεί η άμεση επίπτωση ύπαρξης μικρών αντανακλάσεων και του αποδίδεται τιμή 0 ή 1, μετά από επεξεργασία που γίνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Η μονάδα σημαίνει ότι το αντίστοιχο σημείο ανήκει στον εκτεθειμένο πόλο με αποτέλεσμα, το «χαμηλότερο» εικονοστοιχείο με τιμή 1 (για την ακρίβεια ο αριθμός γραμμής του) ορίζει την στάθμη της θάλασσας. Η μέτρηση της απόστασης της ελεύθερης θαλάσσιας επιφάνειας από τον πυθμένα, πραγματοποιείται, μέσω της βαθμονόμησης που περιγράφεται παραπάνω και με επανάληψη της όλης διαδικασίας για κάθε καρέ προκύπτει η χρονοσειρά μεταβολής της στάθμης.

Το πιο σημαντικό μέρος της μέτρησης είναι ο προσδιορισμός μιας οριακής τιμής για την ένταση του κόκκινου χρώματος, που εφαρμόζεται σε συνδυασμό με διάφορα κριτήρια που περιγράφονται παρακάτω. Μια σημαντική πηγή σφαλμάτων είναι οι διακυμάνσεις του φυσικού φωτός που οδηγούν και σε μεταβολές της έντασης πάνω στον πόλο. Το παραπάνω έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η χρήση μιας σταθερής τιμής, μια και σε μια παρατήρηση διάρκειας μερικών λεπτών με κινούμενα σύννεφα, δεν είναι πάντα αντιπροσωπευτική. Το πρόβλημα αυτό λύνεται με τον υπολογισμό

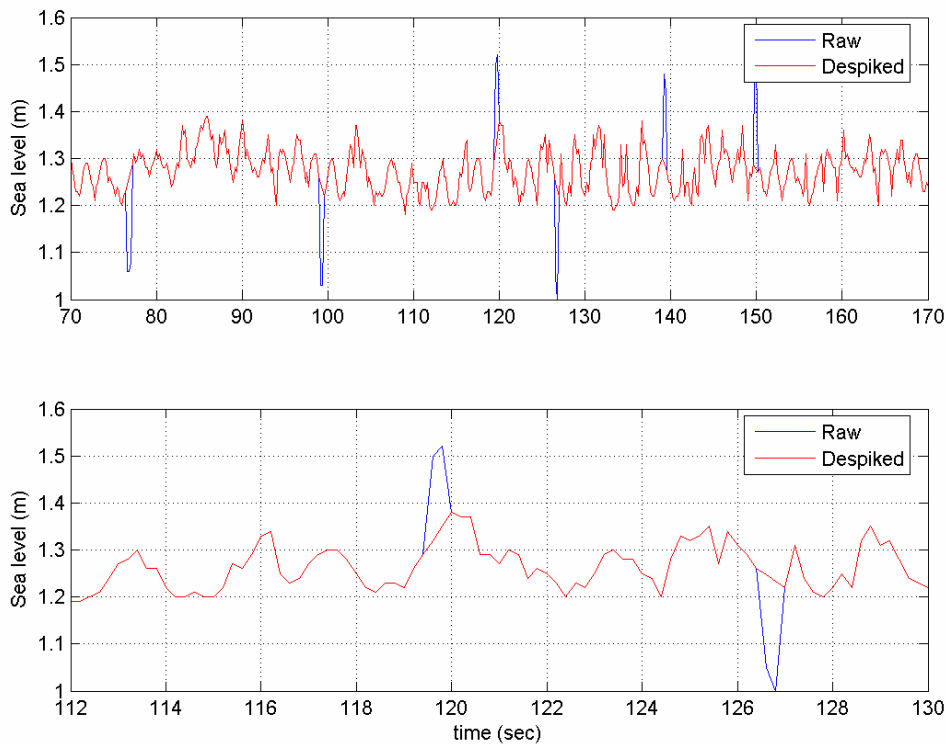


της τιμής «κατώφλι», με βάση την μέση τιμή της έντασης, ενός γνωστού εκτεθειμένου τμήματος του πόλου, σε κάθε καρέ και την διασταύρωση της με αυτές του προηγούμενου και του επόμενου.

Για να θεωρηθεί ότι ένα εικονοστοιχείο αποτελεί τμήμα του εκτεθειμένου πόλου, πρέπει ο αντίστοιχος πίνακας του πρώτου, να ικανοποιεί τα εξής κριτήρια σε σχέση με μια τιμή «κατώφλι»: α) τουλάχιστον το 70% των στοιχείων να ξεπερνά αυτήν την τιμή και β) ο μέσος όρος των τιμών να είναι επίσης μεγαλύτερος από το κατώφλι. Τα κριτήρια για το ορισμό της τιμής «κατώφλι», παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και πρέπει να οριστούν έτσι, ώστε να συμφωνούν με τις τιμές έντασης του εκτεθειμένου πόλου.

Τα παρακάτω κριτήρια αποδείχθηκαν ικανά για τον υπολογισμό της θαλάσσιας στάθμης κάτω από ήπιους κυματισμούς, χωρίς αφρισμό, ενώ η παρουσία του τελευταίου προκαλεί σφάλματα, καθώς το λευκό χρώμα επίσης χαρακτηρίζεται από μεγάλες τιμές έντασης κόκκινου. Για να μειωθούν οι λανθασμένες μετρήσεις, ακολούθησε επεξεργασία του πίνακα με τις χαρακτηριστικές τιμές (0 και 1) κάθε εικονοστοιχείου, ώστε να απορριφθούν όλες οι αποδεκτές τιμές που δεν συνορεύουν με άλλες μονάδες. Η λογική είναι ότι ο εκτεθειμένος πόλος είναι συνεχές σώμα και κατ' επέκταση, όλα τα σημεία που αντιστοιχούν σε αυτόν πρέπει να είναι γειτονικά. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύχθηκε η μέτρηση, να «ακολουθεί» την προέλαση ενός παφλάζοντος κυματισμού, μετά το πέρασμα του από τον πόλο. Επίσης οι λευκές περιοχές εντοπίζονται από τις εντάσεις του μπλε με ανάλογη διαδικασία με αυτήν που χρησιμοποιήθηκε στο κόκκινο (τιμή κατώφλι κτλ).

Η τελική χρονοσειρά δέχεται τελική επεξεργασία μέσω μιας ρουτίνας εξάλειψης ακραίων μεταβολών της στάθμης, που εύλογα οφείλονται σε λανθασμένη μέτρηση. Από όλη την χρονοσειρά προκύπτει μια δεύτερη που απεικονίζει την μεταβολή της στάθμης από ένα καρέ στο άλλο ( $dz_i = z_{i+1} - z_i$ ). Ο μέσος όρος της απόλυτης τιμής του  $dz$  αποδίδει την 'μέση μεταβολή' της στάθμης, η οποία αν πολλαπλασιαστεί με τον κατάλληλο αριθμό (εξαρτάται από την ίδια την χρονοσειρά), ορίζει το κατώφλι πάνω από το οποίο η μεταβολή χαρακτηρίζεται 'αφύσικα' μεγάλη. Η ρουτίνα ανοίγει κλιμακωτά ένα 'παράθυρο' μέχρι ένα ορισμένο πλάτος (πχ από 1, 2, 3, 4 έως και 5 καρέ) μέσα στο οποίο αν εντοπίσει μια ακραία τιμή, την εξαλείφει παρεμβάλλοντας γραμμικά με βάση τις τιμές στάθμης του προηγούμενου και επόμενου σημείου (βλέπε Σχήμα 5-4).



**Σχήμα 5-4** Αποτέλεσμα της εφαρμογής της υπορουτίνας εξάλειψης κορυφών που αντιστοιχούν σε λανθασμένες μετρήσεις. Φαίνεται ένα σημαντικό τμήμα της χρονοσειράς με 6 'καρφιά' (μπλε γραμμή) τα οποία αντικαθιστώνται με γραμμική παρεμβολή των εκατέρωθεν σημείων τους (κόκκινη γραμμή) (α). Στο (β) γίνεται μεγέθυνση μιας μικρότερη περιοχής.

Καθώς ο έντονος παφλασμός αυξάνει τη πιθανότητα εσφαλμένης μέτρησης, για κάποια καρέ γίνεται και οπτική μέτρηση. Για τον εντοπισμό επίφοβων μετρήσεων υπολογίστηκε ο λόγος του πλήθους των αποδεκτών εικονοστοιχείων, προς το υπολογισμένο μήκος του εκτεθειμένου πόλου. Δεδομένου ότι ο τελευταίος έχει σταθερή διάμετρο, είναι αναμενόμενο ο λόγος να κυμαίνεται μεταξύ περιορισμένου εύρους και να επηρεάζεται μόνο από τυχόν αντανακλάσεις, περιορισμένης έκτασης. Συνεπώς αυξημένη διακύμανση του λόγου αυτού σημαίνει παρουσία πρόσθετων λευκών περιοχών και συνεπώς μεγαλύτερη πιθανότητα εσφαλμένης μέτρησης και για τον παραπάνω λόγο αυτές οι περιπτώσεις επανεξετάζονται οπτικώς.

Τα αποτελέσματα της μεθόδου έχουν επαληθευτεί οπτικώς με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα (βλέπε Σχήμα 5-3) και χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα τη άμεσης μέτρησης, χωρίς υπολογισμούς μετατροπής πίεσης, ή ηλεκτρικού σήματος, που μπορούν να μειώσουν την ακρίβεια. Οι χρονοσειρές που προκύπτουν υπόκεινται σε πε-

ραιτέρω επεξεργασία με γνωστές αριθμητικές μεθόδους, για την περιγραφή των κυματικών χαρακτηριστικών και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα.

Για να μετατραπούν οι χρονοσειρές σε δεδομένα ύψους κύματος εφαρμόζεται η τεχνική αφαίρεσης μέσης τάσης (detrending) στην γραμμική της μορφή, που για τα δεδομένα υπό συζήτηση, σχεδόν ισοδυναμεί με αφαίρεση της μέσης θαλάσσιας στάθμης. Για να εξακριβωθεί αν το φαινόμενο παρουσιάζει περιοδικότητα υπολογίζονται οι συναρτήσεις αυτό-συσχέτισης (auto-correlation) και αυτό-διακύμανσης (auto-covariance) σαν συνάρτηση του χρόνου, όπως δίνονται παρακάτω:

$$\phi_{xx}[m] = E\{x[n]x[n+m]\} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x[n]x[n+m] \quad (5-9)$$

$$\gamma_{xx}[m] = E\{(x[n] - \overline{x[n]})(x[n+m] - \overline{x[n]})\} = \quad (5-10)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N (x[n] - \overline{x[n]})(x[n+m] - \overline{x[n]})$$

Για την διερεύνηση ύπαρξης συνοχής μεταξύ των χρονοσειρών διαφορετικών πόλων χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις σχετικής-συσχέτισης (cross-correlation) και σχετικής-διακύμανσης (cross-covariance). Οι συναρτήσεις αυτές, πέρα από το να φανερώσουν την ύπαρξη συσχέτισης μεταξύ δύο σειρών, βοηθούν και στον υπολογισμό της διαφοράς φάσης, αν υπάρχει. Το τελευταίο μέγεθος είναι πολύ σημαντικό μια και στην περίπτωση των υπό μελέτη δεδομένων, αποτελεί τον χρόνο διάδοσης του κυματισμού από τον έναν πόλο στον άλλο, καθιστώντας δυνατό τον υπολογισμό της ταχύτητας διάδοσης των κυματισμών. Οι συναρτήσεις δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$\phi_{xy}[m] = E\{x[n]y[n+m]\} = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N x[n]y[n+m] \quad (5-11)$$

$$\gamma_{xy}[m] = E\{(x[n] - \overline{x[n]})(y[n+m] - \overline{y[n]})\} = \quad (5-12)$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^N (x[n] - \overline{x[n]})(y[n+m] - \overline{y[n]}) \quad (5-13)$$

Για τον προσδιορισμό του ενεργειακού φάσματος και των επικρατέστερων κυματικών συχνοτήτων, χρησιμοποιείται ο μετασχηματισμός Fourier:

$$Z_n = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} \zeta_j \exp[-i2\pi jn/N] \quad (5-14)$$

### 5.2.4 Εκτίμηση κυματισμών από ανεμολογικά δεδομένα

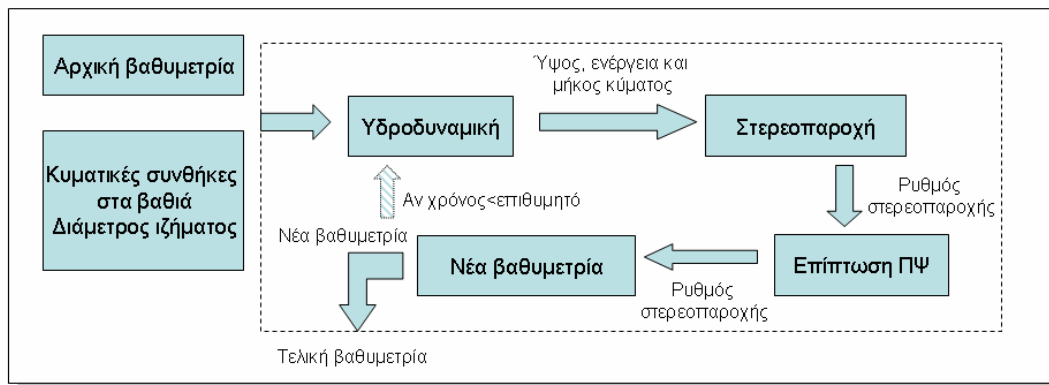
Τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής χορηγήθηκαν από το Τμήμα Γεωγραφίας του Πανεπιστημίου Αιγαίου και προήλθαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Ακρασίου (βλέπε Σχήμα 4-1). Για τον υπολογισμό των κυματικών παραμέτρων βάσει των ανεμολογικών δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν οι εξισώσεις των Demirbilek et al (1993) (για αναφορές και περιγραφή, βλέπε CEM, 2002):

$$\begin{aligned} \frac{hH_{m0}}{u_*^2} &= 4.13 \cdot 10^{-2} \left( \frac{gX}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{2}} \\ \frac{gT_p}{u_*} &= 0.651 \left( \frac{gX}{u_*^2} \right)^{\frac{1}{3}} \\ C_d &= \frac{u_*^2}{u_{10}^2} \\ C_d &= 0.001 (1.1 + 0.025u_{10}) \end{aligned} \quad (5-15)$$

### 5.3 Μαθηματικά μοντέλα

#### 5.3.1 Μοντέλο μορφολογικής μεταβολής παραλιακού προφίλ βασισμένο στην ενεργητική προσέγγιση

Το μοντέλο είναι δομημένο σε 4 υπορουτίνες (Σχήμα 5-5) που σε κάθε χρονικό βήμα πραγματοποιούν τους ακόλουθους υπολογισμούς: α) περιγραφή των υδροδυναμικών συνθηκών με δεδομένα την βαθυμετρία και τις κυματικές συνθήκες στα βαθιά, β) υπολογισμός της ιζηματομεταφοράς λόγω παρουσίας ρευμάτων και κυματισμών, γ) εφαρμογή ειδικών οριακών συνθηκών και κριτηρίων σχετικών με την παρουσία ΠΨ, για την διόρθωση των τιμών ιζηματομεταφοράς και δ) υπολογισμός την μεταβολής της βαθυμετρίας κατά την διάρκεια του χρονικού βήματος. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το πέρας της επιθυμητής διάρκειας προσομοίωσης.



Σχήμα 5-5 Διάγραμμα ροής μοντέλου μορφοδυναμικής εξέλιξης προφίλ για την περίπτωση παρουσίας παραλιακών ψαμμιτών.

Το κυματικό μοντέλο βασίζεται στην επίλυση της εξίσωσης που περιγράφει το ισοζύγιο της κυματικής ενέργειας κατά μήκος του προφίλ (Battjes and Janssen, 1978):

$$\frac{\partial(\bar{E} \cdot c_g \cdot \cos \phi)}{\partial x} = -D \tag{5-16}$$

όπου φ είναι η γωνία έλευσης των κυματισμών, E η κυματική ενέργεια που δίνεται από την σχέση  $E=1/8\rho gH^2$ ,  $C_g$  η ομαδική ταχύτητα και D η απώλεια κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης που σύμφωνα με τον Roelvink (1993) δίνεται από την σχέση:

$$D = \left[ 1 - \exp \left[ - \left( \frac{\bar{E}}{\gamma_r^2 \bar{E}_{ref}} \right)^{10} \right] \right] \cdot 2f\bar{E} \tag{5-17}$$

όπου  $f$  είναι η συχνότητα που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή του ενεργειακού φάσματος των κυματισμών και  $E_{ref}$  η μέγιστη κυματική ενέργεια σε δεδομένο βάθος  $h$  λαμβάνοντας υπόψη και την ανύψωση της στάθμης του νερού ( $h=d+\zeta$ ) (set up):

$$\overline{E}_{ref} = \rho g \frac{h^2}{8} \quad (5-18)$$

Η ποσότητα μέσα στην αγκύλη στην σχέση (5-17) εκφράζει την πιθανότητα θραύσης του κυματισμού σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η ανύψωση της στάθμης υπολογίζεται λύνοντας την εξίσωση ορμής περιλαμβάνοντας την τάση ακτινοβολίας (Longuet-Higgins and Stewart, 1962):

$$g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho h} \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} = 0 \quad (5-19)$$

όπου η τάση ακτινοβολίας κάθετα στην ακτή δίνεται από την σχέση:

$$S_{xx} = \frac{\overline{E}}{2} n \sin 2\phi \quad \text{όπου} \quad n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (5-20)$$

Για τον υπολογισμό της ιζηματομεταφοράς το προφίλ χωρίζεται σε τρεις περιοχές: α) την ζώνη διάθλασης-ρηχότητας (βαθύτερα από το σημείο θραύσης των κυματισμών), β) την ζώνη απόσβεσης (μεταξύ του σημείου θραύσης και του ορίου της ακτής όπως ορίζεται από την χαμηλότερη στάθμη) και γ) την ζώνη αναρρίχησης. Το μέγιστο ύψος αναρρίχησης υπολογίζεται από την εξίσωση του Hunt στην μορφή που προτάθηκε από τους Witte and Riekman (1987):

$$R = 1.25 \xi H_{s0} \quad \text{όπου} \quad \xi = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_{s0}/L_0}} \quad (5-21)$$

όπου  $\xi$  συντελεστής που ονομάζεται παράμετρος Iribarren,  $H_{s0}$  το significant ύψος κύματος και  $L_0=(g/2\pi)T^2$  το μήκος κύματος στα βαθιά.

Η ιζηματομεταφορά στην ζώνη διάθλασης-ρηχότητας είναι συνδυασμός της κίνησης της άμμου σε αιώρηση και σαν φορτίο πυθμένα, οδηγούμενη από τους κυματισμούς και τα ρεύματα της περιοχής. Ο υπολογισμός της γίνεται σύμφωνα με τον Leont'yev (1996), ο οποίος βελτίωσε την ενεργητική προσέγγιση του Bagnold (1963):

$$q_w = \frac{\epsilon_b}{2 \tan \phi} f_w \rho \left( \overline{u}^3 \cos \Theta + 3 \overline{u}^2 U_d \right) + \epsilon_s (F + B) \left( \frac{W_s}{U_d} - \frac{\partial d}{\partial x} \right)^{-1} \quad (5-22)$$

όπου  $f_w$  είναι ο συντελεστής τριβής του πυθμένα (Nielsen, 1992),  $W_s$  η ταχύτητα καταβύθισης των ιζημάτων,  $\Theta$  η γωνία μετάδοσης των κυματισμών και  $\varepsilon_s$  ο συντελεστής αποτελεσματικότητας της μεταφοράς σε αιώρηση. Τα  $F$  και  $B$  εκφράζουν την απώλεια ενέργειας λόγω της τριβής του πυθμένα και την περίσσεια τύρβης κοντά στον πυθμένα αντίστοιχα και προκύπτουν από τις σχέσεις των Roelvink and Stive (1989):

$$F = \frac{1}{2} f_{w\rho} |\overline{u^3}| \quad (5-23)$$

$$B = D \exp(3/2(1 - h/H)) \quad (5-24)$$

$D$  είναι η απώλεια κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης και προκύπτει από τους υδροδυναμικούς υπολογισμούς. Το δευτερογενές ρεύμα (undertow) έχει ταχύτητα  $U_d$ , που υπολογίζεται από την εξίσωση ορμής στην υδάτινη στήλη. Η διατμητική τάση στο επίπεδο του wave-trough υπολογίζεται σύμφωνα με τους Stive and Wind (1986) και η τελική σχέση για την ταχύτητα του δευτερογενούς ρεύματος δίνεται:

$$U_d = \frac{h}{\rho \nu_z} \left( \frac{A}{3} + \frac{1}{2} \frac{D}{\sqrt{gh}} \right) - m_1 \frac{E \cos \Theta}{\rho \sqrt{gh}} \quad \text{όπου} \quad A = \frac{1}{2} \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{E}{h} \cos^2 \Theta \frac{\partial h}{\partial x} \quad (5-25)$$

$$\nu_z = m_2 (l + \widehat{P}) h \sqrt{gh} \quad (5-26)$$

$\nu_z$  είναι ο κατακόρυφος συντελεστής τυρβώδους διάχυσης (eddy viscosity) coefficient και  $m_1$ ,  $m_2$  σταθερές που δίνονται  $m_1=0.75$ ,  $m_2=0.008$ . Η μέση ως προς το βάθος ταχύτητα του δευτερογενούς ρεύματος επαναφοράς, για εγκάρσια στην ακτή πρόσπτωση, ισούται με  $\bar{U}_d = E / (C_g h_{tr})$ , όπου  $h_{tr}$  είναι η απόσταση της χαμηλότερης στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας, από τον πυθμένα.

Η μη γραμμική φύση των κυματισμών εισάγεται στους υπολογισμούς μέσω των ροπών της ταλαντώτικης ταχύτητας (oscillatory velocity moments), όπως υπολογίζονται από την ημι-εμπειρική εξίσωση βασισμένη στην ανάλυση της παλινδρομικής ταχύτητας σε δύο αρμονικές μεταβλητού εύρους και διαφοράς φάσης:

$$\overline{u^2} = \frac{1}{2} u_m^2 \quad (5-27)$$

$$\overline{u^3} = m_3 \frac{gT^2}{h} \frac{H}{h} (1 - \sqrt{\widehat{P}}) u_m^3 \quad (5-28)$$

$$\left| \overline{\tilde{u}_m^3} \right| = \frac{4}{3\pi} \left( 1 - \frac{\sqrt{\widehat{P}}}{2} \right) u_m^3 \quad (5-29)$$

όπου  $m_3 = 1.8 \times 10^{-3}$ , και το εύρος της ταχύτητας  $u_m$ , υπολογίζεται από την γραμμική κυματική θεωρία.

Η μέγιστη τιμή της ιζηματομεταφοράς λόγω αναρρίχησης στην ζώνη απόσβεσης δίνεται από τον Leontiev (1996):

$$\widehat{q}_R = c_1 \rho (2gR)^{3/2} (\tan \beta_e q - \tan \beta) \quad (5-30)$$

όπου  $c_1$  είναι η αδιάστατη σταθερά και  $\tan \beta_e$  είναι η κλίση ισορροπίας που για ιζήμα διαμέτρου  $0.15 \leq Md \leq 0.8$  mm, δίνεται από τον Bascom (1964):

$$\tan \beta_e q = 0.25 M d^{3/2} - 0.007 \quad (5-31)$$

Στην ζώνη αναρρίχησης η ιζηματομεταφορά λόγω αναρρίχησης είναι ίση με:

$$q_R = \widehat{q}_R \left( \frac{1 - x/x_M}{1 - x_R/x_M} \right)^{3/2} \quad x_R \leq x \leq x_M \quad (5-32)$$

Για την περιοχή βαθύτερα από το χερσαίο όριο της παραλίας η μεταφορά λόγω αναρρίχησης θεωρείται ότι μειώνεται γραμμικά σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$q_R = \widehat{q}_R (c_3 (x - x_R) / H_0) \quad x \leq x_R \quad (5-33)$$

Τα σημεία  $x_R$  και  $x_M$  αντιστοιχούν στο όριο της παραλίας και στο σημείο μέγιστης αναρρίχησης των κυματισμών. Η μεταφορά λόγω αναρρίχησης προστίθεται στις άλλες δύο (φορτίο πυθμένα και σε αιώρηση) και προκύπτει ο συνολικός ρυθμός ιζηματομεταφοράς, αφού πρώτα οι δύο τελευταίες θεωρηθούν ότι φθίνουν γραμμικά από το σημείο θραύσης, μέχρι το άνω όριο της ακτής. Όταν ολοκληρωθεί ο υπολογισμός της συνολικής στερεοπαροχής, είναι δυνατή η εκτίμηση της μορφολογικής μεταβολής του προφίλ μέσα από την εξίσωση συνέχειας του ιζήματος στον πυθμένα:

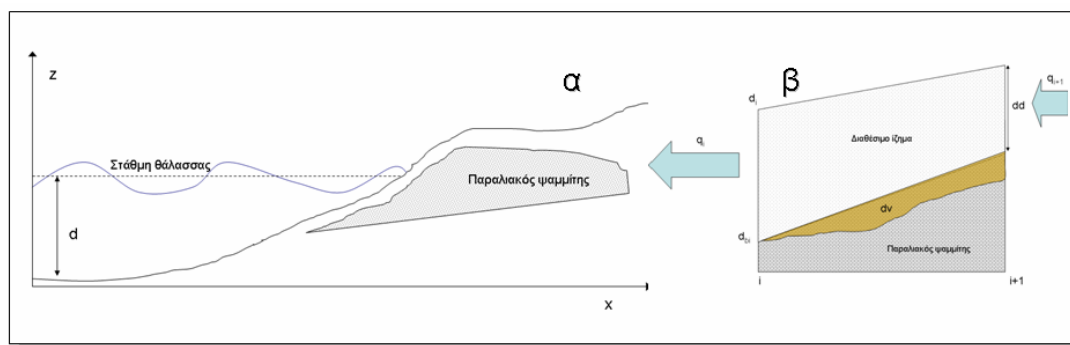
$$\frac{\partial d}{\partial t} = (1 - \epsilon)(\rho_s - \rho) \rho g \frac{\partial q}{\partial x} \quad (5-34)$$

όπου  $\epsilon$  είναι το πορώδες του ιζήματος (ίσο με 0.4) και  $\rho$  και  $\rho_s$  η πυκνότητα του νερού και ιζήματος αντίστοιχα.



### 5.3.2 Προσαρμογή μοντέλου στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ

Στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ πριν εφαρμοστεί η εξίσωση (5-34), πρέπει να διορθωθούν οι τιμές στερεομεταφοράς, ώστε να ληφθούν υπόψη οι επίπτώσεις των ΠΨ στην μεταβολή της μορφολογίας. Είναι προφανές ότι η παρουσία μιας μη διαπερατής σκληρής επιφάνειας στον πυθμένα, παραβιάζει την γενική παραδοχή που ισχύει στα περισσότερα παρόμοια μοντέλα, ότι το ίζημα στον πυθμένα είναι ανεξάντλητο. Στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ, όταν αυτοί εκτεθούν, εμποδίζουν την περαιτέρω διάβρωση του πυθμένα και επιπλέον διακόπτουν την παροχή υλικού, καθιστώντας τους υπολογισμούς στερεοπαροχής μη ρεαλιστικούς (Σχήμα 5-6). Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο, στα σημεία που το δυναμικό ιζηματομεταφοράς είναι αρκετό να παρασύρει όλη την άμμο πάνω από του σχηματισμούς, επανεξετάζονται οι υπολογισμοί με βάση την διαθέσιμη ποσότητα ιζήματος.



**Σχήμα 5-6** Συνήθης διευθέτηση παραλιακών ψαμμιτών σε μια ακτή και περιοριστική δράση στην ποσότητα διαθέσιμου ιζήματος (α), καθώς και η περίπτωση δύο διαδοχικών σημείων των κανάβου, όπου οι υπολογισμένες στερεοπαροχές «απομακρύνουν» περισσότερο υλικό από το διαθέσιμο (β).

Το πρώτο βήμα της διορθωτικής διαδικασίας είναι να εντοπιστούν τα σημεία στα οποία η μορφολογική μεταβολή που αντιστοιχεί στην στερεοπαροχή, ξεπερνά το πάχος του στρώματος άμμου πάνω από τους ΠΨ και να υπολογιστεί το πραγματικό δυναμικό στερεοπαροχής τους ( $q_{cap}$ ):

$$q_{cap} = dx \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \frac{d_d}{dt} \quad \text{όπου} \quad d_d = d - d_{bcr} \quad (5-35)$$

$d_{bcr}$  είναι το βάθος των ΠΨ και  $d_d$  το πάχος του στρώματος άμμου και για λόγους απλούστευσης παραλήφθηκαν στην εξίσωση οι όροι που μετατρέπουν την στερεοπαροχή από μονάδες μάζας σε όγκου. Η γενική ιδέα είναι ότι για σημεία όπου παρατηρείται διάβρωση, η διαφορά των ρυθμών στερεομεταφοράς  $dq$  δεν μπορεί να ξεπερνά

το δυναμικό στερεοπαροχής. Στην συνέχεια και ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία με τους Larson and Kraus (1998), διορθώνονται πρώτα τα σημεία του κανάβου, όπου οι ρυθμοί στερεοπαροχής που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς της νέας βαθυμετρίας (βλέπε εμπρόσθιες διαφορές στην (5-34)) έχουν αντίθετες διευθύνσεις.

$$q'_i = q_i - f_i \cdot dv \quad \text{όπου} \quad dv = dq - q_{cap} \quad \text{και} \quad f_i = \frac{q_i}{dq} \quad (5-36)$$

Στην παραπάνω εξίσωση  $q'$  είναι η διορθωμένη στερεοπαροχή,  $dv$  αντιστοιχεί στην ποσότητα άμμου που δεν είναι διαθέσιμη για να διαβρωθεί (βλέπε Σχήμα 5-6) και  $f_i$  είναι ο λόγος της κάθε στερεοπαροχής με την διαφορά των δύο. Στην περίπτωση που η μεταφορά γίνεται προς την θάλασσα και στα δυο σημεία, η διόρθωση γίνεται ως εξής:

$$q'_i = q_{i+1} - q_{cap} \quad (5-37)$$

Ενώ όταν η μεταφορά γίνεται προς την ακτή η εξίσωση παίρνει την παρακάτω μορφή:

$$q'_{i+1} = q_i + q_{cap} \quad (5-38)$$

Τέλος στο όριο των ΠΨ λόγω της απότομης μετάβασης από βραχώδη σε αμμώδη πυθμένα, εμφανίζονται πολύ μεγάλες κλίσεις στην στερεοπαροχή, με αποτέλεσμα την δημιουργία έντονης διάβρωσης που στην πράξη μετριάζεται από διεργασίες που δεν λαμβάνονται υπόψη από το μοντέλο. Το πρόβλημα λύνεται με την ομαλοποίηση των τιμών στερεοπαροχής κοντά στο οριακό σημείο (από την μεριά των σχηματισμών), σύμφωνα με την σχέση:

$$q'_i = q_i + (q_l - q_i) \cdot e^{(-fac \cdot dx \cdot (i-l))} \quad (5-39)$$

### 5.3.3 Δυσδιάστατο μοντέλο μη γραμμικών διασπειρόμενων κυματισμών για την προσομοίωση της παράκτιας στερεομεταφοράς (Karambas and Karathanassi, 2004)

Βασιζόμενοι στο παραπάνω προφίλ και ακολουθώντας τη μεθοδολογία των Karambas and Koutitas (2002) εξάγονται οι παρακάτω εξισώσεις υψηλής τάξης τύπου Boussinesq που βασίζονται στις ολοκληρωμένες στο βάθος κατά  $x$  και  $z$  εξισώσεις ορμής (Mei, 1994· Schäffer et al, 1993· Veeremony and Svendsen, 2000):

$$\zeta_t + \nabla(hU) = 0 \quad (5-40)$$

$$U_t + \frac{1}{h} \nabla (M_u) - \frac{1}{h} U \nabla (Uh) + g \nabla \zeta + G =$$

$$\frac{1}{2} h \nabla [\nabla (dU_t)] - \frac{1}{6} h^2 \nabla [\nabla U_t] + \frac{1}{30} d^2 \nabla [\nabla (U_t + g \nabla \zeta)] \quad (5-41)$$

$$+ \frac{1}{30} \nabla [\nabla (d^2 U_t + g d^2 \nabla \zeta)] - d \nabla (\delta \nabla U)_t - \frac{\tau_\delta}{h} + E$$

$$G = \frac{1}{3} \nabla \left\{ d^2 [(\nabla U)^2 - U \nabla^2 U - \frac{1}{10} \nabla^2 (UU)] \right\} + \frac{1}{2} \zeta \nabla [\nabla (dU_t)] \quad (5-42)$$

όπου  $h$  είναι το συνολικό βάθος,  $h=d+\zeta$ ,  $\tau_\delta=(\tau_{bx}, \tau_{by})$  είναι ο όρος τριβής στον πυθμένα,  $E$  είναι ο όρος τυρβώδους συντελεστή ιξώδους και  $M_u=(d+\zeta)u_o^2+\delta(c^2-u_o^2)$ , όπου  $u_o=(u_o, v_o)$ .

Σύμφωνα με τους Schäffer et al (1993), στα μονοδιάστατα μοντέλα, η περιοχή του επιφανειακού κυλίνδρου και το πάχος του ( $\delta$ ) υπολογίζονται γεωμετρικά. Η έναρξη της θραύσης θεωρείται όταν η κλίση της ελεύθερης επιφάνειας ξεπερνά μια οριακή τιμή  $\tan \varphi$ . Το νερό πάνω από αυτή την εφαπτομένη ανήκει στον επιφανειακό κύλινδρο, το πάχος του οποίου ( $\delta$ ) πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή  $f_\delta$  πριν συμπεριληφθεί στις εξισώσεις. Ένα γεγονός θραύσης αρχίζει όταν  $\varphi = \varphi_B$ , αλλά όσο συνεχίζεται η θραύση, η  $\varphi$  βαθμιαία μειώνεται σε μια τελική τιμή  $\varphi = \varphi_o$  σύμφωνα με:

$$\tan(\varphi) = \tan(\varphi_o) + (\tan(\varphi_B) - \tan(\varphi_o)) \exp \left[ - \ln 2 \frac{t-t_B}{t_{1/2}} \right] \quad (5-43)$$

όπου  $t_B$  είναι ο χρόνος όπου έχει αρχίσει η θραύση και  $t_{1/2}$  η χρονική διάρκεια κατά την οποία αναπτύσσεται ο επιφανειακός κύλινδρος.

Στις δύο διαστάσεις, αντί για σημείο, υπάρχει μια καμπύλη στη βάση του 'roller', και η εφαπτομένη ευθεία είναι πλέον επίπεδο (Sørensen et al, 1998). Για τους συντελεστές που αναφέρονται παραπάνω, υιοθετούνται οι τιμές  $\varphi_B = 20^\circ$ ,  $\varphi_o = 10^\circ$ ,  $f_\delta = 1.5$  και  $t_{1/2} = T_p/5$  ( $T_p$  είναι η περίοδος κορυφής του φάσματος).

Οι ταχύτητες κοντά στον πυθμένα  $u_o$  κάτω από την περιοχή του 'roller' υπολογίζονται από τον ορισμό της μέσης ως προς το βάθος ταχύτητας  $U$ .

$$u_o = U \frac{h}{h-\delta} - c \frac{\delta}{h-\delta} \quad \text{Όπου} \quad U = \frac{1}{h} \int_d^\zeta u \, dz \quad (5-44)$$

Η ταχύτητα του ‘roller’  $\mathbf{c}=(c_x, c_y)$  υπολογίζεται από:

$$c_x = \frac{\partial \zeta}{\partial x} \frac{1.3\sqrt{gd}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \zeta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right)^2}} \quad \text{και} \quad c_y = \frac{\partial \zeta}{\partial y} \frac{1.3\sqrt{gd}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \zeta}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y}\right)^2}} \quad (5-45)$$

Η επίδραση των διατμητικών τάσεων πυθμένα περιγράφεται με τη βοήθεια ημ εμπειρικών όρων στο β μέρος της εξίσωσης της ορμής:

$$\tau_{bx} = \frac{1}{2} f_w u_o |u_o| \quad \text{και} \quad \tau_{by} = \frac{1}{2} f_w v_o |u_o| \quad (5-46)$$

Όπου  $f_w$  ένας εμπειρικός συντελεστή τριβής:

$$f_w = \exp \left[ -5.977 + 5.213 \left( \frac{K_N}{A_B} \right)^{-0.194} \right] \quad \text{για} \quad \frac{A_B}{K_N} < 0.63 \quad (5-47)$$

$$f_w = 0.3 \quad \text{για} \quad \frac{A_B}{K_N} \geq 0.63 \quad (5-48)$$

με  $K_N$  την απόλυτη τραχύτητα πυθμένα (Nikuradse roughness),  $A_b=(U_b-\max(T))/2\pi$ , και όπου  $U_{b-\max}$  το εύρος της οριζόντιας ταχύτητας του πυθμένα και  $T$  η περίοδος του κύματος.

Η τραχύτητα υπολογίζεται από την σχέση Kaczmarek et al (1994):

$$K_N = 80\sqrt{\vartheta_{2.5} - 0.05}d_{50} + 4\eta_\gamma^2/\lambda_\gamma \quad (5-49)$$

όπου  $\vartheta_{2.5}$  η παράμετρος Shields που βασίζεται σε τραχύτητα  $K_N=2.5d_{50}$ :

$$\vartheta_{2.5} = \frac{1}{2} f_{2.5} \psi \quad \text{με} \quad \psi = \frac{u_{ow-\max}^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (5-50)$$

όπου  $s$  η σχετική πυκνότητα της άμμου,  $s=\rho_s/\rho$  ( $\rho$  και  $\rho_s$  είναι οι πυκνότητες του νερού και της άμμου αντίστοιχα). Το ύψος των αμμοκυμάτων  $\eta_r$  και η καμπυλότητά τους  $\eta_r/\lambda_r$  υπολογίζονται από τις σχέσεις του Nielsen (1992):

$$\eta_r = 21A_b\psi^{-1.85} \quad \frac{\eta_r}{\lambda_r} = 0.342 - 0.34\sqrt[4]{\vartheta_{25}} \quad (5-51)$$

Η παραπάνω μεθοδολογία ισχύει μόνο στη ζώνη θραύσης και όχι στη ζώνη αναρρίχησης όπου δεν υπάρχει παρουσία του επιφανειακού κυλίνδρου. Ως μηχανισμός απώλειας της ενέργειας, υιοθετείται η θεώρηση του συντελεστή τυρβώδους ιξώδους  $\nu_s$  που δίνεται από τη σχέση (Karambas and Koutitas, 2002):

$$\nu_s = l_s \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5-52)$$

όπου  $l_s$  είναι μια κλίμακα μήκους που σχετίζεται με το συνολικό βάθος  $h$  με τη σχέση  $l_s = 2h$ .

Η αναρρίχηση του κύματος προσομοιώνεται με τη συνθήκη ‘ξηρού πυθμένα’ σύμφωνα με τους Karambas and Koutitas (2002).

Η στερεομεταφορά του φορτίου πυθμένα και της ροής λεπτού οριακού στρώματος (sheet flow transport) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη βελτιωμένη σχέση των Dibajnia και Watanabe (Dibajnia, 1995· Dibajnia and Watanabe, 1998· Dibajnia et al, 2001).

Η σχέση των Dibajnia και Watanabe, για τη εκτίμηση της στερεομεταφοράς  $q_b = (q_{bx}, q_{by})$  της ροής του λεπτού οριακού στρώματος (sheet flow transport), κάτω από τη δράση μη μονοχρωματικών κυματισμών, γράφεται (Dibajnia et al, 2001):

$$\frac{q_b}{w_s d_{50}} = 0.0038 \frac{u_c T_c (\Omega_c + \Omega'_t) - u_t T_t (\Omega_c + \Omega'_t)}{(T_c + T_t) \sqrt{sgd_{50}}} \quad (5-53)$$

όπου  $w_s$  είναι η ταχύτητα καθίζησης,  $d_{50}$  είναι η μέση διάμετρος των κόκκων,  $s = (\rho_s - \rho) / \rho$  ( $\rho$  και  $\rho_s$  είναι οι πυκνότητες του νερού και των ιζημάτων αντίστοιχα),  $u_c$  και  $u_t$  είναι το εύρος των ισοδυνάμων μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων στον πυθμένα της κορυφής και της κοιλιάς, με αντίστοιχες διάρκειες  $T_c$  και  $T_t$ .

Οι τιμές των  $\Omega_j$  υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις (ο δείκτης  $j$  αντιστοιχεί στο δείκτη  $c$  ή  $t$ ):

$$\left. \begin{aligned} \omega_j \leq \omega_{cr} : \quad \Omega_j &= \omega_j T_j \sqrt{\frac{sg}{d_{50}}}, \quad \Omega'_t = 0 \\ \omega_j > \omega_{cr} : \quad \left\{ \begin{aligned} \Omega_j &= [\omega_j + (1 - \gamma_j)(\omega_j - \omega_{cr})] T_j \sqrt{\frac{sg}{d_{50}}}, \\ \Omega'_t &= \gamma_j (\omega_j - \omega_{cr}) T_j \sqrt{\frac{sg}{d_{50}}} \end{aligned} \right\} \end{aligned} \right\} \quad (5-54)$$

και με την συνθήκη για το  $\Omega$ :

$$\vartheta_j < \vartheta_{sheet} : \quad \Omega_j = \left( \frac{\vartheta_j - \vartheta_{cr}}{\vartheta_{sheet} - \vartheta_{cr}} \right) \Omega_j \quad (5-55)$$

όπου  $\theta_j$  είναι η παράμετρος Shields.

Η τιμές του  $\omega_j$  και  $\gamma_j$  δίνονται από:

$$\omega_j = \left( \frac{1}{2} \frac{u_j^2}{sgd_{50}} - 5 \right) \frac{d_{50}}{w_s T_j}, \quad \gamma_j = \beta_j^* \beta'_j \quad (5-56)$$

στην οποία

$$\begin{aligned} \frac{u_t}{u_c} \geq \frac{1}{4} : \quad \beta'_c &= 1 & \frac{u_t}{u_c} \geq \frac{1}{4} : \quad \beta'_t &= 1 \\ \frac{u_t}{u_c} < \frac{1}{4} : \quad \beta'_c &= 4 \frac{u_t}{u_c} & \frac{u_t}{u_c} < \frac{1}{4} : \quad \beta'_t &= 4 \frac{u_t}{u_c} \end{aligned} \quad (5-57)$$

και

$$\beta_j^* = 1, \frac{T_{pj}}{T_j} \geq \frac{1}{2}, \beta_j^* = \frac{6T_{pj}}{T_j} - 2, \frac{1}{3} < \frac{T_{pj}}{T_j} < \frac{1}{2}, \beta_j^* = 0, \frac{T_{pj}}{T_j} \leq \frac{1}{3} \quad (5-58)$$

Στις παραπάνω σχέσεις,  $\theta_{sheet}$  είναι η κρίσιμη παράμετρος Shields για την έναρξη ροής σε λεπτό οριακό στρώμα (sheet flow),  $\theta_{sheet}=0.8$ ,  $\theta_{cr}$  είναι η κρίσιμη παράμετρος Shields για την έναρξη της κίνησης των φερτών,  $\theta_{cr}=0.05$  και τέλος  $\omega_{cr}=1.2$ .

Το φορτίο σε αιώρηση πάνω από τα αμμοκυμάτια και το φορτίο πυθμένα μπορεί να υπολογιστεί από στις παραπάνω σχέσεις θεωρώντας  $\omega_{cr}=0.03$ . Στην ενδιάμεση περιοχή ανάμεσα στις περιπτώσεις ενός πυθμένα με αμμοκυμάτια και ενός επίπεδου πυθμένα της ροής του λεπτού οριακού στρώματος, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η τιμή του  $\omega_{cr}$  μεταβάλλεται βαθμιαία από 0.03 σε 1.2 ακολουθώντας μια παραβολή.

Το φορτίο σε αιώρηση υπολογίζεται υιοθετώντας την ενεργητική προσέγγιση των Karambas and Koutitas (2002):

$$q_s = \frac{1}{a} \frac{b \varepsilon_s \overline{D} U_c}{w_s} \quad (5-59)$$

όπου η  $D$  απώλεια της ενέργειας του κύματος  $\overline{D} = 0.1 \rho g c \delta$  (η μπάρα δηλώνει ολοκλήρωση ως προς το χρόνο),  $\varepsilon_s = 0.01$ ,  $U_c = (\overline{u_o}, \overline{V})$ ,  $a = (1-\lambda)(s-1)\rho g$  ( $\lambda$  είναι το πορώδες) και  $b = 0.2$ .

Ο ρυθμός στερεοπαροχής  $q$  στη ζώνη αναρρίχησης υπολογίζεται από τον τροποποιημένο τύπο Meyer-Peter και Müller (Butt et al, 2001· Larson et al, 2001):

$$\frac{q(1-\lambda)}{\sqrt{(s-1)gd_{50}^3}} = \frac{C}{1 + \frac{\tan \beta}{\tan \phi}} \vartheta^{3/2} \frac{U}{|U|} \quad (5-60)$$

όπου  $C$  είναι ένα πολλαπλασιαστής,  $\phi$  η γωνία εσωτερικής τριβής,  $\tan \beta$  είναι η κλίση του πυθμένα,  $\theta$  η παράμετρος του Shields,  $\lambda$  το πορώδες,  $s$  το ειδικό βάρος των κόκκων,  $d_{50}$  η μέση διάμετρος κόκκων και  $U$  η κυματική ταχύτητα.

Ο πολλαπλασιαστής  $C$  θα πρέπει να έχει διαφορετική τιμή κατά την αναρρίχηση του κυματισμού στην ακτή από ότι κατά την κάθοδό του (Nielsen, (2002). Η διαφορά οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την αναρρίχηση τα φερτά αιωρούνται ήδη από την τύρβη που προκλήθηκε από την έντονη θραύση του κύματος πάνω στην ακτή, με συνέπεια την αυξημένη στερεοπαροχή. Οι παρακάτω τιμές προτείνονται από τον Nielsen (2002):  $C_{\text{αναρρίχησης}} = 20$  and  $C_{\text{κάθοδου}} = 9$ .

### 5.3.4 Μονοδιάστατο μοντέλο αναρρίχησης κυματισμών (Karambas, 2004)

Για το μονοδιάστατο μοντέλο εφαρμόζεται η λύση της μονοδιάστατης μορφής των εξισώσεων (5-40)-(5-42), που παραλείπονται για λόγους οικονομίας χώρου. Ομοίως και οι υπολογισμοί της στερεομεταφοράς που είναι παρόμοιοι με αυτούς που περιγράφονται στην προηγούμενη ενότητα (5.3.3). Τέλος οι υπολογισμοί του νέου παραλιακού προφίλ μετά το πέρας ενός χρονικού βήματος, καθώς η εξίσωση διατήρησης του ιζήματος περιγράφονται στο μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης (βλέπε ενότητα 5.3.1)

### 5.3.5 Μοντέλο μετάδοσης κυματισμών μεγάλης κλίμακα WAVE-LS (Καραμπάς, 2004)

Για την εκτίμηση του κυματικού πεδίου στην ευρύτερη περιοχή εφαρμόζεται το μοντέλο μετάδοσης κυματισμών μεγάλης κλίμακας WAVE-LS (Large scale). Το μοντέλο αυτό να βασίζεται στην αριθμητική επίλυση της εξίσωσης διατήρησης ισοζυγίου κατευθυντικής κυματικής ενέργειας. Στην εξίσωση αυτή βασίζεται και το γνωστό μοντέλο κυματισμών στις παράκτιες περιοχές τρίτης γενιάς SWAN (Booij et al, 1999). Η εξίσωση γράφεται (Booij et al, 1999· Holthhuijen et al, 2003):

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial c_x E}{\partial x} + \frac{\partial c_y E}{\partial y} + \frac{\partial c_\theta E}{\partial \theta} = -D \quad (5-61)$$

όπου  $E(f,\theta,x,y,t)$  είναι η φασματική πυκνότητα (συνιστώσα φάσματος κυματισμών) συχνότητας  $f$  και κατεύθυνσης  $\theta$ , σε μία χωρική θέση συντεταγμένων  $(x,y)$  κατά τη χρονική στιγμή  $t$ ,  $c_x$ ,  $c_y$  και  $c_\theta$  είναι οι συνιστώσες της ταχύτητας ομάδας κατά  $x$ ,  $y$  και  $\theta$  ( $c_\theta = -\frac{c_g}{c} \left( \cos \theta \frac{\partial c}{\partial x} - \sin \theta \frac{\partial c}{\partial y} \right)$ ), όπου  $c$  η ταχύτητα μετάδοσης των κυματισμών) και

$D$  η απώλεια της κυματικής ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών στα ρηχά νερά:

$D = \frac{1}{4} Q_b f \rho g H_m^2$ , όπου  $H_m$  η μέγιστη δυνατή τιμή του ύψους  $H$ ,  $\rho$  η πυκνότητα του νερού και  $Q_b$  η πιθανότητα που έχει, σε ένα συγκεκριμένο σημείο, το ύψος του κύματος να σχετίζεται με θραυόμενο η μη θραυόμενο κυματισμό (παραδοχή κατανομής πιθανότητας Rayleigh):  $\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = \left( \frac{H_{rms}}{H_m} \right)^2$ .

Η εξίσωση (5.80) περιγράφει τη διάθλαση και τη θραύση των κυματισμών στον παράκτιο χώρο όχι όμως και την περίθλαση. Η επίδραση της περίθλασης ενσωματώνεται με την τροποποίηση της  $c_\theta$  σε  $C_\theta$  (Mase, 2001, Holthhuijen et al, 2003):

$$C_\theta = -\frac{c_g}{c} \left( \cos \vartheta \frac{\partial c}{\partial x} - \sin \vartheta \frac{\partial c}{\partial y} \right) \sqrt{1 + \delta} + \frac{1}{2\sqrt{1+\delta}} c_g \left( -\cos \vartheta \frac{\partial \delta}{\partial x} + \sin \vartheta \frac{\partial \delta}{\partial y} \right) \quad (5-62)$$

όπου  $\delta = \frac{\nabla \cdot (c c_g \nabla \sqrt{E})}{\kappa^2 c c_g \sqrt{E}}$  και  $\kappa$  ο αριθμός κύματος.



Η αριθμητική επίλυση των παραπάνω εξισώσεων βασίζεται σε ένα πεπλεγμένο σχήμα πεπερασμένων διαφορών με τετραγωνικός κάρναβος διακριτοποίησης με σταθερά χωρικά βήματα  $\Delta x = \Delta y$  και σταθερή κατευθυντική ανάλυση  $\Delta \theta$  (για περισσότερες λεπτομέρειες, βλέπε Καραμπάς (2004)).

### 5.3.6 Μοντέλο κυματογενούς κυκλοφορίας WICIR (Wave Induced CIRculation) (Καραμπάς, 2004)

Η απώλεια της ενέργειας των κυματισμών, κυρίως λόγω της θραύσης τους, σε συνδυασμό με την επίδραση των φαινομένων της διάθλασης και περίθλασης, οδηγεί στη δημιουργία παράκτιων κυματογενών ρευμάτων.

Ολοκληρώνοντας τις εξισώσεις ισορροπίας ως προς το βάθος και ως προς την περίοδο του κύματος προκύπτουν από τους μη γραμμικούς όρους και από τους όρους βαθμίδος της πίεσης, επιπλέον όροι, γνωστοί ως τάσεις ακτινοβολίας.

Οι εξισώσεις συνέχειας και ισορροπίας, για το υπολογισμό του κυματογενούς ρεύματος, γράφονται (Καραμπάς, 2004):

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(Uh)}{\partial x} + \frac{\partial(Vh)}{\partial y} = 0 \quad (5-63)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} = & -\frac{1}{\rho h} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( v_h h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( v_h h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sx}}{\rho h} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} \end{aligned} \quad (5-64)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} = & -\frac{1}{\rho h} \left( \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yx}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( v_h h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( v_h h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{sy}}{\rho h} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} \end{aligned} \quad (5-65)$$

όπου  $\zeta$  η ανύψωση της μέσης στάθμης θάλασσας και  $U$  και  $V$  είναι οι μέσες ως προς το βάθος οριζόντιες ταχύτητες του ρεύματος κατά  $x$  και  $y$ ,  $S_{xx}$ ,  $S_{yy}$ ,  $S_{xy}$  και  $S_{yx}$  οι τάσεις ακτινοβολίας,  $h$  το συνολικό βάθος,  $h=d+\zeta$  και  $v_h$  ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης. Οι τάσεις ακτινοβολίας που αποτελούν το γενεσιουργό αίτιο της κυματογενούς κυκλοφορίας είναι συναρτήσεις των αποτελεσμάτων του κυματικού μοντέλου WAVE-LS:

$$\begin{aligned}
 S_{xx} &= \frac{\bar{E}}{2}(2n - 1) + \bar{E}n \cos^2 \theta \\
 S_{yy} &= \frac{\bar{E}}{2}(2n - 1) + \bar{E} \sin^2 \theta \\
 S_{xy} &= S_{yx} = \frac{\bar{E}}{2} \sin 2\theta
 \end{aligned}
 \tag{5-66}$$

Όπου  $\bar{E}$  η πυκνότητα της κυματικής ενέργειας,  $\bar{E} = \rho g H^2 / 8$ .

Οι διατμητικές τάσεις  $\tau_{bx}$  και  $\tau_{by}$  στις εξισώσεις ορμής των σχέσεων (5-83) και (5-84) προσομοιώνουν την απώλεια της ενέργειας λόγω τριβής στον πυθμένα. Ο ρόλος τους είναι σημαντικός στην εκτίμηση των κυματογενών ρευμάτων και γι' αυτό απαιτείται μια όσο το δυνατόν ορθότερη προσομοίωσή τους.

Για τον υπολογισμό της τραχύτητας αμμώδους πυθμένα βλέπε την σχετική παράγραφο στην ενότητα 5.3.3.

Για τον υπολογισμό των διατμητικών τάσεων θεωρούνται οι συνολικές ταχύτητες στον πυθμένα και όχι μόνο οι ταχύτητες του ρεύματος ή του κύματος. Όπως αναφέρθηκε στην κυματογενή κυκλοφορία ένα υλικό σημείο εκτελεί συνδυασμένη κίνηση: κυματική παλινδρομική και κίνηση ρεύματος. Οι συνολικές ταχύτητες κοντά στον πυθμένα  $u_b$  και  $v_b$  δίνονται από (Καραμπάς, 2004, κεφάλαιο 4):

$$\begin{aligned}
 u_b(t) &= U + u_{w-b}(t) \\
 v_b(t) &= V + v_{w-b}(t)
 \end{aligned}
 \tag{5-67}$$

όπου  $u_{w-b}$ ,  $v_{w-b}$  οι ταχύτητες του κύματος κοντά στον πυθμένα.

Οι διατμητικές τάσεις δίνονται από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned}
 \tau_{bx} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} \langle u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \rangle \\
 \tau_{by} &= \frac{1}{2} \rho f_{cw} \langle v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2} \rangle
 \end{aligned}
 \tag{5-68}$$

όπου  $f_{cw}$  είναι ο συνολικός συντελεστής τριβής λόγω κύματος-ρεύματος.

Η ύπαρξη των κυματισμών στη συνδυασμένη αυτή κίνηση κύματος-ρεύματος επιδρά στην κατακόρυφη κατανομή της οριζόντιας ταχύτητας του ρεύματος αυξάνοντας την τύρβη κοντά στον πυθμένα. Άρα ο συντελεστής  $f_{cw}$  θα πρέπει να είναι συνάρτηση των

συντελεστών τριβής ρεύματος  $f_c$  και κύματος  $f_w$ . Μία απλοποιημένη έκφραση είναι ένας γραμμικός συνδυασμός των  $f_c$  και  $f_w$ :

$$f_{cw} = a_{cw} f_c + (1 - a_{cw}) f_w \quad (5-69)$$

όπου ο συντελεστής  $a_{cw}$  κατά  $x$  δίνεται από τη σχέση:  $a_{cw-x} = U/(U+U_o)$ , ενώ κατά  $y$  από:  $a_{cw-y} = V/(V+U_o)$ .

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης  $v_h$  υπολογίζεται από τη σχέση (Καραμπάς, 2004):

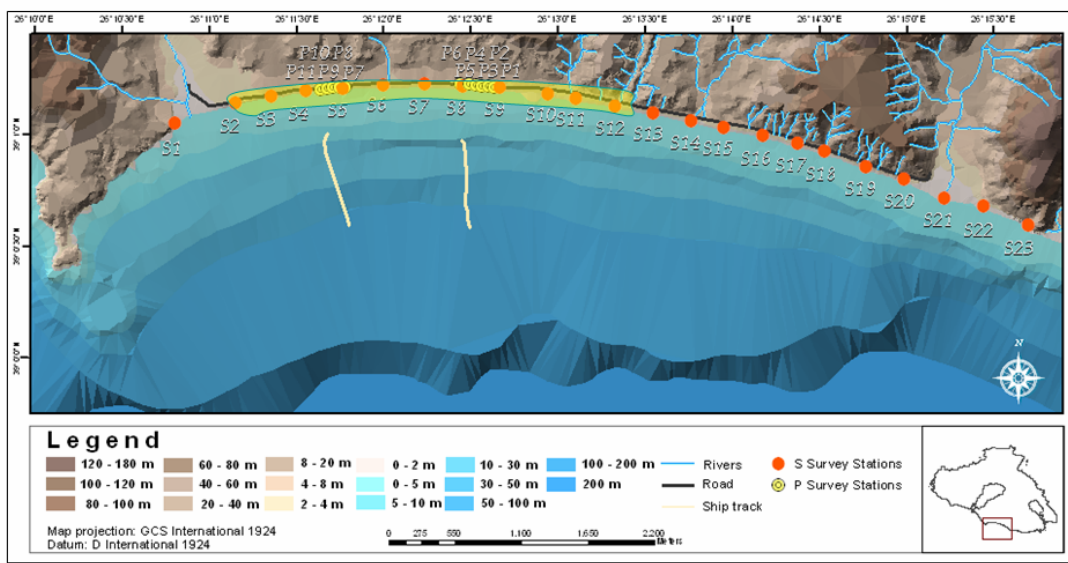
$$v_h = 0.5U_o H \quad (5-70)$$

Ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης δεν εισάγεται μόνο για την προσομοίωση της τύρβης αλλά κυρίως εισάγεται να προσομοιώσει την ανάμιξη στη ζώνη θραύσης όπου η επίδραση της οριζόντιας διασποράς είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σχέση με την τυρβώδη διάχυση.

## 6 Παραλιακή Μορφολογία

### 6.1 Γενική μορφολογία της παράκτιας περιοχής του Κόλπου των Βατερών

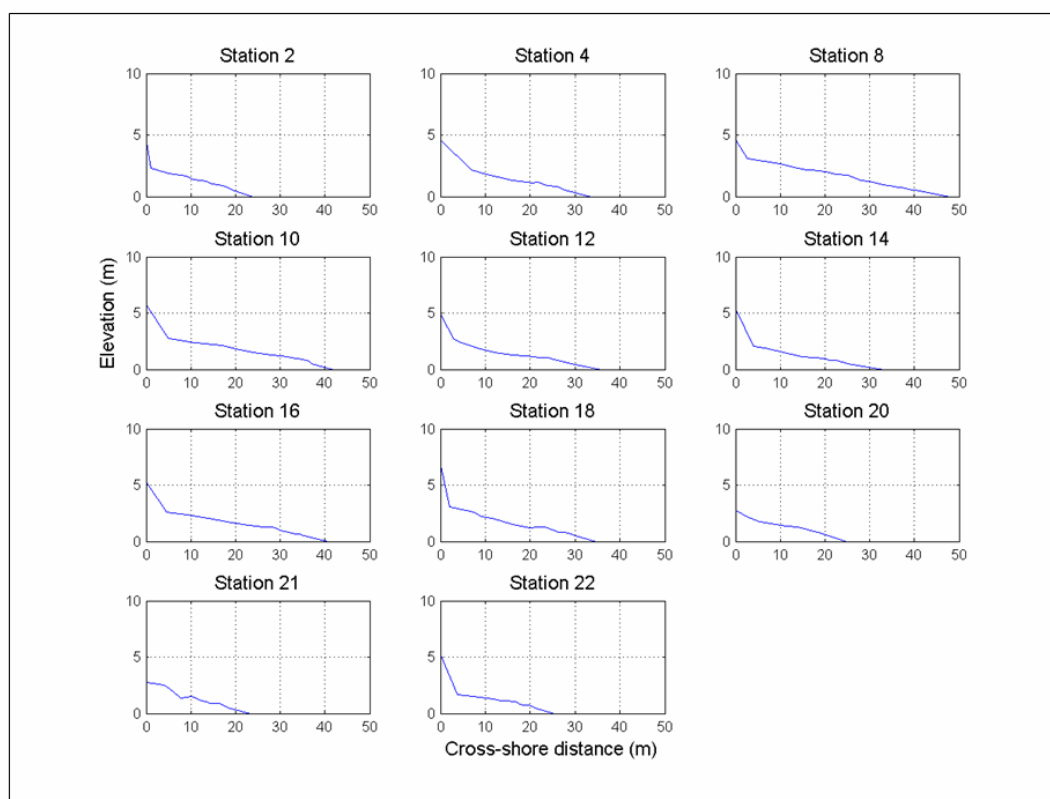
Από την συνδυασμένη ανάλυση των δεδομένων πεδίου και των τοπογραφικών χαρτών, προκύπτει η γενική περιγραφή της παραλίας των Βατερών, η οποία έχει μήκος περίπου ίσο με 7 km και μέσο πλάτος περίπου 35 m (Σχήμα 6-1). Το πίσω μέρος του ανατολικού τμήματος της ακτής χαρακτηρίζεται από την παρουσία κρημνών που αποτελούνται κυρίως από κροκαλοπαγή πετρώματα (βλέπε Γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 4-3)). Η διάβρωση των κρημνών από το αποστραγγιστικό σύστημα και άλλες διαβρωτικές διεργασίες παρέχουν ιζήματα στην παραλία, αν και η κατασκευή του παραλιακού δρόμου έχει ελαττώσει τις παρεχόμενες ποσότητες. Σημαντικές πηγές τροφοδοσίας υλικού επίσης αποτελούν οι δύο ποταμο-χειμαρροί Αλυμροπόταμος και Βουρκοπόταμος στα δυτικά και ανατολικά, αντίστοιχα. Το μήκος της παραλίας είναι μεγαλύτερο στο κεντρικό τμήμα της (Σχήμα 6-2).



**Σχήμα 6-1** Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής των Βατερών και προφίλ κατά μήκος της ακτής όπως αποτυπώθηκε τον Απρίλιο 2004. Φαίνεται η περιοχή εμφάνισης των ΠΨ (κίτρινη περιοχή) και η πορεία του ερευνητικού σκάφους, για τις μετρήσεις βυθομετρίας (συνεχής γραμμή).

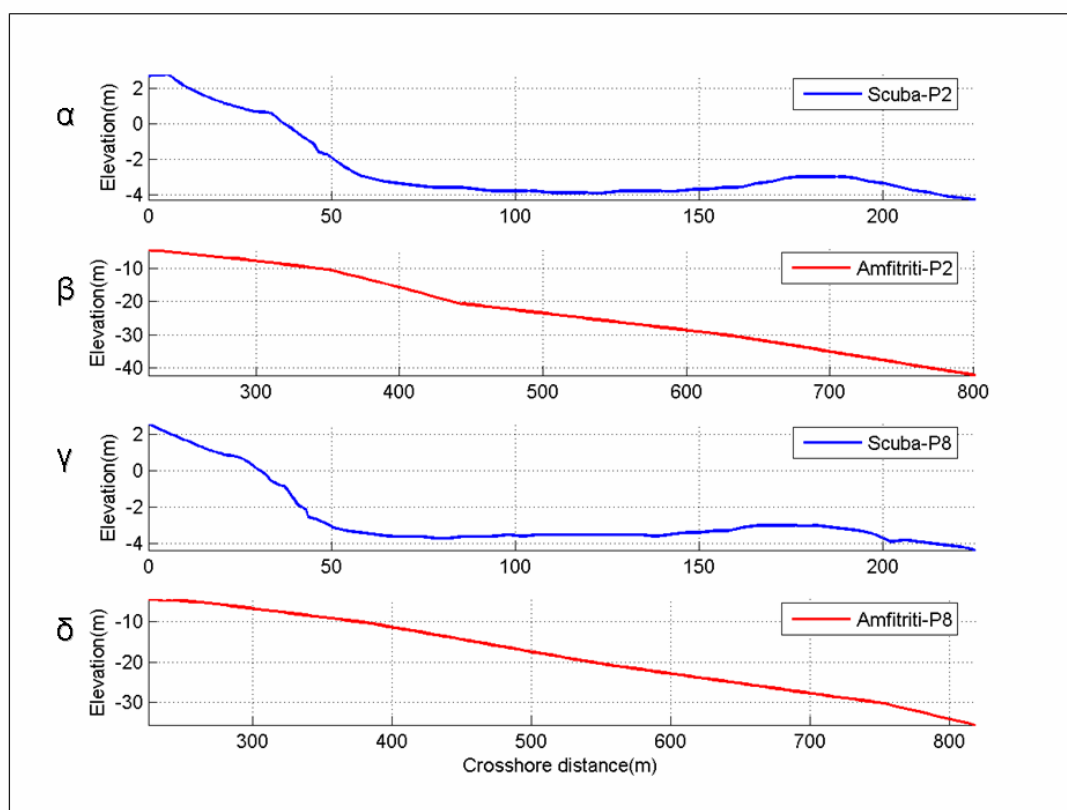
Η παράκτια περιοχή του Κόλπου των Βατερών αποτελεί ένα 'κύτταρο' (coastal cell) (Carter, 1988) ιζηματικής κυκλοφορίας. Τα βραχώδη ακρωτήρια στα δυτικά και ανατολικά, τα οποία χαρακτηρίζονται από μεγάλα βάθη πυθμένα πολύ κοντά στην ακτο-

γραμμή (Σχήμα 6-1), εμποδίζουν ανταλλαγές παραλιακών ιζημάτων μεταξύ του Κόλπου των Βατερών και των γειτονικών περιοχών.



**Σχήμα 6-2** Τοπογραφικές αποτυπώσεις προφίλ κατά μήκος της ακτής στους σταθμούς S (Απρίλιος 2004).

Οι Wright and Short (1983, σε Komar (1998)) δημιούργησαν ένα σύστημα ταξινόμησης που βασίζεται στην κλίση της παράλιας και στις συνθήκες κυματισμού. Σύμφωνα με αυτό το σύστημα, οι παράλιες ταξινομούνται ως απορροφητικές (dissipative), ενδιάμεσες (intermediate) και ανακλαστικές (reflective). Οι απορροφητικές έχουν κλίση μετώπου ίση με  $\epsilon\beta \approx 0.01$ , οι ανακλαστικές  $\epsilon\beta \approx 0.1-0.2$  και οι ενδιάμεσες τιμές  $0.01 < \epsilon\beta < 0.1$ . Η κλίση του μετώπου στην παραλία των Βατερών κυμαίνεται μεταξύ 0.05 και 0.1, που αντιστοιχεί σε ενδιάμεση παραλία, όμως τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά παραπέμπουν άμεσα σε ανακλαστικού τύπου ακτή.

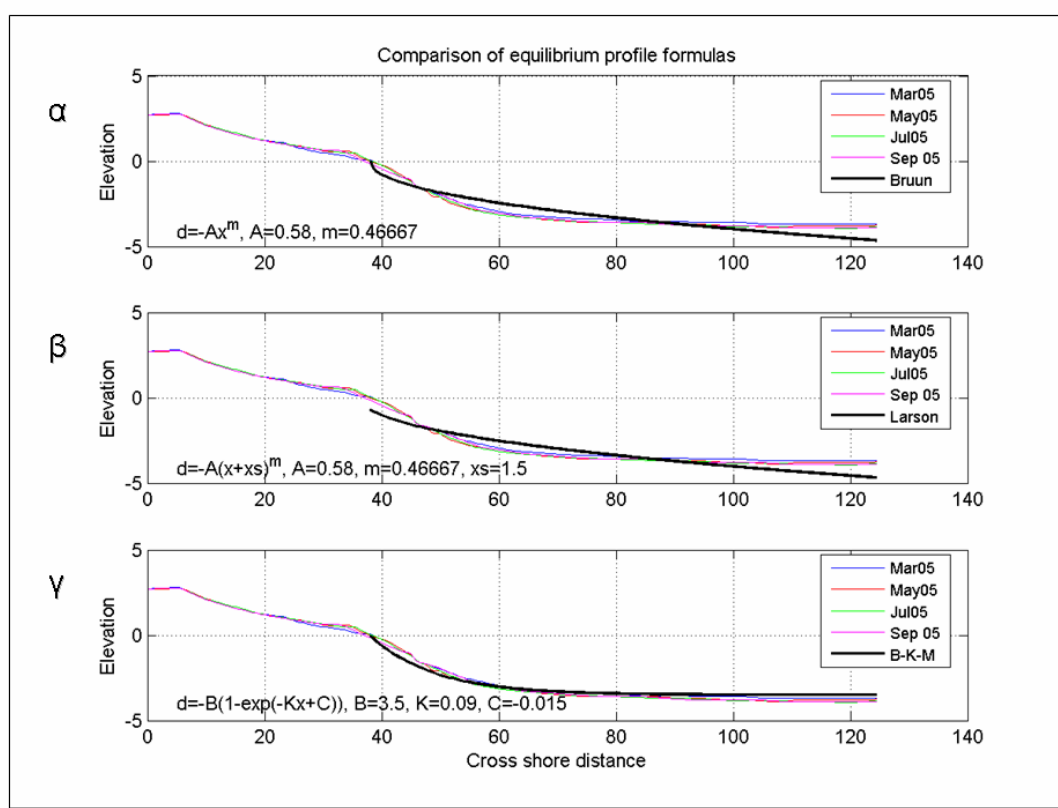


**Σχήμα 6-3** Προφίλ από τους σταθμούς P2 (α και β) και P8 (γ και δ). Με μπλε χρώμα απεικονίζονται οι αποτυπώσεις που έγιναν από αυτοδύτη, ενώ με κόκκινο τα βάθη που καταγράφηκαν με το Ε/Σ Αμφιτρίτη τον Ιούλιο 2005.

Οι μακρές τοπογραφικές αποτυπώσεις (στους σταθμούς P2 και P8) (Σχήμα 6-1 και Σχήμα 6-3) δείχνουν ότι το μέτωπο της παραλίας είναι αρκετά απότομο μέχρι βάθος  $\approx 3.5$  m, όπου το υποθαλάσσιο παραλιακό προφίλ συνεχίζεται με ένα σχεδόν οριζόντιο τμήμα, μήκους  $\approx 100$  m και βάθους περίπου 3.5 m (βλέπε Σχήμα 6-3 (α, γ)). Στην συνέχεια και στους δύο σταθμούς εμφανίζονται υποθαλάσσια υβώματα σε απόσταση  $\approx 180$  m και ύψος  $\approx 1$  m, τα οποία φαίνεται να αποτελούν το κύριο υποθαλάσσιο απόθεμα ιζήματος. Η πιο πιθανή αιτία σχηματισμού τους είναι η απόθεση κάθετα μεταφερόμενου ιζήματος κάτω από ακραίες κυματικές συνθήκες, με ύψος κύματος περίπου 3.5 (με βάση το κριτήριο θραύσης του CEM (2002)). Μετά το ύψωμα το βάθος αυξάνει απότομα και σε απόσταση μερικών χιλιομέτρων ξεπερνά τα 200 m (Σχήμα 6-1 και Σχήμα 6-3(β, δ)).

Το σχήμα του προφίλ της παραλίας δεν φαίνεται να έρχεται σε συμφωνία με το προφίλ ισορροπίας που προτείνουν οι Bruun (1954) και Larson (1991), ενώ περιγράφεται καλύτερα από την εκθετική σχέση των Bodge (1992) και Komar and McDougal

(1994) (Σχήμα 6-4, βλέπε σχετική ενότητα 3.3). Για την σύγκριση χρησιμοποιήθηκε το τμήμα της αποτύπωσης χωρίς το υποθαλάσσιο ύβωμα (μέχρι μήκος 120 m), μια και η περιγραφή του τελευταίου είναι πέρα από τις δυνατότητες του προφίλ ισορροπίας. Η σύγκριση του πραγματικού προφίλ με το υπολογισμένο, δείχνει ότι η περιοχή που το μοντέλο του προφίλ ισορροπίας δεν ευσταθεί, βρίσκεται κυρίως στην ζώνη επιρροής των ΠΨ, όπου η θέση του πυθμένα δεν μπορεί πλέον να επηρεαστεί από την υδροδυναμική. Σε μια ανάλογη προσπάθεια οι Norcross et al (2002) απέτυχαν να εφαρμόσουν την θεωρία του προφίλ ισορροπίας για την παραλία Kailua, η οποία επίσης φιλοξενεί ΠΨ.



**Σχήμα 6-4** Σύγκριση αποτυπώσεων του προφίλ από τον σταθμό P2 με αυτό που προκύπτει από τις εξισώσεις του Bruun (1954) (α), Larson (1991) (β) και Bodge (1992) και Komar and McDougal (1994) (γ).

Μακροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι μεγάλοι σχηματισμοί ΠΨ εμφανίζονται στην παραλία καταλαμβάνοντας όλο το μήκος της μεταξύ των σταθμών S2-S12 (Σχήμα 6-1). Αν και η ύπαρξη καλυμμένων ΠΨκάτω από τα παραλιακά ιζήματα δεν μπορεί να αποκλεισθεί για την υπόλοιπη παραλία, επανειλημμένες μακροσκοπικές

παρατηρήσεις στην περίοδο 2002-2006, καθώς και εκσκαφές σε διάφορα σημεία δεν έδειξαν παρουσία ΠΨ σε άλλη περιοχή.

Οι ΠΨ στο δυτικό τμήμα της περιοχής εμφάνισης είναι έντονα εκτεθειμένοι και παλαιότεροι από αυτούς στο κεντρικό μέρος της ακτής, των οποίων μεγάλο μέρος είναι θαμμένο από ένα στρώμα άμμου κυμαινόμενου πάχους. Παρατηρήσεις έδειξαν ότι οι διεργασίες σχηματισμού ΠΨ είναι ακόμα ενεργές κάτω από το παραλιακό ίζημα, ιδιαίτερα προς τα ενδότερα της χερσαίας παραλίας. Οι ΠΨ επεκτείνονται και στο υποθαλάσσιο τμήμα του παραλιακού προφίλ για περίπου 5-10 m από την ακτογραμμή.

## **6.2 Παραλιακή μορφοδυναμική**

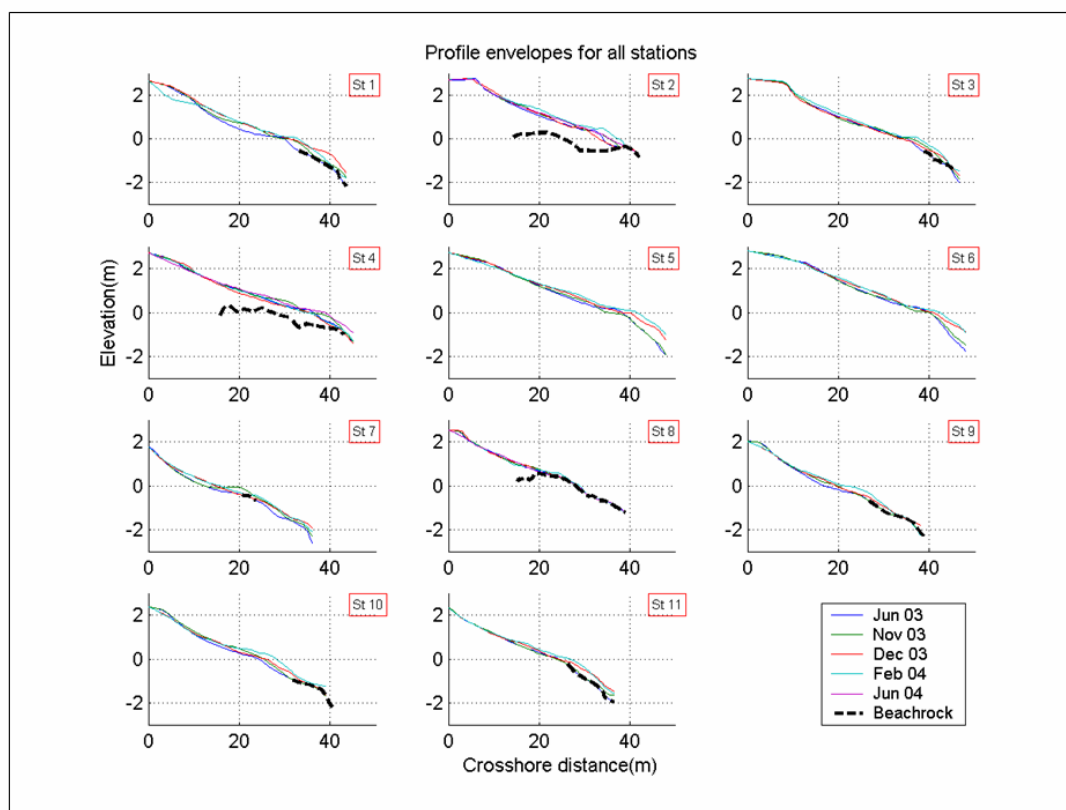
Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις μεγάλης χωρο-χρονικής διακριτικότητας (Σταθμοί P) που έγιναν στις περιοχές των σταθμών P διακρίνονται σε δύο περιόδους, διάρκειας ενός περίπου έτους η κάθε μία: α) η πρώτη (Ιούνιος 2003-Ιούνιος 2004) αφορούσε στην παρακολούθηση της μορφολογικής μεταβολής του άνω τμήματος της παραλίας (του χερσαίου και του αβαθούς υποθαλάσσιου τμήματος του παραλιακού προφίλ - βραχείες αποτυπώσεις) στους 11 σταθμούς P, ενώ β) η δεύτερη (Αύγουστος 2004-Σεπτέμβριος 2005) αφορούσε ολόκληρο το παραλιακό προφίλ (χερσαίο και υποθαλάσσιο - μακρές αποτυπώσεις) των, αντιπροσωπευτικών για τις δύο περιοχές μελέτης, σταθμών P2 και P8.

### **6.2.1 Βραχείες αποτυπώσεις (άνω τμήμα του παραλιακού προφίλ)**

Τα αποτελέσματα των τοπογραφικών αποτυπώσεων παρουσιάζονται στο Σχήμα 6-5. Στο ίδιο σχήμα μαζί με τα παραλιακά προφίλ παρουσιάζεται και η στάθμη (elevation) της άνω επιφάνειας των ΠΨ, όπως αυτή αποτυπώθηκε, είτε μετά από εκσκαφή του υπερκείμενου στρώματος άμμου (Σταθμοί P2, P4 και P8), είτε μετά από την σύνθεση των κατά καιρούς εκτεθειμένων τμημάτων των σχηματισμών (Σταθμοί P1, P3, P5, P6, P7, P9, P10 και P11).

Οι ανατολικοί P1-P6 και δυτικοί P7-P11 σταθμοί (Σχήμα 5.1) εμφανίζουν σημαντικές διαφορές. Στην πρώτη ομάδα σταθμών η χερσαία παραλία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο πλάτος (μεταξύ 30-40 m), μικρότερη κλίση και μεγαλύτερη δυναμική από αυτή των Σταθμών P7-P11, ιδιαίτερα στην περιοχή κοντά στην ακτογραμμή (δηλ. στην ζώνη αναρρίχησης, στο χερσαίο (έξαλο) διαμήκες ύβωμα (berm) και στο αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ).

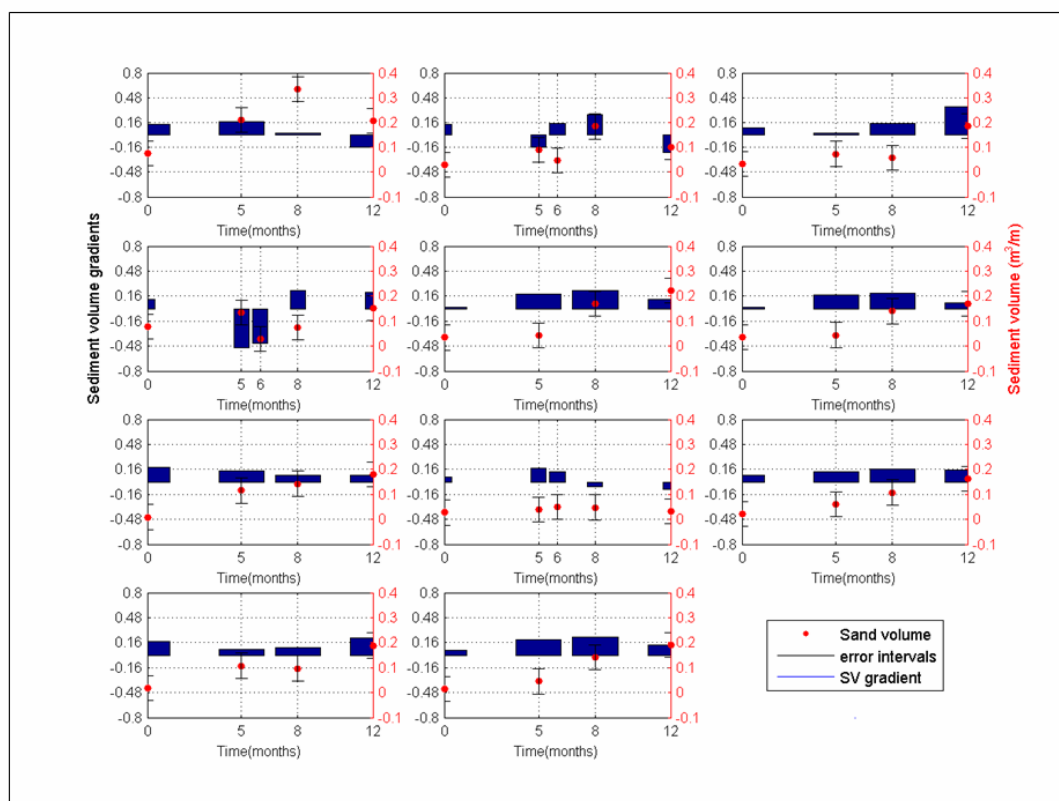




**Σχήμα 6-5** Προφίλ που αποτυπώθηκαν στους 11 Ρ σταθμούς την περίοδο 6/2003-6/2004. Η μαύρη γραμμή αναπαριστά την άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών.

Για την διερεύνηση ύπαρξης κάποιας τάσης πρόσχωσης/διάβρωσης στα παραλιακά προφίλ υπό μελέτη, εκτιμήθηκε ο όγκος του 'κινούμενου ιζήματος' (mobile sediment) για κάθε σταθμό στην μονάδα μήκους ακτής (δηλ. στην μονάδα μήκους παράλληλα στην ακτή). Η εκτίμηση έγινε για κάθε αποτύπωση και βασίστηκε στην ολοκλήρωση ως προς το μήκος του προφίλ, του πάχους του ιζηματικού στρώματος πάνω από το επίπεδο αναφοράς. Σαν επίπεδο αναφοράς χρησιμοποιήθηκε το χαμηλότερο δυνατό προφίλ, δηλαδή η τομή που προκύπτει από τον συνδυασμό των τιμών ελάχιστης μετρημένης στάθμης (ανύψωσης) κάθε σημείου (αξίζει να σημειωθεί ότι αυτά δεν προέρχονται απαραίτητα από μια αποτύπωση). Τα αποτελέσματα 'κανονικοποιήθηκαν' (standardized) ως προς το μήκος του εκάστοτε προφίλ (δηλ. διαιρέθηκαν με το μήκος του εκάστοτε προφίλ) για να είναι συγκρίσιμα μεταξύ σταθμών με διαφορετικά μήκη προφίλ (εκφράζουν το 'μέσο' πάχος του ιζηματικού στρώματος κατά μήκος της τομής). Η μεταβολή του όγκου του κινούμενου ιζήματος (ανά μέτρο μήκους του βραχέος παραλιακού προφίλ), καθώς και της 'κλίσης' του (πρώτης χρονικής παραγώγου) στον κάθε σταθμό στην περίοδο 6/2003-6/2004, δίνονται στο Σχήμα 6-6.

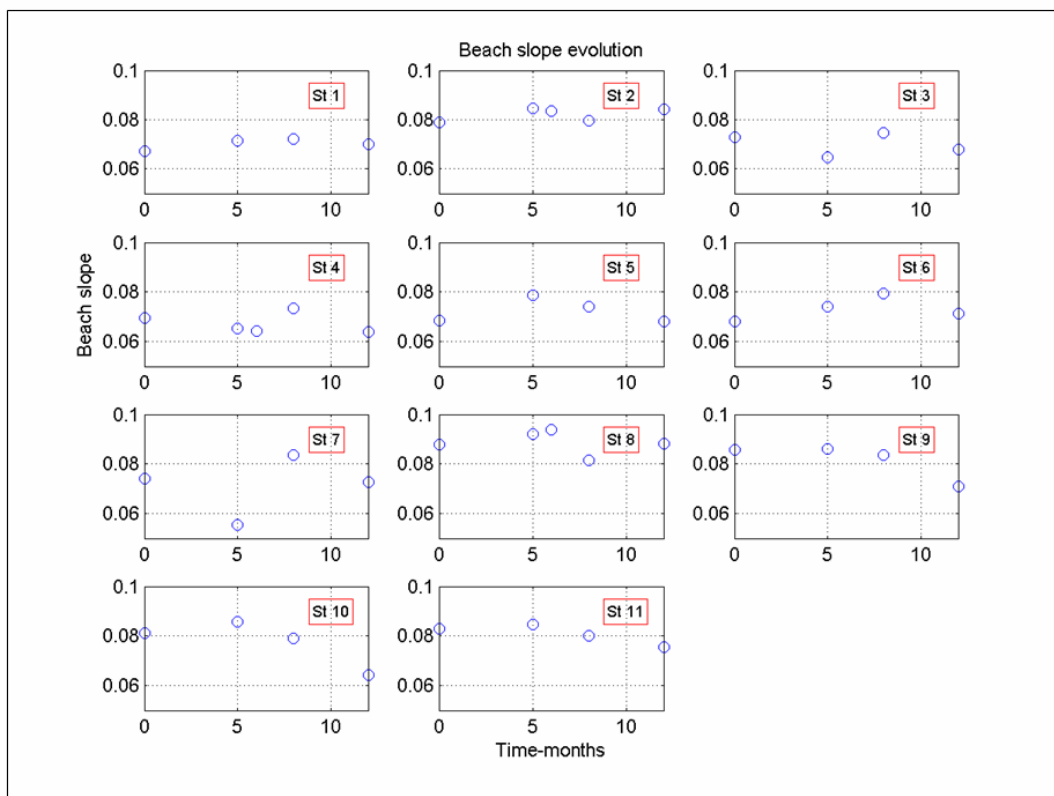
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι όγκοι του κινούμενου ιζήματος γενικά χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερες τιμές στους ανατολικούς σταθμούς (P1-P6) και παρουσίασαν αύξηση σε όλους τους σταθμούς, εκτός του δυτικού Σταθμού P8. Η αυξητική τάση ήταν μονοτονική για τους άλλους δυτικούς σταθμούς (P7-P9, P10 και P11), ενώ στους περισσότερους ανατολικούς σταθμούς (P1, P2, P3 και P4) υπήρξαν σημαντικές χρονικές αυξομειώσεις (ύπαρξη τόσο θετικών όσο και αρνητικών τιμών της κλίσης του όγκου του κινούμενου ιζήματος). Γενικά, δεν διαφαίνεται κάποια κοινή (ή έστω σχετική) συμπεριφορά των σταθμών.



**Σχήμα 6-6** Διακύμανση του κινούμενου όγκου ιζήματος (μπάρες) και η πρώτη χρονική παράγωγος της (κόκκινη γραμμή), σε κάθε σταθμό για την περίοδο 6/2003-6/2004.

Η κλίση του παραλιακού μετώπου (Σχήμα 6-7) δείχνει μικρές χρονικές διακυμάνσεις (μεταξύ 0.06 και 0.09) και δεν χαρακτηρίζεται από κάποια κοινή τάση. Έτσι, ενώ στους σταθμούς P2, P5, P8, P10 και P11 παρατηρείται μέγιστη κλίση στον 5<sup>ο</sup> μήνα των παρατηρήσεων (11/2003) στους P3, P4 και P7 η κλίση είναι ελάχιστη.

Οι ακτές προσαρμόζουν την κλίση τους σε σχέση με τις κυματικές συνθήκες και το μέσο μέγεθος των κόκκων του ιζήματος (Wright and Short, 1983· Komar, 1998), με αποτέλεσμα η κλίση του μετώπου να δίνει στοιχεία για την αλληλεπίδραση υδροδυναμικής-ιζήματος. Υπολογίζεται για κάθε αποτύπωση στους σταθμούς P λαμβάνοντας υπόψη το τμήμα του προφίλ που βρίσκεται μεταξύ 1 m βάθους και 1 m πάνω από την στάθμη της θάλασσας και φαίνεται ότι κυμαίνεται σε τιμές μεταξύ 6 και 9% (Σχήμα 6-7). Οι ανατολικοί σταθμοί εμφανίζουν μεγαλύτερες κλίσεις, που πιθανόν σχετίζονται με την παρουσία αδρόκοκκου υλικού στην ακτή (βλέπε σχετικό κεφάλαιο 6), αν και οι τιμές της κλίσης γενικά εμφανίζουν διακυμάνσεις. Σε γενικές γραμμές δεν διακρίνεται κάποια κοινή τάση, επί παραδείγματι στους σταθμούς 2, 5, 8, 10 και 11, γύρω στον 5<sup>ο</sup> μήνα (Νοέμβριος 2003) παρατηρείται μέγιστη τιμή, ενώ στους 3, 4 and 7, ελάχιστη. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να αποδοθεί στην γενική ανισοτροπία της παράκτιας μορφολογίας, αλλά και στην παρουσία ΠΨ που δεν επιτρέπει την φυσική μεταβολή του προφίλ.



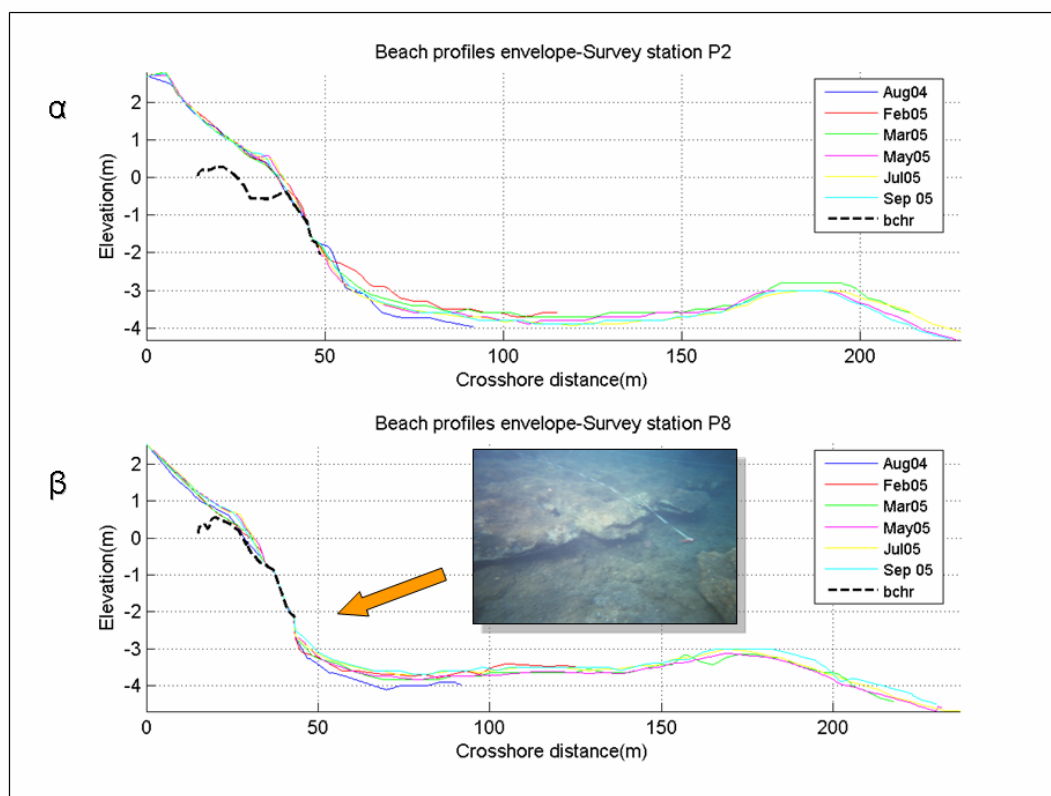
**Σχήμα 6-7** Διακύμανση της κλίσης του μετώπου της ακτής σε κάθε σταθμό για την περίοδο 6/2003-6/2004.

Οι βραχείες αποτυπώσεις στους σταθμούς P1-P11 έδειξαν ότι τα χερσαία και αβαθή υποθαλάσσια τμήματα των παραλιακών προφίλ χαρακτηρίζονται γενικά από αύξηση του όγκου του κινούμενου ιζήματος στην περίοδο 6/2003-6/2004. Αν και η περίοδος των παρατηρήσεων καλύπτει μόνον ένα έτος, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατό να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η κλαστική εποχική μορφοδυναμική διαμόρφωση του παραλιακού προφίλ (δηλ. διάβρωση στο χερσαίο τμήμα της παραλίας στους χειμερινούς μήνες με την υψηλή παράκτια υδροδυναμική και απόθεση στους θερινούς μήνες (π.χ. βλέπε Aubrey, 1979· Aubrey and Ross, 1985· Komar, 1998) δεν φαίνεται ότι ισχύει (τουλάχιστον στην χρονική περίοδο των παρατηρήσεων). Επίσης δεν παρατηρήθηκε κάποια κοινή χρονική συσχέτιση μεταξύ των σταθμών, που συνιστά ότι η μορφοδυναμική της παραλίας χαρακτηρίζεται από σημαντική ανισοτροπία.

### 6.2.2 Μακρές αποτυπώσεις

Οι 6 μακρές αποτυπώσεις (ολόκληρου του χερσαίου και υποθαλάσσιου παραλιακού προφίλ) που έγιναν την περίοδο 8/2004-9/2005 αφορούσε στους σταθμούς P2 (ανατολική ομάδα σταθμών) και P8 (δυτική ομάδα σταθμών) (Σχήμα 6-8).

Και τα δύο προφίλ χαρακτηρίζονται από μεγάλες κλίσεις πυθμένα κοντά στην ακτογραμμή (μέχρι και περίπου 3 m βάθος), ένα περισσότερο ή λιγότερο ομαλό (και οριζόντιο) ανάγλυφο στο τμήμα του προφίλ μεταξύ περίπου 50 και 150 m και την παρουσία ενός σημαντικού υποθαλάσσιου αναβαθμού πλάτους 50 περίπου m και ύψους 0.5-1 m πάνω από την προηγούμενη, σχεδόν επίπεδη, περιοχή του πυθμένα (Σχήμα 6-8). Οι παραλιακοί ψαμμίτες εμφανίζονται σε βάθη μέχρι και 2 m, ενώ η μέγιστη ανύψωση τους είναι 0.5 m πάνω από επίπεδο αναφοράς. Η άνω επιφάνεια δεν είναι οριζόντια αλλά παρουσιάζει σημαντικές μορφολογικές ανωμαλίες.



**Σχήμα 6-8** Αποτυπώσεις της μορφολογίας του παραλιακού προφίλ στους σταθμούς P2 (α) και P8 (β) την περίοδο 8/2004-9/2005. Η μαύρη γραμμή αναπαριστά την άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών, όπως αυτή προέκυψε από την αποτύπωση της μετά από εκσκαφή του υπερκείμενου στρώματος άμμου. Στο σχήμα υπάρχει ως ένθετο φωτογραφία από το σκαλοπάτι υποσκαφής στο υποθαλάσσιο όριο των ΠΨ στον σταθμό P8.

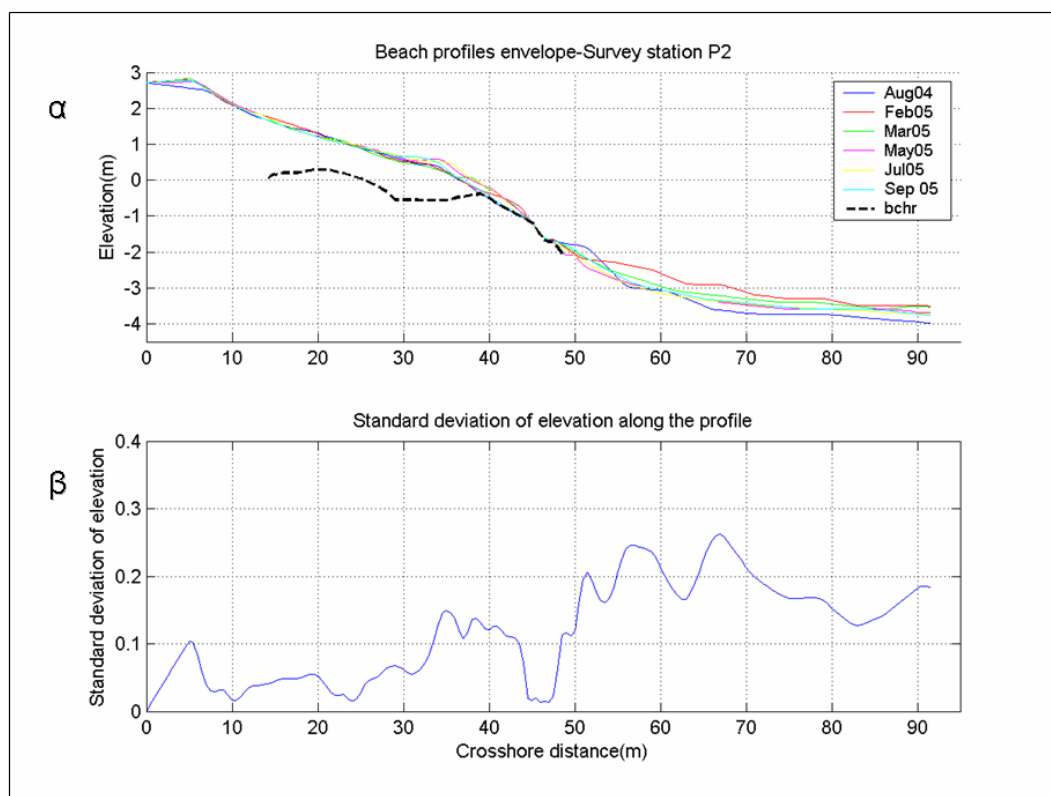
Οι παραλιακοί ψαμμίτες στο σταθμό P2 εμφανίζονται εκτεθειμένοι σε μια μικρή μόλις περιοχή κοντά στην ακτογραμμή και καλύπτονται από ιζήματα με πάχος που σε κάποια σημεία ξεπερνά το 1 m. Αντίθετα στο σταθμό P8 εμφανίζονται εκτεθειμένοι σχηματισμοί παραλιακών ψαμμιτών στο μεγαλύτερο μέρος της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης. Το υποθαλάσσιο όριο των παραλιακών ψαμμιτών συνδέεται με την ύπαρξη απότομων πυθμενικών κλίσεων, που στην περίπτωση του σταθμού P8 έχει την μορφή σχεδόν κάθετου ‘σκαλοπατιού’ (scarp) ύψους μεταξύ 0.5 και 1 m.

Είναι ενδιαφέρον ότι όχι μόνον η ανύψωση (στάθμη των ΠΨ) εμφανίζει σημαντικό εύρος τιμών ( $-2 \pm 0.5$  m) αλλά και το ότι αυτή είναι διαφορετική μεταξύ των σταθμών P2 και P8. Από την μακροχρόνια μελέτη των ΠΨ έχει διαμορφωθεί η κοινή πεποίθηση οι αυτοί σχηματίζονται στην ζώνη που ορίζει το παλιρροιακό εύρος και με την παραπάνω λογική έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σαν δείκτης της θαλάσσιας στάθμης (βλέπε Yaltirak, 2002· Tatumi, 2003· Bezerra, 2003. και Κεφάλαιο 1). Στην περίπτω-

ση των Βατερών οι σχηματισμοί παρουσιάζουν μεγάλο εύρος ανύψωσης, το οποίο σε συνδυασμό με το μικρό παλιρροιακό εύρος της περιοχής, δεν έρχεται σε συμφωνία με την παραπάνω θεώρηση.

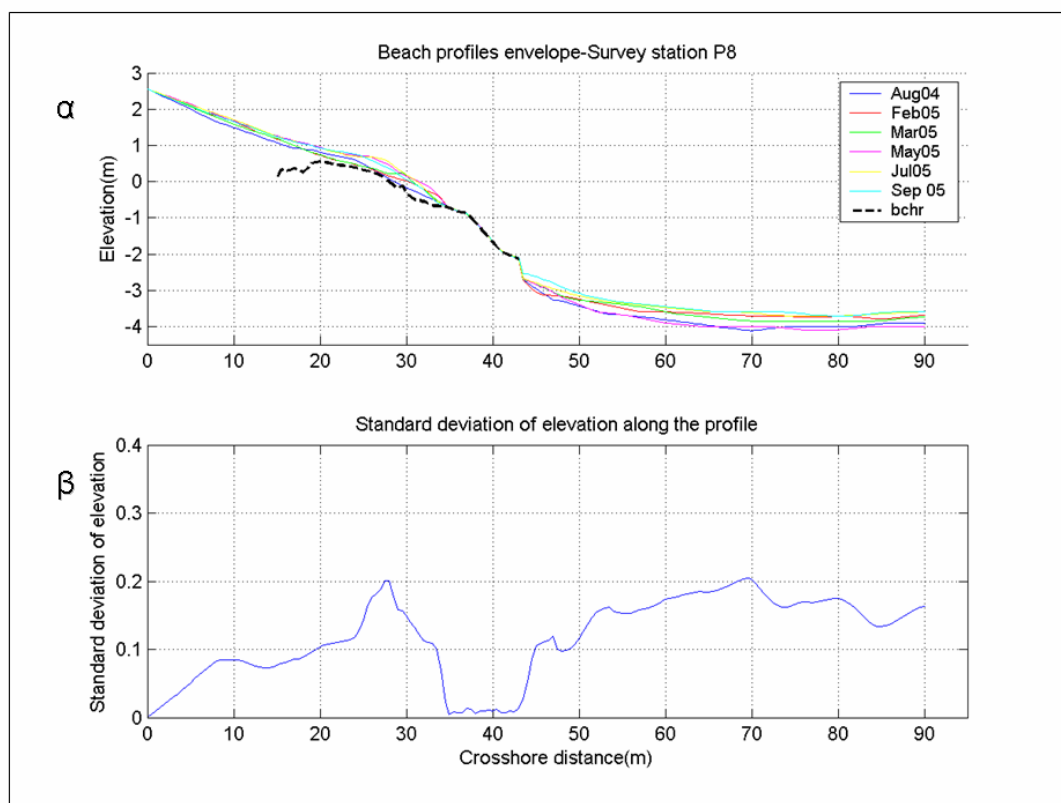
Μια πιθανή ερμηνεία είναι ότι οι εμφανίσεις αποτελούν αποτέλεσμα μιας μακράς περιόδου σχηματισμού σε περιόδους διαφορετικής θαλάσσιας στάθμης από την σημερινή. Επίσης η μεγάλη ανύψωση που παρατηρείται μπορεί και να οφείλεται σε μηχανική μετακίνηση (καταβύθιση) των εμφανίσεων, κυρίως στο αβαθές υποθαλάσσιου τμήμα του προφίλ, όπου είναι πιθανή η υποσκαφή του σχηματισμού και η σταδιακή καταβύθιση του. Τέλος δεδομένου ότι η παρουσία ΠΨ με ανάλογο εύρος στάθμης δεν είναι σπάνιο φαινόμενο για τις μικρο-παλιρροιακές ελληνικές ακτές, κάτι τέτοιο μπορεί απλά να σημαίνει ότι η συνεκτικοποίηση των ιζημάτων μπορεί να λάβει χώρα σε μια ζώνη που καλύπτει αρκετά μέτρα της χερσαίας παραλίας, έως και σημεία που το βάθος φτάνει τα 2 m.

Οι παραπάνω υποθέσεις δεν μπορούν να εξακριβωθούν με τα υπάρχοντα δεδομένα, όμως η παρατηρούμενη ανύψωση των ΠΨ αφήνει ερωτηματικά για το κατά πόσο η θέση των ΠΨ αποτελεί ένδειξη της τρέχουσας θαλάσσιας στάθμης, καθώς και την ακρίβεια της εκτίμησης παλαιότερων τιμών του επιπέδου της θάλασσας από την ραδιοχρονολόγηση παλαιών εμφανίσεων παραλιακών ψαμμιτών.



**Σχήμα 6-9** Χρονική μεταβολή του παραλιακού προφίλ (μέχρι απόστασης 90 m από την αρχή του) στον σταθμό P2 (α), και τυπική απόκλιση της χρονικής διακύμανσης της ανύψωσης (στάθμης) (β). Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή αναπαριστά την άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών.

Η χρονική μεταβλητότητα της στάθμης του παραλιακού προφίλ (μέχρι και απόστασης 90 m από την αρχή του) είναι γενικά σημαντική και για τους δύο σταθμούς (Σχήμα 6-9 και Σχήμα 6-10). Η τυπική απόκλιση της ανύψωσης (στάθμης) παρουσιάζει ελάχιστα στο υποθαλάσσιο μέρος του προφίλ κοντά στην ακτογραμμή (σε βάθη μεταξύ 1 και 2 m). Οι περιοχές αυτές με τις σχεδόν μηδενικές αυτές τιμές συνδέονται με την περίπου συνεχή στον χρόνο, έκθεση των παραλιακών ψαμμιτών στα βάθη αυτά και όπως είναι αναμενόμενο έχουν μεγαλύτερη έκταση στον σταθμό P8



**Σχήμα 6-10** Χρονική μεταβολή του παραλιακού προφίλ (μέχρι απόστασης 90 m από την αρχή του) στον σταθμό P8 (α), και τυπική απόκλιση της χρονικής διακύμανσης της ανύψωσης (στάθμης) (β). Η διακεκομμένη μαύρη γραμμή αναπαριστά την άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών.

Οι τυπικές αποκλίσεις παρουσιάζουν επίσης μέγιστα τα οποία σχετίζονται με το αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα (μέχρι βάθους 1 m) και την ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης και το υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ, σε βάθη μεταξύ 2 και 3 m (Σχήμα 6-9 και Σχήμα 6-10). Υπάρχουν επίσης κάποιες διαφορές μεταξύ των σταθμών P2 και P8. Στον σταθμό P2 (Σχήμα 6-9), οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται σε βάθη 0-1 m, κάτι που πιθανότατα οφείλεται στην γένεση/καταστροφή αβαθών υποθαλάσσιων διαμήκων αναβαθμών που σχετίζονται με την θραύση μικρών σχετικά κυματισμών. Αντίθετα, στον σταθμό P8 (Σχήμα 6-10), η τυπική απόκλιση παρουσιάζει μέγιστο στην ζώνη διαβροχής. Τέλος, η χωρική μεταβολή της τυπικής απόκλισης εμφανίζεται περισσότερο ‘ομαλή’ (τουλάχιστον στα τμήματα του προφίλ που δεν συνδέονται με την εμφάνιση παραλιακών ψαμμιτών) στον σταθμό P8 από ότι στον σταθμό P2.

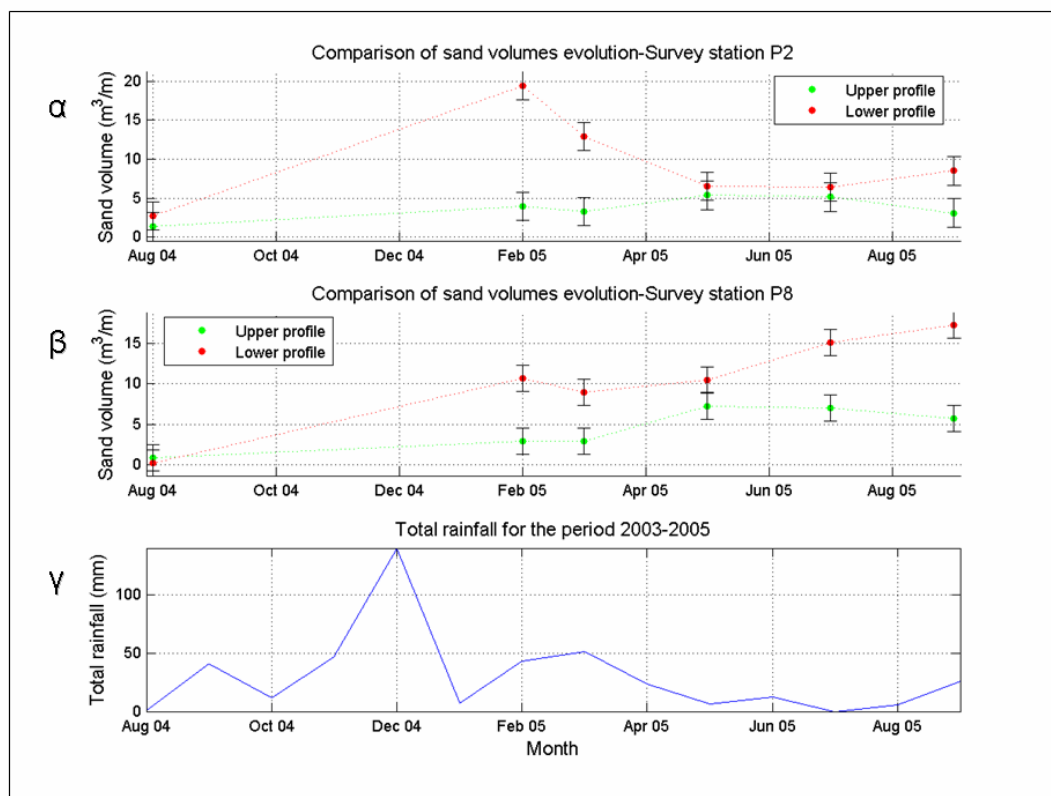
Η εκτίμηση των όγκων ‘κινούμενου’ ιζήματος (για τον τρόπο υπολογισμού, βλέπε ενότητα 6.2.1) έγινε ξεχωριστά για τα τμήματα των προφίλ εκατέρωθεν των περιοχών ‘μόνιμης’ έκθεσης των παραλιακών ψαμμιτών. Τα δύο τμήματα ταυτίζονται με τις



περιοχές εκατέρωθεν των ελάχιστων της τυπικής απόκλισης (Σχήμα 6-9 και Σχήμα 6-10). Στην παρούσα εκτίμηση οι όγκοι δεν είναι ‘κανονικοποιημένοι’, αλλά εκφράζουν όγκο ιζήματος ανά μήκος ακτογραμμής ( $m^3/m$ ). Τα αποτελέσματα (Σχήμα 6-11(α, β)) δείχνουν ότι η παραλία παρουσίαζε αυξητική τάση και στους δύο σταθμούς P2 και P8. Το διάστημα Αύγουστος 2004-Μάρτιος 2005 οι όγκοι των άνω (εναέριο) και κάτω (υποθαλάσσιο) τμημάτων των προφίλ εμφανίζουν παρόμοιες τάσεις και μόνο τους τελευταίους μήνες χαρακτηρίζονται από αντίθετες τάσεις. Επιπλέον όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, οι μεταβολές στο άνω τμήμα είναι σημαντικά μικρότερες από αυτές στο κάτω.

Η εξαγωγή συμπερασμάτων για την κατεύθυνση στερεομεταφοράς από την διακύμανση των όγκων υλικού στα επιμέρους τμήματα του προφίλ, γενικά είναι παρακινδυνευμένη, λόγω της πληθώρας παραμέτρων που ελέγχουν το φαινόμενο και της μη συνεχούς στον χρόνο μέτρησης της ποσότητας υλικού. Από την άλλη για ένα προφίλ που ελέγχεται από την κάθετη στην ακτή στερεομεταφορά, θα ήταν αναμενόμενο να παρατηρείται μια αντίστροφη μεταβολή των ποσοτήτων ιζήματος στο άνω και κάτω προφίλ. Αντίθετα από την μεταβολή των όγκων κινούμενου ιζήματος στους σταθμούς P2 και P8 (Σχήμα 6-11(α,β)), δεν υπάρχουν ενδείξεις για παρουσία άμεσης αλληλεπίδρασης μεταξύ του άνω και κάτω τμήματος του προφίλ. Κάτι τέτοιο υποδηλώνει ότι το φαινόμενο πιθανόν ελέγχεται και από άλλες διεργασίες, πέρα από την κάθετη στερεομεταφορά.

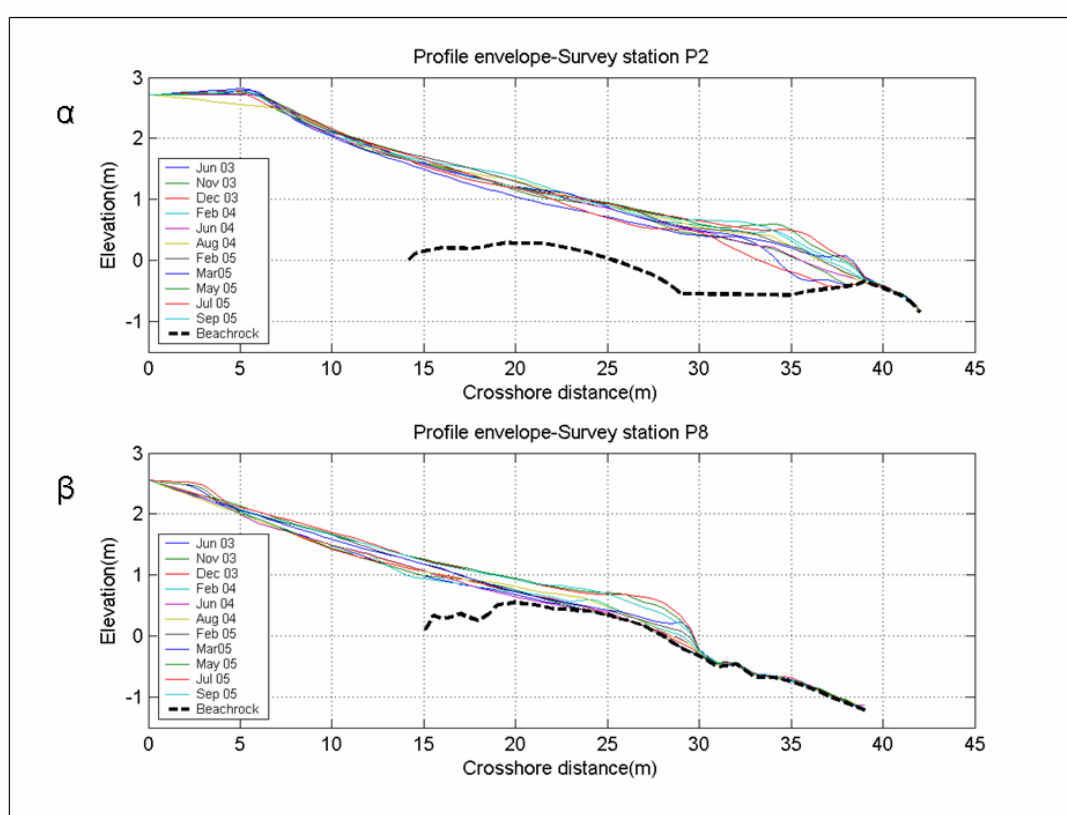
Στους παραπάνω συλλογισμούς προστίθεται η παρατήρηση από τα ιζηματολογικά δεδομένα, ότι η παράλληλη μεταφορά γίνεται κυρίως προς τα δυτικά κάτι που ενισχύεται και από το γεγονός ότι ο δυτικότερος, σταθμός P8 παρουσιάζει εντονότερη τάση συσσώρευσης ιζήματος, ενώ ο P2 επανέρχεται σε τιμές παρόμοιες με αυτές πριν την μεγάλη χειμερινή αύξηση. Επιπλέον, η αναμενόμενη διαδοχή διάβρωσης κατά την διάρκεια του χειμώνα και απόθεσης το καλοκαίρι, δεν φαίνεται να υφίσταται στην ακτή και παρατηρούμε μια πολύ έντονη αύξηση του διαθέσιμου υλικού κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου του έτους 2005, όπου εμφανίζεται και η μέγιστη συνολική βροχόπτωση (Σχήμα 6-11(γ)). Συνεπώς οι ποσότητες ιζήματος δείχνουν να ρυθμίζονται, κύρια από την χερσαία τροφοδοσία υλικού λόγω των βροχοπτώσεων και (ενδεχομένως) την διανομή τους παράλληλα στην ακτή από τα ρεύματα κυματικής προέλευσης.



**Σχήμα 6-11** Χρονικές μεταβολές του κινούμενου όγκου ιζήματος στο άνω και κάτω τμήμα του προφίλ των σταθμών P2 και P8 (α, β), και διακύμανση της συνολικής μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 8/2004-9-2005 (γ).

### 6.3 EOF ανάλυση των προφίλ των σταθμών P2 και P8

Κατά την διάρκεια της συνολικής περιόδου παρακολούθησης (Ιούνιος 2003-Σεπτέμβριος 2005) έγιναν 11 αποτυπώσεις στο άνω τμήμα (χερσαίο και αβαθές υποθαλάσσιο) των προφίλ των σταθμών P2 και P8 (Σχήμα 6-12). Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι: α) χερσαίο και αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ του σταθμού P2 είναι μακρύτερο, με περισσότερο ήπια κλίση και περισσότερο ίζημα πάνω από τους ΠΨ και β) οι ΠΨ εκτίθενται συνεχώς στην υποθαλάσσια περιοχή κοντά στην ακτογραμμή (η έκθεση είναι μεγαλύτερη στον σταθμό P8).



**Σχήμα 6-12** Αποτυπώσεις του άνω τμήματος (χερσαίου και αβαθούς υποθαλάσσιου) του παραλιακού προφίλ την περίοδο 6/2003-9/2005) στους σταθμούς P2 (α) και P8 (β).

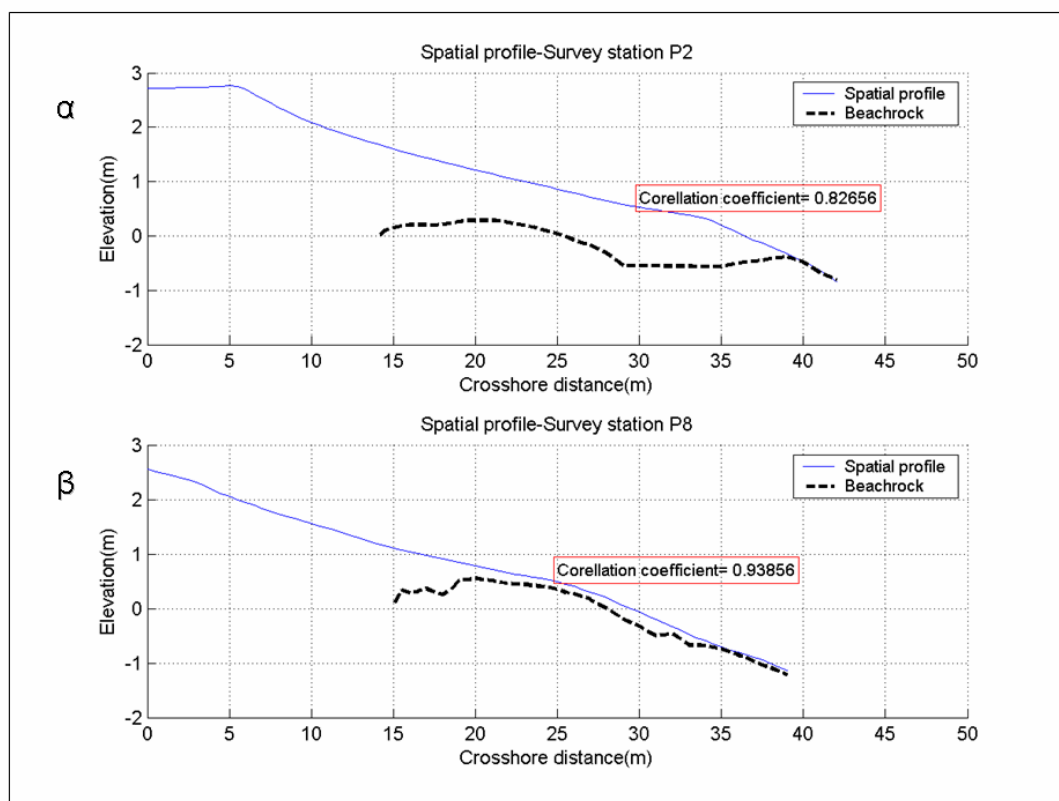
Έχει προταθεί, ότι η πρώτη χωρική συνιστώσα της EOF ανάλυσης αντιπροσωπεύει το μέσο της παραλίας (Aubrey, 1979) (βλέπε Κεφάλαιο 5.2.1) και για την περίπτωση των δεδομένων από τους σταθμούς P2 και P8, έδειξε ότι η πρώτη χωρική συνιστώσα (spatial eigenfunction) περιέχει το 99.99% της μεταβλητότητας (Πίνακας 4-1). Το σχήμα του μέσου προφίλ στον σταθμό P8 (Σχήμα 6-13 (β)) είναι πιο γραμμικό και σε πολύ καλή συμφωνία με αυτό των ΠΨ ενώ αυτό στον σταθμό P2 (Σχήμα 6-13 (α))

εμφανίζει περισσότερες διακυμάνσεις, ενώ επίσης διακρίνεται η παρουσία παχύτερου στρώματος άμμου πάνω από τους σχηματισμούς και το μεγαλύτερο μήκος παραλίας.

**Πίνακας 6-1** Τιμές των συντελεστών χωρικής ανάλυσης EOF και το ποσοστό της συνολικής μεταβολής που εκφράζουν

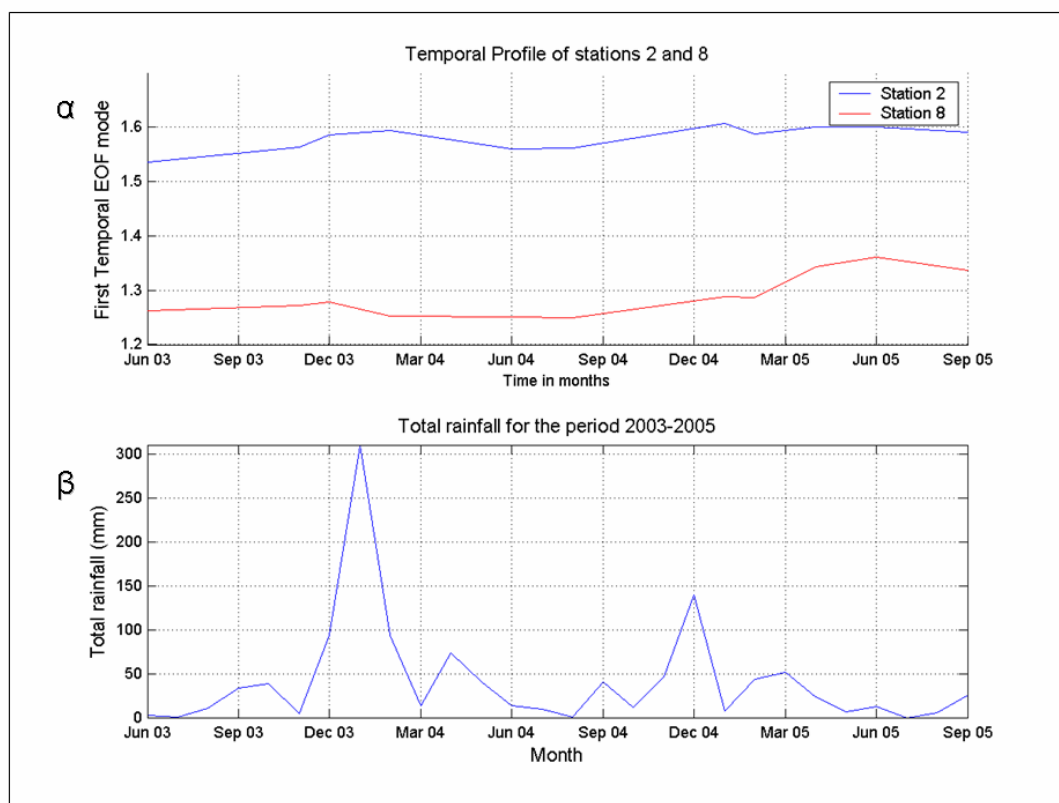
Ιδιοτιμή	Τιμή συντελεστή		Ποσοστό %	
	Σταθμός P2	Σταθμός P8	Σταθμός P2	Σταθμός P8
λ1	2.498	16.638	99.9994	99.9999
λ2	0.013	0.008	0.0005	0.0001
λ3	0.001	0.0011	≈0	≈0
λ4	0.0006	0.0006	≈0	≈0
λ5	0.0005	0.0002	≈0	≈0

Ο έλεγχος που ασκεί η άνω επιφάνεια των ΠΨ στο παραλιακό των σταθμών P2 και P8 φαίνεται από την καλή συσχέτιση του μέσου προφίλ με το προφίλ της άνω επιφάνειας των σχηματισμών (Σχήμα 6-13). Στην περίπτωση του Σταθμού P2, ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε να είναι περίπου 83% (στο διάστημα εμπιστοσύνης 90%, που είναι υπεραρκετό στην ανάλυση γεωλογικών/γεωμορφολογικών δεδομένων βλέπε Davis, 1986), ενώ στην περίπτωση του σταθμού P8, ο συντελεστής συσχέτισης βρέθηκε να είναι περίπου 94%. Οι παρατηρούμενοι πολύ υψηλοί συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του 'μέσου' προφίλ και της άνω επιφάνειας των ΠΨ δείχνουν ότι η παρουσία (και διαμόρφωση) τους, μπορεί να αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα στην διαμόρφωση του τελικού προφίλ της παραλιακής ζώνης.



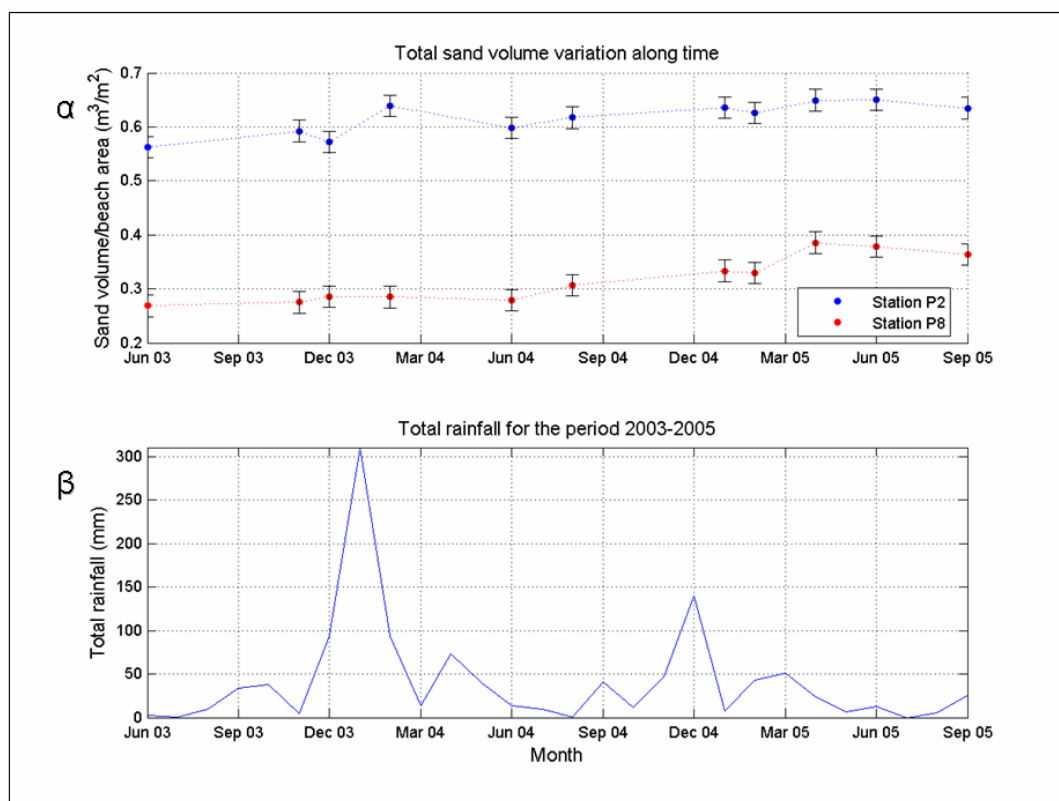
**Σχήμα 6-13** Πρώτη EOF χωρική συνιστώσα (spatial eigenfunction) των μορφολογικών δεδομένων από τους σταθμούς P2 (α) και P8 (β), άνω επιφάνεια (διακεκομμένη γραμμή) των παραλιακών ψαμμιτών και συντελεστές συσχέτισης. Η συσχέτιση έγινε στα τμήματα του προφίλ που χαρακτηρίζονται από παραλιακούς ψαμμίτες (διάστημα εμπιστοσύνης 90%).

Η πρώτη EOF χρονική συνιστώσα φανερώνει την κύρια τάση της χρονικής μεταβολής του παραλιακού προφίλ στον χρόνο (Σχήμα 6-14(α)), η οποία φαίνεται να είναι γενικά μικρή, ιδιαίτερα στον σταθμό P8, όπου και υπάρχει σημαντική επιφανειακή παρουσία ΠΨ. Οι μεγαλύτερες χρονικές μεταβολές παρατηρούνται τις περιόδους 12/2003-3/2004 και 12/2004-6/2005 που τυγχάνει να είναι και περίοδοι έντονων βροχοπτώσεων (Σχήμα 6-14(β)) και συνεπώς αυξημένων ιζηματικών παροχών.



**Σχήμα 6-14** Πρώτη EOF χρονική συνιστώσα των τοπογραφικών δεδομένων από τους σταθμούς P2 και P8 (α) και χρονοσειρά βροχόπτωσης (Μετεωρολογικός σταθμός Ακρασιού (β), βλέπε Κεφάλαιο 4.4).

Ανάλογα συμπεράσματα προκύπτουν και από την ανάλυση της μεταβολής του όγκου ιζήματος ανά μήκος ακτογραμμής, στο άνω μέρος του προφίλ (Σχήμα 6-15(α)). Η ποσότητα ιζήματος υπολογίζεται με σημείο αναφοράς το προφίλ που σχηματίζουν οι ελάχιστες ανυψώσεις κάθε σημείου και ειδικά στο μέτωπο της ακτής, συνήθως ταυτίζεται με την εκτεθειμένη επιφάνεια των ΠΨ (βλέπε και παραπάνω). Οι ποσότητες είναι κανονικοποιημένες τιμές διαιρεμένες με το μήκος του προφίλ, συνεπώς εκφράζουν όγκο ιζήματος, ανά μήκος ακτογραμμή και μήκος διατομής. Από την παράθεση με την διακύμανση της μηνιαίας βροχόπτωσης, φαίνεται έντονα ότι οι δύο απότομες αυξήσεις του όγκου εμφανίζονται μετά από τους μήνες με την μεγαλύτερη βροχόπτωση (1/2004 και 12/2004). Επίσης επαληθεύονται προηγούμενες παρατηρήσεις για την τάση προέλασης της ακτής, την απουσία εποχικής μεταβολής και την έντονη αύξηση που παρατηρείται στον όγκο του προφίλ P8 τον Μάρτιο 2005, ενώ μέχρι τότε το P2 παρουσιάζεται πιο ευμετάβλητο.

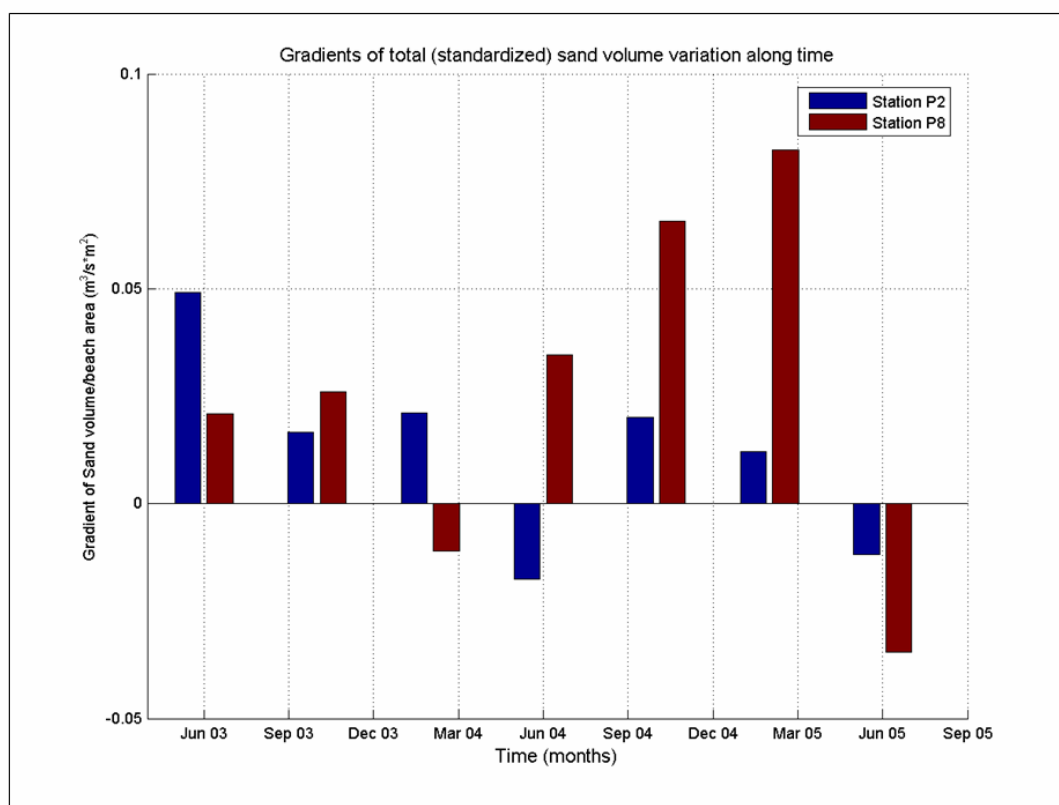


**Σχήμα 6-15** Μεταβολή του όγκου ιζήματος του άνω τμήματος του προφίλ, ανά μήκος ακτογραμμής, στους σταθμούς P2 και P8 (α) και η βροχόπτωση ανά μήνα, την περίοδο 6/2003-9/2005 (β).

Η χρονική παράγωγος αποδίδει την τάση του προφίλ για διάβρωση ή απόθεση σε κάθε χρονική στιγμή και εμφανίζεται στο Σχήμα 6-16. Όπως αναφέρεται και σε παραπάνω παραγράφους (βλέπε ενότητα 6.2.2), αν και η εξαγωγή συμπερασμάτων για την συμπεριφορά της ακτής από την μεταβολή των όγκων είναι παρακινδυνευμένη, κάποιες ξεκάθαρες τάσεις είναι δυνατόν να συζητηθούν σαν ενδεικτικές.

Επί παραδείγματι, η παρατηρούμενη «κύρτωση» προς θετικές τιμές, επιβεβαιώνει την προηγούμενη παρατήρηση για γενικότερη ‘αυξητική’ τάση της παραλίας. Επιπλέον φαίνεται ότι κατά τους πρώτους 17 μήνες παρατηρείται μια εναλλαγή πρόσημου στις τιμές των δύο σταθμών και μάλιστα με τρόπο τέτοιο ώστε, συνήθως να έχουν αντίθετο πρόσημο. Επίσης ακόμα και όταν η τιμή δεν γίνεται αρνητική, υπάρχει εναλλαγή μεταξύ της μέγιστης παραγωγού και μάλιστα με σημαντική διαφορά και όλα τα παραπάνω θα μπορούσαν να σημαίνουν ότι υπάρχει μια ποσότητα ιζήματος που αφαιρείται από το ένα σημείο και προστίθεται στο άλλο και αντίστροφα. Αν κάτι τέτοιο είναι αληθές το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι οι μεταβολές οφείλονται κυρίως

σε παράλληλη στην ακτογραμμή μεταφορά, κατά το διάστημα αυτό, που επιπλέον παρατηρείται η εντονότερη παρουσία ΠΨ και η μέγιστη διάβρωση της ακτής.



**Σχήμα 6-16** Σύγκριση των χρονικών παραγώγων της μεταβολής της αδιάστατης ποσότητας ιζήματος στο άνω τμήμα του προφίλ, των σταθμών P2 και P8, για την περίοδο 6/2003-9/2005.



#### 6.4 Συμπεράσματα-Σχόλια

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων, μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Η γενική διευθέτηση της παραλίας των Βατερών, καθώς και το γεγονός ότι το μήκος της ακτής γίνεται ελάχιστο στο ανατολικό άκρο και μέγιστο στο κεντρικό τμήμα της ακτής, καταδεικνύει ότι η παράλληλη στερεομεταφορά, έχει ως κύρια κατεύθυνση τη δυτική. Μια τέτοια υπόθεση υποστηρίζεται και από τα ιζηματολογικά και υδροδυναμικά δεδομένα (βλέπε Κεφάλαιο 7 και 8).
- Οι ΠΨ καλύπτουν το κεντρικό τμήμα της ακτής και μέρος του ανατολικού, καταλαμβάνοντας όλο το μήκος της από τον σταθμό S2 έως τον S12.
- Η παραλία των Βατερών εμφανίζεται έντονα διαβρωμένη στην αρχική περίοδο (Φθινόπωρο 2003) και στην συνέχεια φαίνεται να παρουσιάζει πρόσχωση. Οι περιόδοι πρόσχωσης φαίνονται κύρια να σχετίζονται με τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων (και συνεπώς με την παροχή ποτάμιων/χερσαίων ιζημάτων).
- Οι σταθμοί P7-P11 χαρακτηρίζονται από: (α) μικρότερο μήκος χερσαίας παραλίας και μεγαλύτερες κλίσεις, (β) μικρότερες ποσότητες κινούμενου ιζήματος, (γ) μεγαλύτερη εμφάνιση παραλιακών ψαμμιτών, (δ) μικρότερη δυναμική και (ε) την εντονότερη παρουσία ‘σκαλοπατιού υποσκαφής’ (ύψους 0.5-1 m) στο υποθαλάσσιο όριο των ΠΨ
- Οι μακρές αποτυπώσεις έδειξαν ότι η μεταβολή της παραλίας λαμβάνει χώρα κυρίως στο υποθαλάσσιο, μη ‘προσβεβλημένο’ από τους σχηματισμούς, τμήμα, και κορυφώνεται στα όρια τους, όπου το υπόστρωμα μετατρέπεται από μη συνεκτικό ίζημα σε σκληρό (βραχώδες) και αντίστροφα.
- Η παραλία στον Σταθμό P2 παρουσιάζεται από μορφοδυναμική άποψη, πιο ενεργή από αυτή του Σταθμού P8.
- Η EOF ανάλυση έδειξε ότι το «μέσο προφίλ» της παραλίας ταυτίζεται σημαντικά με αυτό της άνω επιφάνειας των ΠΨ, υποδηλώνοντας ότι οι σχηματισμοί αποτελούν μια από τις κυριότερες, αν όχι την σημαντικότερη, παράμετρο που καθορίζει το σχήμα του προφίλ.

- Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδηλώνουν ότι η παρουσία παραλιακών ψαμμιτών μπορεί να «κλειδώνει» το προφίλ και να θωρακίζει την ακτή, θέτοντας το όριο διάβρωσης του πυθμένα· επιπλέον, φαίνεται να συγκεντρώνει την κυματική ενέργεια και να την οδηγεί προς το εναπομείναν αμμώδες τμήμα του προφίλ, επηρεάζοντας, ή/και επιτείνοντας τοπικά τις διεργασίες διάβρωσης και ιζηματομεταφοράς.
- Η μελέτη των ποσοτήτων κινούμενου ιζήματος δείχνει ότι η μορφοδυναμική μεταβολή του άνω μέρους της παραλίας, καθορίζεται κυρίως από την τροφοδοσία χερσαίων πηγών και η αύξηση του όγκου των προφίλ, συμπίπτει με παρουσία έντονων βροχοπτώσεων.
- Η μεταβολή των όγκων ιζήματος στα άνω και κάτω τμήματα των προφίλ P2 και P8, όπως αυτά διαχωρίζονται από τους εκτεθειμένους ΠΨ, δείχνει ότι η στερεοπαροχή παράλληλα στην ακτογραμμή (longshore sediment transport), είναι η επικρατέστερη διεργασία (σχετική με την παραλιακή μορφοδυναμική), από αυτή που λαμβάνει χώρα κάθετα στην παραλία (crossshore transport).
- Από τα δεδομένα δεν παρατηρείται κάποιος ετήσιος κύκλος μορφολογικής μεταβολής, ούτε η αναμενόμενη χειμερινή διάβρωση-καλοκαιρινή απόθεση. Όπως αναφέρεται και παραπάνω οι μορφολογικές μεταβολές φαίνονται να ελέγχονται κυρίως από την τροφοδοσία με χερσαία ιζήματα και την παράλληλη στην ακτογραμμή στερεομεταφορά.
- Στην περίπτωση της παραλίας των Βατερών οι σχηματισμοί παρουσιάζουν μεγάλο εύρος στάθμης (μέχρι και 2 m), το οποίο σε συνδυασμό με το μικρό παλιρροιακό εύρος της περιοχής, υποδηλώνει μια αργή άνοδο της θαλάσσιας στάθμης. Είναι πιθανότερο όμως είναι να είναι το αποτέλεσμα υποσκαφής και διαφορικής βύθισης/θραύσης των σχηματισμών ΠΨ. Η παρατήρηση αυτή αφήνει ερωτηματικά για το κατά πόσο η στάθμη των ΠΨ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή εκτίμηση της θαλάσσιας στάθμης σε παλαιότερες περιόδους.

## 7 Παραλιακά ιζήματα

### 7.1 Κατανομή ιζημάτων παράλληλα στην ακτή

#### 7.1.1 Σταθμοί S

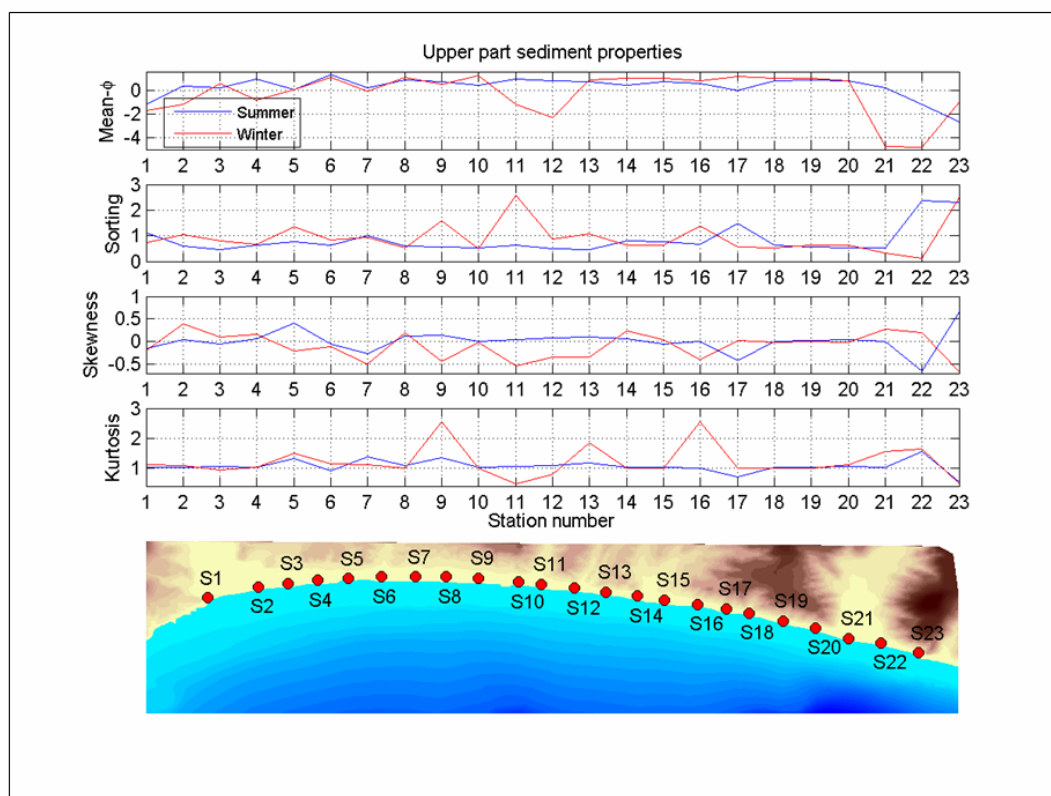
Ερευνήθηκε η κατανομή των ιζημάτων παράλληλα προς την ακτή σε 3 διαφορετικά τμήματα της χερσαίας παραλίας: ανώτερη παραλία (backshore), επιμήκης αναβαθμός (berm) και ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής (swash zone) για την αναγνώριση τάσεων που μπορούν να σχετίζονται με τις διεργασίες ιζηματομεταφοράς/ιζηματοπαροχής που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή.

Γενικά, τα χερσαία παραλιακά ιζήματα του Κόλπου των Βατερών είναι αδρόκοκκα, με μεγάλα εύρη διαβάθμισης, λοξότητας και κύρτωσης (Πίνακας 7-1). Όσον αφορά την ορυκτολογία τους, μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις έδειξαν ότι είναι κατά την μεγάλη πλειοψηφία τους χερσογενή (terrestrial) και προέρχονται από την ευρύτερη λεκάνη απορροής των Βατερών (βλέπε και Βαλαής, 2004·Ζαρκογιάννης, 2004). Όλα σχεδόν τα προϊόντα αποσάθρωσης/διάβρωσης των πρωτογενών (π.χ. ιγκνιμβιτών πρασινοσχιστόλιθων, μαργών, ασβεστόλιθων κλπ) και δευτερογενών (π.χ. κροκαλοπαγών) πετρωμάτων της λεκάνης απορροής (βλέπε Κεφάλαιο 4.3) βρέθηκαν να αντιπροσωπεύονται στα παραλιακά ιζήματα. Όσον αφορά τα ιζήματα της υποθαλάσσιας παραλίας, αν και δεν έγινε λεπτομερής δειγματολήψια αυτά βρέθηκαν να είναι λιγότερο αδρόκοκκα από αυτά της χερσαίας παραλίας χαρακτηριζόμενα ως αδρόκοκκοι άμμοι (μέσο μέγεθος περίπου 0.5 mm).

**Πίνακας 7-1** Εύρη διακύμανσης κοκκομετρικών παραμέτρων στους σταθμούς S. Για τις τιμές των παραμέτρων όλων των δειγμάτων, βλέπε Παράρτημα Π2.

Τμήμα	Περίοδος	Τιμή	Μέσος	Διαβάθμιση	Λοξότητα	Κύρτωση
Επιμήκης αναβαθμός	Χειμώνας	Ελάχιστη	-4.8123	0.5600	-0.5500	0.5200
		Μέγιστη	-0.4100	2.8100	0.9000	1.5500
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	-4.5700	0.0000	-0.2800	0.0000
		Μέγιστη	-0.4900	1.8300	0.5800	1.3600
Ζώνη αναρρίχησης	Χειμώνας	Ελάχιστη	-3.0200	0.3300	-0.4300	0.5000
		Μέγιστη	0.0400	2.1900	0.5900	1.6900
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	-4.4900	0.6000	-0.5800	0.5300
		Μέγιστη	-0.1500	2.7600	0.9700	2.9000
Ανώτερη παραλία	Χειμώνας	Ελάχιστη	-2.6700	0.4500	-0.6600	0.5300
		Μέγιστη	1.3500	2.3600	0.6700	1.5600
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	-4.8496	0.1100	-0.6800	0.4700
		Μέγιστη	1.2700	2.5700	0.4000	2.5500

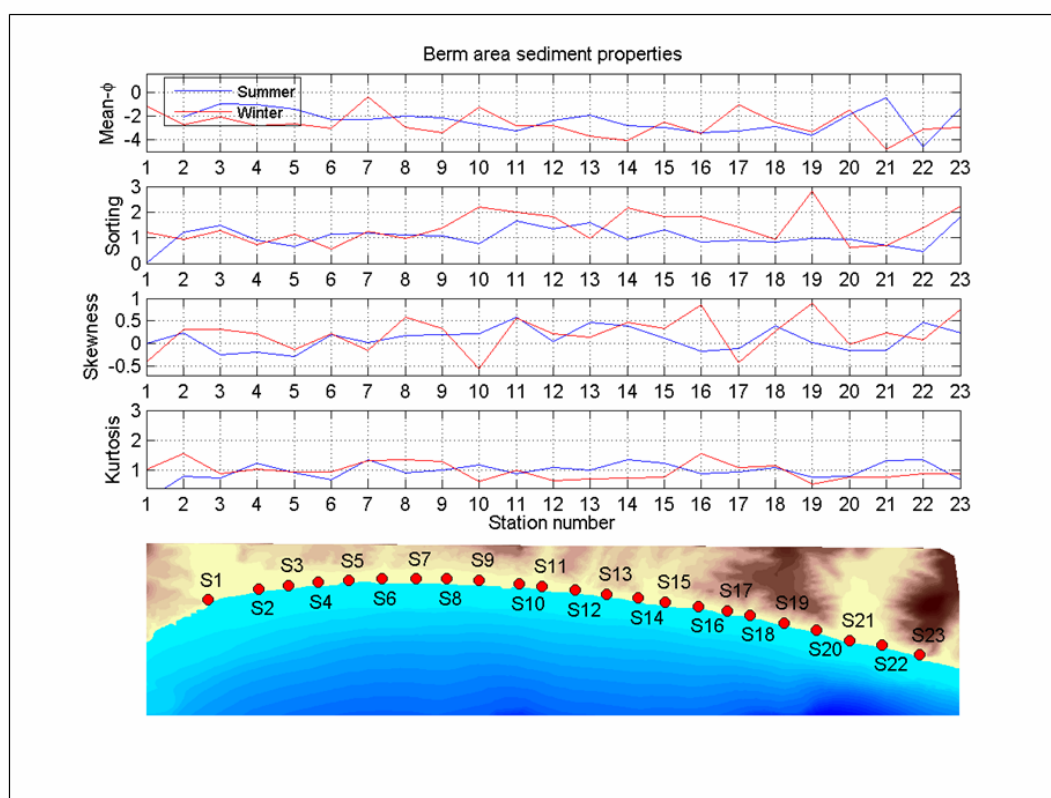
Στην ανώτερη χερσαία παραλία (Σχήμα 7-1), τα ιζήματα είναι μεσόκοκκα-αδρόκοκκα (βλέπε και Πίνακας 7-1), έχουν γενικά μέτρια ως φτωχή διαβάθμιση (ιδιαίτερα την χειμερινή περίοδο), μεσοκυρτική-λεπτοκυρτική κατανομή και συμμετρική-αρνητική λοξότητα (ιδιαίτερα κατά την χειμερινή περίοδο). Τα ιζήματα σε αυτό το τμήμα βρέθηκαν να είναι γενικά πιο λεπτόκοκκα και καλύτερα διαβαθμισμένα, σε σχέση με τα άλλα τμήματα της παραλίας (Σχήμα 7-2 και Σχήμα 7-3).



**Σχήμα 7-1** Κατανομή κοκκομετρικών παραμέτρων την χειμερινή και θερινή περίοδο κατά μήκος της ακτής των Βατερών στο άνω τμήμα του χερσαίου παραλιακού προφίλ.

Οι κοκκομετρικές παράμετροι των ιζημάτων εμφανίζονται εντυπωσιακά ομοιόμορφες κατά μήκος της παραλίας κατά την θερινή περίοδο (Σχήμα 7-1). Αύξηση του μέσου μεγέθους των ιζημάτων (δηλ. μείωση του μεγέθους στην κλίμακα φ) παρατηρείται μόνον στα δυτικά και ανατολικά άκρα της παραλίας (σταθμοί S1 και S21-23) και γίνεται περισσότερο σημαντική την χειμερινή περίοδο· η αύξηση αυτή πιθανόν να οφείλεται στη παροχή ποτάμιων αδρόκοκκων ιζημάτων από τους ποταμούς Αλμυροπόταμο και Βουρκοπόταμο, αντίστοιχα, που βρίσκονται στις περιοχές των σταθμών αυτών. Στην χειμερινή περίοδο, το μέγεθος των ιζημάτων στους σταθμούς S10-S12 επίσης αυξάνεται, με ταυτόχρονη σημαντική μείωση της διαβάθμισης (αύξηση της

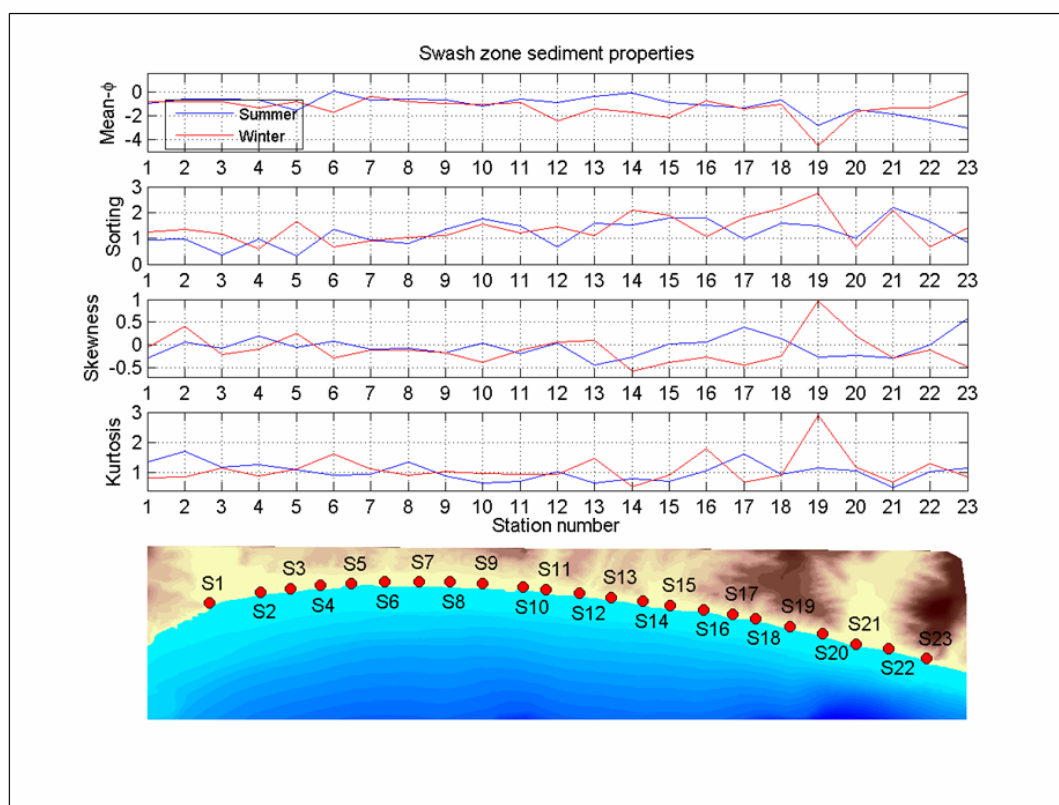
απόκλισης σε περισσότερο από 2.2  $\phi$ ), της λοξότητας και της κύρτωσης. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παροχή νέου ιζήματος στην ανώτερη παραλία από τα χειμαρρο-ρέματα, που διαβρώνουν τα κροκαλοπαγή πετρώματα που βρίσκονται πίσω από την παραλία (Σχήμα 7-1 και Κεφάλαιο 4.3). Οι παραπάνω διακυμάνσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων στην ζώνη αυτή της παραλίας των Βατερών δείχνουν ότι την χειμερινή περίοδο, οι διεργασίες παροχής ιζημάτων στην παραλία πιθανόν υπερισχύουν αυτών της ιζηματοδυναμικής διευθέτησης (Flemming, 1988).



**Σχήμα 7-2** Κατανομή των κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων του χερσαίου υβώματος (berm) την χειμερινή και θερινή περίοδο κατά μήκος της ακτής των Βατερών.

Τα ιζήματα του επιμήκους αναβαθμού (Σχήμα 7-2 και Πίνακας 7-1) είναι γενικά πιο αδρόκοκκα (μέσο μέγεθος περίπου 5 mm) από εκείνα της ανώτερης παραλίας και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη μεταβλητότητα των κοκκομετρικών παραμέτρων κατά μήκος της παραλίας, που πιθανόν να οφείλεται στην επίδραση μεταβαλλόμενων κυματισμών (Komar, 1998)· μόνον στην περίπτωση των ακραίων ανατολικών σταθμών (σταθμοί S21-S23), η διακύμανση των κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων της ανώτερης παραλίας (Σχήμα 7-1) είναι ανάλογη αυτής που παρατηρείται στον

επιμήκη αναβαθμό. Επίσης διακρίνεται μία γενική τάση μείωσης του μεγέθους από τα ανατολικά προς τα δυτικά, η οποία είναι περισσότερο προφανής την θερινή περίοδο, ενώ και η διαβάθμιση (sorting) γίνεται καλύτερη (δηλ. η απόκλιση σI γίνεται μικρότερη στην κλίμακα του φ) από τα ανατολικά προς τα δυτικά, κυρίως την χειμερινή περίοδο. Όσον αφορά τις άλλες παραμέτρους (λοξότητα (SkI) και κύρτωση (KG)), αυτές δεν φαίνονται να παρουσιάζουν κάποια γενική τάση, τόσο κατά την χειμερινή όσο και κατά την θερινή περίοδο. Σε γενικές γραμμές, οι κοκκομετρικές παράμετροι των ιζημάτων του επιμήκους αναβαθμού παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα τον χειμώνα. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθώς αδιαβάθμιστο ίζημα αποτίθεται στον επιμήκη αναβαθμό από συμβάντα κυματικής αναρρίχησης, που οφείλονται σε κυματισμούς διαφορετικού μεγέθους/ενέργειας (Carter, 1988· Komar, 1998).



**Σχήμα 7-3** Κατανομή των κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων της ζώνης αναρρίχησης/διαβροχής (swash zone) την χειμερινή και θερινή περίοδο κατά μήκος της ακτής των Βατερών (σταθμοί S1-S23).

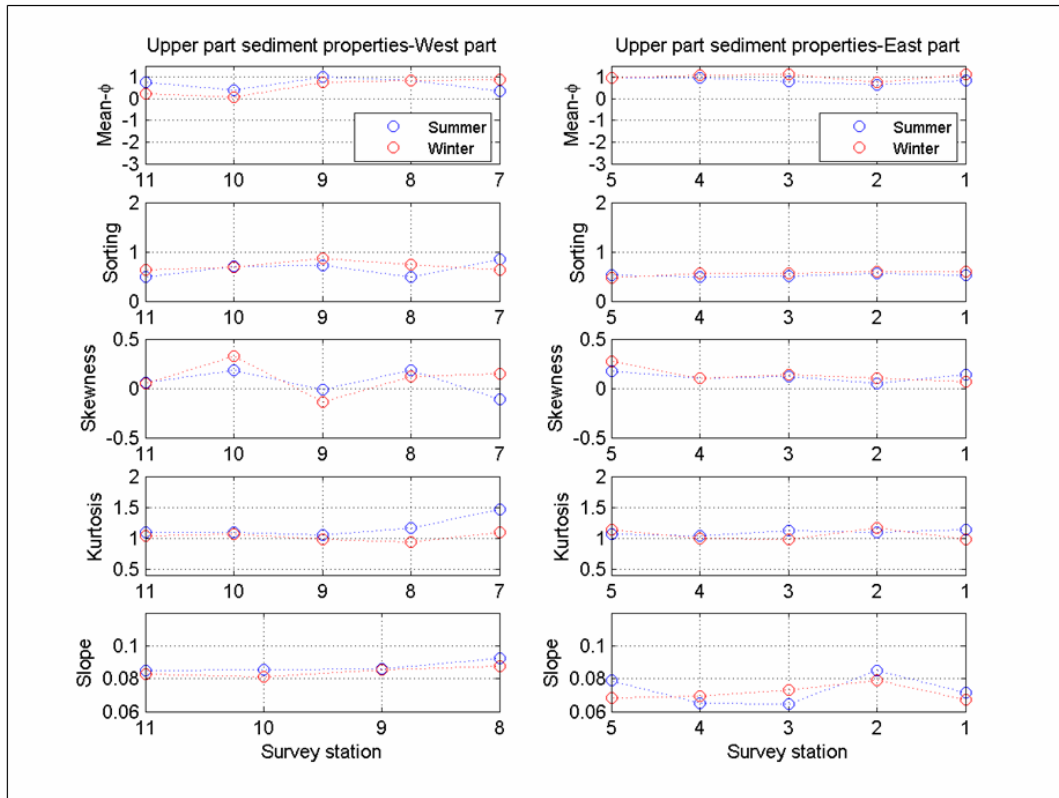
Όπως αναμένεται (βλέπε Reading, 1993), στην ζώνη αναρρίχησης τα ιζήματα εμφανίζονται περισσότερο λεπτόκοκκα από αυτά του χερσαίου υβώματος. Οι κοκκομετρικές παράμετροι εμφανίζουν την χειμερινή περίοδο ακραίες τιμές στον σταθμό S19 (Σχήμα 7-3), που μπορεί να οφείλεται στην μικρή απόσταση από χειμαρρό-ρεμα, που απο-

στραγγίζει (και διαβρώνει) τους τοπικούς παράκτιους κρημνούς (βλέπε Σχήμα 7-1), εμπλουτίζοντας την παραλία με νέο μεικτό υλικό. Στους υπόλοιπους σταθμούς και ιδίως κατά την θερινή περίοδο, η κύρτωση και η λοξότητα κυμαίνονται κοντά στη μονάδα και το μηδέν, αντίστοιχα, και δεν παρουσιάζουν κάποια σαφή χωρική τάση. Όσον αφορά το μέσο μέγεθος, αυτό τείνει να μειωθεί (δηλ. αυξάνεται στην κλίμακα του φ) από το ανατολικό άκρο της παραλίας, μέχρι και την περιοχή των σταθμών S11-S14 (δηλ. το ανατολικό όριο των εμφανίσεων παραλιακών ψαμμιτών), ενώ μετά παραμένει λίγο-πολύ σταθερό. Η διαβάθμιση των ιζημάτων της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης εμφανίζει μία αυξητική τάση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, τόσο την χειμερινή όσο και την θερινή περίοδο.

Γενικά, τα χερσαία παραλιακά ιζήματα του Κόλπου των Βατερών είναι αδρόκοκκα. Παρατηρείται ότι, ενώ στο ανώτερο τμήμα του χερσαίου παραλιακού προφίλ οι κοκκομετρικές παράμετροι δεν παρουσιάζουν κάποια σημαντική χωρική τάση (πιθανόν λόγω αυξημένων ιζηματοπαροχών από τους κρημνούς και χειμαρρο-ρέματα και της απουσίας υδροδυναμικής και 'σταθερής' αεροδυναμικής ενέργειας), αντίθετα στο χερσαίο ύψωμα και τη ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής (που επηρεάζονται από την υδροδυναμική ενέργεια) κάτι τέτοιο συμβαίνει. Η διαβάθμιση τείνει να γίνει καλύτερη από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ενώ και το μέσο μέγεθος μειώνεται στην ίδια κατεύθυνση, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο. Ενδιαφέρον επίσης παρουσιάζει το γεγονός ότι η περιοχή με τους ΠΨ χαρακτηρίζεται από περισσότερο λεπτόκοκκα ιζήματα, ιδιαίτερα την θερινή περίοδο, κάτι που πιθανόν επιδρά θετικά στον σχηματισμό τους, λόγω μειωμένου πορώδους και συνεπώς ευκολότερης συνεκτικοποίησης τους (βλέπε Κεφάλαιο 1).

### 7.1.2 Σταθμοί P

Οι σταθμοί μελέτης μεγάλης διακριτικότητας (σταθμοί δειγματοληψίας P) καλύπτουν δύο περιοχές μήκους περίπου 200 m που χαρακτηρίζονται από εμφανίσεις ΠΨ. Οι σταθμοί P1-P5 βρίσκονται μεταξύ των σταθμών S7-S8, ενώ οι σταθμοί P7-P11 μεταξύ των σταθμών S4-S5 (βλέπε Σχήμα 7-1). Οι κοκκομετρικές παράμετροι των δύο περιοχών απεικονίζονται σε διαφορετικά σχήματα μαζί με την παραλιακή κλίση, ενώ παραλείπεται ο σταθμός P6, αφού βρίσκεται σε απόσταση 150 m δυτικά τους σταθμού P5 (για περιγραφή της θέσης των σταθμών δειγματοληψίας βλέπε Κεφάλαιο 1).



**Σχήμα 7-4** Κατανομή κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων του ανώτερου τμήματος του χερσαίου προφίλ κατά μήκος της ανατολικής (P7-P11) και δυτικής (P1-P5) περιοχής μελέτης μεγάλης διακριτικότητας κατά την χειμερινή και θερινή περίοδο. Δίνεται επίσης η κλίση του παραλιακού προφίλ (κλίση του τμήματος το προφίλ με στάθμη  $-1 > d > 1$ ) κατά τις περιόδους συλλογής δειγμάτων στις περιοχές αυτές

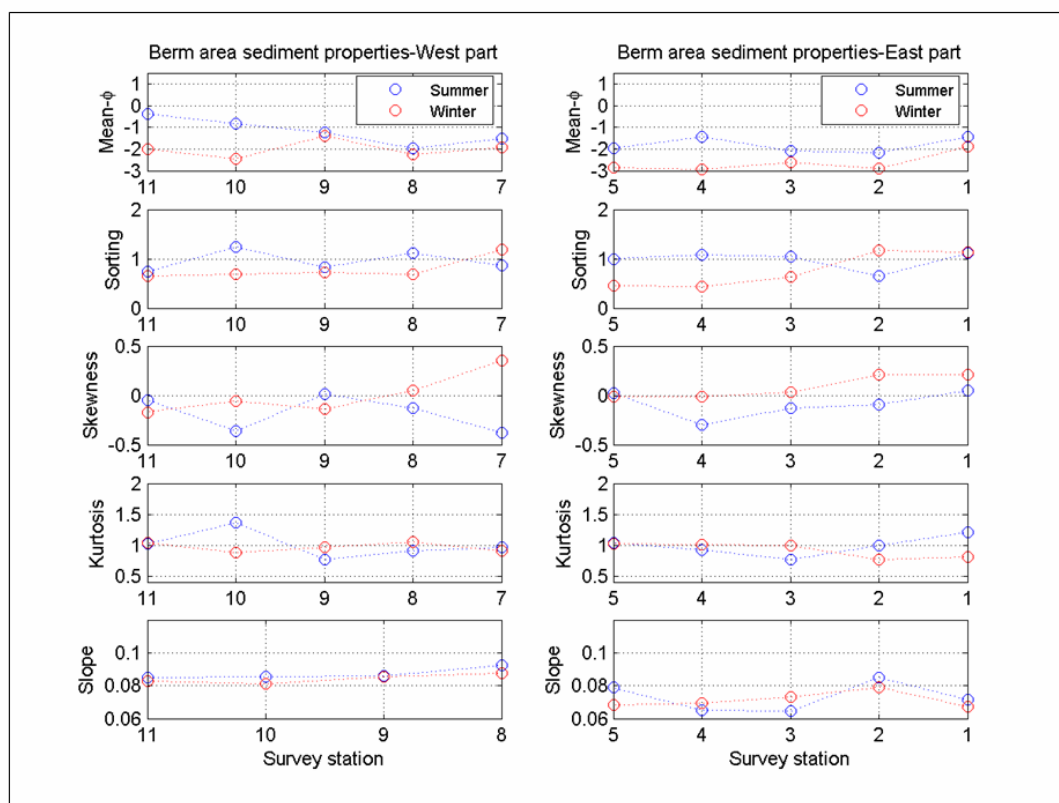
**Πίνακας 7-2** Εύρη διακύμανσης κοκκομετρικών παραμέτρων στους σταθμούς P. Για τις τιμές των παραμέτρων όλων των δειγμάτων

Τμήμα	Περίοδος	Τιμή	Μέσος	Διαβάθμιση	Λοξότητα	Κύρτωση
Χερσαίο ύψωμα	Χειμώνας	Ελάχιστη	-2.94	0.44	-0.29	0.77
		Μέγιστη	-1.4	1.18	0.35	1.28
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	-2.15	0.66	-0.38	0.76
		Μέγιστη	-0.38	1.25	0.05	1.36
Ζώνη αναρρίχησης	Χειμώνας	Ελάχιστη	-1.41	0.57	-0.44	0.97
		Μέγιστη	-0.32	1.55	0.24	1.84
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	-1.68	0.4	-0.31	0.68
		Μέγιστη	-0.59	1.5	0.24	1.33
Ανώτερη παραλία	Χειμώνας	Ελάχιστη	0.35	0.49	-0.11	1.03
		Μέγιστη	0.99	0.84	0.18	1.46
	Καλοκαίρι	Ελάχιστη	0.08	0.48	-0.14	0.94
		Μέγιστη	1.1	0.87	0.33	1.17

Στο ανώτερο τμήμα του παραλιακού προφίλ (Σχήμα 7-4), οι κοκκομετρικές παράμετροι εμφανίζονται γενικά σταθερές. Το μέσο μέγεθος των ιζημάτων κυμαίνεται γύρω στο 1 φ (δηλ. γύρω στο 0.5 mm), η διαβάθμιση κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 1 φ, ενώ η

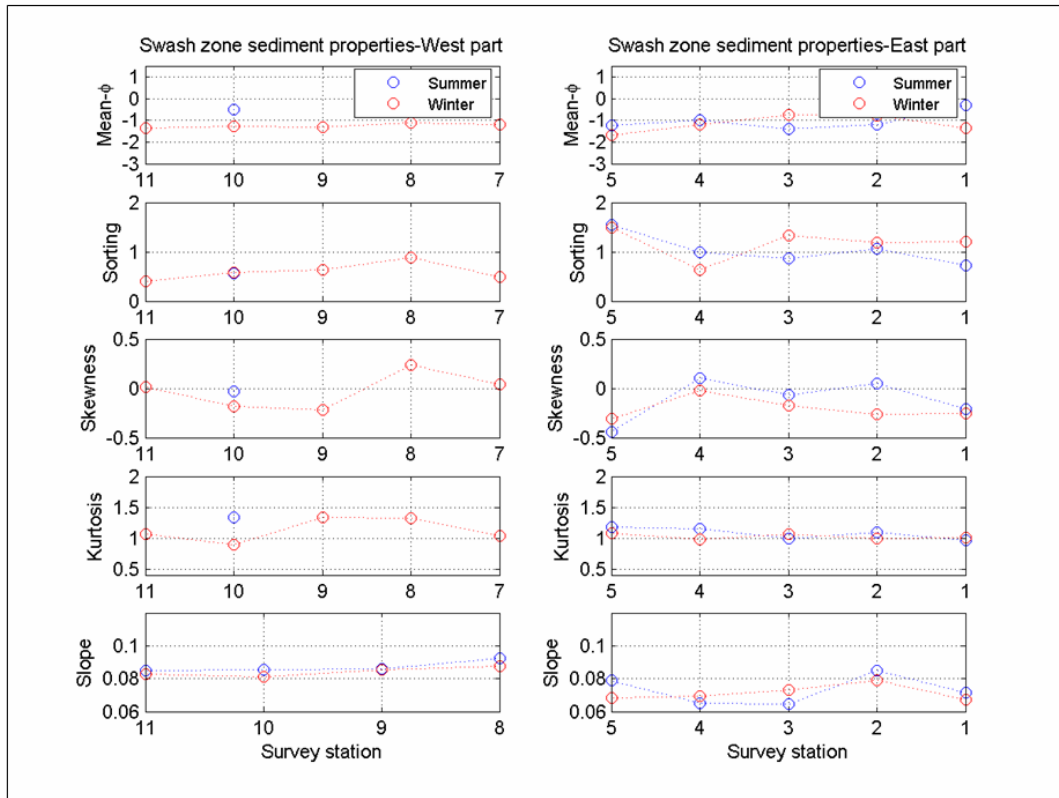


λοξότητα και κύρτωση κυμαίνονται μεταξύ 0 και 0.5 και 1 και 1.5, αντίστοιχα (Σχήμα 7.4). Δεν παρατηρούνται σημαντικές εποχικές μεταβολές, ενώ όσες υπάρχουν, αφορούν κυρίως την κύρτωση και την λοξότητα της δυτικής περιοχής, όπου τα ιζήματα παρουσιάζονται περισσότερο αδρόκοκκα και με χειρότερη διαβάθμιση. Η παραλιακή κλίση εμφανίζεται μεγαλύτερη στην δυτική περιοχή.



**Σχήμα 7-5** Κατανομή κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων του χερσαίου υβάματος (berm) κατά μήκος της ανατολικής (P7-P11) και δυτικής (P1-P5) περιοχής μελέτης μεγάλης διακριτικότητας κατά την χειμερινή και θερινή περίοδο. Δίνεται επίσης η κλίση του παραλιακού προφίλ (κλίση του τμήματος το προφίλ με στάθμη  $-1 > d > 1$ ) κατά τις περιόδους συλλογής δειγμάτων στις περιοχές αυτές

Τα ιζήματα του επιμήκους αναβαθμού (Σχήμα 7-5) εμφανίζονται περισσότερο αδρόκοκκα από αυτά της ανώτερης παραλίας (βλέπε και Κεφάλαιο 7.1.1), με μέσο μέγεθος που κυμαίνεται μεταξύ  $-1$  και  $-3 \phi$  (2-8 mm). Το μέσο μέγεθος είναι μεγαλύτερο στην ανατολική περιοχή μελέτης, ενώ παρουσιάζει και εποχική διακύμανση με τα ιζήματα να εμφανίζονται περισσότερο αδρόκοκκα την χειμερινή περίοδο. Επιπλέον, τα χειμερινά ιζήματα παρουσιάζουν γενικά καλύτερη διαβάθμιση και μεγαλύτερη λοξότητα, που πιθανόν να οφείλεται στην υψηλότερη κυματική ενέργεια της χειμερινής περιόδου.



**Σχήμα 7-6** Κατανομή κοκκομετρικών παραμέτρων των ιζημάτων της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης (swash zone) κατά μήκος της ανατολικής (P7-P11) και δυτικής (P1-P5) περιοχής μελέτης μεγάλης διακριτικότητας. Στην δυτική περιοχή δεν συλλέχθηκαν θερινά ιζήματα από την ζώνη διαβροχής, αφού την περίοδο της δειγματοληψίας είχαν αποκαλυφθεί οι παραλιακοί ψαμμίτες. Δίνεται επίσης η κλίση του παραλιακού προφίλ (κλίση του τμήματος το προφίλ με στάθμη  $-1 > d > 1$ ) κατά τις περιόδους συλλογής δειγμάτων στις περιοχές αυτές

Τα ιζήματα της ζώνης αναρρίχησης (Σχήμα 7-6) παρουσιάζονται περισσότερο λεπτόκοκκα (μέσο μέγεθος μεταξύ  $-1$  και  $-1.5$   $\phi$ ) από αυτά του επιμήκους αναβαθμού (Σχήμα 7-5), αλλά περισσότερο αδρόκοκκα από αυτά της ανώτερης παραλίας (Σχήμα 7-4). Η διαβάθμιση και το μέσο μέγεθος παρουσιάζουν μικρότερες χωρικές μεταβολές στην δυτική περιοχή κατά την χειμερινή περίοδο. Επίσης, τα ιζήματα εμφανίζονται καλύτερα διαβαθμισμένα στην δυτική περιοχή. Στους ανατολικούς σταθμούς, οι εποχικές μεταβολές είναι μικρότερες από αυτές που παρατηρούνται στο χερσαίο ύβωμα.

Η ύπαρξη των (έστω μικρών) χωρικών μεταβολών των κοκκομετρικών παραμέτρων στους σταθμούς P δείχνει ότι η παραλία των Βατερών χαρακτηρίζεται από μεταβλητότητα και σε μικρές χωρικές κλίμακες. Επιπλέον, η διαφοροποίηση των ιζηματικών κατανομών στα διάφορα τμήματα του χερσαίου παραλιακού προφίλ, επιβεβαιώνει

---

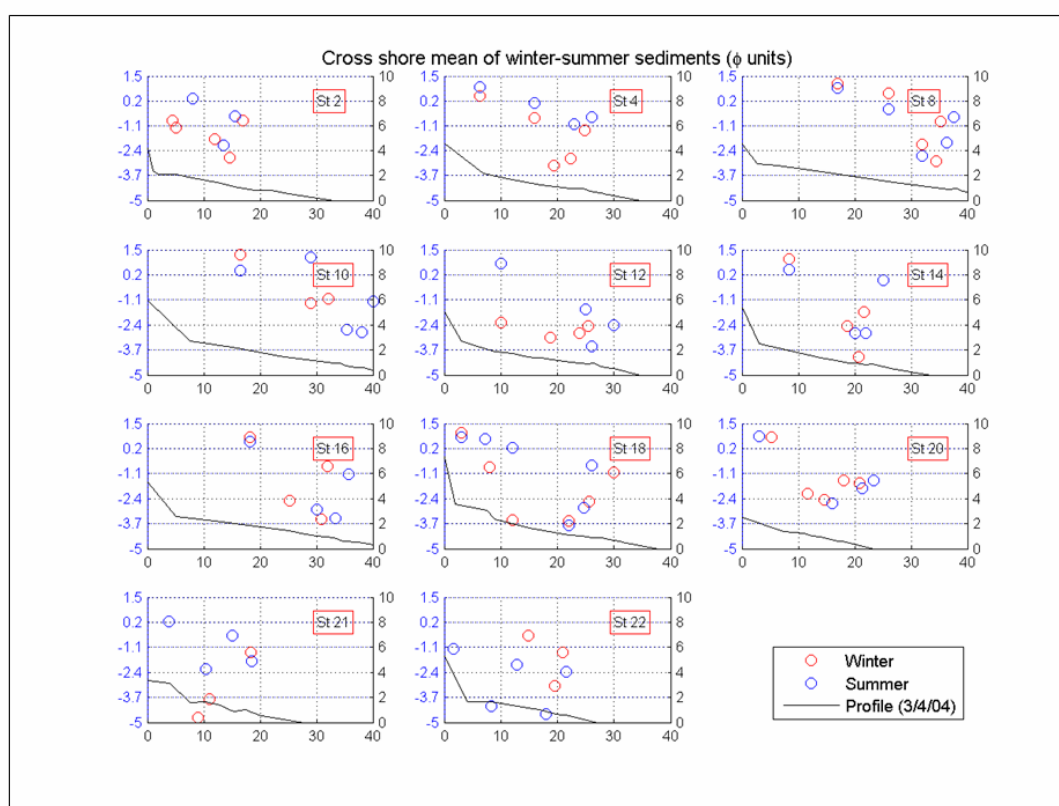
(βλέπε και Κεφάλαιο 7.1.1) ότι αυτά ελέγχονται από διαφορετικές ιζηματικές διεργασίες. Τέλος, η δυτική περιοχή (σταθμοί P7-P11) χαρακτηρίζεται γενικά από μεγαλύτερες κλίσεις του παραλιακού προφίλ (βλέπε και Κεφάλαιο 5.3.5).

## 7.2 Κοκκομετρία ιζημάτων κάθετα στην ακτή

Σε κάθε σταθμό S και P συλλέχθηκαν παραπάνω από 3 εποχικά δείγματα κάθετα προς στην ακτή (δηλ. περισσότερα από αυτά που αναλύθηκαν παραπάνω), με σκοπό την ανάλυση των ιζηματικών μεταβολών με μεγαλύτερη διακριτικότητα.

### 7.2.1 Σταθμοί S

Το μέσο μέγεθος των ιζημάτων παρουσιάζει μία γενική αυξητική τάση (μείωση στην κλίμακα του  $\phi$ ) από την ανώτερη παραλία προς την ακτογραμμή και στις δύο εποχές (Σχήμα 7-7).

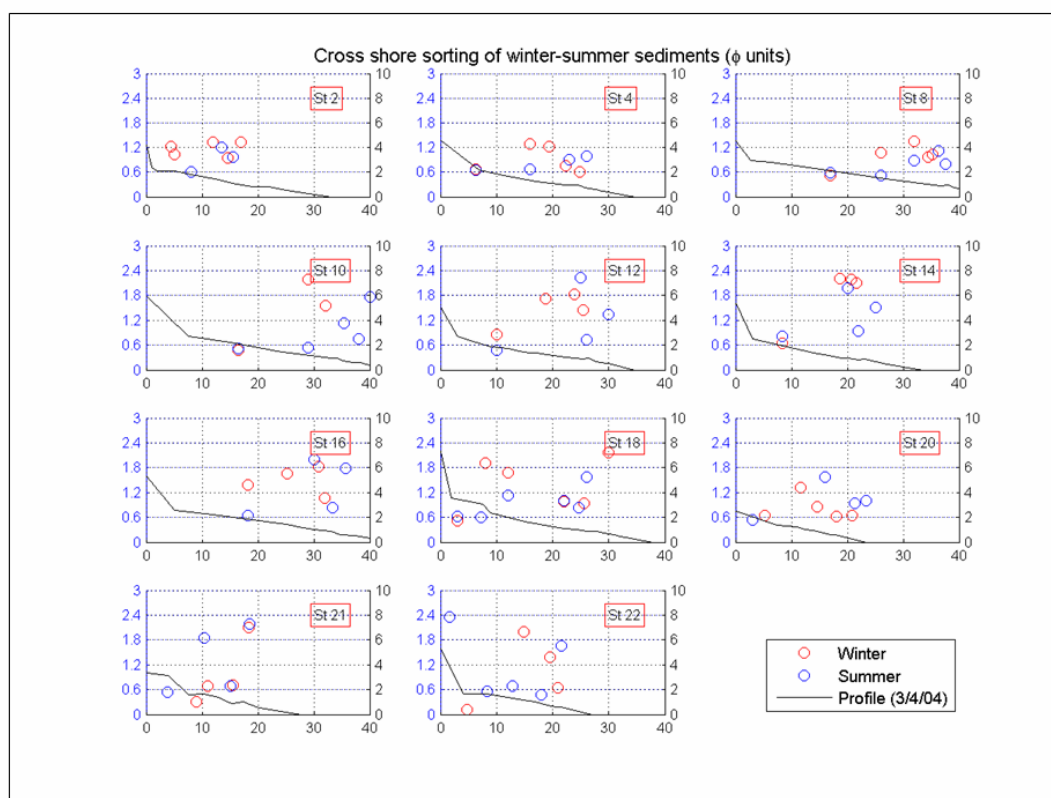


**Σχήμα 7-7** Μεταβολή του μέσου μεγέθους ιζημάτων (σε  $\phi$ ) κάθετα στην ακτή για 11 από τους σταθμούς S. Με μαύρο χρώμα δίνεται το αντίστοιχο παραλιακό προφίλ.

Η αυξητική τάση που παρατηρείται δεν είναι μονοτονική, αφού τα ιζήματα που σχετίζονται με τον επιμήκη αναβαθμό εμφανίζονται περισσότερο αδρόκοκκα, τόσο από αυτά της ανώτερης παραλίας, όσο και από αυτά της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης. Αυτό του είδους η μεταβολή είναι πιθανόν το αποτέλεσμα των ιδιαίτερων υδροδυναμικών/ιζηματοδυναμικών συνθηκών που σχετίζονται με το χερσαίο ύψωμα· οι διακυ-

μάνσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων ελέγχονται από την απόθεση υλικών από μεταβαλλόμενες κυματικές συνθήκες.

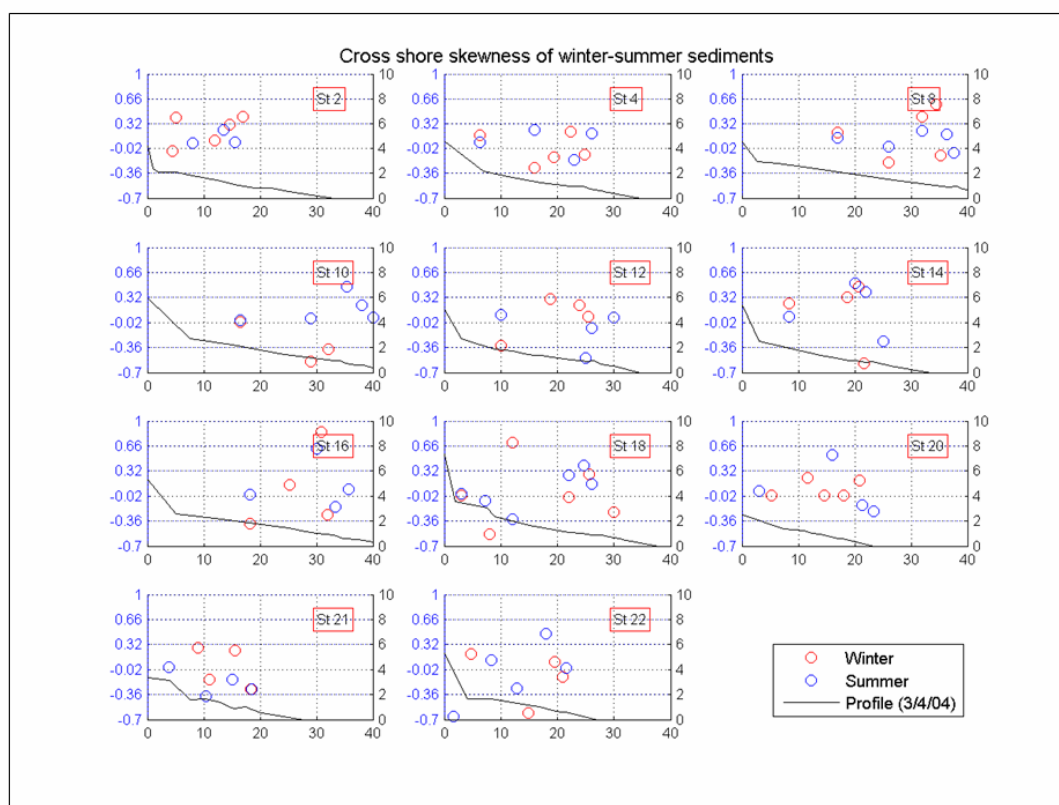
Αν και η διαβάθμιση των ιζημάτων (Σχήμα 7-8) γίνεται γενικά φτωχότερη από την ανώτερη παραλία προς την ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής (δηλ. η απόκλιση  $\sigma I$  γίνεται μεγαλύτερη), υπάρχουν αποκλίσεις από αυτήν την (ασθενή) τάση. Έτσι, τα ιζήματα που σχετίζονται με το χερσαίο ύψωμα εμφανίζονται (γενικά) λιγότερο διαβαθμισμένα από αυτά της ανώτερης παραλίας και της ζώνης διαβροχής. Άλλες αποκλίσεις διαπιστώνονται σε συγκεκριμένους σταθμούς, όπως π.χ. στον σταθμό S22, όπου την θερινή περίοδο δεν παρατηρείται χειρότερη διαβάθμιση από την ανώτερη παραλία προς την ακτογραμμή (λόγω μιας ακραίας τιμής στο άνω προφίλ). Επίσης, η τάση για καλύτερα διαβαθμισμένα ιζήματα στην ανώτερη παραλία δεν είναι τόσο εμφανής στην χειμερινή περίοδο (π.χ. στους σταθμούς S2, S4, S16 και S20).



**Σχήμα 7-8** Μεταβολή του διαβάθμισης ( $\sigma I$ , σε  $\phi$ ) κάθετα στην ακτή για 11 από τους σταθμούς S, κατά Folk (1980). Με μαύρο χρώμα δίνεται το παραλιακό προφίλ την περίοδο της δειγματοληψίας.

Η λοξότητα για τα θερινά δείγματα (Σχήμα 7-9) παρουσιάζει μικρή μεταβλητότητα και δεν υπάρχει κάποια κοινή τάση για όλους τους σταθμούς. Σε γενικές γραμμές, η

λοξότητα την θερινή περίοδο κυμαίνεται κοντά στο μηδέν, με τις κυριότερες διακυμάνσεις να εμφανίζονται στην περιοχή του χερσαίου υβώματος.

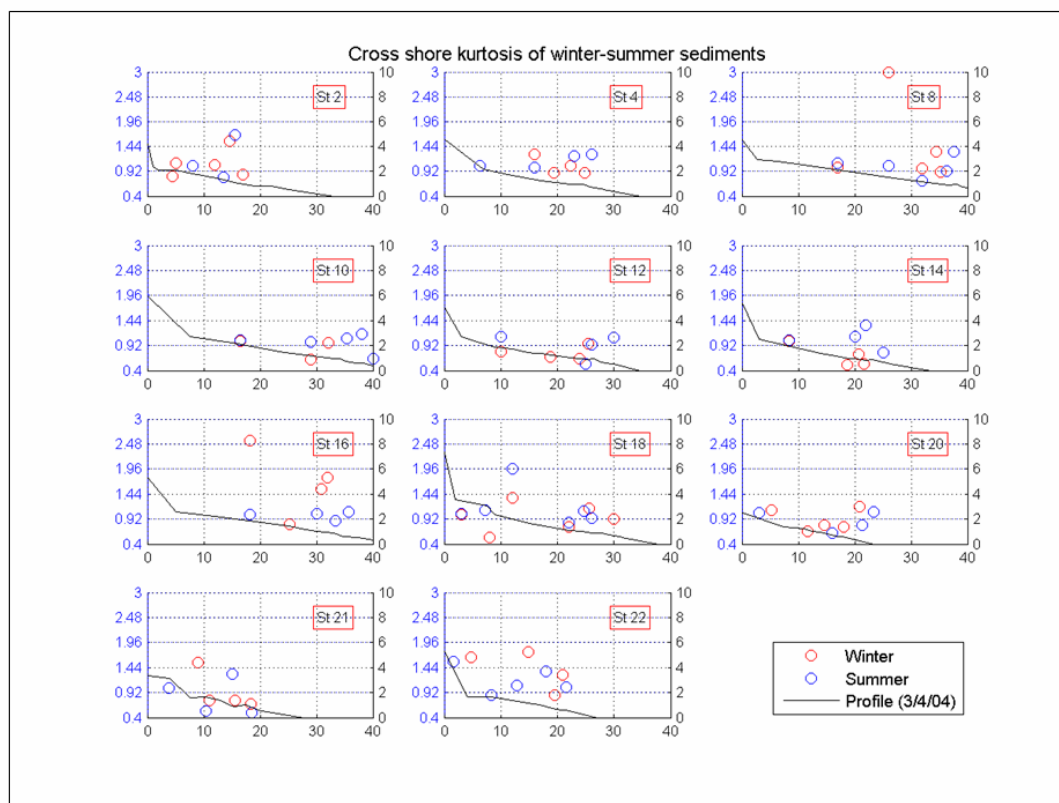


**Σχήμα 7-9** Μεταβολή της λοξότητας ( $Sk_i$ , καθαρός αριθμός) των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας S. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το παραλιακό προφίλ

Την χειμερινή περίοδο, η λοξότητα (Σχήμα 7-9) πάλι δεν φαίνεται να ακολουθεί κάποια σαφή τάση. Η κλίση της εμφανίζεται και θετική και αρνητική, αλλά γενικά φαίνεται ότι η λοξότητα είναι μεγαλύτερη στην ανώτερη παραλία απ' ό τι στην ζώνη αναρρίχησης. Όπως και στα θερινά δείγματα η λοξότητα συχνά αυξάνεται στην περιοχή του χερσαίου υβώματος, πιθανόν λόγω της απόθεσης αδιαβάθμιστων λεπτόκοκκων υλικών από τους κυματισμούς.

Η κύρτωση (Σχήμα 7-10) των θερινών δειγμάτων κυμαίνεται γύρω στην μονάδα για τους περισσότερους σταθμούς (εξάιρεση αποτελούν οι σταθμοί S2 S21 και S22) και δεν εμφανίζει σημαντικές διακυμάνσεις, ειδικά στο δυτικό τμήμα της περιοχής. Η κύρτωση των χειμερινών δειγμάτων εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά και τα ιζήματα είναι περισσότερο ή λιγότερο λεπτοκυρτικά από αυτά της θερινής περιόδου, α-

νάλογα με τον σταθμό. Δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια σαφής χωρική τάση τόσο κατά την θερινή, όσο και κατά την χειμερινή περίοδο.

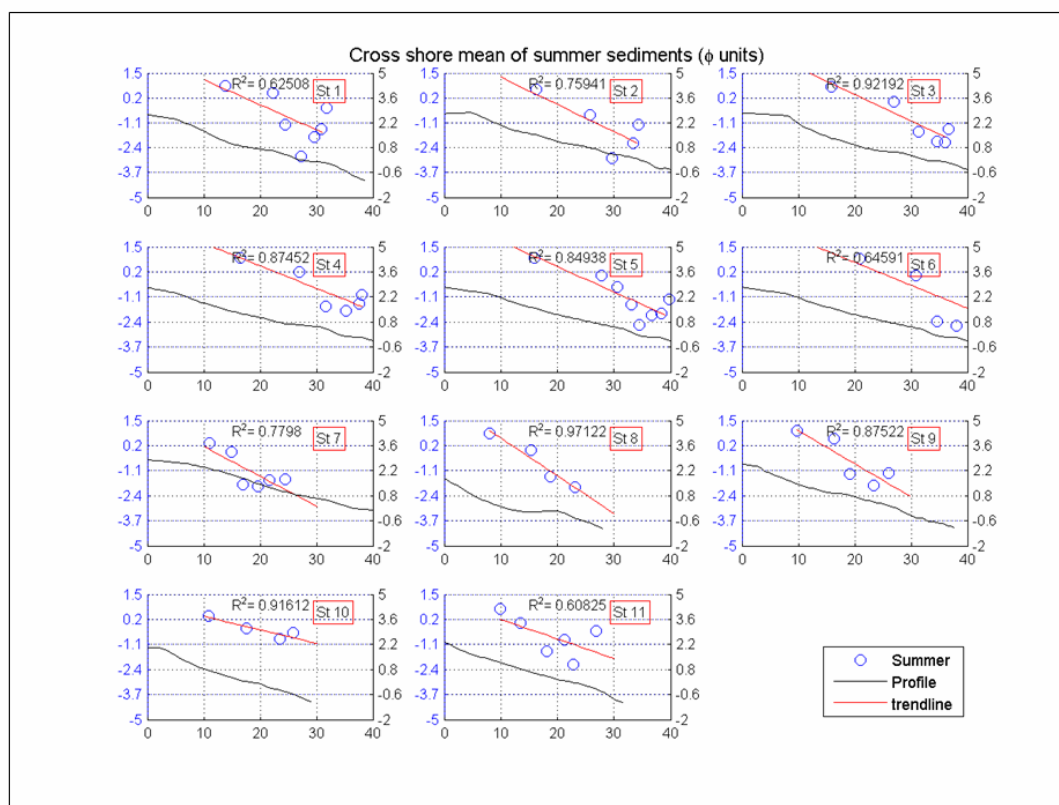


**Σχήμα 7-10** Μεταβολή της κύρτωσης των ιζημάτων ( $K_G$ , καθαρός αριθμός) κάθετα στην ακτή για 11 από τους σταθμούς δειγματοληψίας S. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το παραλιακό προφίλ.

Η μεταβολή των κοκκομετρικών παραμέτρων κάθετα στην ακτή στους σταθμούς S δείχνει την πολυπλοκότητα των ιζηματικών διεργασιών στην παραλία των Βατερών. Σε γενικές γραμμές, το μέσο μέγεθος του υλικού αυξάνει προς την ακτογραμμή, αλλά η αύξηση αυτή δεν είναι μονοτονική, αφού τα ιζήματα του επιμήκους αναβαθμού είναι περισσότερο αδρόκοκκα από αυτά της ζώνης διαβροχής. Η 'εκτόξευση' αδρόκοκκου υλικού από τους κυματισμούς προς τον επιμήκη αναβαθμό (Middleton and Southard, 1984), στην οποία οφείλεται η παραπάνω κατανομή, είναι συχνότερη και εντονότερη την χειμερινή περίοδο και δημιουργεί ένα 'σήμα', όχι μόνον κατά μήκος της παραλίας, αλλά επηρεάζει και την κάθετη προς την ακτή κατανομή. Αυτός είναι πιθανόν ο κυριότερος λόγος που εμφανίζονται απρόβλεπτες διακυμάνσεις στις υπόλοιπες κοκκομετρικές παραμέτρους.

## 7.2.2 Σταθμοί P

Οι κατανομές του μέσου μεγέθους των παραλιακών ιζημάτων κάθετα προς την ακτή στους σταθμούς P δίνονται στο Σχήμα 7-11 (θερινή περίοδος) και Σχήμα 7-12 (χειμερινή περίοδος).



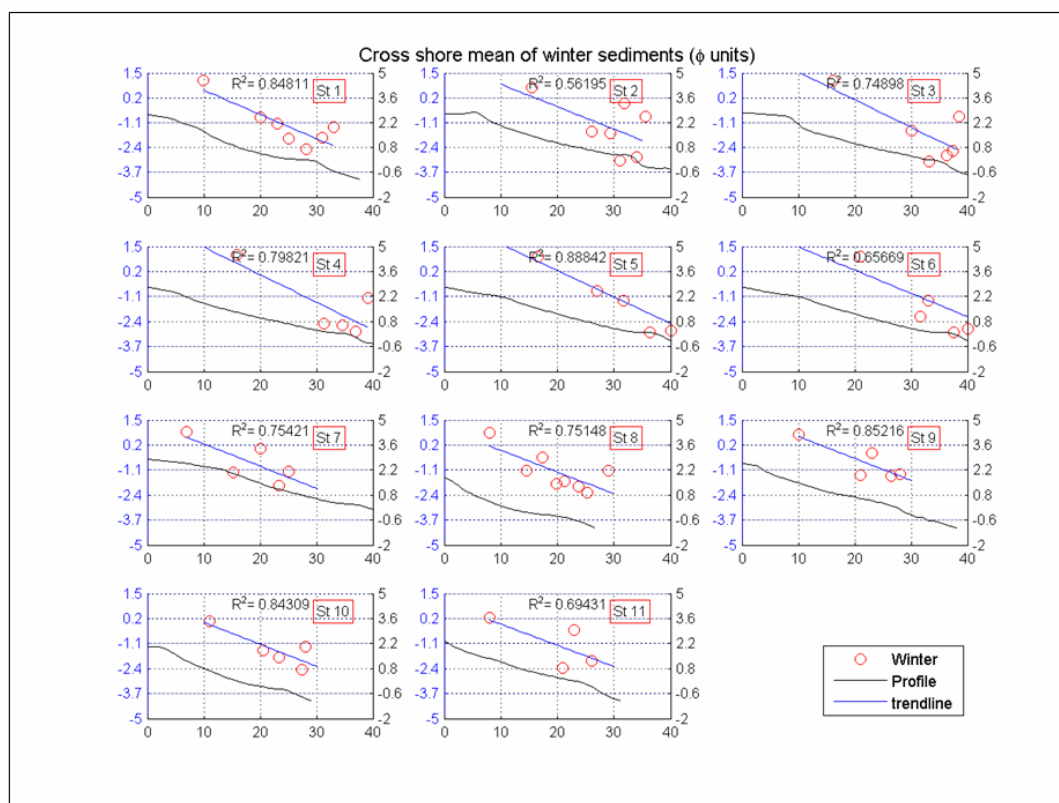
**Σχήμα 7-11** Μεταβολή του μέσου μεγέθους των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την θερινή περίοδο. Δίνεται επίσης το παραλιακό προφίλ την ίδια περίοδο (μαύρη γραμμή), καθώς και η τάση του μέσου μεγέθους σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (διάστημα εμπιστοσύνης 90%).

Τα δεδομένα δείχνουν ότι τόσο κατά την θερινή, όσο και κατά την χειμερινή περίοδο, το μέσο μέγεθος των παραλιακών ιζημάτων αυξάνει (δηλ. μειώνεται στην κλίμακα του  $\phi$ ) από την ανώτερη παραλία προς την ακτογραμμή. Η τάση του μέσου μεγέθους φαίνεται να ακολουθεί γραμμικό μοντέλο μεταβολής, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο (Σχήμα 7-11), που παρατηρούνται υψηλότεροι σχετικοί συντελεστές συσχέτισης από αυτούς της χειμερινής περιόδου.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και η τάση μεταβολής του μέσου μεγέθους κάθετα στην ακτή μπορεί να περιγραφεί γενικά με γραμμικό μοντέλο, δεν είναι ωστόσο μονοτονική σε όλα τα τμήματα του παραλιακού προφίλ. Στην μεγάλη πλειοψηφία των σταθμών, τα ιζήματα που βρίσκονται στην περιοχή του επιμήκους αναβαθμού είναι περισ-

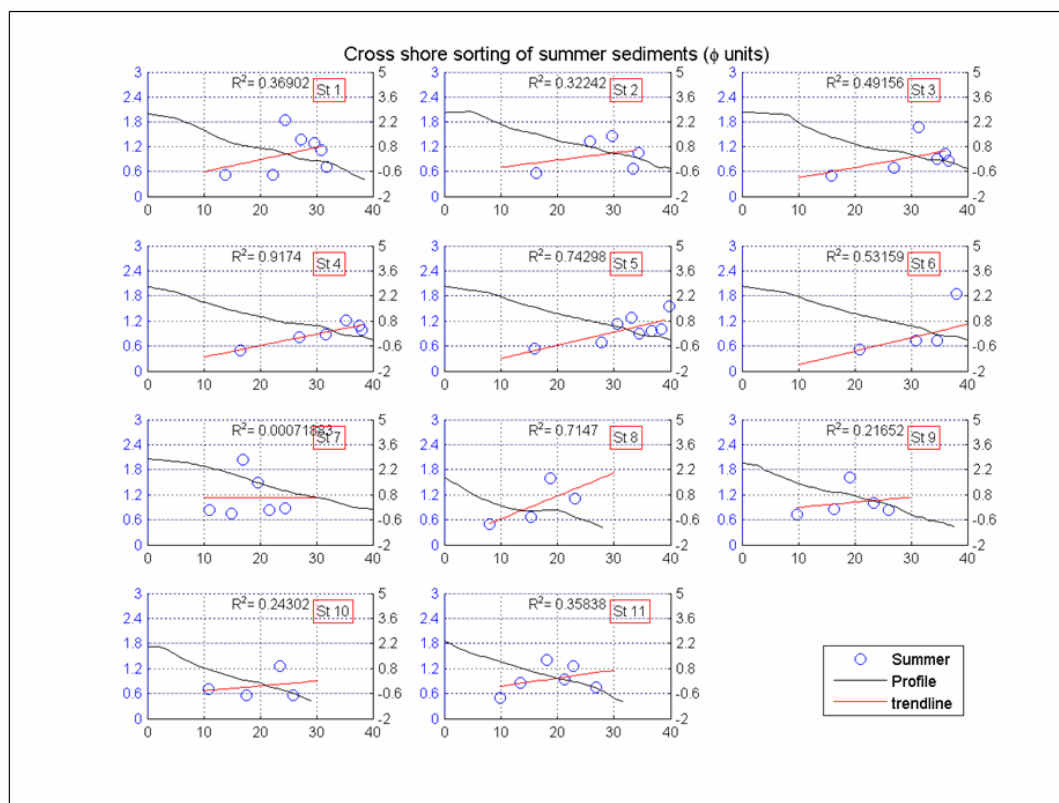


σότερο αδρόκοκκα, τόσο από αυτά της ανώτερης παραλίας, όσο και από τα ιζήματα της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης (βλέπε και Κεφάλαιο 7.2.1).



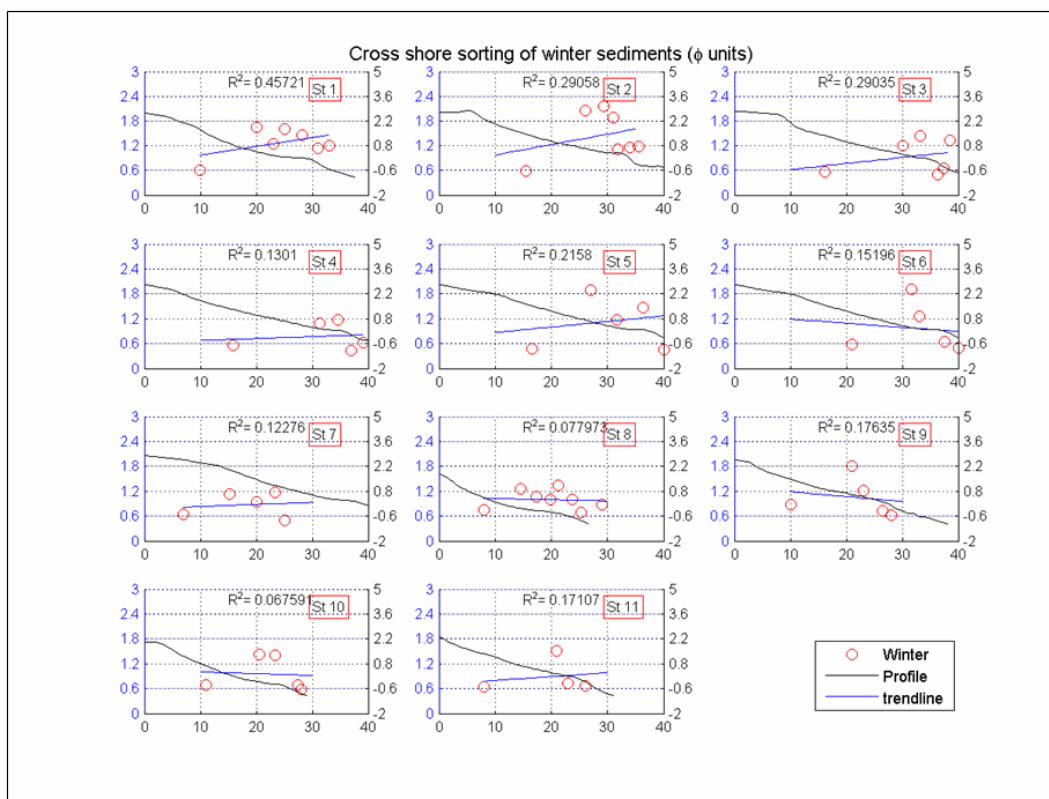
**Σχήμα 7-12** Μεταβολή του μέσου μεγέθους των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την χειμερινή περίοδο. Δίνεται επίσης το παραλιακό προφίλ την ίδια περίοδο (μαύρη γραμμή), καθώς και η τάση του μέσου μεγέθους σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Η διαβάθμιση των θερινών ιζημάτων (Σχήμα 7-13) φαίνεται να γίνεται φτωχότερη (δηλ. η σΙ αυξάνει) προς την θάλασσα, με τα δείγματα του επιμήκου αναβαθμού να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές απόκλισης σ<sub>I</sub>. Η γραμμική συσχέτιση εμφανίζεται σχετικά καλή μόνον στους σταθμούς P4, P5 και P8. Οι σταθμοί P4, P5 και P6 εμφανίζουν κοινή συμπεριφορά όπως και οι σταθμοί P9, P10 και P11.



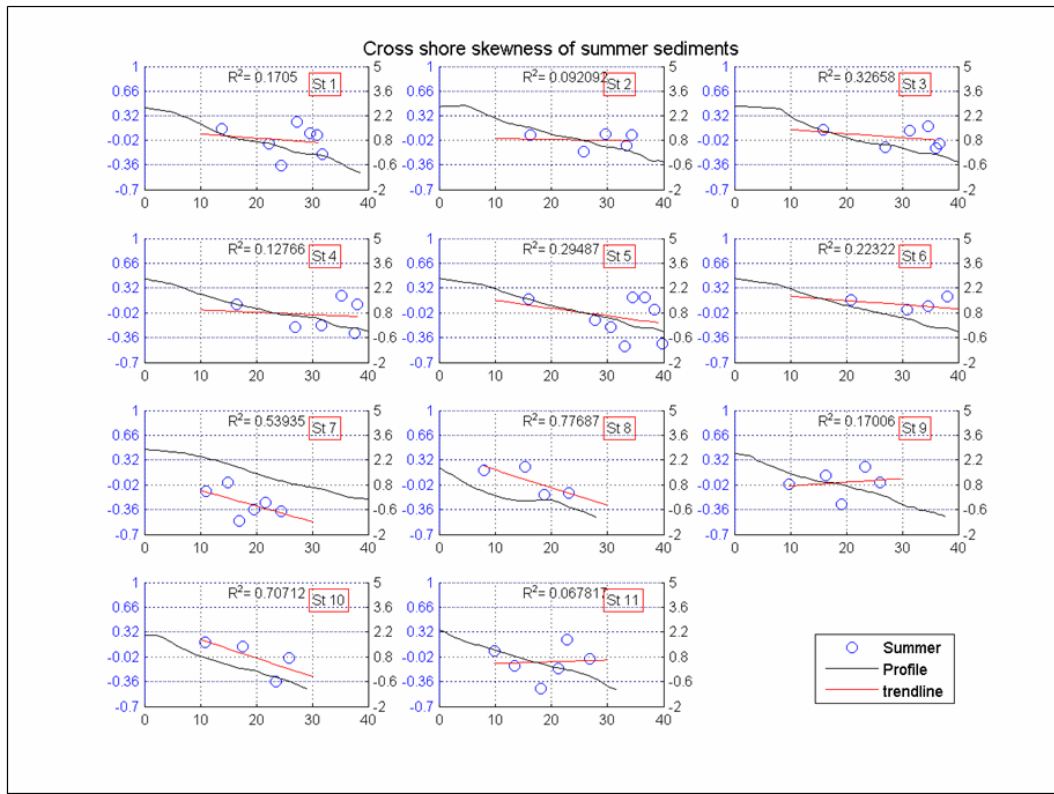
**Σχήμα 7-13** Μεταβολή της διαβάθμισης των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την καλοκαιρινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο παραλιακό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Οι χειμερινές τιμές της διαβάθμισης (Σχήμα 7-14) εμφανίζουν μεγαλύτερη διασπορά και χαμηλότερη γραμμική συσχέτιση σε σχέση με τις θερινές. Η αυξητική τάση της διαβάθμισης ( $\sigma_i$ ) είναι ασθενέστερη στους δυτικούς σταθμούς (P7, P8, P9, P10 και P11), ενώ και στους ανατολικούς σταθμούς η  $\sigma_i$  δεν χαρακτηρίζεται από κάποια σαφή τάση (οι συντελεστές συσχέτισης είναι και πάλι χαμηλοί). Γενικά, οι δύο περιοχές παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά σε σχέση με την διαβάθμιση των παραλιακών ιζημάτων, κάτι που φαίνεται όχι μόνο από τις χωρικές τάσεις, αλλά και από τον τρόπο διασποράς των σημείων των διαγραμμάτων.



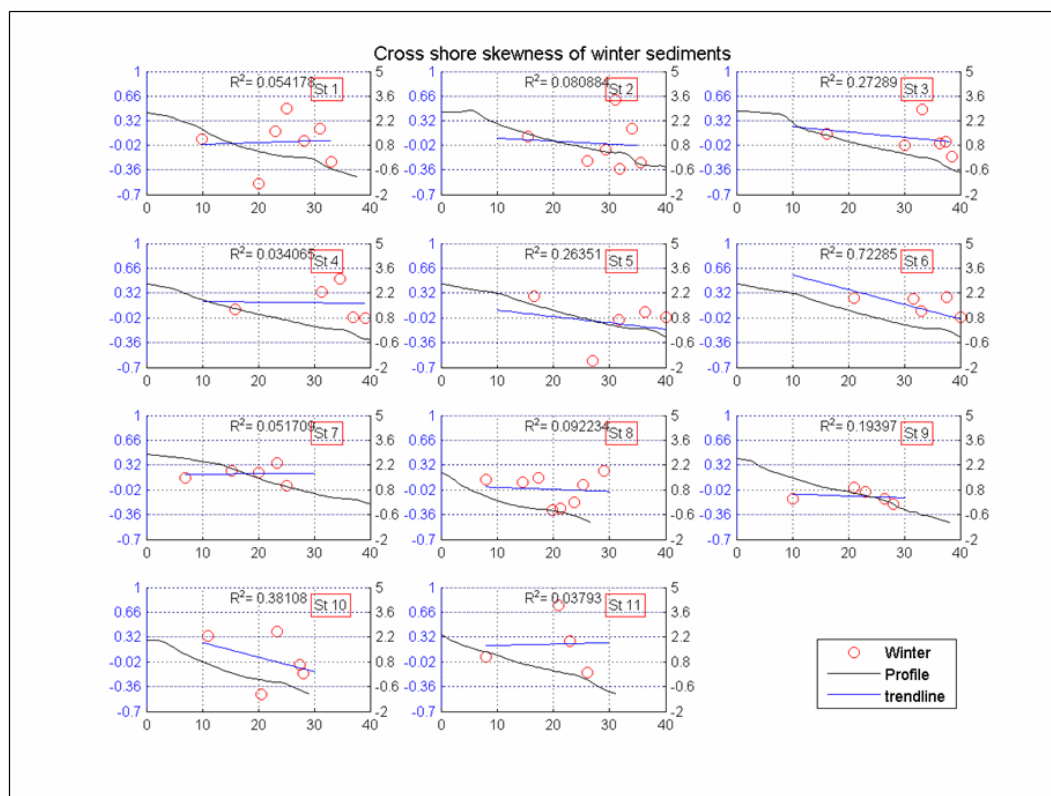
**Σχήμα 7-14** Μεταβολή της διαβάθμισης των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την χειμερινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο παραλιακό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Η λοξότητα των θερινών δειγμάτων (Σχήμα 7-15) κυμαίνεται γύρω στο μηδέν με τάση προς αρνητικές τιμές. Η γραμμική συσχέτιση είναι κακή (εκτός ίσως από τους σταθμούς P8 και P8 και P10) και ειδικά στους ανατολικούς σταθμούς εμφανίζεται μεγάλη διασπορά, με την περιοχή του επιμήκους αναβαθμού να χαρακτηρίζεται από τις μεγαλύτερες διακυμάνσεις.



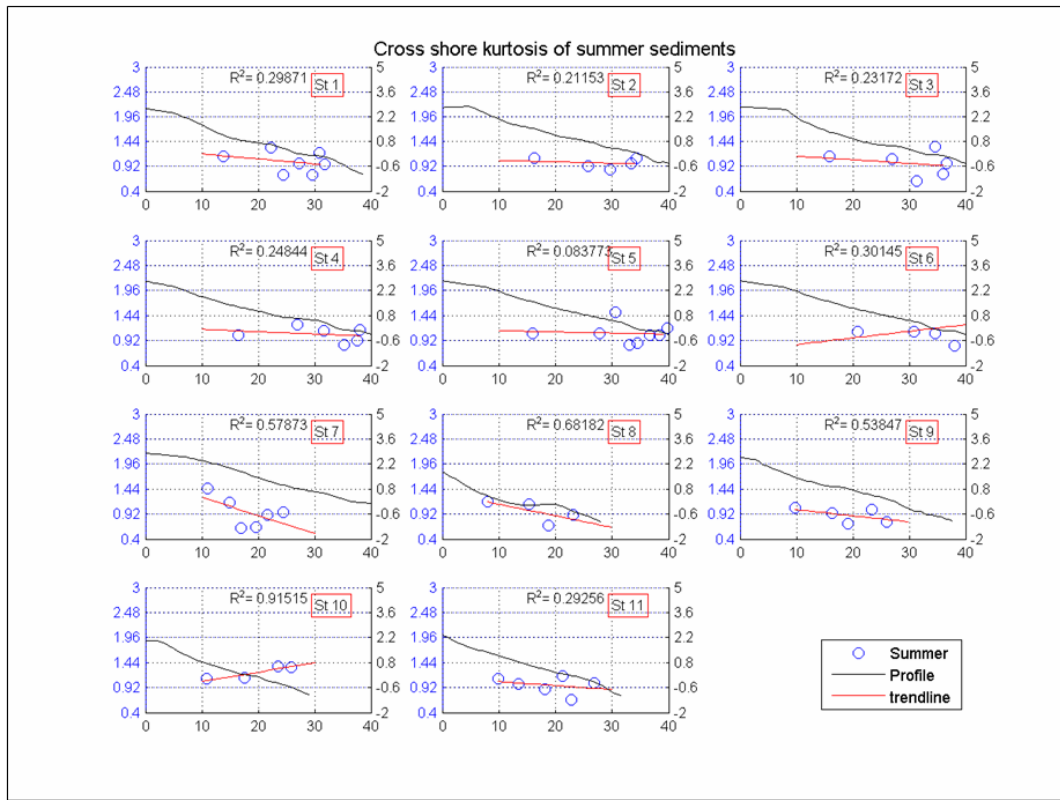
**Σχήμα 7-15** Μεταβολή της λοξότητας των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την θερινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο παραλιακό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Η εικόνα των διακυμάνσεων της λοξότητας των χειμερινών δειγμάτων (Σχήμα 7-16) είναι ανάλογη με αυτή των θερινών δειγμάτων, αφού η συσχέτιση είναι γενικά κακή (με εξαίρεση τον σταθμό P6) και οι τιμές της λοξότητας εμφανίζουν ακόμα μεγαλύτερη διασπορά. Παρατηρείται και πάλι ‘μετατόπιση’ των τιμών προς την χέρσο, καθώς και απουσία κάποιας κοινής τάσης των τιμών μεταξύ των σταθμών.



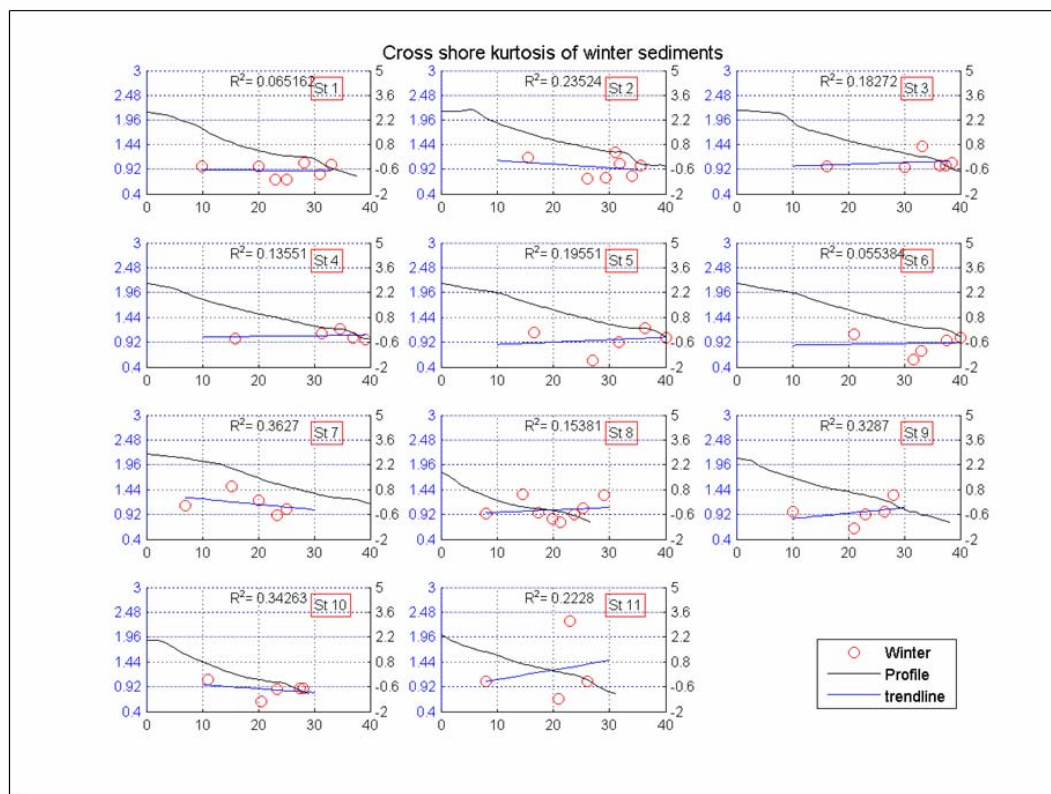
**Σχήμα 7-16** Μεταβολή της λοξότητας των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την χειμερινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο παραλιακό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Η κύρτωση των θερινών δειγμάτων (Σχήμα 7-17) κυμαίνεται κοντά στην μονάδα χωρίς να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις. Οι δύο περιοχές διαφοροποιούνται και πάλι, μια και στους ανατολικούς σταθμούς εμφανίζονται μεγαλύτερες διακυμάνσεις στον επιμήκη αναβαθμό, χωρίς όμως να διαφαίνεται μια ξεκάθαρη συνολική τάση. Στην δυτική περιοχή όπου η εμφάνιση των παραλιακών ψαμμιτών είναι εντονότερη και το χερσαίο παραλιακό προφίλ κοντύτερο, οι συντελεστές συσχέτισης είναι γενικά υψηλοί. Στους σταθμούς αυτούς φαίνεται μια τάση μείωσης της κύρτωσης προς την ακτογραμμή (με εξαίρεση τον σταθμό P10).



**Σχήμα 7-17** Μεταβολή της κύρτωσης των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους σταθμούς δειγματοληψίας P την καλοκαιρινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο μορφολογικό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

Τα χειμερινά δείγματα της ανατολικής περιοχής (Σχήμα 7-18) εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά με αυτή των θερινών. Την χειμερινή περίοδο, οι συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ χαμηλοί, τόσο στην δυτική, όσο και την ανατολική περιοχή μελέτης, με εξαίρεση τον σταθμό P1.



**Σχήμα 7-18** Μεταβολή της κύρτωσης των ιζημάτων κάθετα στην ακτή για τους δειγματοληπτικούς σταθμούς P την χειμερινή περίοδο. Με μαύρο χρώμα αποτυπώνεται το αντίστοιχο μορφολογικό προφίλ, ενώ με κόκκινη η γραμμή τάσης των παραμέτρων σύμφωνα με μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης.

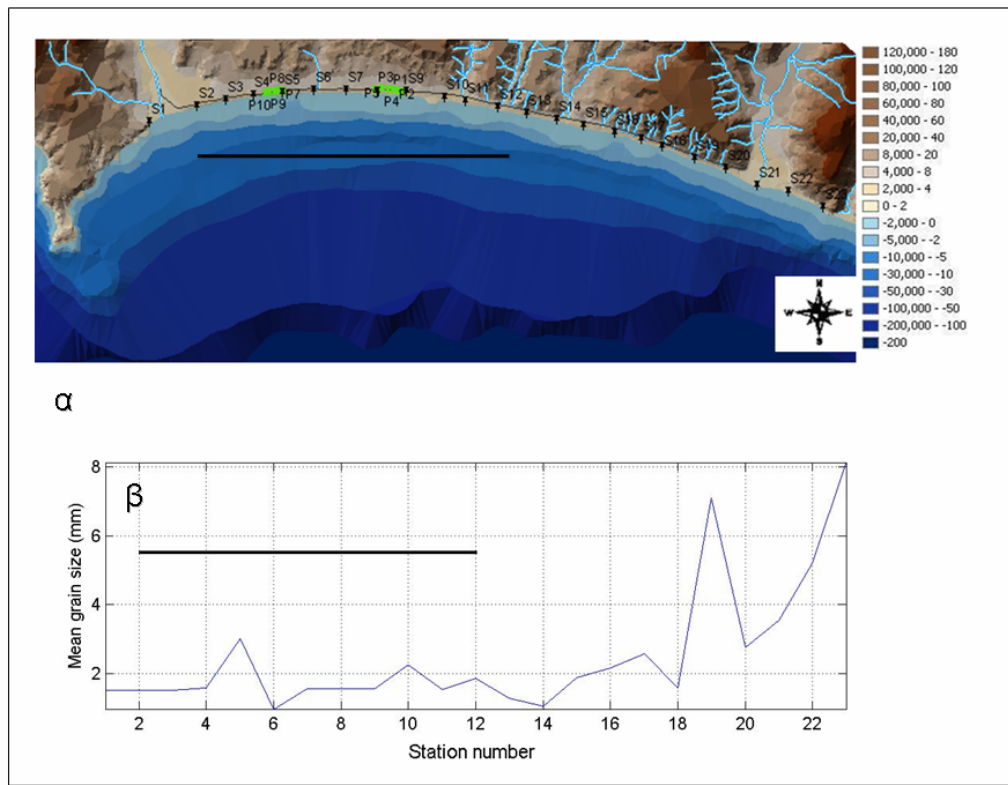
Η μεταβολή των ιζηματολογικών παραμέτρων στους σταθμούς P κάθετα στην ακτή, υποδεικνύει και πάλι (βλέπε Κεφάλαιο 7.2.1) ότι τα διάφορα τμήματα του παραλιακού προφίλ επηρεάζονται από διαφορετικές ιζηματοδυναμικές διεργασίες. Οι δύο περιοχές μελέτης μεγάλης διακριτικότητας εμφανίζουν κάποιες διαφορές με τους ανατολικούς σταθμούς (λιγότερο εμφανείς ΠΨ) να παρουσιάζονται περισσότερο δυναμικοί, με εντονότερες μεταβολές των κοκκομετρικών παραμέτρων. Χαρακτηριστική είναι πάλι η παρουσία μιας ζώνης αδρόκοκκου υλικού στο κατώτερο/μεσαίο τμήμα του παραλιακού προφίλ που σχετίζεται με τον επιμήκη αναβαθμό.

### 7.3 Περίληψη και συμπεράσματα

Τα ιζήματα στην παραλία των Βατερών έχουν μέσα μεγέθη από -0.82 έως -4.49 φ (μεταξύ 0.49 και 22 mm). Τα ιζήματα στις περισσότερες περιοχές χαρακτηρίζονται ως αδρόκοκκοι άμμοι (η μεγαλύτερη εξαίρεση είναι τα ιζήματα που βρίσκονται στο ανατολικό άκρο της περιοχής).

Τα ιζήματα του άνω μέρους του χερσαίου παραλιακού προφίλ είναι τα περισσότερο λεπτόκοκκα και παρουσιάζουν γενικά τις μικρότερες μεταβολές των κοκκομετρικών τους παραμέτρων. Αντίθετα στην ζώνη αναρρίχησης, όπου το υλικό εμφανίζεται περισσότερο αδρόκοκκο, είναι εμφανή τα αποτελέσματα της υδροδυναμικής πάνω στην ιζηματική κατανομή, αφού η κοκκομετρία παρουσιάζει σημαντικές χωροχρονικές μεταβολές. Στην περιοχή του επιμήκους αναβαθμού, τα ιζήματα είναι τα πλέον αδρόκοκκα. Εδώ, η επικρατέστερη ιζηματική διεργασία είναι η 'εκτόξευση' υλικού από τα αναρριχόμενα κύματα, με ταυτόχρονη απομάκρυνση λεπτόκοκκου υλικού (Middleton and Southard, 1984· Komar, 1998), που έχει σαν αποτέλεσμα την παρουσία αδιαβάθμιστων αδρόκοκκων ιζημάτων. Η διεργασία αυτή γίνεται εντονότερη την χειμερινή περίοδο· κάτω από υψηλές κυματικές συνθήκες, η κυματική αναρρίχηση μπορεί να κυριεύσει όλο το μήκος του παραλιακού προφίλ (που είναι άλλωστε περιορισμένο) και να αφήσει ανάλογο αποτύπωμα. Αυτός ίσως είναι και ο λόγος που οι διαταράξεις των κοκκομετρικών παραμέτρων στα χειμερινά δείγματα παρατηρούνται σε μεγαλύτερο τμήμα του παραλιακού προφίλ. Το αποτέλεσμα είναι ότι τα ιζήματα του χερσαίου υβώματος είναι πιο αδρόκοκκα και λιγότερο διαβαθμισμένα από τις άλλες περιοχές.





**Σχήμα 7-19** Χάρτης της περιοχής των Βατερών (α) και διακύμανση της μέσης καλοκαιρινής διαμέτρου των ιζημάτων. Με μαύρο χρώμα διακρίνεται η περιοχή εμφάνισης των ΠΨ, που φαίνεται να συμπίπτει με τα τμήματα της ακτής με το πιο λεπτόκοκκο ίζημα.

Η διακύμανση των κοκκομετρικών παραμέτρων στις περιοχές με ΠΨ διαφοροποιείται από αυτή της υπόλοιπης παραλίας. Το μέσο μέγεθος και η θερινή διαβάθμιση παρουσιάζουν καλύτερες γραμμικές συσχετίσεις και η παραλία εμφανίζεται πιο ‘ενδοτική’ στην υδροδυναμική και την ανακατανομή των ιζημάτων σε σχέση με τις άλλες περιοχές. Κάτι τέτοιο βέβαια δεν μπορεί με βεβαιότητα να αποδοθεί στην παρουσία των σχηματισμών, αλλά μπορεί να οφείλεται στην θέση των σταθμών και την διεύθυνση της ακτής σε σχέση με τις υπάρχουσες κυματικές συνθήκες.

Μία σημαντική παρατήρηση είναι ότι τα ιζήματα στις περιοχές εμφάνισης των ΠΨ κατά την θερινή περίοδο, εμφανίζονται περισσότερο λεπτόκοκκα (βλέπε Σχήμα 7-19). Η διαδικασία συνεκτικοποίησης ενοείται από την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών (βλέπε Κεφάλαιο 2.3), με αποτέλεσμα η θερινή περίοδος να είναι, πιθανότατα, η περίοδος σχηματισμού. Η επίδραση του μεγέθους του υλικού στην διεργασία συνεκτικοποίησης δεν έχει ξεκαθαριστεί πλήρως, όμως υπάρχει μια ελάχιστη διάσταση, κάτω από την οποία το πορώδες δεν επαρκεί για να ‘φιλοξενήσει’ ποσότητες συγκολλητικού υλικού, ικανές να συνεκτικοποιήσουν τα ιζήματα. Από την άλλη, η συγκόλληση

πολύ αδρόκοκκων ιζημάτων (με μεγάλο πορώδες) απαιτεί την καθίζηση σημαντικών ποσοτήτων  $\text{CaCO}_3$ .

Στην περίπτωση της παραλίας των Βατερών, φαίνεται ότι στις περιοχές που η διάμετρος των ιζημάτων δεν ξεπερνά τα 2 mm, λαμβάνει χώρα συνεκτικοποίηση και σχηματισμός ΠΨ. Βέβαια τα παραπάνω ισχύουν με βάση την σημερινή εικόνα των ιζηματολογικών παραμέτρων, οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν μεταβληθεί σημαντικά από την εποχή αρχικού σχηματισμού των ΠΨ. Από την άλλη αποτελούν μια σημαντικά πληροφορία πάνω στις συνθήκες συνεκτικοποίησης, μια και η εκσκαφή διάφορων σημείων στα Βατερά, αποκάλυψε περιοχές ενεργού σχηματισμού παραλιακών ψαμμιτών.

Αν και πολλές ερευνητικές εργασίες έχουν επικεντρωθεί στην συσχέτιση των τάσεων των κοκκομετρικών παραμέτρων με διεργασίες της παραλιακής στερεομεταφοράς υπάρχουν ακόμα σημαντικά ερωτήματα (Komar, 1998). Η χρησιμοποίηση των παραμέτρων (μόνων τους ή σε συνδυασμό) για την εκτίμηση 'ατραπών' ιζηματομεταφοράς (sediment transport pathways) είναι ιδιαίτερα δύσκολη, αφού η κοκκομετρία των ιζημάτων επηρεάζεται και από διεργασίες που είναι ανεξάρτητες από τις διεργασίες ιζηματομεταφοράς, όπως π.χ. η παροχή νέων ιζημάτων από σημειακές πηγές, δηλ. κρημνούς και ποταμούς (McManus et al, 1980· Flemming, 1988· Masselink, 1992). Επιπλέον, η ύπαρξη στερεομεταφοράς τόσο παράλληλα (longshore sediment transport), όσο και κάθετα (cross-shore sediment transport) προς την ακτογραμμή, σημαίνει την παρουσία διαφορετικών μηχανισμών διεργασίας ιζηματικής αντίδρασης στην ίδια περιοχή (Reineck and Singh, 1973).

Η μηχανική αποσάθρωση των μεταφερομένων ιζηματικών κόκκων μπορεί να κάνει τα ιζήματα περισσότερο λεπτόκοκκα με φορά αυτή του επιμήκους παράκτιου ρεύματος, επηρεάζοντας ταυτόχρονα την διαβάθμιση τους (Pettijohn *et al*, 1972). Επιπλέον, η επιλεκτική μεταφορά (selective transport) ιζηματικών κόκκων μπορεί επίσης να επηρεάσει την κοκκομετρία (και τις κοκκομετρικές παραμέτρους) των παραλιακών ιζημάτων. Έχει παρατηρηθεί ότι τα ιζήματα γίνονται περισσότερο λεπτόκοκκα κατά μήκος μίας παράλληλης προς την ακτή ατραπού στερεομεταφοράς (Self, 1977), λόγω επιλεκτικής μεταφοράς λεπτόκοκκου υλικού και ταυτόχρονου εμπλουτισμού των ανάντη ιζημάτων σε αδρόκοκκα ιζήματα (lag updrift deposit). Αυτός ο μηχανισμός μεταφοράς όμως φαίνεται ότι δεν ισχύει πάντοτε, αφού έχει παρατηρηθεί ότι τα ιζήματα μπορούν να γίνουν περισσότερο αδρόκοκκα κατά μήκος

μιας παραλιακής ζώνης μεταφοράς (Komar, 1977· Nordstrom, 1989). Ο McCave (1978) απέδωσε τις κατανομές αυτού του είδους στην επίδραση συνδυασμένων κυμάτων/κυματογενών ρευμάτων, τα οποία απομακρύνουν τα λεπτόκοκκα ιζήματα από την παραλιακή περιοχή προς τα βαθύτερα (και συνεπώς σε κάθετη στην ακτογραμμική μεταφορά). Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι και άλλες φυσικές παράμετροι των ιζημάτων, όπως το σχήμα (π.χ. Li and Komar, 1986) και η πυκνότητα (π.χ. Collins and Rigler, 1982) μπορούν να επηρεάσουν την επιλεκτική μεταφορά τους στην παραλιακή ζώνη. Παρ' όλα τα παραπάνω, οι περισσότερες παρατηρήσεις δείχνουν ότι η μεταφορά των ιζημάτων επηρεάζει την κατανομή των κοκκομετρικών παραμέτρων κατά μήκος μίας ζώνης ιζηματομεταφοράς. Η διαβάθμιση των ιζημάτων γίνεται καλύτερη, ενώ το μέσο μέγεθος μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί, εξαρτώμενο από την αντίστοιχη διαμόρφωση της λοξότητας (αυξάνεται με ταυτόχρονη μείωση της λοξότητας και μειώνεται με ταυτόχρονη αύξηση της λοξότητας) (Mc Laren, 1981· McLaren and Bowles, 1985· Gao and Collins, 1991, 1992, αλλά βλέπε και Flemming, 1988).

Στην παραλία των Βατερών, ο επιμήκης αναβαθμός και η ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής (που επηρεάζονται από την υδροδυναμική ενέργεια) χαρακτηρίζονται από σχετικά καλές χωρικές τάσεις μεταβολής των παραμέτρων παράλληλα προς την ακτή. Η διαβάθμιση τείνει να γίνει καλύτερη από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ενώ και το μέσο μέγεθος μειώνεται στην ίδια κατεύθυνση, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο. Αυτές οι τάσεις, υποδεικνύουν ότι η γενική κατεύθυνση μεταφοράς των παραλιακών ιζημάτων κατά μήκος της ακτογραμμής είναι προς τα δυτικά, ιδιαίτερα στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης.

Οι κύριες πηγές ιζημάτων της παραλίας των Βατερών φαίνεται ότι βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της ακτής όπως φανερώνουν και οι φτωχές διαβαθμίσεις των ιζημάτων στους ακραίους σταθμούς S20-23. Οι εντονότερες διακυμάνσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων την χειμερινή περίοδο, κατά μήκος της ακτής, αποτελεί ένδειξη ότι αυτήν την περίοδο, όπως είναι αναμενόμενο, η ιζηματοπαροχή είναι επικρατέστερη διεργασία από την ιζηματική διευθέτηση.

Η παράλληλη προς την ακτή ιζηματομεταφορά (από τα ανατολικά προς τα δυτικά) μπορεί να εξηγήσει την αύξηση των ιζηματικών όγκων στο χερσαίο (και υποθαλάσσιο) τμήμα του παραλιακού προφίλ που παρατηρήθηκε στην περιοχή (βλέπε Κεφάλαιο 6.2). Η έντονη αύξηση των ιζηματικών όγκων στους σταθμούς P2 και P8 (βλέπε

---

Σχήμα 6-15), που συμπίπτει με την εποχή αυξημένων βροχοπτώσεων, πιθανόν προκαλείται, όχι μόνο από το ίζημα που εισάγεται τοπικά, αλλά και από αυτό που προκύπτει από την διάβρωση των παράκτιων κρημών στο ανατολικό τμήμα της παραλίας. Έτσι, αν και οι κύριες χερσαίες πηγές ιζήματος βρίσκονται στο ανατολικό τμήμα της παραλίας, το κεντρικό και δυτικό τμήμα της πιθανόν ευνοούνται από αυτές, λόγω αυτής της μεταφοράς.

## 8 Παράκτια υδροδυναμική

### 8.1 Κυματικές-υδροδυναμικές συνθήκες στον κόλπο των Βατερών

Το δυσδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο (βλέπε κεφάλαια 5.3.5, 5.3.6) χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή της εξέλιξης των κυματισμών και των κυματογενών ρευμάτων στον κόλπο των Βατερών. Για το δισδιάστατο κυματικό μοντέλο (βλέπε Κεφάλαιο 5.3.5) χρησιμοποιήθηκε τετράγωνος κάναβος με χωρικό βήμα  $dx=10$  m καλύπτοντας την ευρύτερη περιοχή γύρω από τον κόλπο των Βατερών, ενώ το χρονικό βήμα ήταν  $dt=0.125$  sec. Για το δισδιάστατο μοντέλο κυματογενούς κυκλοφορίας (βλέπε Κεφάλαιο 5.3.6) το χωρικό βήμα ήταν  $dx=20$  m και το χρονικό  $dt=0.0625$  sec. Οι υπολογισμοί διαρκούν όσος χρόνος απαιτείται ώστε να διαδοθούν οι κυματισμοί μέσα στην περιοχή του καννάβου.

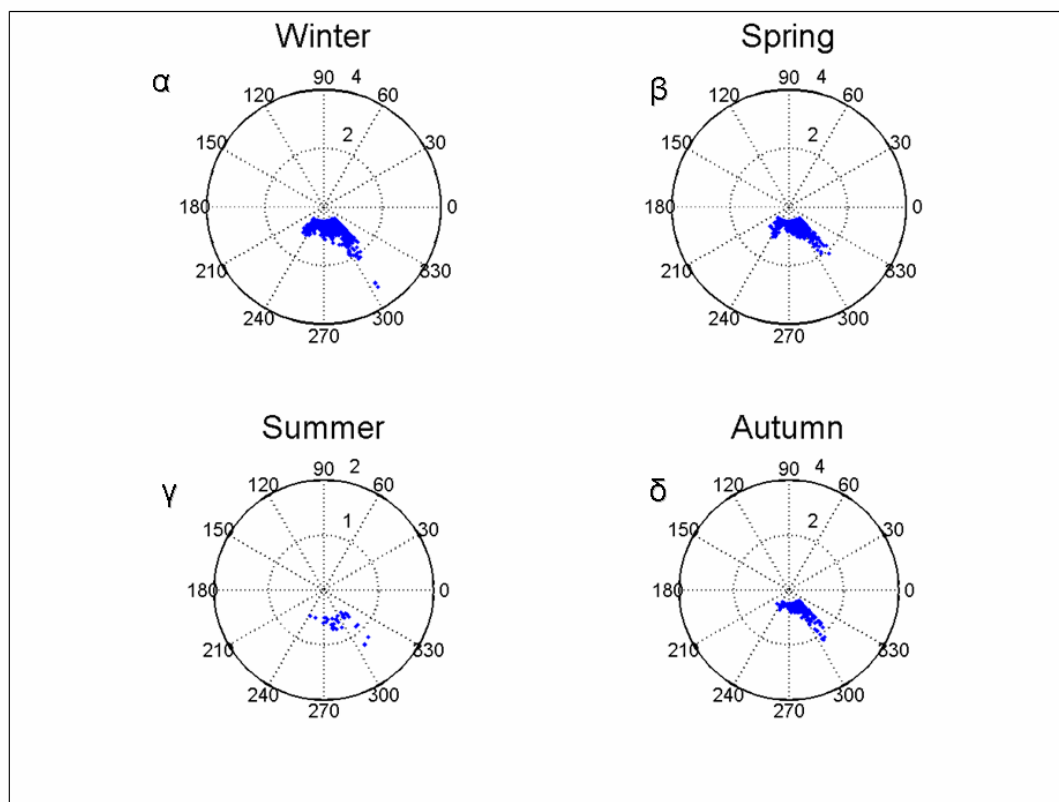
Οι άνεμοι ΝΑ και ΝΝΑ κατεύθυνσης είναι αυτοί που γενικά κυριαρχούν στην περιοχή και προκαλούν τις πιο έντονες κυματικές συνθήκες (βλέπε Σχήμα 8-1). Η εκτίμηση των κυματικών χαρακτηριστικών από τα ανεμολογικά δεδομένα γίνεται με την βοήθεια αλγόριθμου Hindcasting (βλέπε κεφάλαιο 5.2.4). Αρχικά προσομοιώθηκαν κυματισμοί για τρεις περιπτώσεις ανέμων (ΝΑ, ΝΝΑ και ΝΔ προσανατολισμού), οι οποίοι από την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων (βλέπε κεφάλαιο 4.4) φάνηκαν να είναι χαρακτηριστικοί για τις μέσες συνθήκες στην περιοχή των Βατερών (βλέπε Πίνακας 8-1).

Περίπτωση	Κατεύθυνση	Ύψος κύματος (m)	Περίοδος (sec)
1	ΝΑ	0.75	3.40
2	ΝΝΑ	0.83	3.37
3	ΝΔ	0.70	3.97

**Πίνακας 8-1** Περιπτώσεις κυματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στο δυσδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο σαν μέσες αντιπροσωπευτικές συνθήκες. Οι κυματικές παράμετροι αναφέρονται στις συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα.

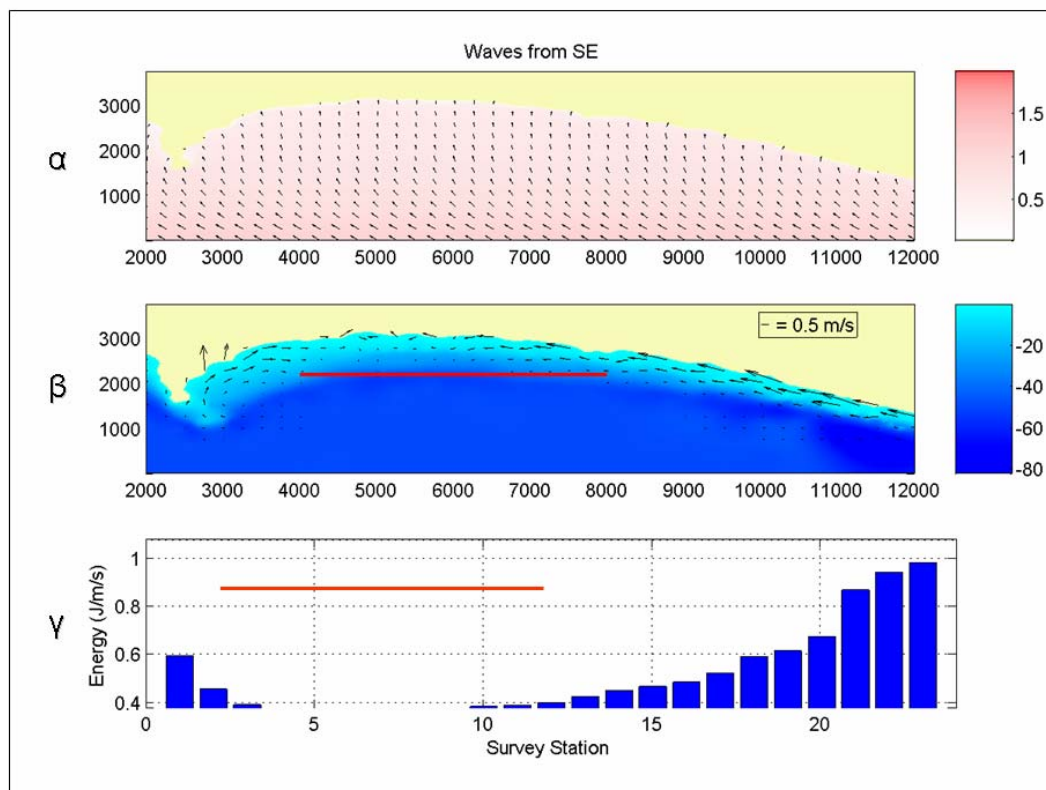
Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για την περίπτωση ανέμων ΝΑ κατεύθυνσης (Σχήμα 8-2) δείχνουν ότι οι κυματισμοί προσπίπτουν αισθητά εξασθενημένοι στο κεντρικό-δυτικό τμήμα της ακτογραμμής (Σχήμα 8-2(α)). Όσον αφορά την παράκτια κυκλοφορία (Σχήμα 8-2(β)), παρατηρούνται έντονα ρεύματα δυτικής κατεύθυνσης στο ανατολικό τμήμα της ακτής (εκεί που βρίσκονται και οι κύριες πηγές χερσαίας ιζηματικής τροφοδοσίας). Η παραπάνω παρατήρηση έρχεται σε συμφωνία με το συμπέρα-

σμα που προκύπτει από την ανάλυση των ιζηματολογικών παραμέτρων (Κεφάλαιο 7), ότι δηλαδή η κύρια κατεύθυνση παράλληλης στην ακτογραμμή στερεομεταφοράς είναι η δυτική.



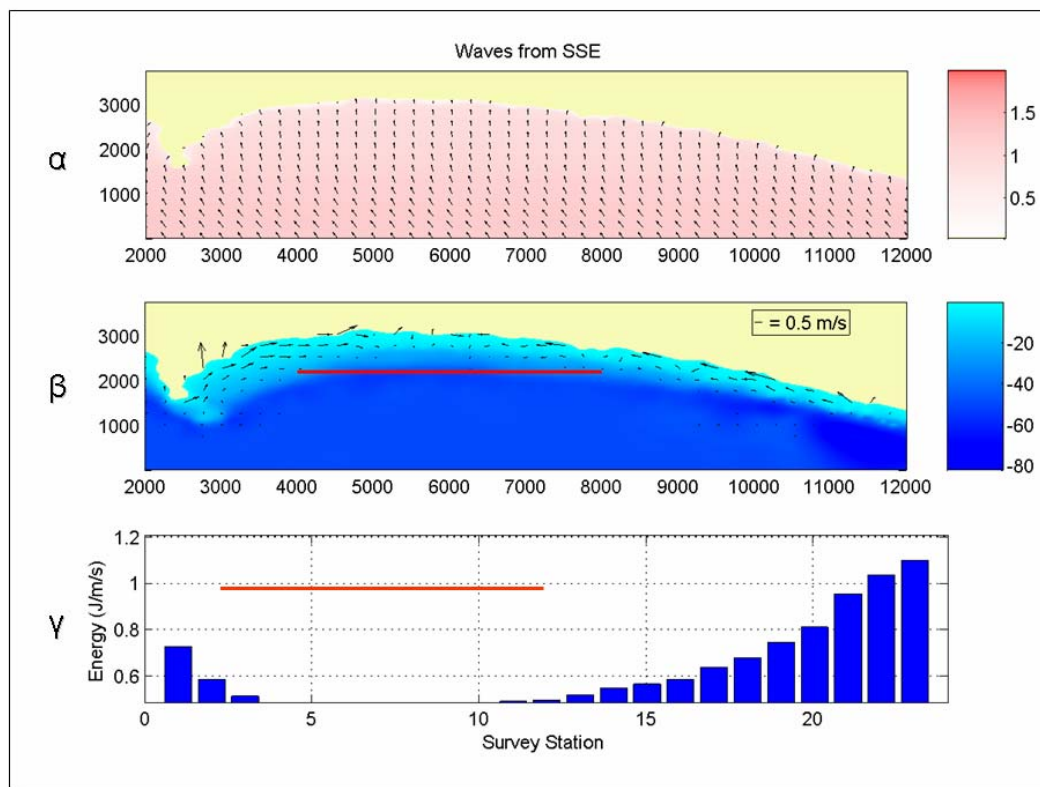
**Σχήμα 8-1** Διαγράμματα με τις κυματικές συνθήκες ανά εποχή, όπως υπολογίστηκαν από τον αλγόριθμο Hindcasting με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα των ετών 2004-2005. Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα έχουν αποκλειστεί οι κυματισμοί με ύψος μικρότερο από 0.5 m και με διευθύνσεις που δεν επηρεάζουν την παραλία των Βατερών.

Οι ταχύτητες των παράλληλων στην ακτή ρευμάτων στην κεντρική-δυτική περιοχή, (την περιοχή εμφάνισης των παραλιακών ψαμμιτών (κόκκινη γραμμή στο Σχήμα 8-2), εμφανίζονται πολύ μικρές, ενώ στο δυτικό άκρο της ακτής, το οποίο γενικά χαρακτηρίζεται από βραχώδες ανάγλυφο, η κατεύθυνση των παράλληλων στην ακτή ρευμάτων αναστρέφεται (ανατολική). Έτσι, η περιοχή εμφάνισης των ΠΨ φαίνεται ότι αποτελεί και περιοχή σύγκλισης των παράκτιων ατραπών ιζηματομεταφοράς (conversing sediment transport pathways) και συνεπώς περιοχή πιθανής συσσώρευσης ιζημάτων.



**Σχήμα 8-2** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για μέσους κυματισμούς ΝΑ κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

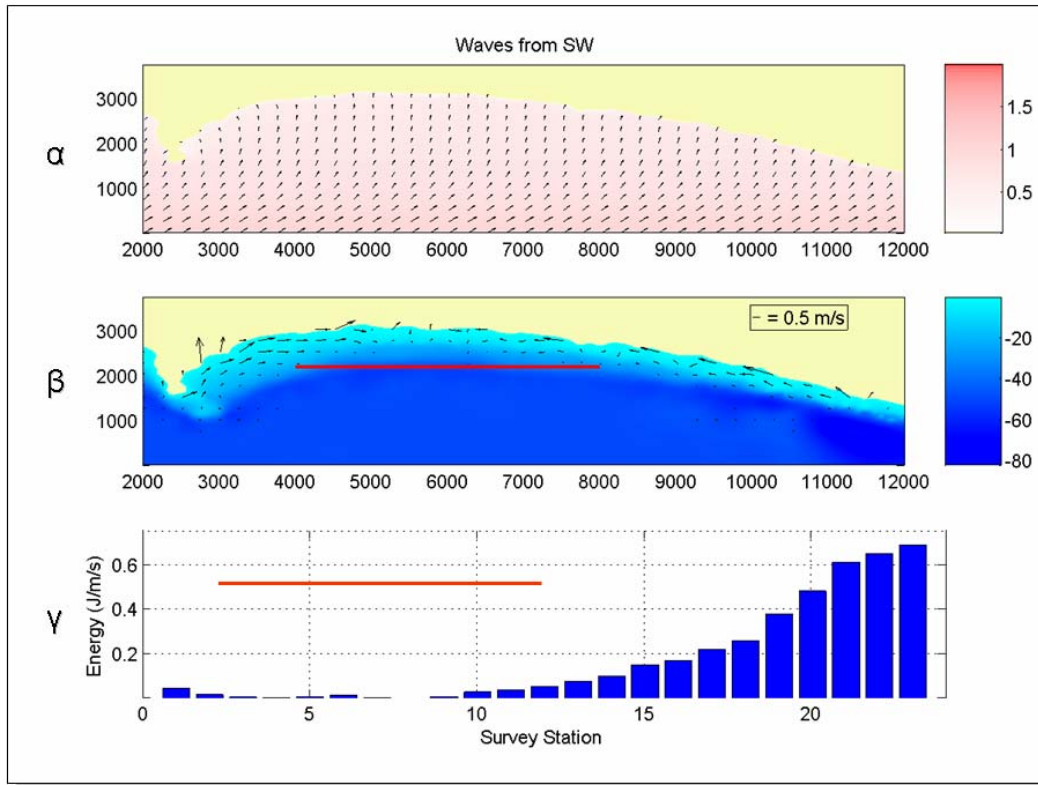
Η παραπάνω παρατήρηση μπορεί να εξηγήσει την ιδιαίτερη μορφοδυναμική που παρατηρήθηκε στην περιοχή, καθώς και την αύξηση του όγκου ιζήματος στους σταθμούς P2 και P8 (βλέπε Κεφάλαιο 6). Τα παραπάνω (δηλ. εξασθένηση κυματισμών και σύγκλιση παράλληλων στην ακτή ρευμάτων στην περιοχή εμφάνισης των παραλιακών ψαμμιτών) ισχύουν και για την περίπτωση κυματισμών ΝΝΑ και ΝΔ κατεύθυνσης (Σχήμα 8-3 και Σχήμα 8-4, αντίστοιχα).



**Σχήμα 8-3** Αποτελέσματα δυοδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς NNA κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Επιπλέον για όλες τις κατευθύνσεις ανέμων, η κυματική ενέργεια κατά την θραύση (Σχήμα 8-2(γ), Σχήμα 8-3(γ) και Σχήμα 8-4(γ)) φαίνεται να είναι σημαντικά μειωμένη στην περιοχή των ΠΨ. Αυτό σημαίνει ότι για όλες τις επικρατούσες συνθήκες, η περιοχή αυτή αποτελεί την περιοχή της ακτογραμμής των Βατερών, με την μικρότερη κυματική ενέργεια. Η σύμπτωση των λιγότερο κυματικά ενεργητικών περιοχών με αυτές που χαρακτηρίζονται από παρουσία ΠΨ, υποδηλώνει ότι η διαδικασία συνεκτικοποίησης ευνοείται από την σχετική ηρεμία των ιζημάτων.





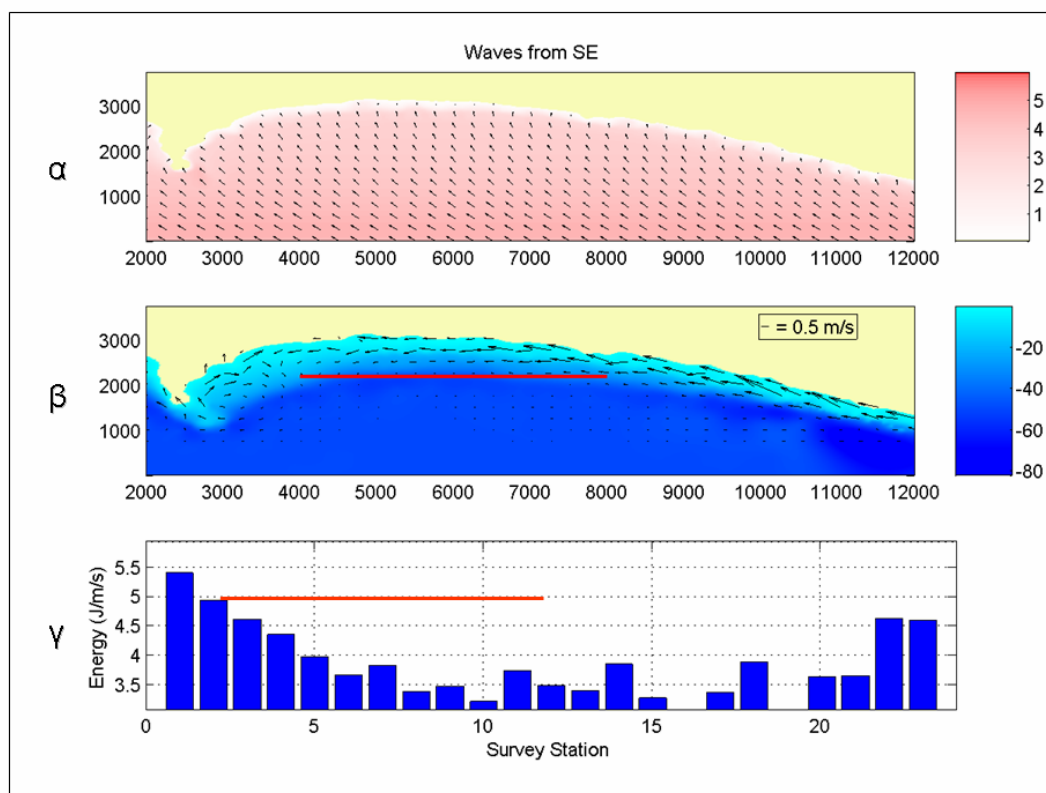
**Σχήμα 8-4** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ΝΔ κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Το υδροδυναμικό μοντέλο εφαρμόστηκε και για τις ακραίες κυματικές συνθήκες, κάθε μιας από τις κύριες διευθύνσεις ανέμων που επηρεάζουν την παραλία των Βατερών (βλέπε Πίνακας 8-2). Όπως φαίνεται και από τα συνολικά δεδομένα της περιοχής (βλέπε Σχήμα 8-1), τα ακραία συμβάντα είναι ΝΑ κατεύθυνσης, αλλά η περίπτωση κυματισμού ύψους  $\approx 3$  m εμφανίζεται τους χειμερινούς μήνες.

**Πίνακας 8-2** Περιπτώσεις κυματισμών που χρησιμοποιήθηκαν στο δυσδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο σαν ακραίες συνθήκες. Οι κυματικές παράμετροι αναφέρονται στις συνθήκες στην ανοικτή θάλασσα.

Περίπτωση	Κατεύθυνση	Ύψος κύματος (m)	Περίοδος (sec)
4	ΝΑ	3.28	6.75
5	ΝΝΑ	2.01	4.79
6	Ν	1.10	3.89
7	ΝΝΔ	1.17	3.98
8	ΝΔ	1.13	3.97

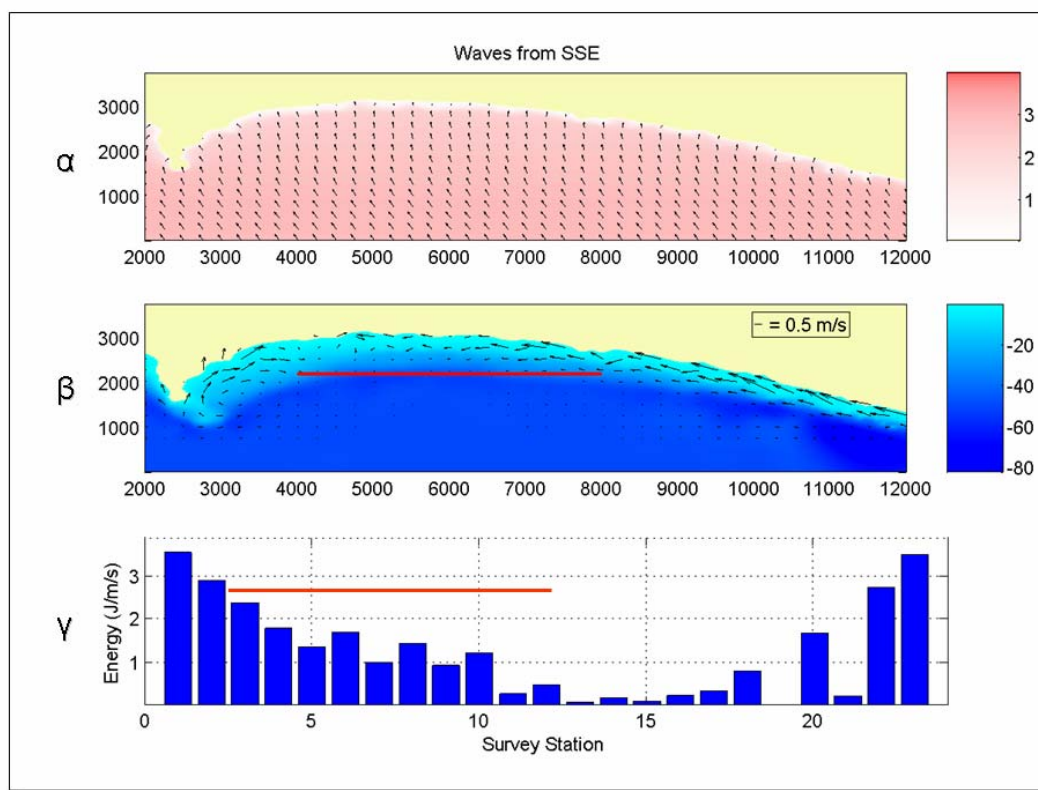
Στην περίπτωση των ακραίων ΝΑ κυματισμών (Σχήμα 8-5) δημιουργούνται έντονα ρεύματα παράλληλα στην ακτή ανατολικής κατεύθυνσης, καθώς και η αυξημένη ροή ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση, η περιοχή των ΠΨ δεν είναι η περιοχή χαμηλότερης ενέργειας. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι κυματισμοί τέτοιου ύψους μπορεί να συνδέονται και με την εμφάνιση (δημιουργία) του υποθαλάσσιου αναβαθμού (bar) που παρατηρήθηκε στην περιοχή σε βάθος περίπου 3 m (βλέπε Κεφάλαιο 6.1). Αξίζει να σημειωθεί ότι και αυτά τα αποτελέσματα επαληθεύουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τις χωρικές τάσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων, ότι δηλ. η κύρια κατεύθυνση παράλληλης στην ακτή ιζηματομεταφοράς είναι η δυτική.



**Σχήμα 8-5** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για τους ακραίους κυματισμούς ΝΑ κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

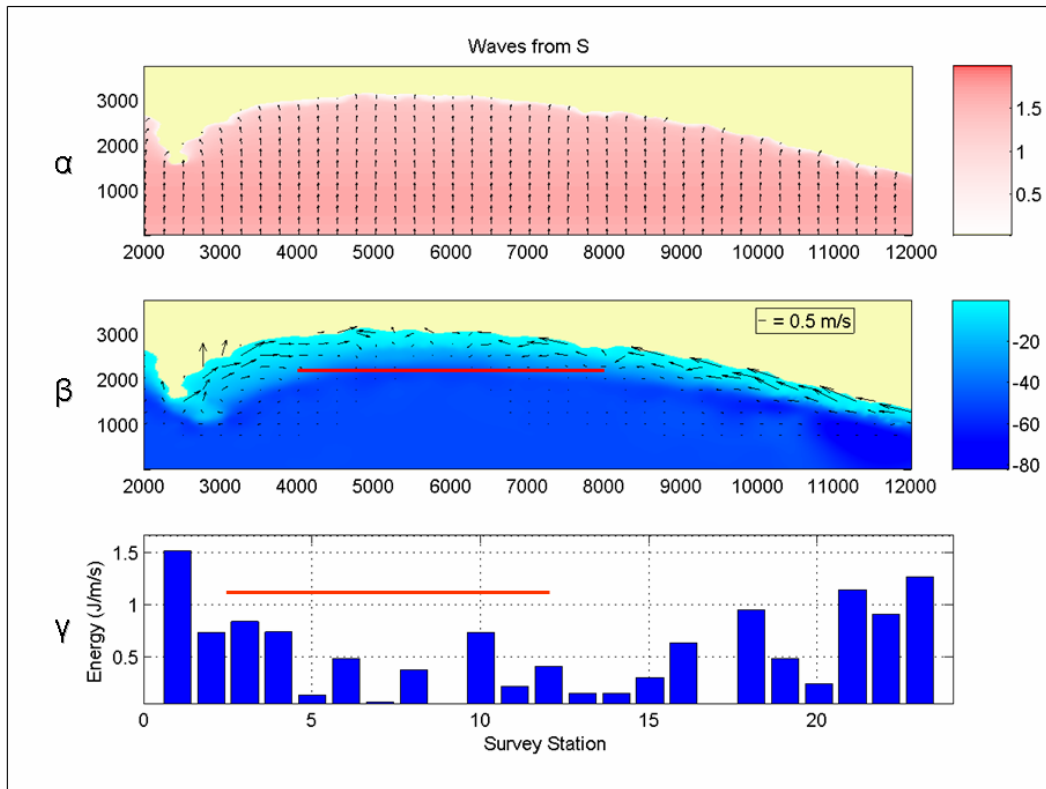
Στην περίπτωση των ακραίων ΝΝΑ κυματισμών (Σχήμα 8-6) και πάλι αναπτύσσονται ανατολικά ρεύματα παράλληλα στην ακτή, κυρίως όμως στο ανατολικό τμήμα της ακτής. Και σε αυτήν την περίπτωση, η περιοχή των ΠΨ δεν χαρακτηρίζεται από την

παρουσία των ηπιότερων κυματικών συνθηκών, αν και η κυματική ενέργεια εμφανίζεται στο δυτικό όριο της περιοχής αυτής.



**Σχήμα 8-6** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για ακραίους κυματισμούς NNA κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Για τους νότιους κυματισμούς ακραίας έντασης (Σχήμα 8-7) όπως είναι αναμενόμενο τα ρεύματα είναι ασθενέστερα και το πεδίο της ενέργειας επηρεάζεται κυρίως από την τοπική βυθομετρία. Και σ' αυτήν την περίπτωση τα ρεύματα παράλληλα στην ακτογραμμή στο ανατολικό τμήμα της παραλίας έχουν δυτική κατεύθυνση, ενώ η περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών (τουλάχιστον το δυτικό της τμήμα) είναι περιοχή σύγκλισης των ρευμάτων.



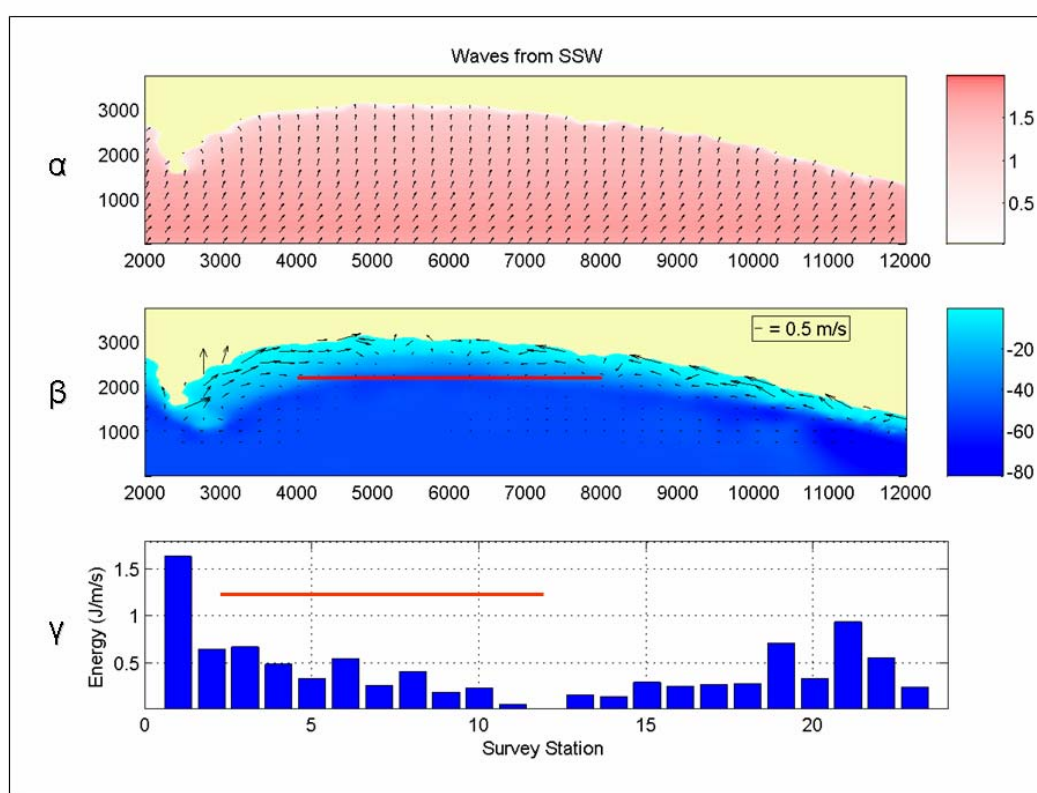
**Σχήμα 8-7** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για ακραίους κυματισμούς Ν κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Ανάλογες είναι και οι παρατηρήσεις για την περίπτωση των ακραίων ΝΝΔ (Σχήμα 8-8) και ΝΔ (Σχήμα 8-9) κυματισμών.

Από την συνολική εικόνα των αποτελεσμάτων του υδροδυναμικού μοντέλου για τις διάφορες περιπτώσεις που εξετάστηκαν, προκύπτουν δύο γενικά συμπεράσματα. Πρώτον, τα παράλληλα στην ακτογραμμή ρεύματα στο ανατολικό τμήμα της παραλίας των Βατερών έχουν δυτική κατεύθυνση. Αυτό σε συνδιασμό με την παρουσία παράκτιων πηγών ιζήματος (ποτάμιες παροχές, παράκτιους κρημνούς με κροκαλοπαγή) δείχνει ότι αυτό το ανατολικό τμήμα της ακτής τροφοδοτεί με ίζημα την υπόλοιπη παραλία των Βατερών. Δεύτερον, οι περιοχές εμφάνισης των ΠΨ χαρακτηρίζονται γενικά από τις πιο ήπιες υδροδυναμικές συνθήκες της παραλίας και από σημαντική μεταβλητότητα της διεύθυνσης/έντασης των ρευμάτων παράλληλα προς την ακτογραμμή. Επίσης, η περιοχή εμφάνισης των ΠΨ, ιδιαίτερα κάτω από υψηλές κυματικές συνθήκες (Σχήμα 8-7, Σχήμα 8-8 και Σχήμα 8-9), χαρακτηρίζεται από την σύγκλιση παράλληλων προς την ακτή ρευμάτων και συνεπώς από σύγκλιση παράλληλης στην α-

κτή ιζηματομεταφοράς (littoral drift convergence area). Κάτι τέτοιο μπορεί να δικαιολογήσει και την αύξηση του όγκου ιζήματος που παρατηρείται στους σταθμούς P2 και P8 (βλέπε επίσης αποτελέσματα τοπογραφικών αποτυπώσεων, Κεφάλαιο 6).

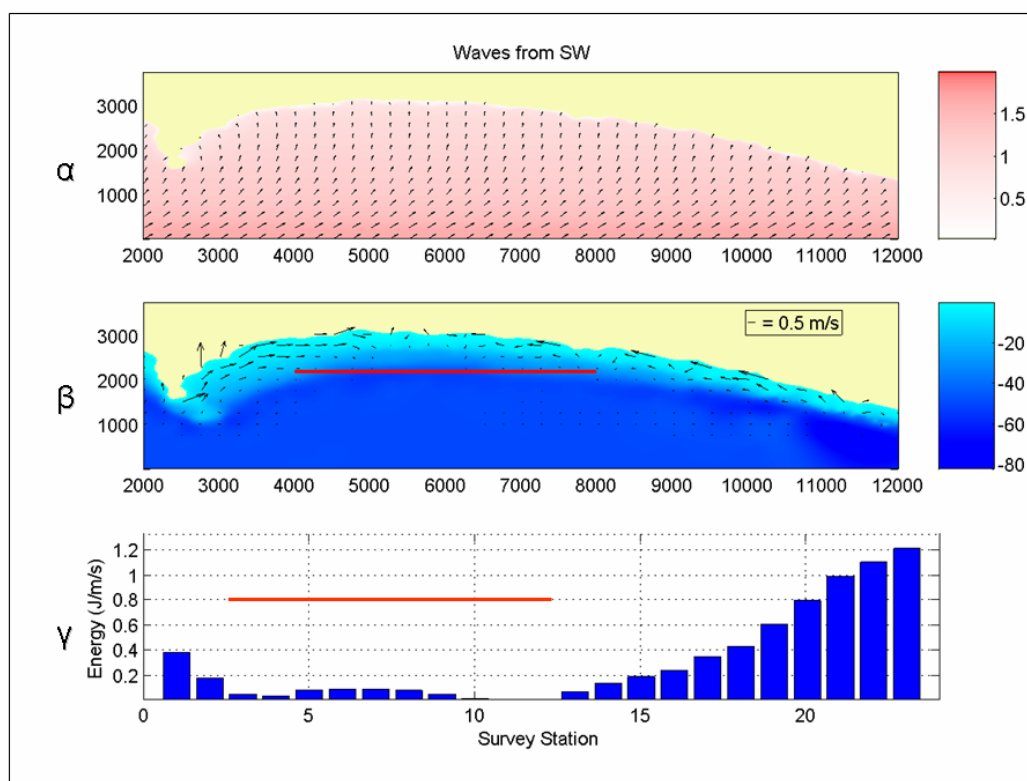
Η παρατήρηση σχετικά με την παρουσία ήπιων υδροδυναμικών συνθηκών στην περιοχή εμφάνισης των ΠΨ μπορεί να συνδεθεί με τον ίδιο τον μηχανισμό δημιουργίας τους, που πιθανόν να ευνοείται από την μικρή διατάραξη των ιζημάτων. Κάτι τέτοιο έρχεται συμφωνεί με τα συμπεράσματα των Harris (1978) και Dravis (1979), που όμως προέρχονται μόνο από λογική αξιολόγηση και όχι από αποτελέσματα παρατηρήσεων και πειραμάτων.



**Σχήμα 8-8** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για ακραίους κυματισμούς ΝΝΔ κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Βέβαια το παραπάνω συμπέρασμα αφορά μόνο τις σημερινές (υδρο-)δυναμικές συνθήκες, οι οποίες μπορούν να διαφέρουν από αυτές που ίσχυαν την αρχική περίοδο σχηματισμού των ΠΨ. Πάντως, η περιοχή των ΠΨ εμφανίζεται λιγότερο ενεργητική για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις κυματισμών. Επίσης δεδομένου ότι η καθίζηση συγκολλητικού υλικού ευνοείται από την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών (Κεφάλαιο

2.3), ο σχηματισμός ΠΨ πιθανότατα λαμβάνει χώρα κατά την θερινή περίοδο. Οι ανεμολογικές και κυματικές συνθήκες από τον νότιο τομέα είναι γενικά ήπιες και λιγότερο ευμετάβλητες αυτήν την περίοδο στον ελλαδικό χώρο.



**Σχήμα 8-9** Αποτελέσματα δυσδιάστατου υδροδυναμικού μοντέλου για τους ακραίους κυματισμούς ΝΔ κατεύθυνσης. (α) Διεύθυνση (μαύρα βέλη) και ύψος (χρωματική διακύμανση) των κυματισμών μέσα στον κόλπο των Βατερών, (β) κυματογενή ρεύματα (με κόκκινο χρώμα η περιοχή εμφάνισης ΠΨ και (γ) η κάθετη στην ακτή συνιστώσα της ενέργειας των κυματισμών κατά μήκος των σταθμών S.

Ολοκληρώνοντας την συζήτηση, θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω αποτελέσματα αφορούν την σημερινή υποθαλάσσια μορφολογία (βυθομετρία), η οποία μπορεί να διαφέρει από αυτή της αρχικής περιόδου σχηματισμού των ΠΨ. Το κεντρικό τμήμα της παραλίας (δηλ. η περιοχή που καταλαμβάνεται από τους σχηματισμούς) χαρακτηρίζεται σήμερα από πολύ μεγάλες κλίσεις του μετώπου της, με αποτέλεσμα να περιορίζονται σημαντικά οι ζώνες απόσβεσης και αναρρίχησης των κυματισμών· οι μεγάλες αυτές κλίσεις είναι πιθανόν να δημιουργήθηκαν μετά την εμφάνιση των ΠΨ (βλέπε Κεφάλαιο 6 και 9.3). Αν λοιπόν στην περίπτωση των μεγάλων κλίσεων η κυματική ενέργεια είναι μειωμένη στην περιοχή των ΠΨ, θα ήταν αναμενόμενο, παρουσία πιο ήπιας κλίσης του παραλιακού μετώπου, η προσπίπτουσα κυματική ενέργεια

---

γεια να εμφανίζεται ακόμα πιο μειωμένη λόγω της απόσβεσης της από την αλληλεπίδραση με τον πυθμένα, ευνοώντας ακόμα περισσότερο την δημιουργία των ΠΨ.

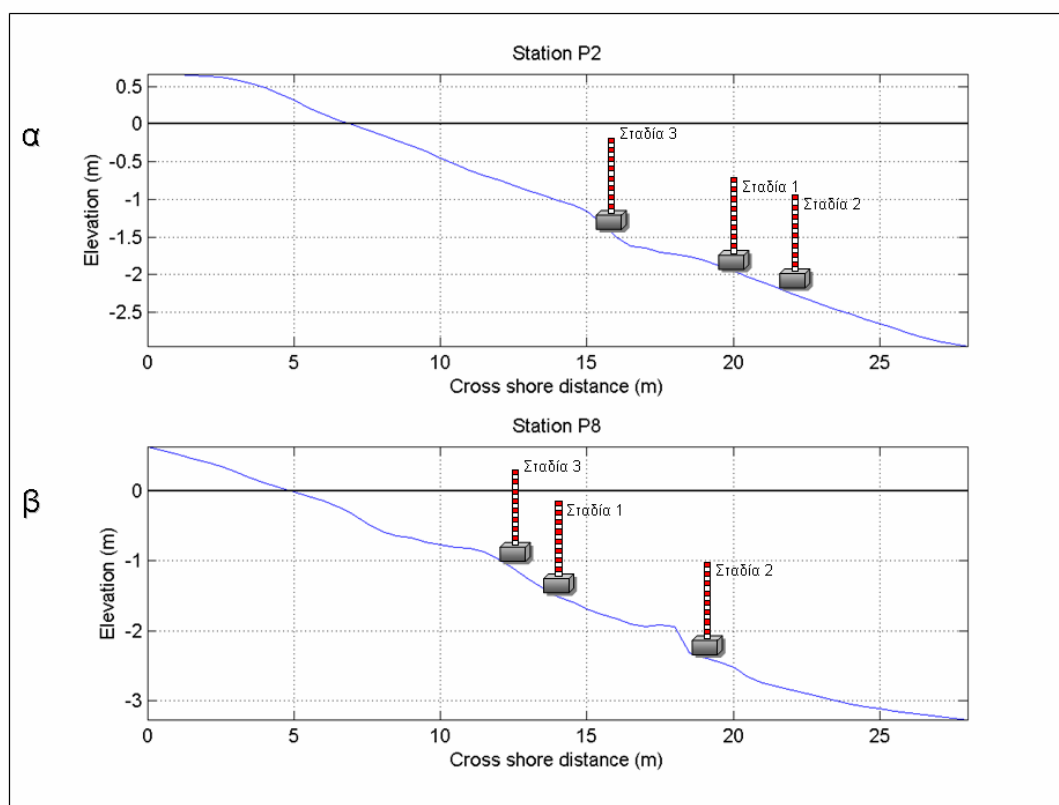
## 8.2 Κυματικά δεδομένα

Για την μέτρηση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας (δηλ. των κυματισμών), τοποθετήθηκαν 3 βαθμονομημένες σταδίες κατά μήκος του υποθαλάσσιου παραλιακού προφίλ στους σταθμούς P2 και P8 (Σχήμα 8-10). Η βασική διαφορά των δύο σταθμών έγκειται στο ότι ο δυτικός (P8) χαρακτηρίζεται από προχωρημένη έκθεση των ΠΨ, που καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της ζώνης αναρρίχησης και απόσβεσης και καταλήγουν σε ένα καλοσχηματισμένο υποθαλάσσιο σκαλοπάτι (κρημνό) με ύψος μετώπου 75 cm (Βλέπε Κεφάλαιο 6). Το σκαλοπάτι αυτό αναμένεται να επηρεάζει σημαντικά την προέλαση των κυματισμών.

Από την ανάλυση της βιντεοσκοπημένης προέλασης των κυματισμών με το πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας (βλέπε Κεφάλαιο 5.2.3), προέκυψαν οι χρονοσειρές της διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης (Σχήμα 8-11). Τα αποτελέσματα για τον σταθμό P2 δείχνουν ότι τα ύψη των πολυχρωματικών κυμάτων που μετρήθηκαν ήταν γενικά χαμηλά. Οι τιμές των μετρήσεων στην Σταδία 3 κυμαίνονται σε χαμηλότερα επίπεδα, λόγω του μικρότερου βάθους, που έχει ως συνέπεια οι κυματισμοί κατά την διέλευση τους, να έχουν ήδη αποσβέσει σημαντικό μέρος της ενέργειάς τους. Κατά την διάρκεια της μέτρησης δεν παρατηρείται σημαντική μεταβολή των κυματικών χαρακτηριστικών και το μεγαλύτερο ύψος που καταγράφεται είναι περίπου 40 cm.

Οι κυματισμοί που μετρήθηκαν στον σταθμό P8 ήταν μικρότερου ύψους, λόγω της παρουσίας πιο ήπιων καιρικών συνθηκών την περίοδο της μέτρησης. Η Σταδία 2 (κάτω από το σκαλοπάτι, Σχήμα 8-10(β)) ξεχωρίζει ακόμα και με απλή οπτική παρατήρηση να είναι σημαντικά διαφοροποιημένη από τις άλλες δύο, που γενικά δείχνουν να μεταβάλλονται με παρόμοιο τρόπο. Πέρα από την ύπαρξη του σκαλοπατιού που σχηματίζουν οι ΠΨ, οι διαφορές μπορούν να αποδοθούν και στο γεγονός ότι η Σταδία 2 βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τις άλλες δύο (η διαφορά βάθους που παρατηρείται μεταξύ της Σταδίας 1 και 3 οφείλεται κυρίως στο σκαλοπάτι). Το μεγαλύτερο ύψος που καταγράφηκε στον σταθμό P8 ήταν 29 cm και είναι άξιο αναφοράς ότι, ενώ οι κυματισμοί χαρακτηρίζονται από μικρό ύψος, φαίνονται να επηρεάζονται/μετασχηματίζονται κατά την προέλαση τους πάνω από το σκαλοπάτι, το οποίο βρίσκεται σε βάθος σχεδόν 1.5 m.

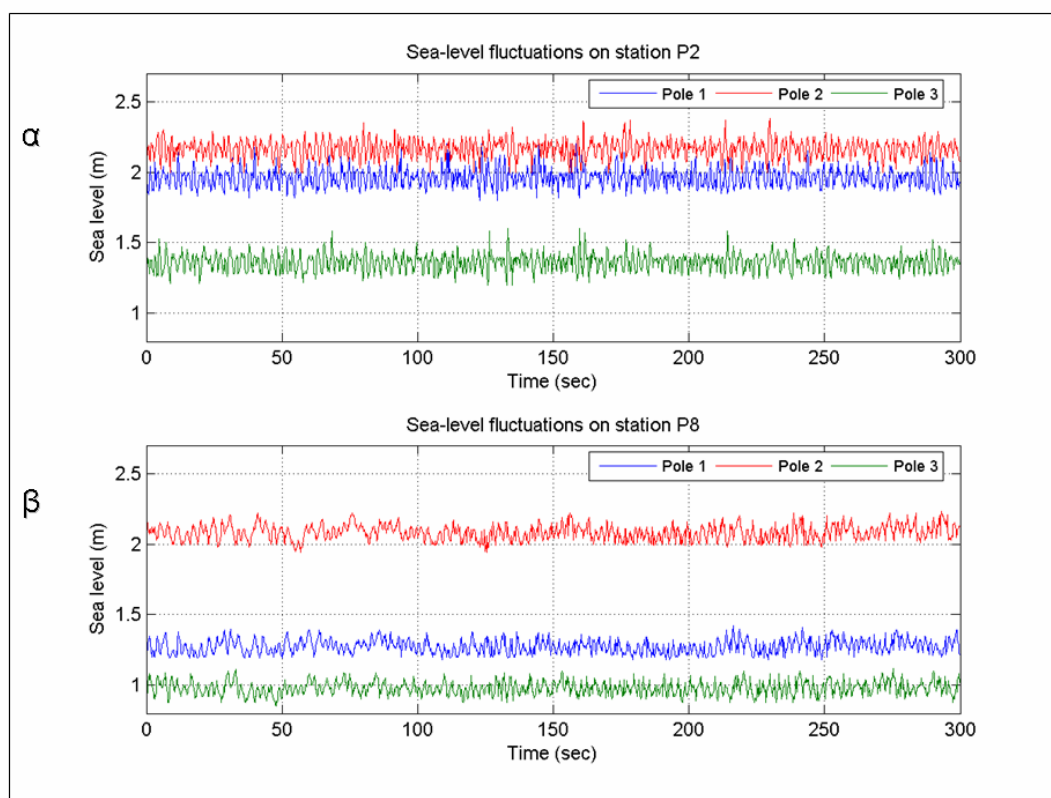




**Σχήμα 8-10** Παραλιακό προφίλ και θέση των τριών βαθμονομημένων σταθίων στους σταθμούς P2 και P8.

Από την ανάλυση των χρονοσειρών προέκυψαν βασικά χαρακτηριστικά των κυματισμών. Στον Σταθμό P2, η μέση κυματική περίοδος ( $T \approx 2.7$  sec) και ύψος δεν μεταβάλλονται σημαντικά από την Σταθία 2 στην Σταθία 3 (Πίνακας 8-3). Οι μέσες και μέγιστες τροχιακές ταχύτητες στον πυθμένα, όμως, υπολογίστηκαν να αυξάνουν παίρνοντας τιμές 0.11 (Στ. 2), 0.17 m/sec (Στ. 1) και 0.26 m/sec (Στ. 3) καθώς το βάθος μειώνεται.

Στον σταθμό P8 η μέση κυματική περίοδος μειώνεται από την σταθία 2 ( $T=4.15$  sec) στην Σταθία 3 ( $T=3.54$  sec). Το σκαλοπάτι δείχνει να προκαλεί φαινόμενα κυματικής ανάκλασης και να λειτουργεί ως φίλτρο αποσβένοντας κάποιες συχνότητες, ή και μετασχηματίζοντας τες (βλέπε παρακάτω). Μείωση παρατηρείται και στο μέσο ύψος του κυματισμού από την σταθία 2 στην 3, με την τιμή να μειώνεται από 0.16 σε 0.14 m. Η μέση και μέγιστη τροχιακή ταχύτητα στον πυθμένα αυξάνονται από 0.15 σε 0.20 m/sec και 0.28 σε 0.29 m/sec αντίστοιχα, ενώ και η κυματική κλίση αυξάνεται οριακά (από 0.013 σε 0.014).



**Σχήμα 8-11** Χρονοσειρές μεταβολής στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας της θάλασσας στους σταθμούς P2 και P8 για κάθε έναν από τους τρεις πόλους.

Με δεδομένο ότι σε κάθε σταθμό, δύο από τις σταδίες ήταν τοποθετημένες πολύ κοντά και εμφάνισαν παρόμοια συμπεριφορά, η ανάλυση συνεχίστηκε με τη σύγκριση των σταδίων 2 και 3 κάθε σταθμού. Η συσχέτιση (Cross Correlation) δύο χρονοσειρών, πέρα από το ότι φανερώνει την παρουσία μεταβολών παρόμοιων συχνοτήτων, μπορεί να βοηθήσει και στην αναγνώριση-εκτίμηση τυχόν διαφορών φάσης μεταξύ των δύο σειρών.

Στον Σταθμό P2 προκύπτει καλή συσχέτιση σε μικρές χρονικές διαφορές, που εξασθενεί καθώς αυτές αυξάνονται, ενώ η διαφορά φάσης υπολογίστηκε ίση με 0.8 sec (Σχήμα 8-12(α)). Από την μορφή της εξίσωσης συσχέτισης φαίνεται ότι οι δύο χρονοσειρές υπόκεινται σε παρόμοιες μεταβολές και χαρακτηρίζονται από μια μικρή διαφορά φάσης. Δεδομένου ότι η απόσταση μεταξύ των δυο σταδίων ήταν 5.5 m, η ταχύτητα προέλασης των κυματισμών εκτιμάται να ήταν της τάξης των 6-7 m/sec.

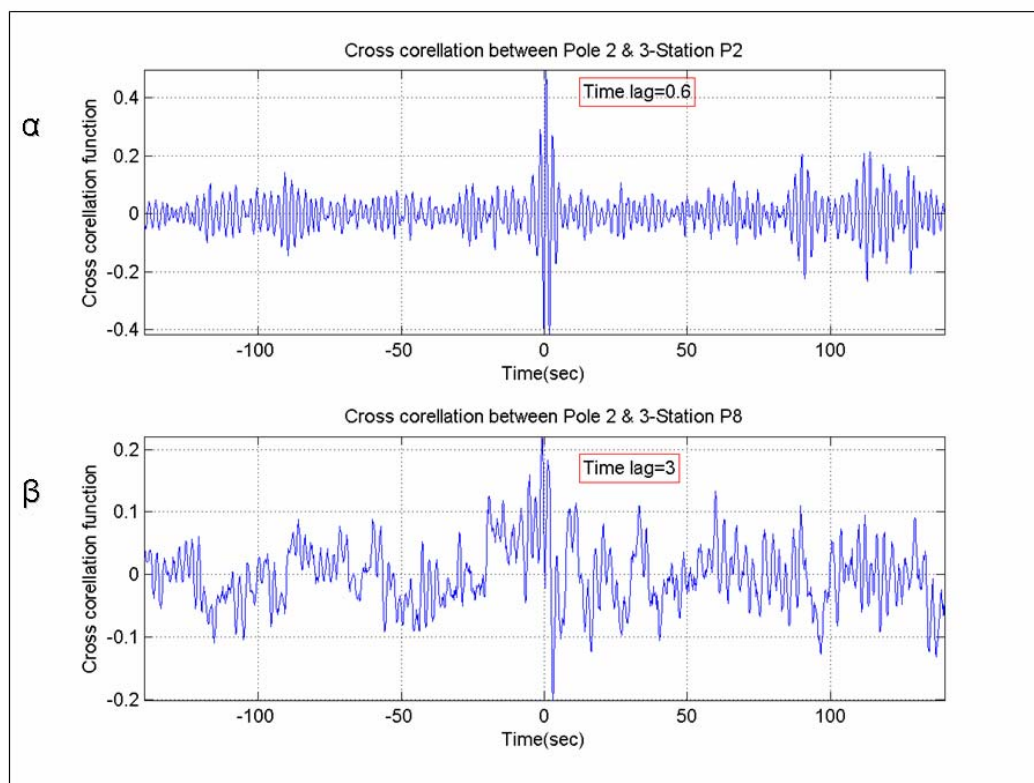
Πίνακας 8-3 Κυματικά χαρακτηριστικά για κάθε σταδία και σταθμό δειγματοληψίας

<i>Τοποθεσία</i>	<i>Μέσο βάθος</i>	<i>Μέση πε- ρίοδος</i>	<i>Μέγιστη περίοδος</i>	<i>Σημαντικό ύψος κύμα- τος</i>	<i>Rms ύψος κύματος</i>	<i>Μέσο ύψος κύματος</i>
Σταθμός P2 (1)	1.95	2.78	2.3	0.29	0.2	0.18
Σταθμός P2 (2)	2.15	2.66	2.5	0.29	0.2	0.18
Σταθμός P2 (3)	1.37	2.66	2.5	0.27	0.19	0.17
Σταθμός P8 (1)	1.27	3.56	34.2	0.21	0.15	0.13
Σταθμός P8 (2)	2.1	4.15	51.4	0.25	0.18	0.16
Σταθμός P8 (3)	0.98	3.54	2.7	0.22	0.15	0.14

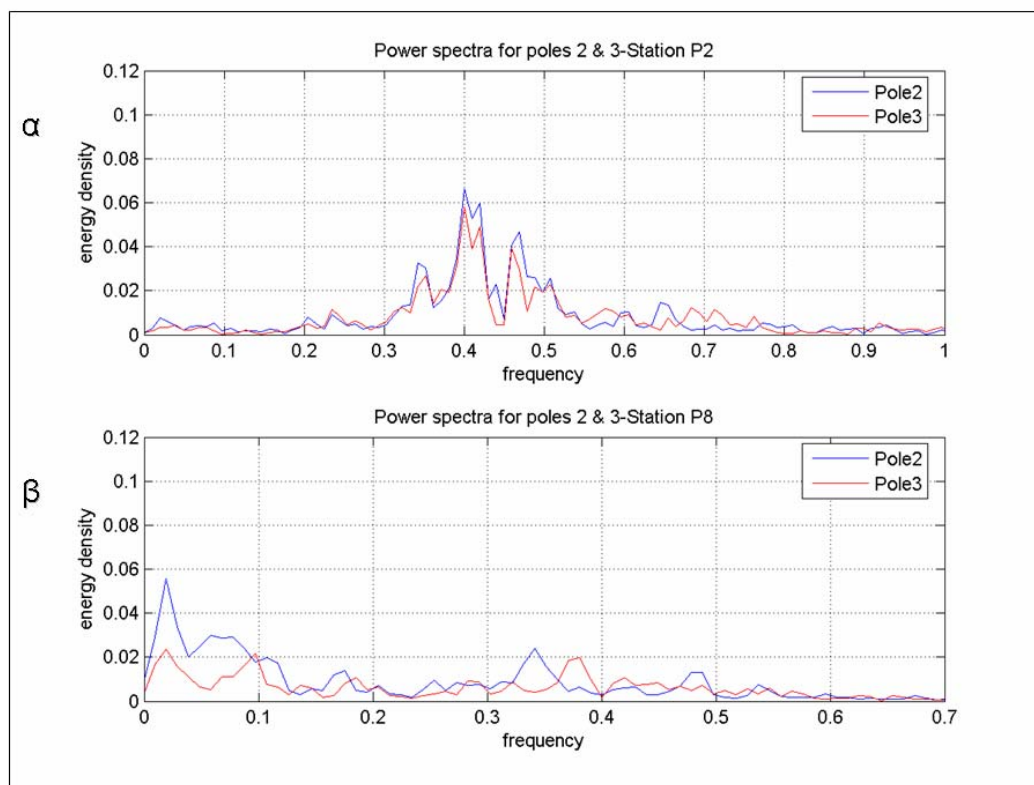
<i>Τοποθεσία</i>	<i>Κυματικός αριθμός</i>	<i>Μέγιστη ταχύτητα πυθμένα</i>	<i>Rms ταχύ- τητα πυθ- μένα</i>	<i>Μέση ταχύ- τητα πυθμέ- να</i>	<i>Γωνιακή ταχύτητα</i>	<i>Κλίση κυμα- τισμού</i>
Σταθμός P2 (1)	0.61	0.16	0.12	0.13	2.25	0.026
Σταθμός P2 (2)	0.64	0.17	0.117	0.11	2.35	0.027
Σταθμός P2 (3)	0.73	0.26	0.18	0.17	2.35	0.026
Σταθμός P8 (1)	0.53	0.30	0.21	0.16	1.75	0.012
Σταθμός P8 (2)	0.36	0.28	0.197	0.15	1.51	0.012
Σταθμός P8 (3)	0.60	0.29	0.20	0.2	1.77	0.014

Στον σταθμό P8 η συσχέτιση παίρνει μικρότερες τιμές και δεν εμφανίζει τόσο ξεκάθαρο μέγιστο σημείο, κάτι που σημαίνει ότι η δύναμεις που μεταβάλλουν την στάθμη σε κάθε πόλο, είναι αρκετά διαφοροποιημένες. Η διαφορά φάσης υπολογίζεται ίση με 3 sec (Σχήμα 8-12β) και η ταχύτητα προέλασης των κυματισμών περίπου ίση με 2 m/sec (απόσταση μεταξύ των δυο διαδοχικών σταδίων 2-3 ίση με 6 m). Η εκτίμηση αυτή όμως είναι αμφισβητήσιμη, μια και η συνάρτηση συσχέτισης παίρνει χαμηλές τιμές (<0.4) και δεν επιτρέπει τον υπολογισμό της διαφοράς φάσης με βεβαιότητα.



**Σχήμα 8-12** Συντελεστής συσχέτισης των χρονοσειρών των πόλων 2 και 3 για τις μετρήσεις στους σταθμούς P2 και P8. Σε κόκκινο πλαίσιο η διαφορά φάσης όπως προκύπτει από την θέση της μέγιστης τιμής.

Τα ενεργειακά φάσματα των κυματισμών υπολογίστηκαν με μετασχηματισμό Fourier και αποκαλύπτουν τις συχνότητες που περιέχουν την μεγαλύτερη ενέργεια. Τα φάσματα των σταδίων 2 και 3 (Σχήμα 8-13(α)) στον σταθμό P2 εμφανίζουν 2 σημαντικές κορυφές σε συχνότητες 0.4 και  $0.46 \text{ sec}^{-1}$ , που αντιστοιχούν σε περιόδους 2.5 και 2.17 sec. Η μεγαλύτερη ενέργεια συγκεντρώνεται σε περίοδο 2.5 sec και η αντίστοιχη κορυφή φαίνεται να εξασθενεί στην Σταδία 3, που βρίσκεται πιο κοντά στην ακτογραμμή. Από την άλλη, το φάσμα της Σταδίας 3 εμφανίζεται ενισχυμένο σε κάποιες μεγαλύτερες συχνότητες ( $0.58, 0.68-0.76 \text{ sec}^{-1}$ ), κάτι που σημαίνει ότι κατά την προέλαση/ρήχιση των κυματισμών, παρατηρείται μεταφορά ενέργειας από τις χαμηλές προς τις υψηλές συχνότητες. Οι τιμή της κύριας περιόδου του φάσματος (2.5 sec) είναι παρόμοια με αυτή που υπολογίζεται και από την φασματική ανάλυση των δεδομένων ( $\sim 2.7 \text{ sec}$ ), η οποία βασίζεται στην παραδοχή ότι οι κυματισμοί ακολουθούν κατανομή Rayleigh (Πίνακας 8-3).



**Σχήμα 8-13** Ανάλυση Fourier και σύγκριση των φασμάτων των χρονοσειρών στους πόλους 2 και 3 για τους σταθμούς P2 και P8.

Το φάσμα στον Σταθμό P8 (Σχήμα 8-13(β)) εμφανίζεται πιο ασθενές, με την περισσότερη ενέργεια συγκεντρωμένη σε χαμηλότερες συχνότητες, σε σύγκριση με τον ανατολικό σταθμό. Για την Σταδία 2 εμφανίζεται μια σημαντική κορυφή σε συχνότητα  $0.02 \text{ sec}^{-1}$  (περίοδος 50 sec), ενώ αρκετή ενέργεια συγκεντρώνεται στην περιοχή 0.05-0.09 (περίοδος 11-20 sec). Αυτές οι μεταβολές βρίσκονται στο εύρος των υποβαρυτικών κινήσεων, που θεωρούνται υπεύθυνες, κατα ένα μεγάλο ποσοστό, για την στερεομεταφορά στην ακτή (Komar, 1998). Τέλος παρατηρείται μια ακόμα κορυφή στην συχνότητα  $0.34 \text{ sec}^{-1}$  (περίοδο  $\sim 2.9 \text{ sec}$ ), η οποία εμφανίζεται μετατοπισμένη στην συχνότητα  $0.38 \text{ sec}^{-1}$  στο φάσμα της Σταδίας 3. Επιπλέον στην ρηχή Σταδία 3 οι χαμηλόσυχνες μεταβολές της στάθμης παρουσιάζονται εξασθενημένες και περιορίζονται σε δύο κορυφές στις συχνότητες  $0.02$  και  $0.095 \text{ sec}^{-1}$ , αντίστοιχα. Σε γενικές γραμμές η εξασθένηση της ενέργειας που παρατηρείται στην ρηχότερη σταδία είναι μεγαλύτερη στον δυτικό Σταθμό P8, κάτι που πιθανόν οφείλεται στην επίδραση του μετώπου των ΠΨ πάνω στους κυματισμούς. Η φασματική ανάλυση των δεδομένων (Πίνακας 8-3) δίνει τιμές μέσης περιόδου 4.15 και 3.54 sec για τις Σταδίες 2 και 3 α-

---

ντίστοιχα, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από αυτές των ενεργειακών φασμάτων. Κάτι τέτοιο θα μπορούσε να οφείλεται στο γεγονός ότι το φάσμα παρουσιάζει μορφή που δεν είναι τυπική για θαλάσσιους κυματισμούς και διαφέρει σημαντικά από την κατανομή Rayleigh (που αποτελεί βασική παραδοχή για την εξαγωγή των υπολογισμένων τιμών του Πίνακα 8-3).

### 8.3 Περίληψη και συμπεράσματα

Δυσδιάστατα υδροδυναμικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για την περιγραφή των κυματισμών και της κυκλοφορίας στον κόλπο των Βατερών, για τις πιο χαρακτηριστικές κυματικές συνθήκες (όπως αυτές υπολογίστηκαν από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων, βλέπε Κεφάλαιο 4.5). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για όλες τις κατευθύνσεις κυματισμών παρατηρείται στο ανατολικό τμήμα της ακτής, κυματογενή ρεύματα δυτικής κατεύθυνσης. Δεδομένου ότι σε αυτήν την περιοχή υπάρχουν οι κύριες χερσαίες πηγές ιζήματος, επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης των τάσεων των κοκκομετρικών παραμέτρων (βλέπε Κεφάλαιο 7.3), ότι δηλαδή το ιζηματικό υλικό από τα ανατολικά καταλήγει να τροφοδοτεί την κεντρική παραλία των Βατερών.

Επιπλέον δεδομένου ότι και στο δυτικό τμήμα της ακτής τα κυματογενή ρεύματα έχουν ανατολική κατεύθυνση, η περιοχή των ΠΨ αποτελεί ζώνη σύγκλισης των παράκτιων (παράλληλων στην ακτή) ατραπών ιζηματομεταφοράς και, συνεπώς, χώρο απόθεσης ιζήματος. Τα παραπάνω μπορούν να εξηγήσουν την ιδιόμορφη μορφοδυναμική συμπεριφορά και την αύξηση του όγκου ιζήματος στους Σταθμούς P2 και P8 που παρατηρήθηκε από την ανάλυση των τοπογραφικών αποτυπώσεων (βλέπε Κεφάλαιο 6).

Οι ΠΨ θα πρέπει να έχουν σχηματιστεί στην περιοχή που τα επίπεδα κυματικής ενέργειας δεν είναι υψηλά, ειδικά κατά την θερινή περίοδο. Η σχετική ηρεμία των παραλιακών αποθέσεων είναι πιθανόν να ευνοεί την συνεκτικοποίησή τους (Harris, 1978· Dravis, 1979), καθώς στα πιο ενεργητικά τμήματα της παραλίας δεν εμφανίζονται ΠΨ.

Οπτικές μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για την καταγραφή και ανάλυση των κυματισμών στους Σταθμούς P2 και P8. Οι κυματικές συνθήκες στον πρώτο σταθμό εμφανίζονται πιο έντονες, με σημαντικό ύψος κύματος της τάξης 0.27-0.29 m· η σύγκριση των συναρτήσεων συσχέτισης των σταδίων, έδειξε ότι η στάθμη της θάλασσας μεταβάλλεται με παρόμοιο τρόπο, με μια μικρή διαφορά φάσης της τάξης του 0-1 sec. Η φασματική ανάλυση των δεδομένων έδειξε ότι η επικρατέστερη περίοδος των κυματισμών κυμαίνεται σε τιμές περίπου ίσες με 2.5 sec. Η κυματική ενέργεια εμφανίζεται εξασθενημένη στην πιο ρηχή Σταδία 3, ενώ παρατηρείται και μικρή ενίσχυση των υψηλότε-

ρων συχνοτήτων. Γενικά από την ανάλυση δεν προκύπτει κάποιο απρόσμενο αποτέλεσμα, ή ιδιομορφία των δεδομένων.

Αντίθετα, οι χρονοσειρές από τον σταθμό P8 παρουσιάζουν μικρή συνοχή, με απότομες αλλαγές στα κυματικά χαρακτηριστικά μεταξύ της βαθιάς και της ρηχής σταδίας. Το ύψος των κυματισμών μειώνεται πιο έντονα, καθώς αυτοί πλησιάζουν στην ακτή (σημαντικό ύψος από 0.25 σε 0.21 m) και με ανάλογο τρόπο, το φάσμα της ρηχής σταδίας εμφανίζεται πολύ εξασθενημένο. Η εξασθένηση της προσπίπτουσας κυματικής ενέργειας, θα πρέπει να οφείλεται στην επίδραση πάνω στους κυματισμούς, του 'σκαλοπατιού' που σχηματίζουν οι ΠΨ. Από το ενεργειακό φάσμα των δεδομένων από τις βαθύτερες σταδίες, φαίνεται ότι η περισσότερη ενέργεια συγκεντρώνεται σε υποβαρυτικές κινήσεις και περιορίζεται σε τρεις διάσπαρτες κορυφές στην ρηχότερη Σταδία 3. Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την στατιστική μελέτη της συσχέτισης των χρονοσειρών από τις Σταδίες 2 και 3, προκύπτει η πολύ χαμηλή τιμή 0.2, ενδεικτική για τον έντονο μετασχηματισμό του κυματικού πεδίου από την μία σταδία στην άλλη.



## 9 Προσομοιώσεις μορφοδυναμικής παραλιών με ΠΨ

Η μελέτη των επιπτώσεων των παραλιακών ψαμιτών στην παράκτια μορφοδυναμική, ιδιαίτερα με την χρήση αριθμητικών μοντέλων, είναι ένα πρόβλημα που δεν έχει μελετηθεί επαρκώς στο παρελθόν. Μοναδικές σχετικές έρευνες μπορούν να θεωρηθούν αυτές των Larson and Krauss (1998) και Hanson and Militello (2005) πάνω στην προσομοίωση της παράκτιας μορφολογικής εξέλιξης, παρουσία ξηρού υποστρώματος. Λόγω της περίπλοκης φύσης του φαινομένου και τους γεγονότος ότι αυτό λαμβάνει χώρα κυρίως στην ζώνη αναρρίχησης, η συλλογή δεδομένων για την επαλήθευση και βαθμονόμηση των αριθμητικών μοντέλων, δεν είναι εύκολη. Επιπλέον η σημασία διεξαγωγής εργαστηριακών πειραμάτων αμφισβητείται, μια και σε δεξαμενές τεχνητών κυμάτων (wavetanks) τα ιζήματα βρίσκονται πάνω από μια αδιαπέραστη επιφάνεια, όπως στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ. Σε αυτήν την περίπτωση, περιορίζεται ο όγκος του πορώδους πυθμένα και 'παραλείπεται' η αλληλεπίδραση με τα υπόγεια νερά, που όπως έχει αποδειχτεί είναι σημαντικός παράγοντας στις φυσικές ακτές (Li et al, 2002· Masselink and Puleo, 2006).

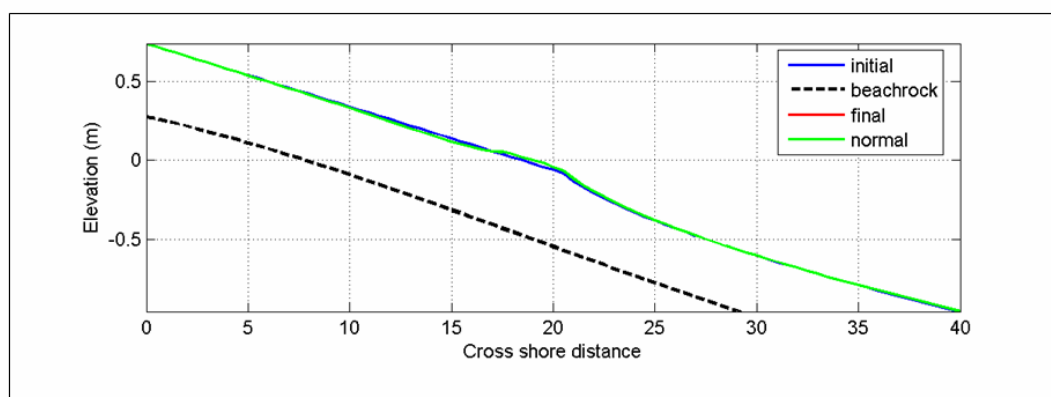
Όλα τα παραπάνω συνηγορούν στην χρήση των αριθμητικών μοντέλων ως εργαλείο για την ερμηνεία των μη γραμμικών αλληλεπιδράσεων υδροδυναμικής-ιζημάτων, όπως αυτές επηρεάζονται από την παρουσία των ΠΨ και την εξαγωγή συμπερασμάτων σε ποιοτικό, κυρίως, επίπεδο. Με βάση τα παραπάνω μελετάται η αντίδραση του προφίλ σε μια θύελλα διάρκειας 5 ωρών και συγκρίνονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, στην περίπτωση παρουσίας ή όχι, ΠΨ. Σε όλες τις περιπτώσεις που αναφέρονται σε αυτήν την ενότητα οι υπολογισμοί λαμβάνουν χώρα σε έναν γραμμικό κάρναβο με χωρικό βήμα  $dx=0.5$  m, κατά μήκος μιας κάθετης στην ακτή τομής, ώστε να εκτιμηθούν οι μορφολογικές μεταβολές του παραλιακού προφίλ. Οι κυματικές παράμετροι στα βαθιά νερά (που εισάγονται στο μοντέλο (input)) θεωρούνται σταθεροί κατά την διάρκεια των υπολογισμών.

### 9.1 Αποτελέσματα μοντέλου *Bussinesq*

Η περίπτωση που εξετάζεται αρχικά είναι αυτή ενός τυπικού προφίλ ισορροπίας για τον ελλαδικό χώρο, με τιμές συντελεστή  $A=0.13$  και  $m=2/3$  (Σχήμα 9-2α). Η τιμή του συντελεστή  $A$  αντιστοιχεί σε ίζημα μέσου μεγέθους  $\approx 0.3$  mm. Οι ΠΨ αρχικά θεωρούνται θαμμένοι κάτω από ένα στρώμα άμμου (πάχος 0.1 έως 1 m), έχουν κλίση πιο ήπια από αυτή του μετώπου της ακτής και στάθμη μεταξύ -1 και 0.5 m.

Η κατάσταση που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει το καλοκαιρινό προφίλ μιας παραλίας στην οποία μόλις σχηματίστηκαν ΠΨ. Σκοπός της προσομοίωσης είναι να περιγράψει τις επιπτώσεις της δημιουργίας των ΠΨ στην μορφοδυναμική συμπεριφορά μιας τυπικής ακτής, κάτω από διαφορετικές κυματικές συνθήκες.

Για την προσομοίωση της μορφολογικής μεταβολής του προφίλ χρησιμοποιήθηκαν αρχικά κυματισμοί ύψους 0.5 m και περιόδου 3 sec και η διάρκεια της προσομοίωσης ήταν τόση ώστε να σταθεροποιηθεί το προφίλ στην τελική του μορφή (μερικές ώρες). Το αποτέλεσμα της προσομοίωσης (Σχήμα 9-1) δείχνει ότι η μεταβολή της βυθομετρίας σε τέτοιους ήπιους κυματισμούς είναι πολύ μικρή, καθώς παρατηρείται ανεπαίσθητη διάβρωση στο μέτωπο της ακτής. Επιπλέον, σύμφωνα με το μοντέλο, το τελικό προφίλ δεν διαφέρει για τις περιπτώσεις παρουσίας ή μη των ΠΨ.

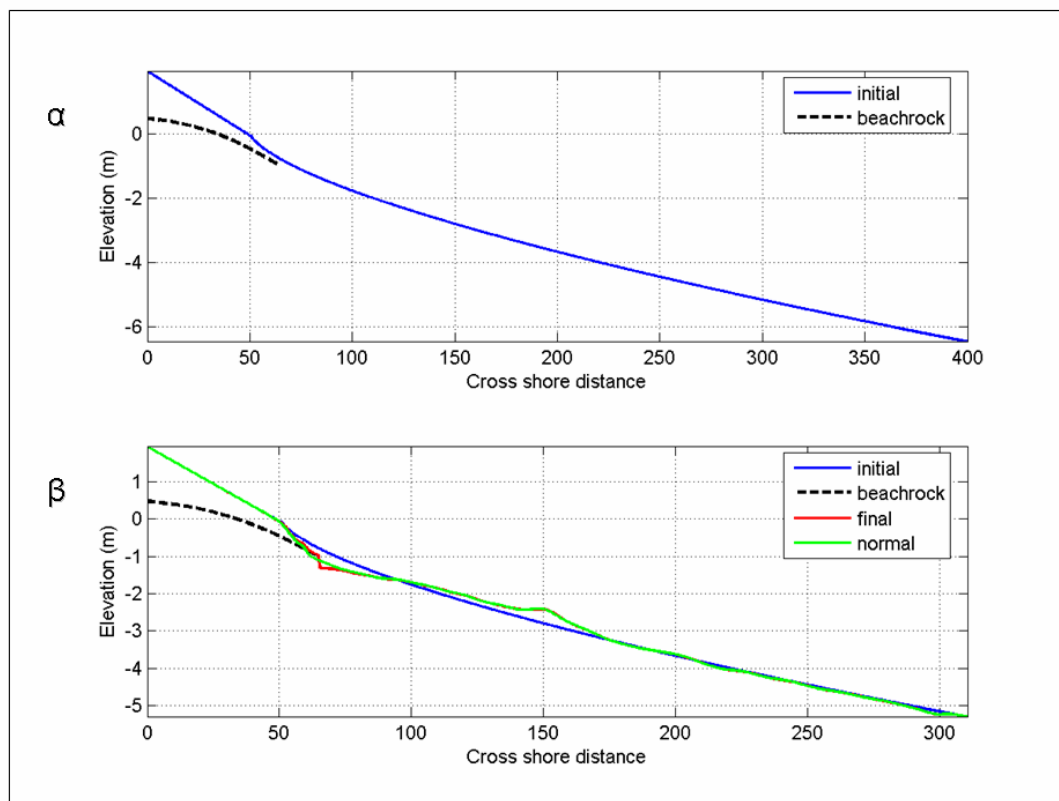


**Σχήμα 9-1** Αποτέλεσμα της προσομοίωσης της μορφολογικής μεταβολής μιας τυπικής ελληνικής ακτής για κυματισμούς ύψους 0.5 m και περιόδου 3 sec.

Για την προσομοίωση της μορφολογικής μεταβολής του προφίλ παρουσία έντονων (αλλά όχι ασυνήθιστων) κυματικών συνθηκών, χρησιμοποιήθηκαν κυματισμοί ύψους 1.5 m και περιόδου 6 sec.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του μοντέλου δείχνει ότι για την περίπτωση 'φυσιολογικής παραλίας' (Σχήμα 9-2β), παρατηρείται διάβρωση του μετώπου της παραλίας και δημιουργία ενός υποθαλάσσιου αναβαθμού, σε βάθος περίπου 2.5 m. Στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ, η παραλία φαίνεται να προστατεύεται από την διάβρωση στην περιοχή των σχηματισμών, αλλά στο υποθαλάσσιο όριο τους έχουμε τον σχηματισμό ενός 'σκαλοπατιού' ύψους περίπου 0.5 m. Ένα ενδιαφέρον συμπέρασμα είναι ότι αν και στην περίπτωση της παρουσίας των ΠΨ, η διάβρωση φαίνεται να είναι γενικά α-

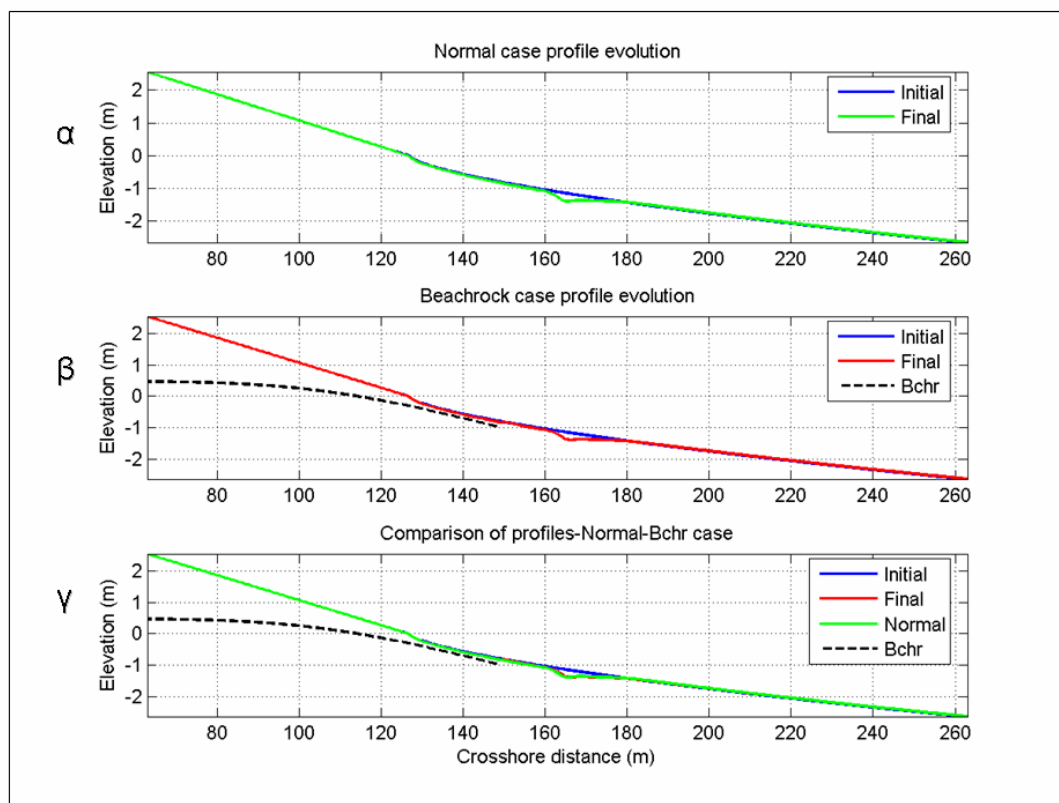
σθενέστερη, την ίδια στιγμή παρατηρείται, τοπικά στο σκαλοπάτι, η μέγιστη διάβρωση του πυθμένα.



**Σχήμα 9-2** Αρχικό προφίλ που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της μορφολογικής μεταβολής μιας τυπικής ελληνικής ακτής (α), καθώς και το αποτέλεσμα της προσομοίωσης για κυματισμούς ύψους 1.5 m και περιόδου 6 sec (β).

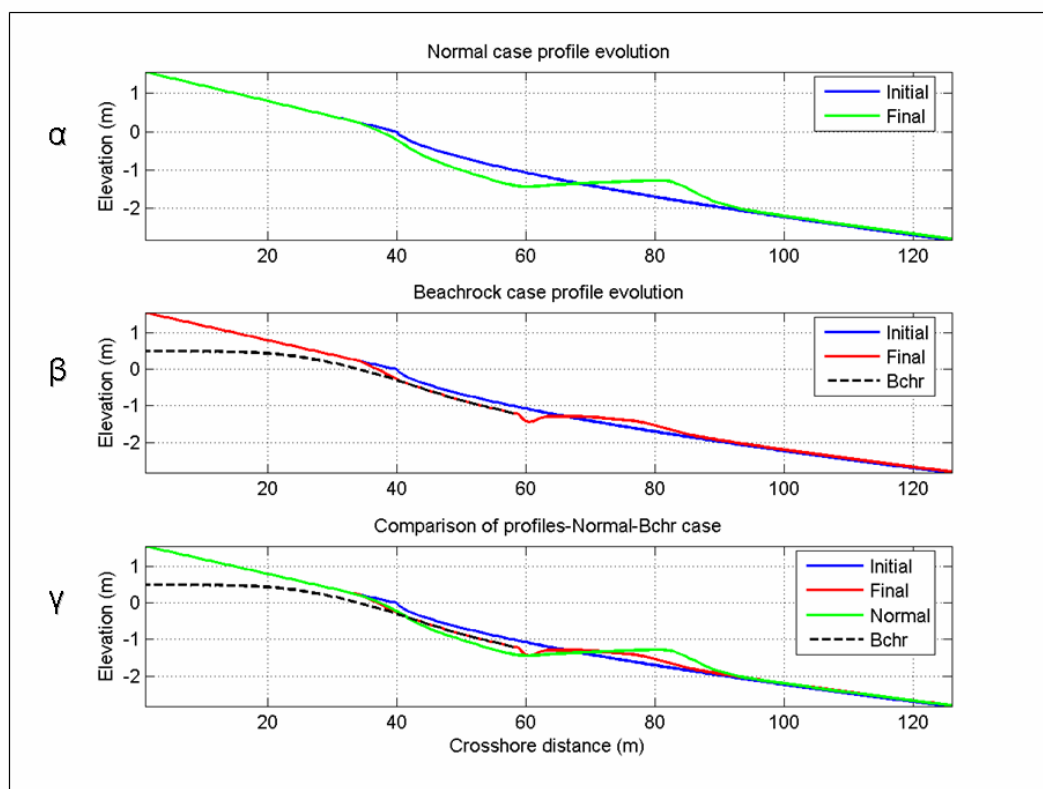
Στην συνέχεια το μοντέλο μορφοδυναμικής εξέλιξης παραλιακού προφίλ χρησιμοποιήθηκε για να διερευνηθούν τρεις επιπλέον περιπτώσεις ακτών με μέσο μέγεθος ίζημάτων ίσο με  $d_{50}=0.2, 0.4$  και  $0.6$  mm. Το σχήμα του αρχικού προφίλ υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο του Dean (1977) (βλέπε σχετικό κεφάλαιο 3.3.1), ενώ πάνω από την στάθμη της θάλασσας θεωρήθηκε ότι το προφίλ έχει σταθερή κλίση ίση με  $1/20$ . Οι ΠΨ, σε αναλογία με τις προηγούμενες περιπτώσεις, βρίσκονταν αρχικά θαμμένοι κάτω από ένα στρώμα άμμου πάχους 20 cm και οι επερχόμενοι κυματισμοί είχαν ύψος και περίοδο 1 m και 4 sec αντίστοιχα. Σκοπός των αριθμητικών πειραμάτων ήταν να διερευνηθεί η ύπαρξη τυχόν διαφορών στην απόκριση σε σχετικά έντονους κυματισμούς, ακτών με παρουσία ή χωρίς ΠΨ, για τρεις περιπτώσεις διαφορετι-

κής κοκκομετρίας. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι υπολογισμοί και στις τρεις περιπτώσεις είχαν την ίδια διάρκεια, περίπου 6 ώρες.



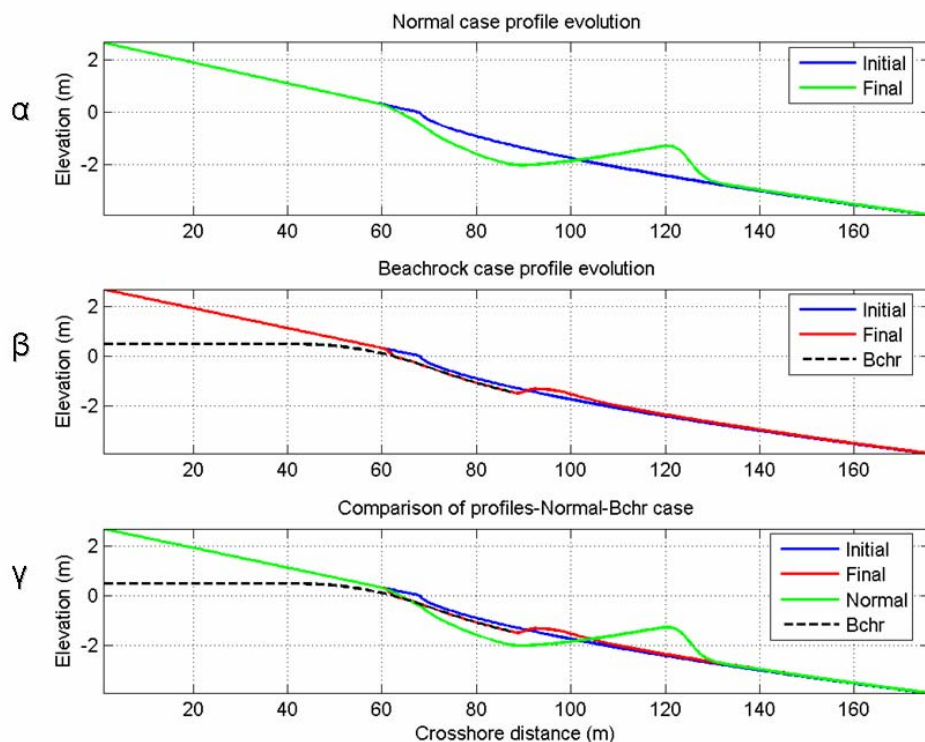
**Σχήμα 9-3** Αποτελέσματα μορφοδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ύψους  $H=1$  m και περιόδου  $T=4$  sec για την περίπτωση ακτής με μέσο μέγεθος ιζήματος  $d_{50}=0.2$  mm, χωρίς παρουσία ΠΨ (α), με παρουσία ΠΨ (β) και σύγκριση των δύο περιπτώσεων (γ). Οι υπολογισμοί διαρκούν περίπου 6 ώρες.

Στην πρώτη περίπτωση ( $d_{50}=0.2$  mm) (βλέπε Σχήμα 9-3) το αρχικό προφίλ έχει και την πιο ήπια κλίση, με αποτέλεσμα η θραύση να λαμβάνει χώρα πριν την περιοχή των ΠΨ. Ο χρόνος που διαρκούν οι υπολογισμοί δεν επαρκεί για να αποκαλυφθούν οι σχηματισμοί, ώστε οι τελευταίοι να επηρεάσουν την μορφοδυναμική συμπεριφορά της ακτής και το αποτέλεσμα του μοντέλου παραμένει σταθερό ανεξάρτητα αν υφίστανται ή όχι ΠΨ. Παρατηρείται λοιπόν και στις δύο περιπτώσεις υποσκαφή του πυθμένα σε βάθη μεγαλύτερα από 1 m και εναπόθεση του ιζήματος στην ανάντη περιοχή. Από την άλλη πλευρά προκύπτει εύλογα ο συλλογισμός ότι μικρότερα κύματα (των οποίων η εμφάνιση είναι και συχνότερη) θα αποκάλυπταν τους λιθοποιημένους σχηματισμούς, ενώ η περίπτωση κυματισμών που μελετάται, μέσω της απομάκρυνσης ποσότητας ιζημάτων, είναι πολύ πιθανόν απλά να προετοιμάζει την δημιουργία μεγαλύτερου σκαλοπατιού υποσκαφής, στην περίπτωση ηπιότερων κυματικών συνθηκών.



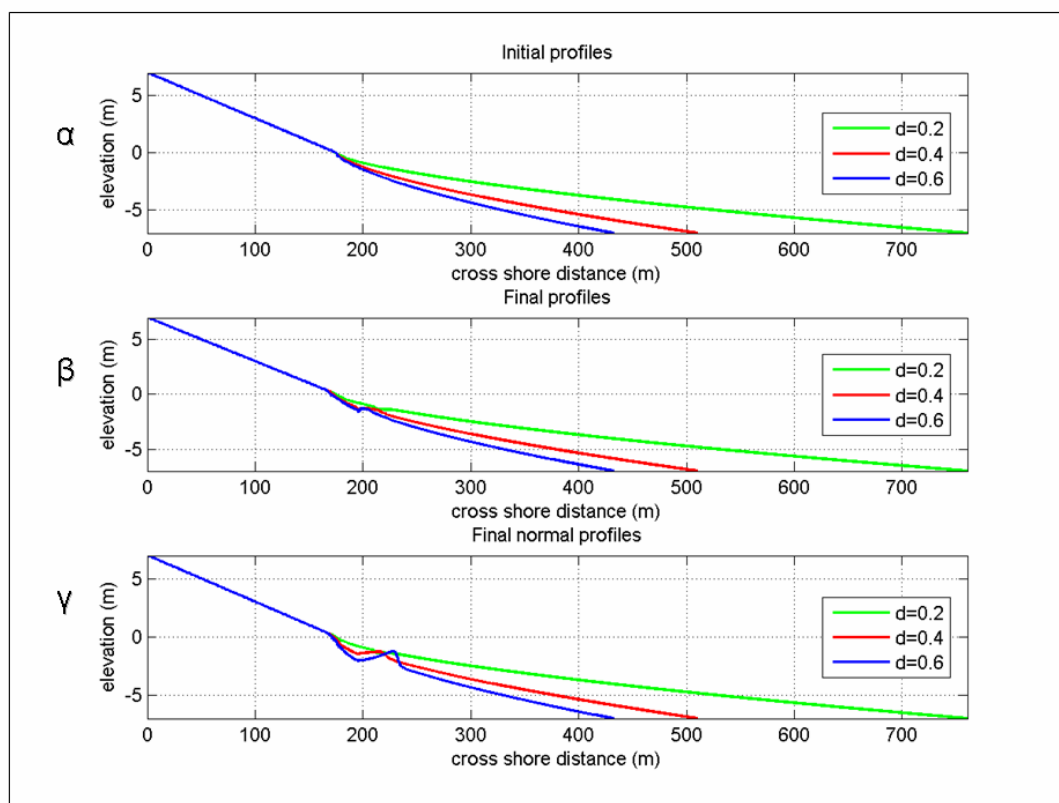
**Σχήμα 9-4** Αποτελέσματα μορφοδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ύψους  $H=1$  m και περιόδου  $T=4$  sec για την περίπτωση ακτής με μέσο μέγεθος ιζήματος  $d_{50}=0.4$  mm, χωρίς παρουσία ΠΨ (α), με παρουσία ΠΨ (β) και σύγκριση των δύο περιπτώσεων (γ). Οι υπολογισμοί διαρκούν περίπου 6 ώρες.

Στην περίπτωση παραλιακής ζώνης με μέσο μέγεθος  $d_{50}=0.4$  mm παρατηρείται διάβρωση του μετώπου και ο σχηματισμός υποθαλάσσιου αναβαθμού (βλέπε Σχήμα 9-4). Υπό την παρουσία ΠΨ η μεταβολή της βαθυμετρίας εμφανίζεται μειωμένη, καθώς περιορίζεται από τις εμφανίσεις, στο υποθαλάσσιο όριο των οποίων εμφανίζεται και πάλι υποσκαφή και έντονη υψομετρική διαφορά. Η επιφάνεια των ΠΨ φαίνεται να 'προστατεύει' το προφίλ, καθώς μεγάλο τμήμα της αποκαλύπτεται μετά το πέρας του χρόνου και το υποθαλάσσιο ύβωμα εμφανίζεται μικρότερο λόγω της μειωμένης ποσότητας διαθέσιμου υλικού στον πυθμένα. Σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση, η πιο απότομη κλίση του πυθμένα, συντελεί στο να γίνεται η θραύση στο όριο των εμφανίσεων, με αποτέλεσμα και τον σχηματισμό υποσκαφής. Μικρότεροι κυματισμοί πιθανότατα θα θραύονται πάνω στους ΠΨ, με αποτέλεσμα οι τελευταίοι να προστατεύουν την ακτή, όπως στην περίπτωση που αναφέρεται παρακάτω (βλέπε Σχήμα 9-9).



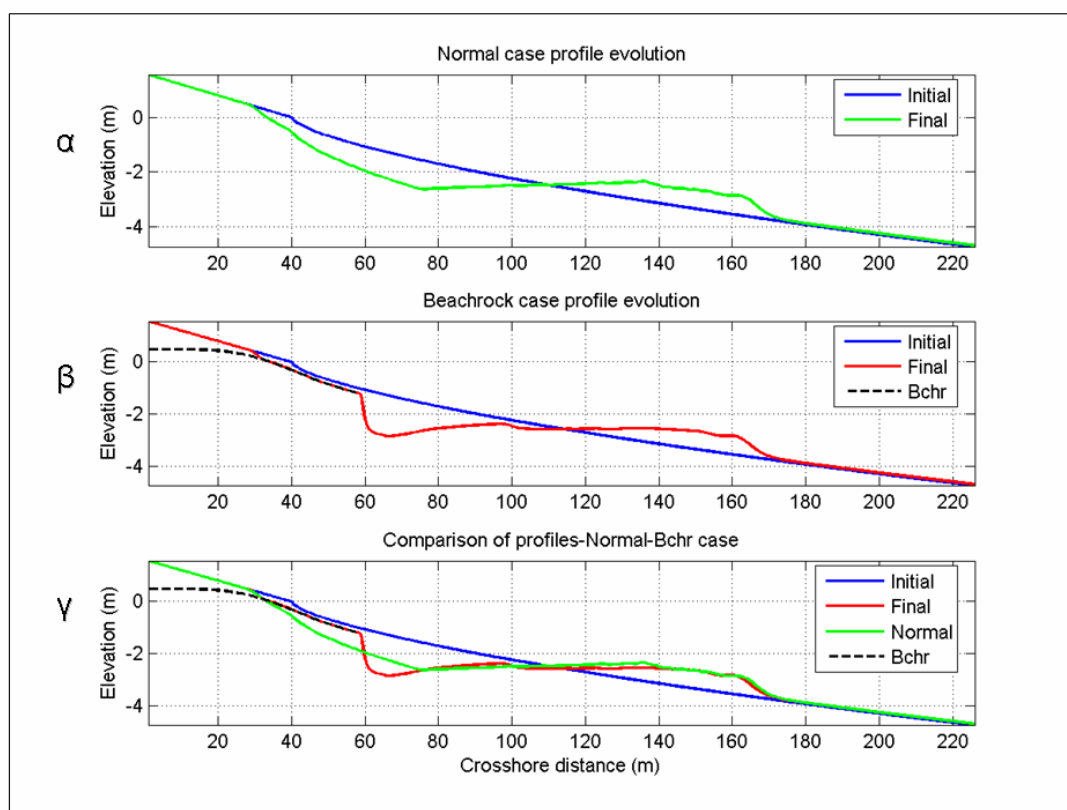
**Σχήμα 9-5** Αποτελέσματα μορφοδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ύψους  $H=1$  m και περιόδου  $T=4$  sec για την περίπτωση ακτής με μέσο μέγεθος ιζήματος  $d_{50}=0.6$  mm, χωρίς παρουσία ΠΨ (α), με παρουσία ΠΨ (β) και σύγκριση των δύο περιπτώσεων (γ). Οι υπολογισμοί διαρκούν περίπου 6 ώρες.

Για την περίπτωση παραλίας με μέσο μέγεθος  $d_{50}=0.6$  mm (βλέπε Σχήμα 9-5) και χωρίς την παρουσία ΠΨ εμφανίζεται και πάλι διάβρωση του μετώπου και πιο έντονες μεταβολές (υποσκαφή και απόθεση), καθώς η αυξημένη κλίση συντελεί στο να συγκεντρώνεται η ενέργεια της θραύσης σε πιο μικρό τμήμα του προφίλ. Στην περίπτωση παρουσίας των ΠΨ έχουμε αποκάλυψη των σχηματισμών οι οποίοι στην συνέχεια απορροφούν σημαντικό μέρος της κυματικής ενέργειας (βλέπε σχόλιο για μικρότερους κυματισμούς στην προηγούμενη παράγραφο). Έτσι για τις συγκεκριμένες συνθήκες και τον χρόνο που διήρκεσαν οι υπολογισμοί δεν παρατηρείται σχηματισμός υποθαλάσσιου υβώματος, ενώ και πάλι η μεταβολή της βαθυμετρίας εμφανίζεται μειωμένη.



**Σχήμα 9-6** Αποτελέσματα μορφοδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ύψους  $H=1$  m και περιόδου  $T=4$  sec για τις τρεις περιπτώσεις ακτών με διαφορετικό μέσο μέγεθος ιζήματος  $d_{50}=0.2$  mm. (α) αρχικό προφίλ, (β) τελικό στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ και (γ) χωρίς παρουσία ΠΨ. Οι υπολογισμοί διαρκούν περίπου 6 ώρες.

Από την σύγκριση των τριών περιπτώσεων (βλέπε Σχήμα 9-6) φαίνεται ότι α) καθώς επιτείνεται η ‘συγκέντρωση’ της κυματικής ενέργειας, λόγω αυξημένης κλίσης του πυθμένα (μικρότερη ζώνη θραύσης-λιγότερο απορροφητική παραλία-μεγαλύτερο κατώφλι κίνησης) οι μεταβολές του προφίλ γίνονται πιο έντονες χωρικά και σε μικρότερο χρονικό διάστημα, β) στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ η μεταβολή της βαθυμετρίας εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη και γ) σύμφωνα με το μορφοδυναμικό μοντέλο ο σχηματισμός του ‘σκαλοπατιού υποσκαφής’ είναι αποτέλεσμα της θραύσης των κυματισμών κοντά στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων και συνεπώς προκύπτει για κυματισμούς με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. ύψος, περίοδος) σε κάθε προφίλ. Μικρότεροι κυματισμοί αποσβένονται πάνω στην σκληρή επιφάνεια των ΠΨ, ενώ οι μεγαλύτεροι οδηγούν σε μορφολογικές μεταβολές που δεν διαφέρουν από παραλίες χωρίς την παρουσία λιθοποιημένων σχηματισμών..



**Σχήμα 9-7** Αποτελέσματα μορφοδυναμικού μοντέλου για κυματισμούς ύψους  $H=3.5$  m και περιόδου  $T=8$  sec για την περίπτωση ακτής με μέσο μέγεθος ιζήματος  $d_{50}=0.4$  mm, χωρίς παρουσία ΠΨ (α), με παρουσία ΠΨ (β) και σύγκριση των δύο περιπτώσεων (γ).

Τέλος, το μορφοδυναμικό μοντέλο εφαρμόστηκε και για μια ακραία περίπτωση κυματισμών ( $H=3.5$  και  $T=8$ ) με αρχικό προφίλ ισορροπίας για ιζήματα μέσου μεγέθους  $d_{50}=0.4$  mm (βλέπε Σχήμα 9-7). Τέτοιοι κυματισμοί μπορεί να εμφανιστούν στην περιοχή των Βατερών και είναι σε θέση να σχηματίσουν υποθαλάσσιο ύβωμα σε βάθος  $\approx 3.5$  m, όπως προκύπτει από τα τοπογραφικά δεδομένα (βλέπε σχετικό κεφάλαιο 6). Οι υπολογισμοί διαρκούν περισσότερο χρόνο από τις προηγούμενες περιπτώσεις και σταματούν όταν επέρχεται μια κατάσταση ισορροπίας. Από τα αποτελέσματα του μοντέλου φαίνεται ότι σχηματίζεται ένα υποθαλάσσιο ύβωμα, ενώ στο μέτωπο της παραλίας εμφανίζεται διάβρωση και αύξηση της κλίσης. Είναι ενδιαφέρον ότι η θέση και το σχήμα του υβώματος δεν διαφέρει σημαντικά, από αυτό που εμφανίζεται στην παραλία των Βατερών (βλέπε σχετικό κεφάλαιο 6), ενώ στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ παρατηρείται σχηματισμός ‘σκαλοπατιού’ ύψους  $\approx 1$  m. Γενικά το τελικό σχήμα του προφίλ, παρόλο που προκύπτει από μια μόνο ακραία περίπτωση κυματισμών εμφανίζει σημαντικές ομοιότητες με τις τομές που αποτυπώθηκαν στο πεδίο.



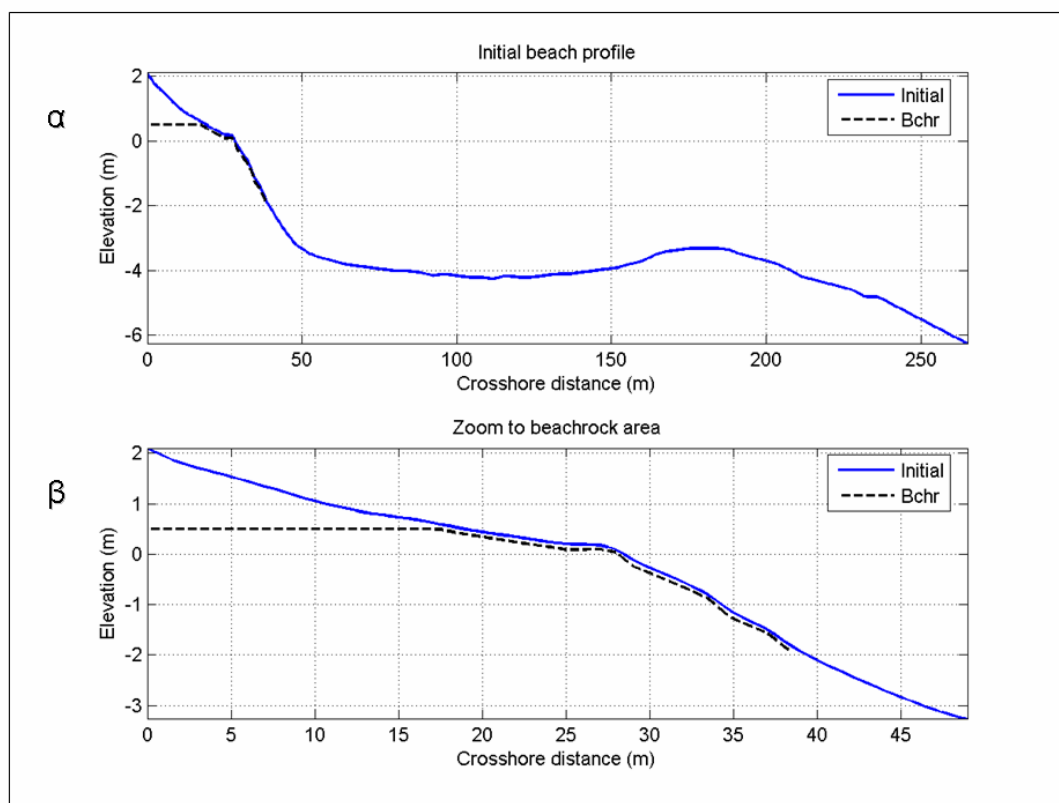
## 9.2 Αποτελέσματα μοντέλου ενεργητικής προσέγγισης

Το μορφοδυναμικό μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη της μορφοδυναμικής συμπεριφοράς μιας ακτής σε κατάσταση παραπλήσια με αυτή των Βατερών. Η μορφολογία της επηρεάζεται έντονα από τους ΠΨ, με τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της να είναι η μεγάλη κλίση του μετώπου και οι μικρές ποσότητες διαθέσιμου ιζήματος. Σκοπός της προσομοίωσης είναι να περιγραφεί η απόκριση μιας τέτοιας ακτής σε διαφορετικές κυματικές συνθήκες, εξετάζοντας δύο περιπτώσεις με ή χωρίς παρουσία ΠΨ.

Η αρχική βαθυμετρία που χρησιμοποιήθηκε, βασίστηκε στο καλοκαιρινό προφίλ του σταθμού P2 (Σεπτέμβριος 2005) στο οποίο δεν υπάρχει σκαλοπάτι υποσκαφής και οι ΠΨ εμφανίζονται μόνο σε μια ζώνη μήκους περίπου 2 m κατά μήκος της τομής, κοντά στην ζώνη θραύσης. Οι σχηματισμοί θεωρούνται αρχικά θαμμένοι 10 cm κάτω από τον πυθμένα, με υποθαλάσσιο όριο το σημείο βάθους 2 m, ακολουθώντας το σχήμα του προφίλ, μέχρι ύψος 0.5 m πάνω από την στάθμη της θάλασσας, όπου συνεχίζουν παράλληλα στο οριζόντιο επίπεδο (βλέπε Σχήμα 9-8). Οι προσομοιώσεις έγιναν για δύο διαφορετικές περιπτώσεις κυματισμών, ήπιων και αρκετά έντονων, που βασίστηκαν στα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής (βλέπε κεφάλαια 4.4 και 5.2.4) με τα εξής χαρακτηριστικά στην ανοικτή θάλασσα:

- Κυματισμοί μέτριας έντασης:  $H_0=0.5$  m και  $T=4$  sec
- Κυματισμοί μεγάλης έντασης:  $H_0=2$  m and  $T=8$  sec

Η διάρκεια της προσομοίωσης ήταν 5 ώρες και το μέσο μέγεθος του ιζήματος 0.5 mm.

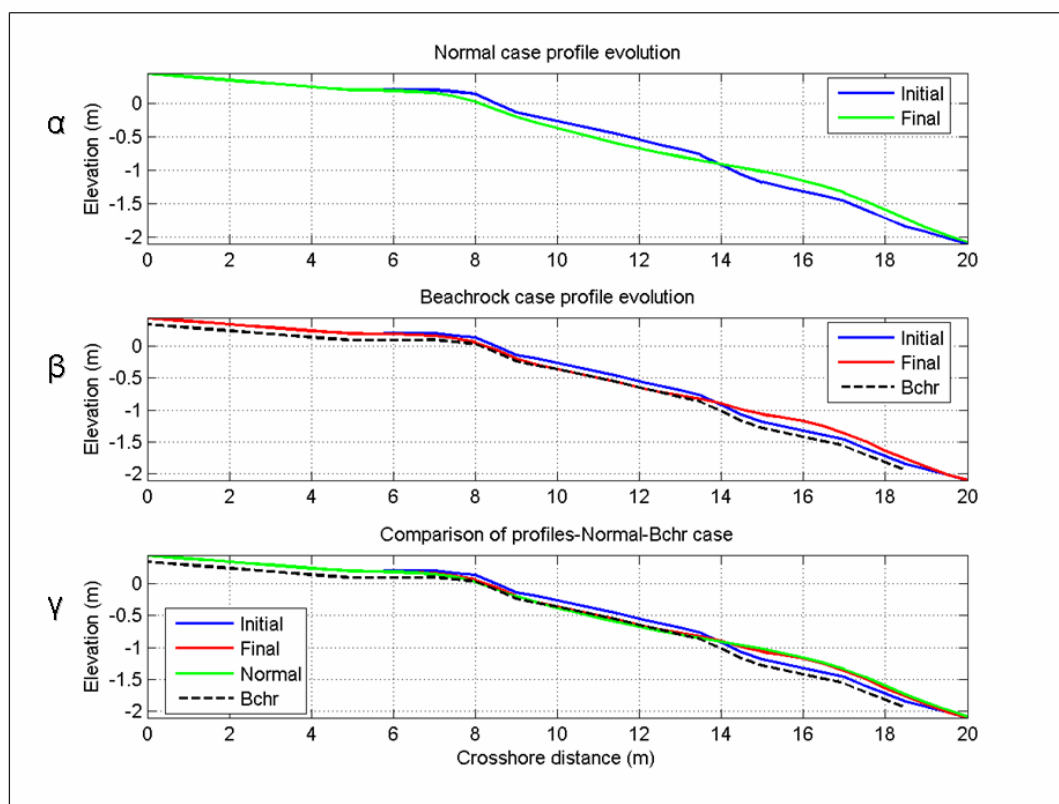


**Σχήμα 9-8** Αρχική βαθυμετρία που χρησιμοποιήθηκε στις αριθμητικές προσομοιώσεις (α). Διακρίνεται η περιοχή με τους ΠΨ (μαύρη γραμμή), οι οποίοι βρίσκονται κάτω από ένα στρώμα άμμου πάχους 10 cm (β).

Η μεταβολή του παραλιακού προφίλ, όπως υπολογίζεται από το μορφοδυναμικό μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης, στην περίπτωση μικρής έντασης κυματισμών, περιορίζεται στην περιοχή με βάθη μικρότερα από 2 m (Σχήμα 9-9). Στην περίπτωση μη παρουσίας ΠΨ παρατηρείται διάβρωση του μετώπου και απόθεση ιζήματος βαθύτερα, που οδηγεί στον σχηματισμό υποθαλάσσιου αναβαθμού (Σχήμα 9-9α). Στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ (Σχήμα 9-9β) η τελική βυθομετρία είναι παρόμοια και η υποχώρηση της ακτογραμμής είναι ελάχιστα μικρότερη, μια και οριοθετείται από τους σχηματισμούς, που αποκαλύπτονται στην ζώνη αναρρίχησης (στάθμη από περίπου  $\approx 0.5$  m έως περίπου  $\approx -1$  m). Λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης ποσότητας άμμου, το υποθαλάσσιο ύβωμα είναι ελαφρά μικρότερο (Σχήμα 9-9γ), ενώ στο μέτωπο της παραλίας παρατηρείται μικρότερη διάβρωση.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι, για μικρής έντασης κυματισμούς, η παρουσία ΠΨ περιορίζει ελαφρά την διάβρωση της παραλιακής ζώνης, με μοναδικό άμεσο αντίτιμο την έκθεση των σχηματισμών στο υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ μήκους 4 m (κοινά στην ζώνη θραύσης). Η σύγκριση της μορφολογικής μεταβολής για τις περιπτώ-

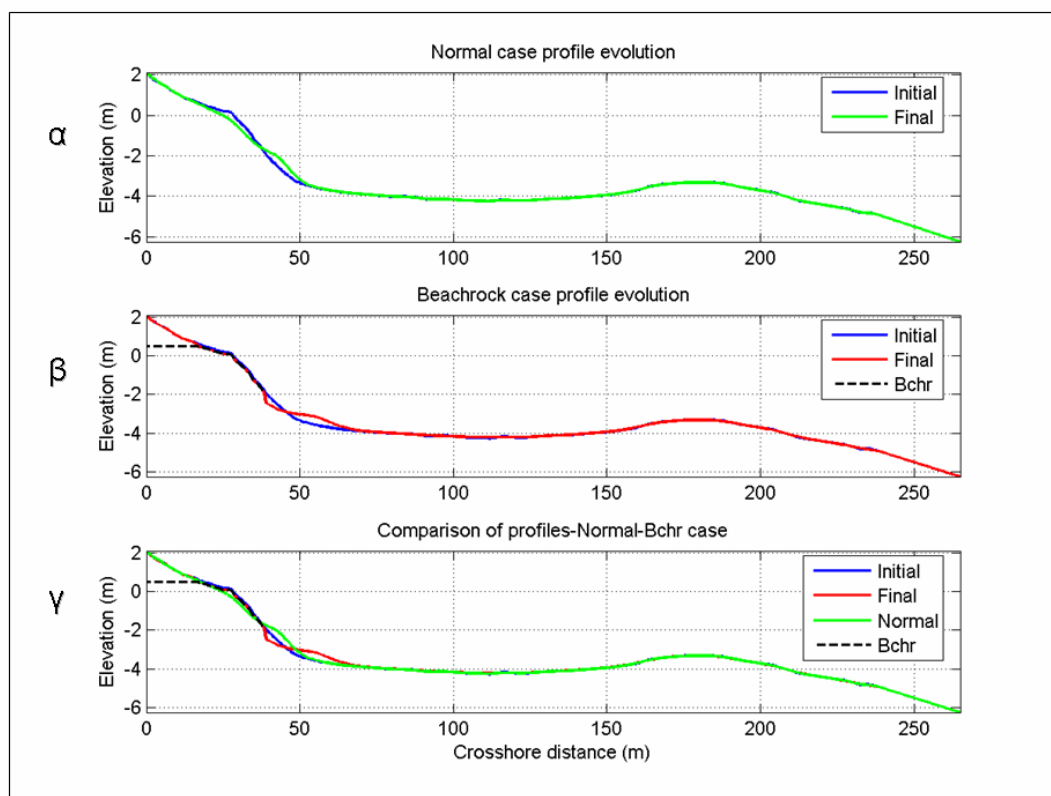
σεις παρουσίας ή μη ΠΨ, δείχνει ότι η απόκριση της ακτής είναι μεν διαφορετική, αλλά όχι σε σημαντικό βαθμό.



**Σχήμα 9-9** Παραλιακό προφίλ όπως υπολογίζεται από το μορφοδυναμικό μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης α) στην περίπτωση αμμώδους ακτής, β) με παρουσία ΠΨ και γ) η μεταξύ τους σύγκριση, μετά το πέρας 5 ωρών, με κυματισμούς μέσου ύψους  $H_0=0.5$  m και μέσης περιόδου  $T=4$  sec και μέσο μέγεθος ιζήματος  $0.5$  mm.

Στην περίπτωση έντονων κυματικών συνθηκών, το τελικό προφίλ που υπολογίζεται από το μοντέλο είναι σημαντικά διαφοροποιημένο, με παρουσία ή όχι ΠΨ. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η θραύση λαμβάνει χώρα στην αμμώδη περιοχή βαθύτερα των σχηματισμών, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται μεγάλες διακυμάνσεις στον ρυθμό στερεοπαροχής, λόγω της ασυνεχούς τροφοδοσίας του πυθμένα με ίζημα. Στην περίπτωση της παραδοχής αμμώδους πυθμένα (Σχήμα 9-10α), εμφανίζεται και πάλι διάβρωση του μετώπου, αρκετά πιο έντονη σε σχέση με τις προηγούμενες κυματικές συνθήκες (βλέπε Σχήμα 9-9), που συνοδεύεται από απόθεση υλικού σε βάθη 2-3 m και την δημιουργία υβώματος. Επιπλέον φαίνεται ότι επηρεάζεται ελαφρά από τους κυματισμούς και ο μεγάλος υποθαλάσσιος αναβαθμός, σε απόσταση 180 m από την ακτή. Με την παρουσία των ΠΨ η μορφολογική μεταβολή εμφανίζεται σημαντικά διαφοροποιημένη, με κύριο στοιχείο τον σχηματισμό «σκαλοπατιού», από υποσκαφή του αμμώδους τμήματος, στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων. Σε εκείνο το ση-

μείο συμβαίνει μετάβαση από αμμώδες σε σκληρό υπόστρωμα, που συνεπάγεται διακοπή της παροχής ιζήματος, η οποία με την σειρά της προκαλεί μεγάλες διαφορές στους ρυθμούς στερεομεταφοράς. Οι ποσότητες άμμου που απομακρύνονται κατά τον σχηματισμό του σκαλοπατιού, αλλά και την αποκάλυψη των ΠΨ στις ζώνες θραύσης και αναρρίχησης, μεταφέρονται κυρίως στον ύφαλο και στην περιοχή που παρεμβάλλεται μεταξύ αυτού και των ΠΨ.



**Σχήμα 9-10** Παραλιακό προφίλ όπως υπολογίζεται από το μορφοδυναμικό μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης α) στην περίπτωση αμμώδους ακτής, β) με παρουσία ΠΨ και γ) η μεταξύ τους σύγκριση, μετά το πέρας μιας θύελλας 5 ωρών, με κυματισμούς μέσου ύψους  $H_0=2$  m και μέσης περιόδου  $T=8$  sec και μέσο μέγεθος ιζήματος 0.5 mm.

### 9.3 Περίληψη και σχόλια

Με την χρήση μοντέλων μορφολογικής εξέλιξης παραλιακού προφίλ εξετάστηκαν διάφορες περιπτώσεις ακτών και κυματικών συνθηκών. Το μοντέλο Bussinesq έδειξε ότι σε μια τυπική ελληνική ακτή ο σχηματισμός ΠΨ μπορεί να προκαλέσει έντονα διαφοροποιημένη συμπεριφορά, κάτω από την επίδραση κυματισμών που χαρακτηρίζονται έντονοι, αλλά όχι εξαιρετικά ακραίοι. Η ταχεία υποσκαφή του πυθμένα στο υποθαλάσσιο όριο των ΠΨ, αποτελεί ένδειξη ότι οι τελευταίοι, από την στιγμή που δημιουργούνται, αποτελούν πλέον βασική παράμετρο που διαμορφώνει την μορφολογική εξέλιξη της παραλιακής ζώνης.

Από την εφαρμογή του μορφοδυναμικού μοντέλου για περιπτώσεις ακτών με διαφορετικό μέσο μέγεθος ιζημάτων και αρχικό προφίλ, φάνηκε ότι ο σχηματισμός του σκαλοπατιού προκύπτει όταν η θραύση λαμβάνει χώρα κοντά στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων των λιθοποιημένων σχηματισμών και συνεπώς προκύπτει για συγκεκριμένους κυματισμούς σε κάθε προφίλ. Μικρότεροι κυματισμοί θραύονται πάνω στην σκληρή επιφάνεια των ΠΨ, με αποτέλεσμα η ενέργεια του να απορροφάται, ενώ μεγαλύτεροι οδηγούν σε μορφολογικές μεταβολές που δεν διαφέρουν σημαντικά από αυτές μη συνεκτικοποιημένων ακτών.

Η παρουσία πιο χονδρόκοκκου υλικού και συνεπώς αυξημένης κλίσης ‘συγκεντρώνει’ την κυματική ενέργεια σε μια μικρότερη περιοχή, οδηγώντας σε μορφολογικές μεταβολές που είναι πιο έντονες και λαμβάνουν χώρα σε περιορισμένο τμήμα του προφίλ. Το παραπάνω επιτείνεται και από το γεγονός ότι τα πιο χονδρόκοκκα ιζήματα, όντας λιγότερο ‘ενδοτικά’ στην κίνηση, προκαλούν λιγότερο ‘ομαλές’ μεταβολές της στερεομεταφοράς κατά μήκος του προφίλ. Για πιο λεπτόκοκκα ιζήματα η μεγαλύτερη και ευρύτερη απόσβεση των κυματισμών, λόγω πιο ήπιας κλίσης, απαιτεί περισσότερο χρόνο για να εμφανιστούν έντονες αλλαγές στην βαθυμετρία.

Ο σχηματισμός του σκαλοπατιού (ύψος περίπου 0.5 m) αποτελεί μια δύσκολα αναστρέψιμη μεταβολή, καθώς βρίσκεται σε αρκετά μεγάλο βάθος, ώστε να επηρεάζεται από τους συνήθεις κυματισμούς, και ειδικά από τους πιο ήπιους, που συνήθως ευθύνονται για την μεταφορά ιζήματος προς την ακτή και την θερινή ‘ανάκαμψη’ της. Επιπλέον το ύψος του είναι αρκετό, ώστε στο κάθετο μέτωπο του να αναπτύσσονται φαινόμενα τρισδιάστατων ροών και παραγωγή τύρβης, που προχωρούν σε υποσκαφή του αμμώδους τμήματος κάτω από τους ΠΨ. Η απομάκρυνση των υποκείμενων ιζη-

μάτων κατά μήκους του μετώπου των λιθοποιημένων σχηματισμών, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την μετατόπιση λόγω βύθισης ή θραύσης των ΠΨ. Η παραπάνω διεργασία μπορεί να δικαιολογήσει την παρουσία εξαιρετικά έντονων κλίσεων στην παραλία των Βατερών, που φιλοξενεί τους ΠΨ, οι οποίοι σημειωτέον χαρακτηρίζονται και από μεγάλο εύρος στάθμης ( $\approx 2$  m). Τέλος, ο σχηματισμός του 'σκαλοπατιού', όχι μόνο συμφωνεί με παρατηρήσεις πεδίου, αλλά και με τα αποτελέσματα των Larson and Kraus (1998), που εφαρμόζουν μια τροποποιημένη μορφή του μοντέλου SBEACH, για να περιγράψουν την μεταβολή παραλιακών ζωνών με περιοχές σκληρού πυθμένα.

Στην περίπτωση ακτής με μορφολογικά-ιζηματολογικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτή των Βατερών, το μορφοδυναμικό μοντέλο ενεργητικής προσέγγισης έδειξε ότι η παρουσία ΠΨ, κάτω από ήπιες κυματικές συνθήκες προστατεύει το μέτωπο της ακτής από την διαβρωτική δράση των ήπιων κυματισμών. Καθώς όμως η ένταση των κυματισμών αυξάνει η παρουσία του συνεκτικοποιημένου ιζήματος, α) δεν επιτρέπει στην ακτή να πάρει την κλίση που αποσβαίνει αποτελεσματικότερα την κυματική ενέργεια, β) συντελεί στην απόθεση του διαθέσιμου ιζήματος σε μεγαλύτερα βάθη, γ) σε περίπτωση έντονων καιρικών συνθηκών προκαλεί τον σχηματισμό «σκαλοπατιού» υποσκαφής, που εμποδίζει την κίνηση των ιζημάτων προς την ακτογραμμή, σε περιόδους ηπιότερων κυματικών συνθηκών και δ) ο συνδυασμός όλων των παραπάνω οδηγεί σε μεταβολές του παραλιακού προφίλ που είναι πολύ δύσκολο να αντιστραφούν, ώστε να ανακάμψει το τελευταίο στην προηγούμενη του μορφή.

## 10 Συζήτηση

### 10.1 Δυναμική της παραλίας των Βατερών

Από την σύνθεση των αποτελεσμάτων από τις διάφορες ερευνητικές και αναλυτικές μεθόδους προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα για την μορφοδυναμική της παραλίας των Βατερών.

Η παραλία των Βατερών είναι μία εκτεταμένη (μήκος περίπου 7 km) παραλία ‘τσέπης’ δηλ. μια παραλία που περικλείεται από βραχώδη ακρωτήρια, τα οποία φαίνεται να απομονώνουν αποτελεσματικά την παραλία από την παράκτια τροφοδοσία με ιζήματα γειτονικών τμημάτων της ακτής και έτσι η παραλία των Βατερών μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα αυτόνομο κύτταρο (cell) παράκτιας ιζηματομεταφοράς (π.χ. Bird, 2000). Η ακτή ακολουθεί αρκετά πιστά το σχήμα του λογαριθμικού σπινάλ (Βαλάης, 2004) που δείχνει ότι έχει προσεγγίσει την κατάσταση ισορροπίας (π.χ. Silvester, 1970).. Οι κύριες πηγές ιζήματος φαίνονται να είναι το ποτάμι που εκβάλλει στο ανατολικό άκρο της παραλίας και οι παράκτιοι κρημνοί από εμφανίσεις σχετικά χαλαρών κροκαλοπαγών που βρίσκονται επίσης στο ανατολικό τμήμα της. Όλα σχεδόν τα προϊόντα αποσάθρωσης/διάβρωσης των πρωτογενών (π.χ. ιγκνιμιβιτών πρασινοσχιστόλιθων, μαργών, ασβεστόλιθων κλπ) και δευτερογενών (π.χ. κροκαλοπαγών) πετρωμάτων της λεκάνης απορροής, βρέθηκαν να αντιπροσωπεύονται στα παραλιακά ιζήματα.

Η μορφολογική/τοπογραφική έρευνα πεδίου έδειξε ότι οι παραλιακοί ψαμμίτες (ΠΨ) εμφανίζονται στο κεντρικό τμήμα της παραλίας, καταλαμβάνοντας όλο το μήκος της μεταξύ των σταθμών τοπογραφικών αποτυπώσεων S2 και S12 (πάνω από 2.5 km). Εσκαφή του χερσαίου παραλιακού προφίλ σε διάφορα σημεία (Σταθμοί P2, P4 και P8) έδειξε ότι οι ΠΨ δεν καταλαμβάνουν μόνον το μέτωπο της παραλίας, αλλά εκτείνονται κάτω από τα χερσαία παραλιακά ιζήματα (βλέπε Neumeier, 2000) σε όλο το εύρος της παραλίας. Οι παρατηρήσεις επίσης έδειξαν ότι η παραλία των Βατερών (το τμήμα με τους παραλιακούς ψαμμίτες) παρουσίαστηκε έντονα διαβρωμένη στην αρχική περίοδο (Φθινόπωρο 2003) των παρατηρήσεων, ενώ στην συνέχεια ανάκαμψε παρουσιάζοντας πρόσχωση. Οι περίοδοι πρόσχωσης φαίνονται να σχετίζονται με τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, κατά τις οποίες ενισχύεται η χερσαία διάβρωση και η προσφορά στην παραλία χερσαίων/ποτάμιων ιζημάτων.

Η ιζηματολογική μελέτη έδειξε ότι τα χερσαία ιζήματα της παραλίας των Βατερών (βλέπε Κεφάλαιο 7) είναι γενικά αδρόκοκκα με εύρος μέσου μεγέθους από -0.82 έως -4.49 φ (μεταξύ 0.49 και 22 mm). Τα περισσότερα δείγματα αποτελούνται κυρίως από άμμους (εύρος διαμέτρων κόκκων -1 – 4φ), αν και περιέχουν και κάποιο περισσότερο αδρόκοκκο κλάσμα (δηλ. χάλικες): τα περισσότερα αδρόκοκκα ιζήματα βρίσκονται στο ανατολικό άκρο της παραλίας.

Το ανατολικό τμήμα της παραλίας φαίνεται ότι αποτελεί την κύρια πηγή των ιζημάτων της παραλίας. Σε αυτή την περιοχή, τα ιζήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλα μεγέθη και φτωχές διαβαθμίσεις, ιδιαίτερα στους ακραίους ανατολικούς σταθμούς S20-23. Η διαβάθμιση των ιζημάτων (ιδιαίτερα αυτή της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης (swash zone)) γίνεται καλύτερη από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ενώ και το μέσο μέγεθος μειώνεται προς την ίδια κατεύθυνση, ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο. Αυτές οι τάσεις υποδεικνύουν ότι η γενική κατεύθυνση μεταφοράς των παραλιακών ιζημάτων κατά μήκος του μεγαλύτερου μήκους της ακτής (εκτός ίσως από το δυτικό της άκρο) είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά, ιδιαίτερα στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης. Αυτή η παράλληλη ιζηματομεταφορά μπορεί να εξηγήσει την αύξηση των ιζηματικών όγκων στο χερσαίο (και υποθαλάσσιο) τμήμα του παραλιακού προφίλ που παρατηρήθηκε στην περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών (Σταθμοί P2 και P8) κατά την χειμερινή περίοδο.

Η μελέτη του μετασχηματισμού των κυματισμών και της κυματογενούς κυκλοφορίας στον κόλπο των Βατερών (μέσω δυσδιάστατων αριθμητικών προσομοιώσεων) επιβεβαίωσε ότι η κύρια κατεύθυνση της παράλληλης στην ακτογραμμή ιζηματομεταφοράς στην παραλία των Βατερών είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά, για σχεδόν όλες τις περιπτώσεις έντασης και διεύθυνσης των προσπιπτόντων κυματισμών. Επιπλέον, οι προσομοιώσεις έδειξαν αναστροφή αυτής της κατεύθυνσης στο δυτικό άκρο της παραλίας για πολλές περιπτώσεις κυματισμών, και ιδιαίτερα για τους ακραίους κυματισμούς. Συνεπώς, η περιοχή των ΠΨ αποτελεί ζώνη σύγκλισης κυματογενών ρευμάτων παράλληλων προς την ακτή (και μείωσης της κυματικής ενέργειας) και άρα, ατραπών παράκτιας ιζηματομεταφοράς (littoral drift convergence zone), ιδιαίτερα κάτω από έντονες καιρικές συνθήκες. Αυτό επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα από τις παρατηρήσεις πεδίου και εξηγεί την επεισοδιακή αύξηση του όγκου ιζήματος στην περιοχή με τους ΠΨ (βλέπε Κεφάλαιο 6), καθώς και την μή συμμόρφωση με το κλασσικό μοντέλο (π.χ. Aubrey and Ross, 1985) της εποχικής παραλιακής μορφοδου-



ναμικής, με βάση το οποίο οι ακτές διαβρώνονται τον χειμώνα και ανακάμπτουν το καλοκαίρι (βλέπε επίσης Russel, 1959· Russel and McIntire, 1965· Rey et al, 2004).

Όσον αφορά το σχήμα του παραλιακού προφίλ, η EOF ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων στην περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών (Σταθμοί P2 και P8) και η σύγκριση της πρώτης χωρικής συνιστώσας με την αποτύπωση της άνω επιφάνειας των θαμμένων σχηματισμών, έδειξε ότι οι παραλιακοί ψαμμίτες ελέγχουν το σχήμα του άνω τμήματος του παραλιακού προφίλ.

Η παραλία των Βατερών χαρακτηρίζεται από πολύ απότομες κλίσεις (5-10%), που κύρια καθορίζονται από τους ΠΨ. Οι ΠΨ παρουσιάζουν επίσης μεγάλο εύρος στάθμης (της τάξης 2-2.5 m), κάτι που δεν εξηγείται από την θεωρία, σύμφωνα με την οποία (βλέπε Κεφάλαιο 2), η συνεκτικοποίηση/λιθοποίηση των ιζημάτων λαμβάνει χώρα στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη. Επειδή η περιοχή των Βατερών είναι μικροπαλιρροιακή, το μεγάλο εύρος των σχηματισμών θα μπορούσε να σημαίνει ότι η δημιουργία τους έλαβε χώρα σε μια μεγάλη χρονική περίοδο, με παράλληλη (αργή) άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το πιθανότερο όμως είναι, ότι το εύρος (και οι μεγάλες κλίσεις) των ΠΨ να οφείλονται στην σταδιακή υποσκαφή των υποκείμενων ιζημάτων στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών από τους κυματισμούς, και διαφορεική καταβύθιση/θραύση των σχηματισμών στο εξωτερικό όριο τους. Αυτή η διεργασία επιβεβαιώνεται (μερικά) από τα μονοδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης (Κεφάλαιο 9), τα οποία δείχνουν υποσκαφή στο υποθαλάσσιο άκρο των παραλιακών ψαμμιτών. Αυτή η μορφολογία των ΠΨ και ο μηχανισμός που, πιθανόν, την δημιουργεί γενούν πολλά ερωτηματικά σχετικά με την ακρίβεια της χρήσης της στάθμης των σχηματισμών των παραλιακών ψαμμιτών ως ένδειξη (proxy) εξέλιξης της θαλάσσιας στάθμης (π.χ. Yaltirak, 2002· Tatumi, 2003· Bezerra, 2003).

Οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων σχηματίζεται ένα 'σκαλοπάτι' ύψους  $\approx 0.7$  m. Αυτό το μορφολογικό χαρακτηριστικό φαίνεται από τις προσομοιώσεις (Κεφάλαιο 9) να δημιουργείται κάτω από ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες (κυματικές και ιζηματολογικές συνθήκες και παραλιακές κλίσεις) και μπορεί να έχει ιδιαίτερη σημασία στους μηχανισμούς της κάθετης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς καθώς και στην μορφοδυναμική συμπεριφορά της παραλίας. Η μεγάλη υψομετρική διαφορά του από τον ανάντη πυθμένα καθώς και η κυματική ανάκλαση/δημιουργία τύρβης που αναμένεται στο σημείο αυτό (και επιβεβαιώνεται μερικά από τα κυματικά δεδομένα βλέπε Κεφάλαιο 8.2) μπορεί να περιορίσει ή και να ανα-

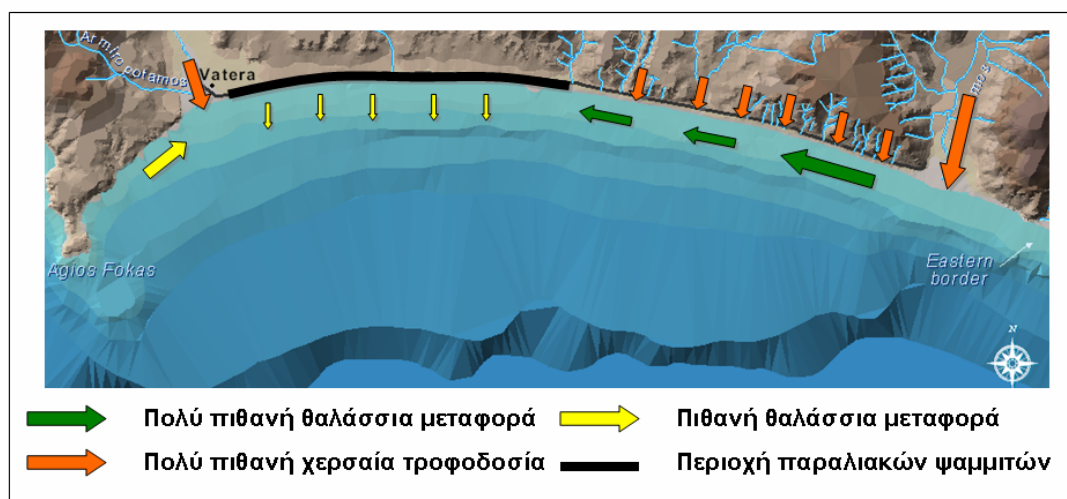
κόψει τελείως την κάθετη προς την ακτή (onshore) ιζηματομεταφορά κάτω από τους ήπιους, δημιουργικούς (constructive) θερινούς κυματισμούς (Komar, 1998). Ιζήματα όμως από το χερσαίο τμήμα του παραλιακού προφίλ εξακολουθούν να μεταφέρονται προς το υποθαλάσσιο (πέραν των ΠΨ) τμήμα του προφίλ κάτω από έντονες κυματικές συνθήκες.

Η παρουσία των ΠΨ στην κατώτερο χερσαίο και αβαθές υποθαλάσσιου τμήμα του προφίλ έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι μεγαλύτερες μεταβολές του παραλιακού προφίλ στα βαθύτερα, μη 'λιθοποιημένα' τμήματα του και όχι στις ζώνες διαβροχής/αναρρίχησης και απόσβεσης (όπως θα ήταν αναμενόμενο). Έτσι, μπορεί να λεχθεί ότι οι ΠΨ 'κλειδώνουν' το χερσαίο και αβαθές παραλιακό προφίλ και, πιθανόν, να βοηθούν στην διατήρηση της θέσης της ακτογραμμής των Βατερών, αφού θέτουν το κατώτατο όριο διάβρωσης του ιζηματικού παραλιακού υποστρώματος. Από την άλλη, όμως, φαίνεται ότι η παρουσία τους υποβοηθά την κάθετη μεταφορά (off-shore) ιζημάτων προς το υποθαλάσσιο τμήμα του παραλιακού προφίλ και εμποδίζει την ανάκαμψη του με την βοήθεια της κάθετης προς την ακτή (onshore) μεταφοράς. Έτσι, ενώ η περιοχή των ΠΨ της παραλίας των Βατερών μπορεί να αποτελεί ζώνη μείωσης της ενέργειας των παράλληλων προς την ακτή κυματογενών ρευμάτων και σύγκλισης της παράλληλης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς (βλέπε παραπάνω), την ίδια στιγμή φαίνεται ότι χαρακτηρίζεται από αυξημένη καθαρή (net offshore) ιζηματομεταφορά από το αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ, προς τα ανοικτά. Γι αυτό, αν και η τροφοδοσία της ακτής με χερσαία ιζήματα εκτιμάται ότι είναι γενικά υψηλή, η έκθεση των ΠΨ στο διάστημα μελέτης ήταν σχεδόν μόνιμη. Η παρατήρηση αυτή, σε συνδυασμό με την μικρή μορφολογική μεταβολή του άνω τμήματος της παραλίας που παρατηρήθηκε, δείχνει ότι ο κύριος όγκος του τροφοδοτούμενου πλευρικά ιζήματος διαφεύγει στο υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ.

Η παραπάνω διεργασία φαίνεται ότι διατηρεί την περιοχή της παραλίας των Βατερών με τους ΠΨ σε σχετική μορφολογική και ιζηματολογική ισορροπία. Όσο η τροφοδοσία με ιζήματα παράλληλα προς την ακτή (κυρίως από τα ανατολικά) παρεμένει σε 'υγιή' επίπεδα, τότε το χερσαίο τμήμα της παραλίας θα έχει ίζημα και οι ΠΨ θα παρεμένουν θαμμένοι κάτω από ένα στρώμα ανατροφοδοτούμενου ιζήματος. Αν όμως, η τροφοδοσία από τα ανατολικά ελαττωθεί σημαντικά, τότε είναι πολύ πιθανή η διάβρωση/απομάκρυνση προς τα ανοικτά του επιφανειακού στρώματος της άμμου της χερσαίας παραλίας και η ολική αποκάλυψη των παραλιακών ψαμμιτών. Δυστυχώς,

φαίνεται ότι η τροφοδοσία της παραλίας με χερσαία ιζήματα έχει ελαττωθεί τελευταία, λόγω κυρίως της αποκοπής των παράκτιων κρημνών από την παραλία, λόγω της κατασκευής παράκτιου δρόμου.

Στο Σχήμα 10-1 δίνεται ένα μοντέλο της παράκτιας κυκλοφορίας των ιζημάτων στην παραλία των Βατερών που βασίζεται στην σύνθεση όλης της σχετικής πληροφορίας που συλλέχθηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης.



**Σχήμα 10-1** Παράκτια κυκλοφορία ιζημάτων στην παραλία των Βατερών που βασίζεται στην σύνθεση της πληροφορίας.

Ένα τελευταίο (αλλά και βασικό ερώτημα) που παραμένει σχετίζεται με την ηλικία των σχηματισμών ΠΨ στην παραλία των Βατερών, για το οποίο όμως δεν ήταν δυνατό να δοθεί μία ασφαλής απάντηση, στα πλαίσια αυτής της μελέτης. Η ηλικία των ΠΨ κλασσικά ερευνάται με ραδιοχρονολόγηση με  $^{14}\text{C}$  (βλέπε Neumeier, 2000). Η μέθοδος αυτή στην περίπτωση των παραλιακών ψαμμιτών χαρακτηρίζεται από προβλήματα που σχετίζονται κυρίως με την απομόνωση του ανθρακικού τσιμέντου από τους βιογενείς ανθρακικούς κόκκους του συγκολλούμενου ιζήματος (π.χ. θραύσματα κελυφών), οι οποίοι μπορούν να έχουν πολύ μεγαλύτερη ηλικία από αυτή του συγκολλητικού τσιμέντου (βλέπε και Desruelles, 2004). Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα πιθανόν στην περίπτωση περιοχών χαμηλής ενέργειας και λεπτόκοκκων ιζημάτων (άρα και μακρού χρόνου της ολοκληρωτικής καταστροφής των παλαιότερων βιογενών ιζημάτων), που φαίνεται ότι ευνοούν τον σχηματισμό των παραλιακών ψαμμιτών. Αν και, φυσικά, αυτό δεν μπορεί να λεχθεί με σιγουριά, δυσκολίες που σχετίζονται με την απομόνωση του τσιμέντου μπορούν να συμβάλλουν στην ανάγνωση μεγάλων ηλι-

κίων στις περισσότερες περιπτώσεις που έγινε ραδιοχρονολόγηση (βλέπε Πίνακας 2-1).

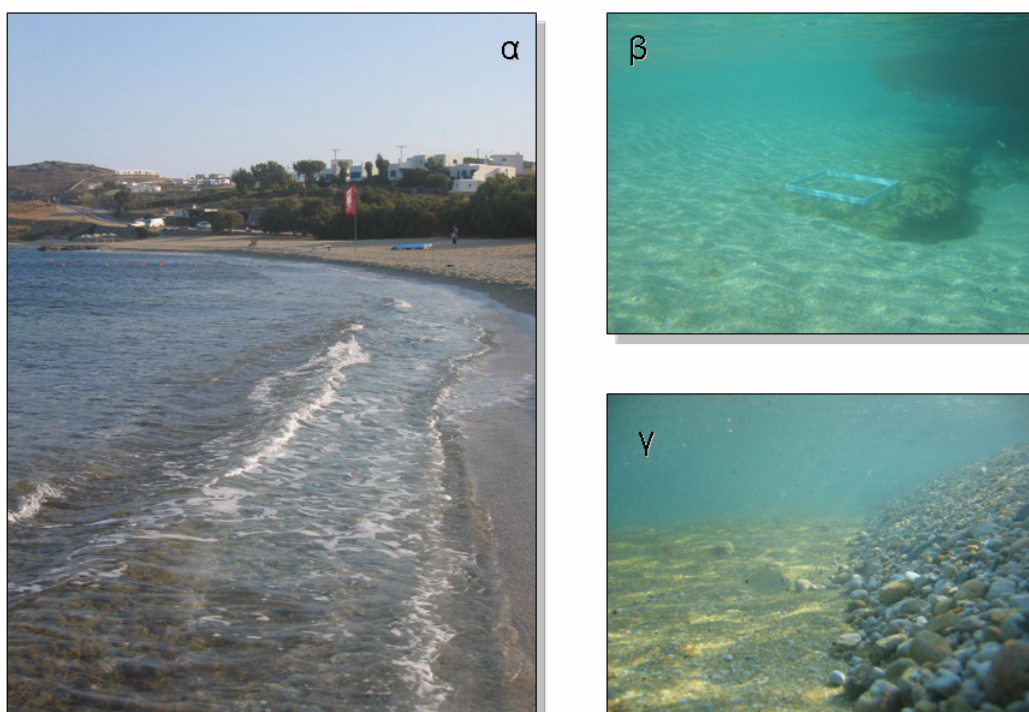
## **10.2 Τύποι εμφανίσεων και πιθανές τους επιπτώσεις**

Οι παραλιακοί ψαμμίτες ανάλογα με την ηλικία τους και τις υπάρχουσες περιβαλλοντικές συνθήκες, διαφέρουν σε μορφολογία και διευθέτηση σε σχέση με την παραλία. Αν και ο μηχανισμός δημιουργίας τους δεν έχει αποσαφηνιστεί ακόμα (βλέπε Κεφάλαιο 2.3), η συνεκτικοποίηση συνήθως ξεκινά στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας (Bricker, 1971· Yaltirak et al, 2002· Caldas et al, 2006) κάτω από ένα στρώμα άμμου (Neumeier, 2000), το οποίο κάτω από τις κατάλληλες υδρο- και ιζηματο-δυναμικές συνθήκες απομακρύνεται έχοντας ως αποτέλεσμα την αποκάλυψη των σχηματισμών (π.χ. Rey et al, 2004). Γενικά, η έκθεση ΠΨ είναι συχνό φαινόμενο στις παραλίες (βλέπε Κεφάλαιο 2) και ο βαθμός έκθεσης τους εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως τις υδροδυναμικές συνθήκες, την χερσαία τροφοδοσία ιζήματος και το κατά πόσο οι ίδιοι οι σχηματισμοί προκαλούν την απομάκρυνση των ιζημάτων που τους καλύπτουν (βλέπε και Κεφάλαιο 10.1). Το τελευταίο θα αποτελέσει το κεντρικό θέμα της παρακάτω συζήτησης (βλέπε Κεφάλαιο 10.3), η οποία θα γίνει με βάση την σύγχρονη θεώρηση των διεργασιών ιζηματομεταφοράς στην παράκτια ζώνη, την υπάρχουσα πληροφορία για τις επιδράσεις των ΠΨ στην παράκτια μορφολογία και τις εμπειρίες/παρατηρήσεις της παρούσας μελέτης.

Παράδειγμα 'ήπιας' (περιορισμένης) εμφάνισης ΠΨ είναι αυτή που παρατηρείται στους Σταθμούς P1-P7 στην παραλία των Βατερών, όπου η έκθεση των σχηματισμών περιορίζεται σε μια περιοχή του παραλιακού προφίλ που σχετίζεται με την ζώνη θραύσης των κυματισμών και έχει (συνήθως) πλάτος μέχρι και 2 m (Εικόνα 10-2α). Οι ΠΨ συνήθως γίνονται εμφανείς από την βάση του 'σκαλοπατιού', η δημιουργία του οποίου πιθανόν να οφείλεται (α) στην διαφορική διαβρωση στα όρια μεταξύ σκληρού και ιζηματικού υποστρώματος (βλέπε Κεφάλαιο 9) και (β) στην τύρβη που προκαλείται στην περιοχή αυτή λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ροών αναρρίχησης (run up) και επαναφοράς (back flow) των διαδοχικών κυματισμών (Bauer and Allen, 1995). Οι δύνες (βόστρυχοι) ροής (turbulent eddies) που δημιουργούνται στην περιοχή αυτή είναι πιθανόν να ευθύνονται (μεταξύ άλλων) και για την διάβρωση/αιώρηση και απομάκρυνση του ιζήματος και την αποκάλυψη ανώτερων τμημάτων των σχηματισμών. Γενικά, λόγω της μικρής έκτασης του φαινομένου, η έκθεση των

ΠΨ θα μπορούσε να θεωρηθεί ως αναστρέψιμο φαινόμενο και με περιορισμένες επιπτώσεις.

Παρόλα αυτά, αξίζει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια των 3 χρόνων παρακολούθησης της παραλίας των Βατερών, οι σχηματισμοί αυτοί παρέμειναν σχεδόν πάντα εκτεθειμένοι, παρά το γεγονός ότι στο χρονικό διάστημα αυτό παρατηρήθηκε σημαντική πλευρική ιζηματική τροφοδοσία (βλέπε Κεφάλαιο 10.1). Επιπλέον, ο γράφων έχει επισκεφθεί επανειλημμένα πολλές ελληνικές ακτές (π.χ. στην Χαλκιδική), που ενώ πριν κάποια έτη βρίσκονταν στην κατάσταση που περιγράφηκε παραπάνω, τώρα χαρακτηρίζονται από ευρείες εμφανίσεις ΠΨ, ενώ παρατηρήσεις ‘μόνιμης’ επανακάλυψης των σχηματισμών γενικά σπανίζουν.



**Εικόνα 10-2** Περιπτώσεις περιορισμένης εμφάνισης παραλιακών ψαμμιτών στις παραλίες της Μυκόνου Καλαφάτης (α, γ) και Super Paradise (β) (Φωτογραφίες από τον Αντώνη Ελευθερίου).

Μια πιο ‘δραματική’ περίπτωση εμφάνισης παραλιακών ψαμμιτών είναι αυτή που συναντάται στους σταθμούς P7-P10 της παραλίας των Βατερών (Εικόνα 10-3α), αλλά και σε πολλές άλλες ελληνικές παραλίες (Εικόνα 10-3β), κατά την οποία οι σχηματισμοί εμφανίζονται και σε σημαντικά τμήματα του ανώτερου χερσαίου παραλιακού προφίλ, ενώ η ποσότητα διαθέσιμου παραλιακού ιζήματος στην χερσαία παραλία εμ-

φανίζεται αισθητά μειωμένη (Εικόνα 10-3α). Οι σχηματισμοί επίσης εμφανίζονται στις ζώνες αναρρίχησης (Εικόνα 10-3α,γ) και απόσβεσης (τουλάχιστον σε κάποιο τμήμα της τελευταίας) και στο υποθαλάσσιο όριο τους σχηματίζεται ένα ‘σκαλοπάτι’ (Εικόνα 10-3δ), το οποίο πιθανόν ανακόπτει την κάθετη μεταφορά ιζημάτων προς την ακτή.

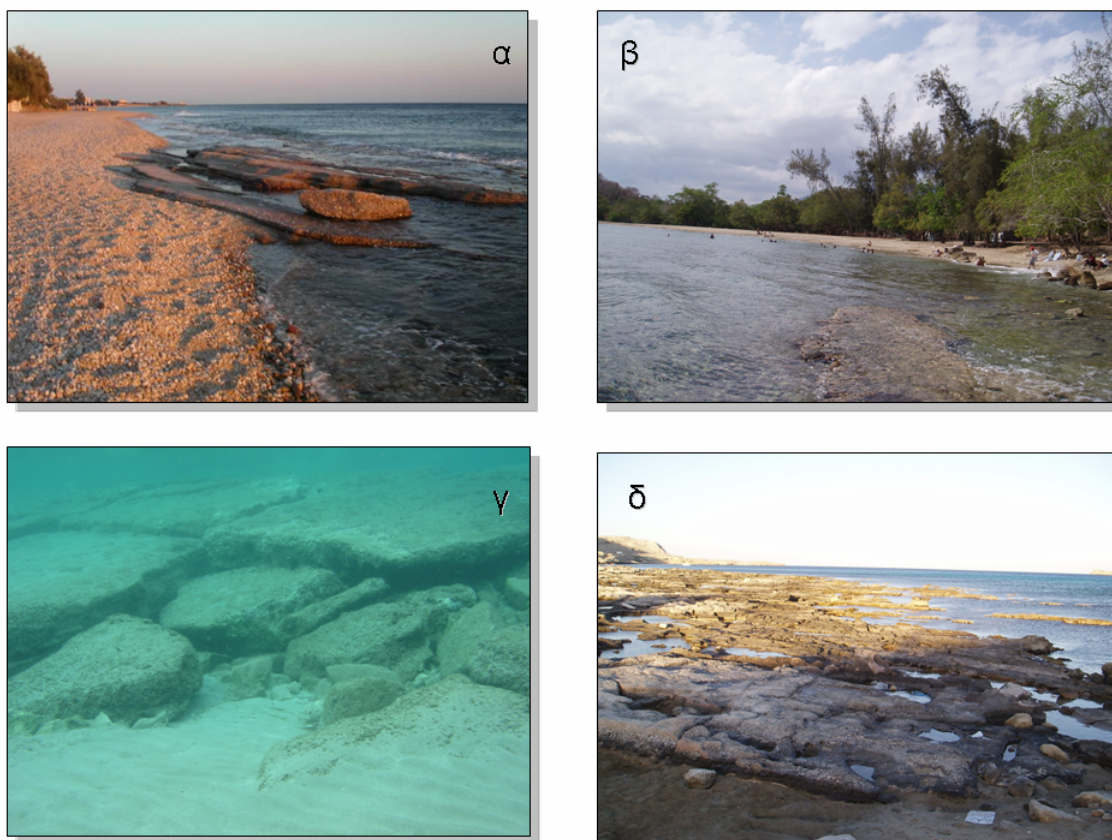


**Εικόνα 10-3** Παραδείγματα εκτεταμένων εμφανίσεων παραλιακών ψαμμιτών στις ακτές των Βατερών Λέσβου (α, γ), Χρυσοπηγής Σίφνου (β) και Super Paradise Μυκόνου (φώτο από Αντώνη Ελευθερίου) (δ). Διακρίνονται οι περιορισμένες ποσότητες διαθέσιμου ιζήματος και η κατάληψη του μετώπου της ακτής (α-γ), καθώς και ο σχηματισμός σκαλοπατιού υποσκαφής (δ).

Η εμφάνιση του ‘σκαλοπατιού’ συνήθως συνοδεύεται από έντονη ιζηματική διάβρωση του χερσαίου παραλιακού προφίλ (Εικόνα 10-3β) και μπορεί να θεωρηθεί ως μη αναστρέψιμη μορφοδυναμική μεταβολή, αφού τότε, μόνο πλευρική τροφοδοσία (δηλ. με παράλληλη προς την ακτή ιζηματομεταφορά στην ζώνη διαβροχής βλέπε Zenkovich, 1967· Bird, 2000) με νέο ίζημα είναι δυνατή. Όπως θα συζητηθεί και παρακά-

τω (Κεφάλαιο 10.3.2), το σκαλοπάτι, εκτός από την στερεοπαροχή, επηρεάζει (μετασχηματίζει) και τους επερχόμενους κυματισμούς.

Οι παλαιότεροι σχηματισμοί παραλιακών ψαμμιτών εμφανίζουν έντονα σημάδια μηχανικής καταπόνησης (Εικόνα 10-4α-γ). Σε ακραίες περιπτώσεις οι εμφανίσεις παραλιακών ψαμμιτών μεταβάλλουν σχεδόν ολοκληρωτικά την παραλία σε χαμηλή βραχώδη ακτή (Εικόνα 10-4δ), υποβαθμίζοντας την και αλλάζοντας τις χρήσεις της.

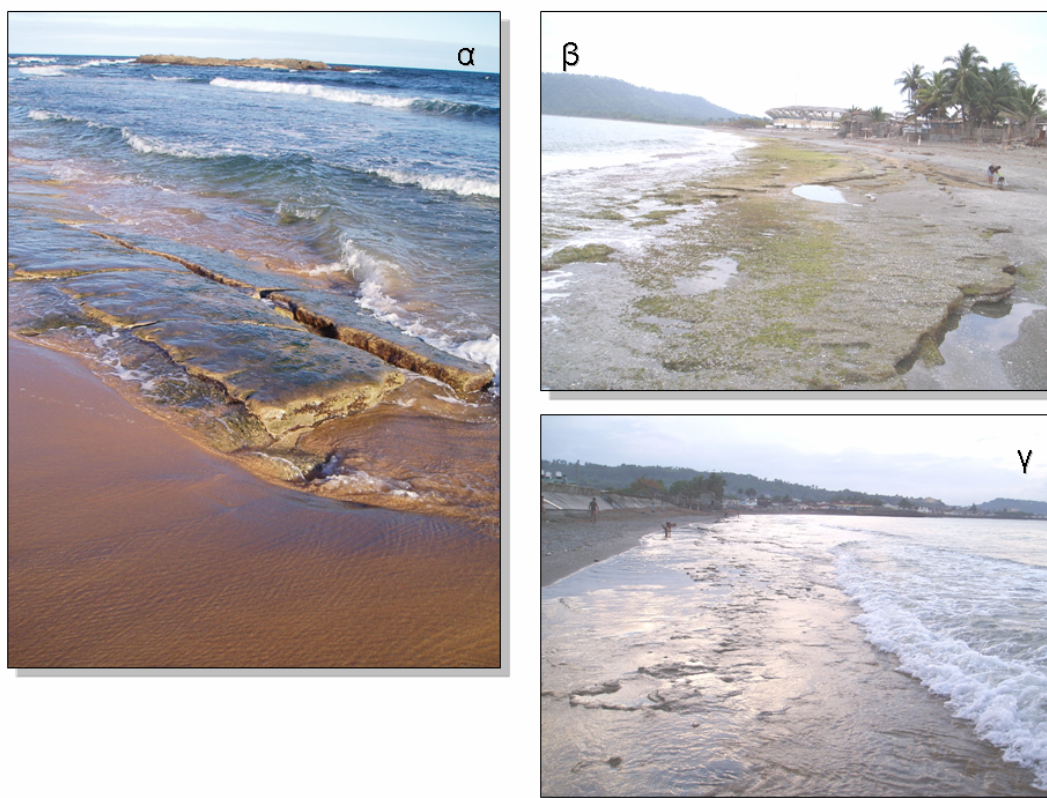


**Εικόνα 10-4** Παλαιότερες εμφανίσεις παραλιακών ψαμμιτών στο Πλωμάρι (Λέσβος), Santiago de Cuba, στην περιοχή του Σαρωνικού (Ισσαρης, 2005) και ανατολική Ρόδο. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι εμφανίσεις βρίσκονται σε διαφορετική θέση από την τωρινή στάθμη της θάλασσας και εμφανίζουν σημάδια έντονης μηχανικής καταπόνησης (α, γ)

Σε μακρο- και μεσο-παλιρροιακές ακτές, η δημιουργία των ΠΨ λαμβάνει χώρα στην (ευρύτερη) ενδοπαλιρροιακή ζώνη (Russell, 1963· Bricker, 1971· Milliman, 1974· και Caldas et al, 2006), με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται ο βαθμός έκθεσης των σχηματισμών κατά την διάρκεια του παλιρροιακού κύκλου. Είναι συνηθισμένο κατά την μέγιστη παλιρροιακή στάθμη (high tide) οι ΠΨ να καλύπτονται από την θάλασσα (Εικόνα 10-5γ). Καθώς η θάλασσα υποχωρεί (κατά την άμπωτη) είναι δυνατόν να λάβουν χώρα φαινόμενα υποσκαφής στα χερσαία όρια των εμφανίσεων, με αποτέλεσμα

να απομακρύνεται επιπλέον ίζημα και να δημιουργούνται αυλάκια και μικρές ‘λίμνες’ (beachrock pools) (Εικόνα 10-5α, β). Αυτές οι διεργασίες προκαλούν την περαιτέρω έκθεση των σχηματισμών, οι οποίοι συχνά κυριαρχούν στην ακτή κατά την διάρκεια της χαμηλής θαλάσσιας στάθμης (low tide). Τα φαινόμενα αυτά μπορούν να αφορούν τόσο τους νεώτερους όσο και τους παλαιότερους σχηματισμούς. Η δημιουργία/έκθεση βραχωδών επιφανειών σε μια αμμώδη παραλία, από μόνη της προκαλεί αλληλεπιδράσεις, οι οποίες μεγενθύνονται, όταν δεν παραμένει σταθερή η θέση των σχηματισμών σε σχέση με την θαλάσσια στάθμη.

Οι τύποι εμφανίσεων παραλιακών ψαμιτών που περιγράφηκαν παραπάνω είναι οι πλέον συνηθισμένοι· είναι όμως βέβαιο ότι υπάρχουν και άλλες περιπτώσεις/τύποι εμφανίσεων που δεν μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις παραπάνω κατηγορίες.



**Εικόνα 10-5** Παραδείγματα εμφανίσεων σε παλιρροιακές περιοχές. α) Salvador, Bahia, Brazil, β), γ) Baracoa, Cuba. Είναι εμφανείς οι 3-διάστατες διεργασίες υποσκαφής και η θραύση των σχηματισμών (α) και η εκτεταμένη έκθεση κατά την διάρκεια της χαμηλής στάθμης (β).

Επιπλέον, οι εμφανίσεις ΠΨ που αναφέρονται παραπάνω μπορεί να αποτελούν είτε ξεχωριστούς τύπους που αντανakλούν ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες ή διαδοχικά στάδια μιας συνεχούς μορφοδυναμικής διεργασίας. Έτσι, ενώ οι ίδιοι οι ΠΨ φαί-



---

νονται να είναι μορφολογικά αμετάβλητοι στις βραχείες (και μέσες) μορφοδυναμικές χρονικές κλίμακες, στην περίπτωση ενεργητικών ακτών είναι δυνατόν να ελέγξουν την παραλιακή μορφοδυναμική, οδηγώντας την από την κατάσταση που περιγράφεται στην Εικόνα 10-2 (περιορισμένη έκθεση των σχηματισμών), σε αυτή της Εικόνα 10-3 (σχηματισμός του σκαλοπατιού).

Με βάση τα παραπάνω θα μπορούσε να λεχθεί ότι οι περιπτώσεις εμφανίσεων που περιγράφονται, είναι ενδεικτικές για την 'μοίρα' πολλών από τις παραλίες, στις οποίες υπάρχει αρχική δημιουργία ΠΨ. Η μορφολογία των παραλιών με παλαιές εμφανίσεις, καθώς και των παλιρροιακών ακτών, υποδεικνύουν την πιθανή εξέλιξη της παραλιακής μορφολογίας παραλιών με ΠΨ κάτω από ανοδική τάση της θάλασσας στάθμης.

### **10.3 Μορφοδυναμική και παραλιακοί ψαμμίτες**

Σε ακτές ήπιων κυματικών συνθηκών (όπως οι περισσότερες ελληνικές παραλίες), οι ΠΨ κυρίως με διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην ζώνη αναρρίχησης και λιγότερο στην ζώνη απόσβεσης λόγω του περιορισμένου μήκους της ζώνης κυματικής απόσβεσης. Οι μηχανισμοί στερεομεταφοράς στην ζώνη αναρρίχησης παραμένουν λίγο πολύ αδιευκρίνιστοι και αποτελούν ένα από τα ‘καυτά’ ερευνητικά θέματα των επόμενων χρόνων. Πολλές ενδιαφέρουσες ερευνητικές μελέτες έχουν αναφερθεί τα τελευταία χρόνια· ενδεικτικά αναφέρονται οι επισκοπήσεις των Longo et al (2002) για την δημιουργία τύρβης, των Elfrink and Badlock (2002) για την υδροδυναμική/ιζηματομεταφορά και αυτή των Masselink and Puleo (2006).

Το παρόν κεφάλαιο έχει σαν στόχο να συζητήσει τα υδροδυναμικά, ιζηματοδυναμικά και μορφοδυναμικά φαινόμενα και διεργασίες που εξελίσσονται στην παράκτια ζώνη στην περίπτωση παρουσίας ΠΨ. Οι κύριες επιπτώσεις της παρουσίας ΠΨ που θα συζητηθούν είναι: (α) το ‘κλείδωμα’ του σχήματος του παραλιακού προφίλ, (β) ο ιδιαίτερος χαρακτήρας και υδροδυναμικές ιδιότητες του πυθμένα, (γ) η ασυνεχής τροφοδοσία ιζημάτων και (δ) η διαφοροποίηση των ροών μέσα στο πορώδες (αμμώδες) υπόστρωμα και η ελάττωση της αλληλεπίδρασης της θαλασσινής ροής με αυτή των υπόγειων υδάτων.

#### **10.3.1 «Κλείδωμα» του σχήματος του προφίλ**

Οι παράκτιες περιοχές αποσβένουν την κυματική ενέργεια και μάλιστα το σχήμα τους παίρνει την μορφή η οποία είναι και η πιο αποτελεσματική για τον σκοπό αυτό (βλέπε Κεφάλαιο 3). Υπάρχει πληθώρα ακτών που διατηρούνται για μεγάλες χρονικές περιόδους πρακτικά αμετάβλητες, παρά την συνεχή κυματική καταπόνηση που σε ακραίες συνθήκες μπορεί να προκαλέσει ραγδαίες αλλαγές στην παραλιακή μορφολογία, όπως π.χ. σημαντική υποχώρηση της ακτογραμμής. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο μετά από τέτοιες έντονες και βίαιες μεταβολές, η παραλία να επανέρχεται στο αρχικό της σχήμα μετά από κάποιο καιρό.

Το κυριότερο ‘όπλο’ της παραλίας για την προστασία από την διαβρωτική δράση των κυμάτων είναι η ρύθμιση της κλίσης του παραλιακού προφίλ και η απόθεση ιζήματος βαθύτερα (Komar, 1998). Η διάβρωση/απόθεση ιζήματος αλλάζει σημαντικά το παραλιακό προφίλ και δημιουργεί υποθαλάσσιους αναβαθμούς (bars), οι οποίοι συντε-

λούν στην εξασθένηση των επερχόμενων κυματισμών. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα επίδρασης κυματισμών με συγκεκριμένες κυματικές παραμέτρους, η παραλία προσεγγίζει ένα ‘προφίλ ισορροπίας’, το οποίο ελέγχεται από τα κυματικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά (βλέπε Κεφάλαιο 3). Η παρουσία συνεκτικοποιημένων ιζημάτων σε μία παραλία εμποδίζει την ‘ελεύθερη’ διαμόρφωση της παραλιακής μορφολογίας και επηρεάζει σημαντικά την μορφοδυναμική συμπεριφορά της, όπως άλλωστε παρατηρείται στις παραλίες με ΠΨ. Ενώ το υδροδυναμικό πεδίο βρίσκεται σε καθεστώς συνεχούς μεταβολής, το σχήμα/κλίση του παραλιακού προφίλ δεν έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί ανάλογα στις μεταβολές αυτές.

Η ανάλυση των τοπογραφικών δεδομένων που συλλέχθηκαν στα πλαίσια αυτής της μελέτης έδειξε ότι (α) τα παραλιακά προφίλ της παραλίας των Βατερών δεν μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά από τις σχέσεις που έχουν προταθεί για το προφίλ ισορροπίας (βλ. Σχήμα 6-4) και (β) το ‘μέσο’ (η πρώτη συνιστώσα της EOF ανάλυσης) παραλιακό προφίλ παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με αυτό της άνω επιφάνειας των θαμμένων και, φυσικά, των εκτεθειμένων ΠΨ (βλέπε Κεφάλαιο 6.3). Ανάλογα αποτελέσματα έδωσαν και οι αριθμητικές προσομοιώσεις της παραλιακής μορφοδυναμικής (Κεφάλαιο 9), οι οποίες έδειξαν σημαντικές μορφολογικές διαφοροποιήσεις στις ζώνες διαβροχής/αναρρίχησης και απόσβεσης μεταξύ παραλιών με και χωρίς ΠΨ. Φαίνεται, ότι οι ΠΨ αποτελούν τον κύριο έλεγχο της κλίσης/μορφής του παραλιακού προφίλ.

Ενώ οι ΠΨ αρχικά σχηματίζονται σύμφωνα με το υπάρχουσα παραλιακή μορφολογία (βλέπε Κεφάλαιο 2), ακόμα και για σταθερές υδροδυναμικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν το σχήμα του παραλιακού προφίλ ισορροπίας. Οι ΠΨ μπορεί να μην διατηρούν το αρχικό τους σχήμα/θέση, καθώς βρίσκονται κάτω από καθεστώς έντονης μηχανικής καταπόνησης, λόγω των κυματισμών και της υποσκαφής των υποκείμενων τους ιζημάτων στο υποθαλάσσιο όριο τους. Η καταβύθιση/θραύση των σχηματισμών (βλέπε Κεφάλαιο 6, 9 και 10.1) μπορεί να οδηγήσει σε απότομες κλίσεις της άνω επιφάνειας των σχηματισμών και της παραλίας, οι οποίες μπορεί να μην ανταποκρίνονται στις υδροδυναμικές/ιζηματολογικές συνθήκες της περιοχής (Komar, 1998), δημιουργώντας ένα ‘αφύσικο’ παράκτιο περιβάλλον με απρόβλεπτη μορφοδυναμική.

### 10.3.2 Διαφορετικές υδροδυναμικές ιδιότητες πυθμένα

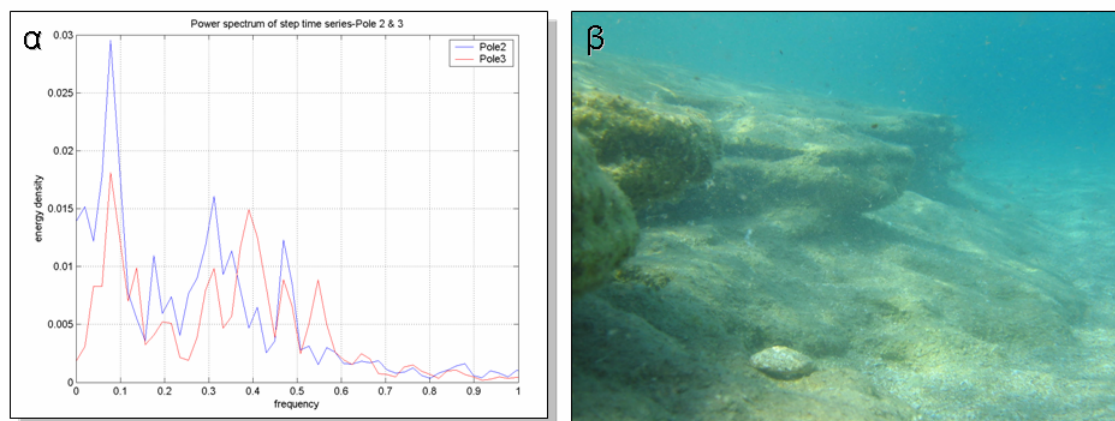
Οι κύριες διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη και συντελούν στην διάβρωση/αιώρηση και μεταφορά των πυθμενικών ιζημάτων είναι η δημιουργία τύρβης από την θραύση των κυμάτων και την αλληλεπίδραση της ροής με τον μή συνεκτικό (πορώδη) πυθμένα (Fredsoe and Deigaard, 1992). Λόγω της παλινδρομικής (oscillatory) φύσης της κίνησης των κυματισμών οι διατμητικές τάσεις και τύρβη που παράγονται στον πυθμενικό οριακό στρώμα είναι πολύ αυξημένες σε σχέση με αυτές των μονοδιευθυντικών ροών (Soulsby, 1997).

Οι Losada et al (2000) μελέτησαν το δευτερογενές ρεύμα επαναφοράς (undertow), τις διακυμάνσεις της στάθμης και την παραγωγή τύρβης σε πυθμένες με κλίση 1:20 και βρήκαν σημαντικά διαφοροποιημένη συμπεριφορά μεταξύ ροών πάνω από πορώδες (ιζηματικό) και αδιαπέρατο όριο. Βρήκαν επίσης ότι η τυρβώδης κινητική ενέργεια μειώνεται με την αύξηση του πορώδους και η περιοχή δημιουργίας της μετατοπίζεται προς την θάλασσα για κυματική θραύση διασκόρπισης (spilling breakers) και προς την ακτή για καταδυόμενο τύπο κυματικής θραύσης (plunging breakers). Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι Ting and Kirby (1994) μελετώντας αδιαπέρατους πυθμένες. Τέλος, οι Longo et al (2002) συμπεραίνουν ότι για πολύ διαπερατούς πυθμένες (ιζήματα της τάξης των χαλίκων), η θραύση εμφανίζεται σημαντικά διαφοροποιημένη σε σχέση αδιαπέρατους ή/και λιγότερο διαπερατούς πυθμένες. Όλα τα παραπάνω δείχνουν ότι η μη διαπερατή φύση των ΠΨ επηρεάζει σημαντικά το υδροδυναμικό πεδίο στην παράκτια ζώνη. Κάτι τέτοιο αν και είναι δύσκολο να διερευνηθεί ποσοτικά στην φύση, συχνά μπορεί να παρατηρηθεί σε ακτές με εκτεθειμένους ΠΨ όπου η κυματική θραύση φαίνεται να είναι σημαντικά διαφοροποιημένη από γειτονικές περιοχές με ιζηματικούς πυθμένες.

Μία σημαντική παράμετρος για την αλληλεπίδραση ροών-πυθμένα και ειδικά την παραγωγή τύρβης, είναι ο συντελεστής πυθμενικής τριβής (Prandle, 2006). Η άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών αν και όχι τελείως ομαλή, χαρακτηρίζεται από χαμηλότερες τιμές συντελεστή, σε σχέση με τους τραχύτερους αμμώδεις πυθμένες (Fredsoe and Deigaard, 1992). Επιπλέον στα σημεία έκθεσης των σχηματισμών δεν λαμβάνει χώρα η αλληλεπίδραση του αιωρούμενου ιζήματος με την ροή, που σε περιοχές ιζηματικών πυθμένων αποτελεί σημαντική παράμετρο (Davies et al, 2002). Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στις περιοχές έκθεσης των ΠΨ οι απώλειες ενέργειας είναι μειωμένες και το οριακό στρώμα της ροής διαφοροποιημέ-

νο. Είναι λοιπόν λογικό στα όρια των εμφανίσεων να συμβαίνουν έντονες υδροδυναμικές μεταβολές, με ανάλογο αντίκτυπο και στην στερεομεταφορά.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στα περισσότερα μορφοδυναμικά μοντέλα οι ιδιότητες του ιζήματος και κατ' επέκταση του πυθμένα θεωρούνται σταθερές και είναι επόμενο ότι και για τον υπολογισμό του συντελεστή τριβής δεν λαμβάνονται υπόψη τυχόν μεταβολές στην υφή του πυθμένα. Το παραπάνω αποτελεί κοινή πρακτική για όσους ασχολούνται με τέτοια μορφοδυναμικά μοντέλα και ανάλογη ήταν η προσέγγιση που ακολουθήθηκε και στα μοντέλα της παρούσας διατριβής. Επιπλέον δεδομένα για την τιμή των συντελεστή τριβής της επιφάνειας ΠΨ δεν είναι διαθέσιμα, οι καθώς οι περιπτώσεις σχετικής έρευνας είναι περιορισμένες.



**Σχήμα 10-6** Σκαλοπάτι υποσκαφής στην παραλία των Βατερών (β) και σύγκριση του ενεργειακού φάσματος κυματισμών από το ανάντη του σημείο (μπλε γραμμή) και το κατόντη του (κόκκινη γραμμή). Διακρίνεται η εξασθένιση των υποβαρυντικών κυματισμών, καθώς και οι σημαντικές διαφορές στις συχνότητες των κορυφών.

Τέλος, η ιδιαίτερη μορφολογία που εμφανίζεται στα υποθαλάσσια όρια των σχηματισμών ΠΨ (δηλ. το 'σκαλοπάτι', βλέπε Σχήμα 10-6) επηρεάζει σημαντικά την υδροδυναμική και μετασχηματισμό των προσπιπτόντων κυματισμών. Το 'σκαλοπάτι' μπορεί να παρομοιαστεί με έναν βυθισμένο κυματοθραύστη στην διευθέτηση/σχήμα, και προκαλεί ανάκλαση/διάχυση της κυματικής ενέργειας· με αυτή την λογική μπορεί να θεωρηθεί ότι μπορεί να παίζει και ένα προστατευτικό για την ακτή ρόλο. Στο Σχήμα 10-6 (α) φαίνεται το ενεργειακό φάσμα που προκύπτει από ανάλυση Fourier χρονοσειρών κυματικής μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης για δύο σημεία εκατέρωθεν του σκαλοπατιού (βλέπε Κεφάλαιο 8.2). Οι διαφορές των φασμάτων είναι εμφανείς. Στις περιοχές μεγαλύτερων συχνοτήτων οι κορυφές των δύο φασμάτων σπάνια ταυτίζο-

νται, κάτι που σημαίνει εντονη επίδραση στο κυματικό πεδίο από το ‘σκαλοπάτι’. Επίσης, μια πολύ σημαντική παρατήρηση είναι ότι καθώς οι κυματισμοί περνούν πάνω από το σκαλοπάτι, εξασθενούν σημαντικά οι υποβαρυτικές τους κινήσεις, οι οποίες θεωρούνται ότι ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για την παράκτια ιζηματομεταφορά και το τελικό σχήμα του ανώτερου παραλιακού προφίλ (Komar, 1998).

### 10.3.3 Ασυνεχής τροφοδοσία ιζήματος από τον πυθμένα

Οι διεργασίες στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης είναι καθοριστικές για την στερεομεταφορά μεταξύ του χερσαίου και του υποθαλάσσιου τμήματος του παραλιακού προφίλ (Puleo et al, 2000). Η ζώνη διαβροχής λειτουργεί σαν «αγωγός μεταφοράς» μεταξύ της ζώνης απόσβεσης και της ανώτερης παραλίας. Οι ΠΨ ακόμα και σε ήπιες εμφανίσεις (βλέπε Κεφάλαιο 10.2) εκτίθενται για 0.5-2 m στην περιοχή της κυματικής θραύσης, αλλά πολύ συχνά καλύπτουν την ζώνη αναρρίχησης και σημαντικό μέρος της ζώνης απόσβεσης, καταλαμβάνοντας σημαντικές επιφάνειες κοντά στην ακτογραμμή (βλέπε π.χ. Εικ. 10-2β). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να σχηματίζονται μεγάλες περιοχές χωρίς ίζημα στον πυθμένα, που λειτουργούν ως φυσικά όρια στην παραλία. Η κάθετη προς την παραλία (onshore) στερεομεταφορά εμποδίζεται, ιδιαίτερα στην περίπτωση καλοσχηματισμένου ‘σκαλοπατιού’ και το παραλιακό προφίλ διασπάται σε δύο ξεχωριστά τμήματα από άποψης ανταλλαγής υλικού (Εικόνα 10-7α). Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις (βλέπε Εικόνα 10-7β), η παράλληλη (longshore) στερεομεταφορά στην ζώνη απόσβεσης μπορεί επίσης να επηρεασθεί από μεγάλες εμφανίσεις (Cooper, 1991).

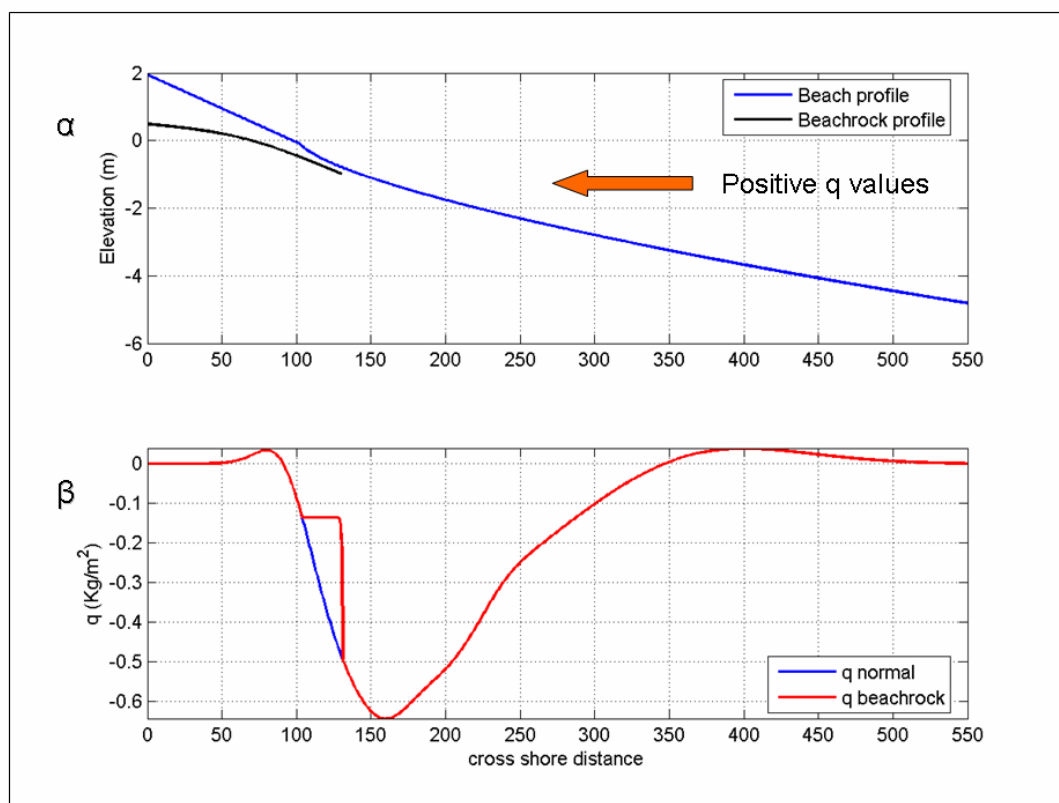


**Εικόνα 10-7** Παραλιακοί ψαμμίτες στην ακτή Φτελιά της Μυκόνου (φώτο από Αντώνη Ελευθερίου) (α) και στην Άφυτο Χαλκιδικής (β). Διακρίνονται (γ) η προχωρημένη διάβρωση

---

του μετώπου της ακτής πάνω από τους σχηματισμούς και (δ) η επίδραση των τελευταίων στην παράλληλη στερεομεταφορά.

Όπως αναφέρεται και στην προηγούμενη ενότητα, λόγω της απουσίας ιζήματος, το δυναμικό στερεομεταφοράς της ροής δεν «καταναλώνεται» καθώς διανύει την περιοχή έκθεσης των ΠΨ και μάλιστα είναι πιθανό να «συσσωρεύεται». Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία έντονων μεταβολών των ρυθμών στερεοπαροχής στα όρια των εμφανίσεων, που με την σειρά τους ευθύνονται για σημαντικές μορφολογικές αλλαγές, που σταματούν όταν ισορροπηθούν από άλλους παράγοντες (πχ. έντονη κλίση πυθμένα, έκθεση ΠΨ). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα φαινόμενα που περιγράφονται στην Εικόνα 10-7, καθώς και η έντονη υποσκαφή στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών στην παραλία των Βατερών (βλέπε κεφάλαιο 6, αλλά και εικόνες σε αυτήν την ενότητα). Η τελευταία δημιουργεί αρχικά την διαφορά στάθμης, ώστε να γεννηθούν επιπλέον φαινόμενα υποσκαφής στην βάση της (βλέπε σχηματισμός ‘πεταλοειδών δινών’ (horse-shoe vortex) σε κολώνες, (Baker, 1991) και ‘ελεύθερης ροής’ (free-streaming) σε βυθισμένους κυματοθραύστες (Summer et al, 2005)), που σταματούν όταν το βάθος γίνει αρκετά μεγάλο.



**Σχήμα 10-8** Παράδειγμα επίδραση των ΠΨ στην μεταβολή του ρυθμού στερεοπαροχής κατά μήκος του προφίλ (α) (μορφοδυναμικό μοντέλο Bussinesq για κυματισμούς ύψους 1 m και περιόδου 6 sec). Με κόκκινη γραμμή στο (β) διακρίνεται η μεταφορά για την περίπτωση ΠΨ που παραμένει σταθερή σε μια περιοχή, λόγω της μη τροφοδοσίας με ίζημα από τον πυθμένα

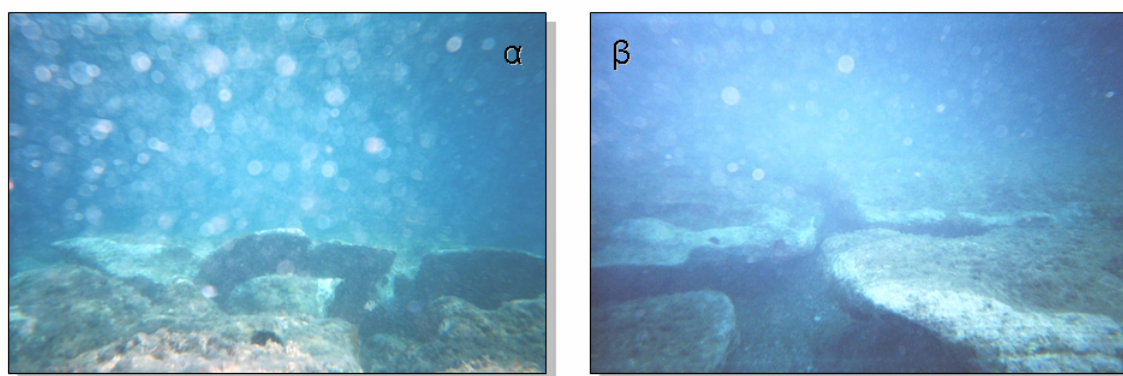
Τα μορφοδυναμικά μοντέλα (βλέπε Κεφάλαια 5.3 και 9) λαμβάνουν υπόψην μόνο την ασυνέχη τροφοδοσία του πυθμένα και στην περιοχή που οι ΠΨ έχουν εκτεθεί, η τιμή της στερεοπαροχής παραμένει σταθερή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ίζημα που κινείται είναι αυτό που εισέρχεται από το διπλανό σημείο του 'κανάββου'. Η απότομη αύξηση της στερεοπαροχής στο όριο των ΠΨ οδηγεί στον σχηματισμό του σκαλοπατιού.

Ο σχηματισμός του σκαλοπατιού (στα Βατερά έχει ύψος περίπου 80 cm) φαίνεται ότι λειτουργεί ως φίλτρο μονής κατεύθυνσης για την στερεοπαροχή, επιτρέποντας την κάθετη προς την ακτή μεταφορά μόνο προς την θάλασσα (offshore). Η μεταφορά προς την ακτή (onshore) καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολη μια και η υπερπήδηση του σκαλοπατιού από τα ιζήματα απαιτεί έντονη ανατάραξη/αίωρηση τους και κατά συνέπεια ιδιαίτερες (και εξαιρετικά σπάνιες) υδροδυναμικές συνθήκες ή, εναλλακτικά, την σταδιακή πρόσχωση του σκαλοπατιού. Ο τελευταίος μηχανισμός είναι επίσης δύ-



σκολος λόγω των ιδιαίτερων υδροδυναμικών συνθηκών που επικρατούν στην βάση του σκαλοπατιού και ευνοούν διάβρωση και όχι απόθεση (βλέπε Summer et al, 2005)

Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε παλαιότερους σχηματισμούς η έντονη μηχανική καταπόνηση που έχουν υποστεί (από τα κύματα, την υποσκαφή και την διαφορική καθίζηση) τους προκαλεί ρηγματώσεις και σχηματισμό εσοχών και καναλιών, τα οποία λειτουργούν σαν 'παγίδες' για το ιζήμα (Εικόνα 10-9). Εκεί προστατευμένες από τους κυματισμούς και ροές περιοχές οι οποίες και παγιδεύουν μέρος των μεταφερόμενων ιζημάτων.



**Εικόνα 10-9** Παλαιές εμφανίσεις παραλιακών ψαμμιτών στα Βατερά με έντονα σημάδια μηχανικής καταπόνησης. Οι μικρές κοιλότητες και χαράδρες που σχηματίζονται αποτελούν «παγίδες» ιζήματος το οποίο μπορεί να αναταραχθεί μόνο κάτω από έντονες κυματικές συνθήκες.

#### 10.3.4 Ροή μέσα από το πορώδες σώμα του πυθμένα

Μία σημαντικότερη παράμετρος που επηρεάζει την μορφολογία του παραλιακού προφίλ στην ζώνη αναρρίχησης/διαβροχής είναι αυτή που σχετίζεται με την ασυμμετρία των ροών αναρρίχησης/επαναφοράς των κυματισμών (Bagnold, 1940· Hardisty, 1986). Στις παραλίες με αδρόκοκκα ιζήματα η ασυμμετρία αυτή είναι μεγαλύτερη λόγω της ροής του νερού μέσα από τον πορώδη πυθμένα που μειώνει σημαντικά την επιφανειακή ροή επαναφοράς του κυματισμών (Zenkovich, 1967). Οι μη διαπερατοί στην κατείσδυουσα ροή σχηματισμοί ΠΨ εμποδίζουν την κατείσδυση και επηρεάζουν σημαντικά την σχέση μεταξύ ροής αναρρίχησης και ροής επαναφοράς.

Παλαιότερα επικρατούσε η άποψη ότι η ροή του νερού μέσα στο πυθμενικό υπόστρωμα, απλά μειώνει τη μάζα νερού που συμμετέχει στην ροή επαναφοράς στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης, μειώνοντας έτσι και την διάβρωση από την επαναφορά (π.χ. Grant, 1948· Duncan. and John, 1964). Σήμερα, η επίδραση της ροής του νερού

μέσα στο πορώδες πυθμενικό υπόστρωμα, καθώς η αλληλεπίδραση των θαλάσσιας υδροδυναμικής με αυτή των υπογείων υδάτων, θεωρείται επίσης πολύ σημαντική ιζηματοδυναμική διεργασία της ζώνης διαβροχής (Masselink and Puleo, 2006). Μια από τις πρώτες σχετικές μελέτες είναι αυτή του Packwood (1983), ο οποίος υποστήριξε ότι η διήθηση/ανάβλυση του νερού από τον/στον πυθμένα, επηρεάζει ελάχιστα την υδροδυναμική του μετώπου της παραλίας και μπορεί να έχει κάποια επίπτωση μόνο σε παραλίες με χάλικες/βότσαλα, όπου το αυξημένο πορώδες επιτρέπει υπολογίσιμες υπόγειες διαρροές. Πιο πρόσφατες μελέτες όμως (Butt et al, 2001· Masselink and Li, 2001), θεωρούν σημαντικές τις διεργασίες διήθησης/ανάβλυσης ιδιαίτερα για τις παραλίες με αδρόκοκκα υλικά, ενώ η Horn (2006) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι προκαλούν ισχυρότερες πυθμενικές διατμητικές τάσεις και αυξημένη στερεομεταφορά κατά την αναρρίχηση.

Μια πρόσφατη ενδιαφέρουσα ερευνητική εξέλιξη είναι η σύνδεση της ιζηματομεταφοράς με τις δυναμικές διεργασίες των υπόγειων υδάτων (Horn 2002). Εχει παρατηρηθεί ότι το επίπεδο της στάθμης των υπόγειων νερών επηρεάζει την ιζηματοδυναμική και μορφοδυναμική της παραλίας, και παρουσία χαμηλής ή υψηλής στάθμης των υπόγειων νερών παρατηρείται ιζηματική απόθεση ή διάβρωση αντίστοιχα, στο παραλιακό μέτωπο. Ένα πρακτικό αποτέλεσμα της παρατήρησης αυτής ήταν η χρήση της τεχνητής υποβάθμισης της στάθμης των παραλιακών υπόγειων υδάτων μέσω αντλιών για την προστασία των παραλιών από την διάβρωση (Turner and Leatherman, 1997· Li et al, 2002).

Οι αλληλεπιδράσεις ιζηματομεταφοράς/υπόγειων ροών είναι εντονότερες σε παλιρροιακές περιοχές, αφού κατά την ανοδική φάση της παλίρροιας η θαλάσσια στάθμη σταδιακά υπερβαίνει αυτήν του παράκτιου υδροφόρου ορίζοντα ευνοώντας την απόθεση ιζημάτων, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά την καθοδική παλιρροιακή φάση (Duncan and John, 1964). Βέβαια, αυτή η απόκριση των ιζημάτων εστιάζει στην συγκεκριμένη διεργασία, αφού για παράδειγμα, η παλιρροιακή άνοδος της θαλάσσιας στάθμης μπορεί να προκαλεί και διάβρωση λόγω άλλων φαινομένων (π.χ. αυξημένη θαλάσσια στάθμη, παλιρροιακών ρευμάτων· Grunnet et al, 2005).

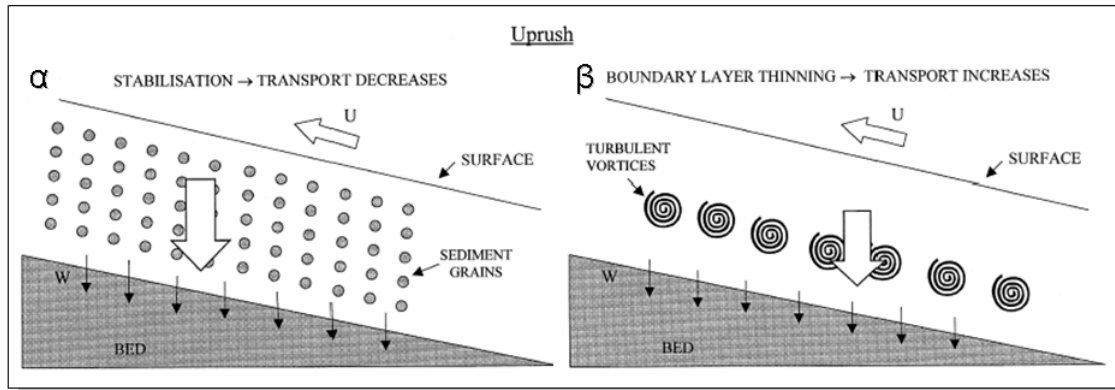
Η παρουσία παραλιακών ψαμμιτών έχει σημαντική επίδραση στις παραπάνω διεργασίες, μια και εμποδίζει/διακόπτει την ‘ελεύθερη’ επικοινωνία της θάλασσας με τον υδροφόρο ορίζοντα. Επιπλέον επηρεάζει και τις μικρής κλίμακας ροές του πορώδους στρώματος, αφού επιταχύνει τον κορεσμό του σε νερό (λόγω του περιορισμένου ό-

γκου του στρώματος). Μια επίσης επίπτωση σχετίζεται με την μεταβολή της σχέσης μεταξύ των ροών αναρρίχησης και επαναφοράς λόγω μειωμένων κατεισδύσεων. Αυτή η μεταβολή έχει σαν αποτέλεσμα την σχετική ενίσχυση των ροών προς την θάλασσα, ευνοώντας την διάβρωση της παραλίας στην ζώνη διαβροχής. Επιπλέον, το μειωμένο βυθισμένο βάρος των κόκκων του πυθμένα στο κορεσμένο ιζηματικό στρώμα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του κατωφλιού κίνησης τους (βλέπε Soulsby, 1997) και έτσι της μεταφοράς τους προς ή από την ακτή. Η παρουσία αυτών των αλληλεπιδράσεων έχει σαν αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων για την τελική κατεύθυνση στερεομεταφοράς. Αναλυτική συζήτηση πάνω στα φαινόμενα σχετικά με την ροή μέσα στον πυθμένα ακολουθεί παρακάτω.

Σύμφωνα με το μοντέλο των Baird et al (1996) το νερό του πορώδους ρευστοποιεί το ανώτερο ιζηματικό στρώμα του πυθμένα, θέτοντας το ίζημα ευκολότερα σε κίνηση/αιώρηση και διευκολύνοντας έτσι την μεταφορά του από τα δευτερογενή κυματογενή ρεύματα. Κατά την φάση αναρρίχησης η πίεση κατανέμεται γρήγορα στο πυθμενικό στρώμα, από τα ανώτερα στρώματα προς τα κατώτερα, ενώ στην φάση επαναφοράς η πίεση μειώνεται από τα ανώτερα στρώματα προς τα κατώτερα. Η παρουσία αυτών των κλίσεων πίεσης (pressure gradients) στην φάση επαναφοράς έχει ως αποτέλεσμα κατακόρυφες προς τα πάνω δυνάμεις στο νερό του πορώδους προκαλώντας την ανάβλυση του. Ακόμα και όταν η κατακόρυφη διαφορά πίεσης δεν είναι αρκετή ώστε να προκαλέσει ροή (ανάβλυση), ασκεί άνωση στους κόκκους, αυξάνοντας έτσι την διαβρωσιμότητα τους (μειώνοντας δηλ. το κάτωφλι κίνησης τους).

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι η διήθηση του νερού προκαλεί την σταθεροποίηση του αμμώδους υποστρώματος (Σχήμα 10-10 (α)), ενώ η ανάβλυση έχει το αντίθετο αποτέλεσμα. Από την άλλη, εργαστηριακά πειράματα των Conley and Inman (1994) έδειξαν ότι η ανάβλυση του νερού στο παραλιακό μέτωπο αυξάνει το πάχος του πυθμενικού οριακού στρώματος· αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της κλίσης ταχύτητας ροής και της διατμητικής τάσης/ταχύτητας και συνεπώς την αύξηση της απόστασης μεταξύ των τυρβωδών δινών του τυρβώδους οριακού στρώματος και των ιζηματικών κόκκων του πυθμένα (βλέπε Madsen, 1993). Η διεργασία αυτή πρέπει να μειώνει την διάβρωση των πυθμενικών ιζημάτων και την ιζηματομεταφορά, ενώ αντιστρέφεται κατά την φάση αναρρίχησης, όταν η διήθηση προκαλεί συμπίεση των γραμμών ροής στον πυθμένα και ελάττωση του πάχους του οριακού στρώματος (Σχήμα 10-10 (β)). Το συμπέρασμα είναι ότι η διήθηση/ανάβλυση του νερού κινεί δύο αντιμαχόμενες

διεργασίες, σχετικές με την διάβρωση των ιζημάτων και την στερεομεταφορά και των οποίων η σχέση ελέγχει την τελική ιζηματο- και μορφοδυναμική συμπεριφορά της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης (π.χ. Butt et al, 2001· Horn, 2002, 2006· Obhrai et al, 2002).



**Σχήμα 10-10** Περιγραφή των δύο αντιμαχόμενων διεργασιών που προκαλεί η ροή του νερού μέσω του πυθμένα κατά την αναρρίχηση των κυματισμών: (α) Σταθεροποίηση των ιζημάτων του πυθμένα από την κάθετη ροή (β) και αποσταθεροποίηση λόγω λεπτύνσης του οριακού στρώματος και έκθεσης τους στην τύρβη της ροής (Butt et al, 2001).

Όσον αφορά τους παράγοντες που επηρεάζουν τις δύο διεργασίες που αναφέρθηκαν παραπάνω και την αλληλεπίδραση τους, οι Nielsen et al (2001) υποστήριξαν ότι η πυκνότητα του ιζήματος, το σχήμα του και η χωρική του διάταξη (άρα και το πορώδες του) αποτελούν τους κυριότερους ελέγχους. Οι Obhrai et al (2002) που μελέτησαν την επίδραση των ροών υποστρώματος στην αιώρηση των ιζημάτων κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για μεσόκοκκα ιζήματα ( $D_{50}=0.255$  mm) οι ροές αυτές λειτουργούν σταθεροποιητικά, μειώνοντας την διάβρωση/αιώρηση. Από τη άλλη επισήμαναν ότι η επίδραση αυτή μετριάζεται με την αύξηση του μεγέθους του υλικού υποστρώματος, ενώ οι Butt et al (2001) κατέληξαν ότι η κοκκομετρία είναι η κυριότερη παράμετρος που ελέγχει την επίδραση των υπόγειων ροών στην κατεύθυνση της ιζηματομεταφοράς (δηλ. από ή προς την θάλασσα) και ότι υπάρχει μια κρίσιμη τιμή, πάνω από την οποία η σταθεροποιητική διεργασία των υπόγειων ροών γίνεται λιγότερο σημαντική. Ο Karambas (2003) εκτίμησε με την βοήθεια μαθηματικών μοντέλων ότι η κρίσιμη αυτή τιμή του μέσου μεγέθους κυμαίνεται μεταξύ 0.4 και 0.6 mm (που είναι περίπου το μέσο μέγεθος των ιζημάτων της παραλίας των Βατερών), πάνω από την οποία η διεργασία (από-)σταθεροποίησης του πυθμένα υπερισχύει της διεργασίας που σχετί-

ζεται με την μεταβολή του οριακού στρώματος και ευνοείται η μεταφορά προς την ακτή, ενώ το αντίθετο συμβαίνει για πιο λεπτόκοκκο υλικό.

Οι ΠΨ από την στιγμή που σχηματίζονται σε μία παραλία, είναι λογικό να επηρεάζουν σημαντικά τις παραπάνω διεργασίες, είτε στην περίπτωση που είναι θαμμένοι κάτω από ένα στρώμα ιζήματος, είτε στην περίπτωση που είναι εκτεθειμένοι και έτσι αναιρούν συνολικά και τις δύο παραπάνω διεργασίες. Η συζήτηση που ακολουθεί εστιάζεται στο πώς θαμμένοι ΠΨ κάτω από ένα στρώμα άμμου, επηρεάζουν τις υποπυθμενικές ροές και κατανομές πίεσης στην άμμο καθώς και τις ιζηματοδυναμικές διεργασίες.

Μια πρώτη σχετική παρατήρηση είναι ότι η παρουσία των σχηματισμών μειώνει τον όγκο του πορώδους στρώματος, επιταχύνει τον κορεσμό του και τελικά αυξάνει την ποσότητα βυθισμένου ιζήματος (Εικόνα 10-11). Στην περίπτωση που το στρώμα άμμου είναι λεπτό, ο κορεσμός έρχεται ακαριαία κατά την κυματική αναρρίχηση και η δημιουργία κλίσεων πίεσης περιορίζεται, ή ακόμα και δεν ενεργοποιείται. Αντίθετα, λαμβάνει χώρα άμεση μεταφορά ενέργειας από την ροή στο πυθμένα, μια διαδικασία που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση/αιώρηση και μεταφορά των ιζημάτων (Soulsby, 1997). Η παραπάνω διεργασία σε συνδυασμό με την έντονη παραγωγή τύρβης λόγω κυματικής θράυσης, της τραχύτητας του πυθμένα και της αλληλεπίδρασης των ροών αναρρίχησης και επαναφοράς από διαδοχικούς κυματισμούς, ασκεί έντονη διατάραξη/διάβρωση στα ιζήματα του παραλιακού μετώπου και της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης. Τα ήδη διαβρωμένα ιζήματα παρασύρονται ακολούθως ευκολότερα από τα κυματογενή ρεύματα και τους άλλους μηχανισμούς παράλληλης παράκτιας κυκλοφορίας (Van Wellen et al, 2002) καθώς και από τις κάθετες προς την ακτή ροές (Fredsoe and Deigaard, 1992), προκαλώντας την έκθεση των σχηματισμών στην ζώνη θραύσης και διαβροχής.

Όταν το πάχος του αμμώδους στρώματος πάνω από τους σχηματισμούς ΠΨ είναι μεγάλο, η συμπεριφορά του παραλιακού μετώπου δεν πρέπει να αποκλίνει σημαντικά από αυτή παραλιών χωρίς παραλιακούς ψαμμίτες, με εξαίρεση ίσως την μείωση της αλληλεπίδρασης της ροής με τα υπόγεια νερά, η οποία στις μικρο-παλιρροιακές ακτές της Μεσογείου δεν είναι σημαντική.



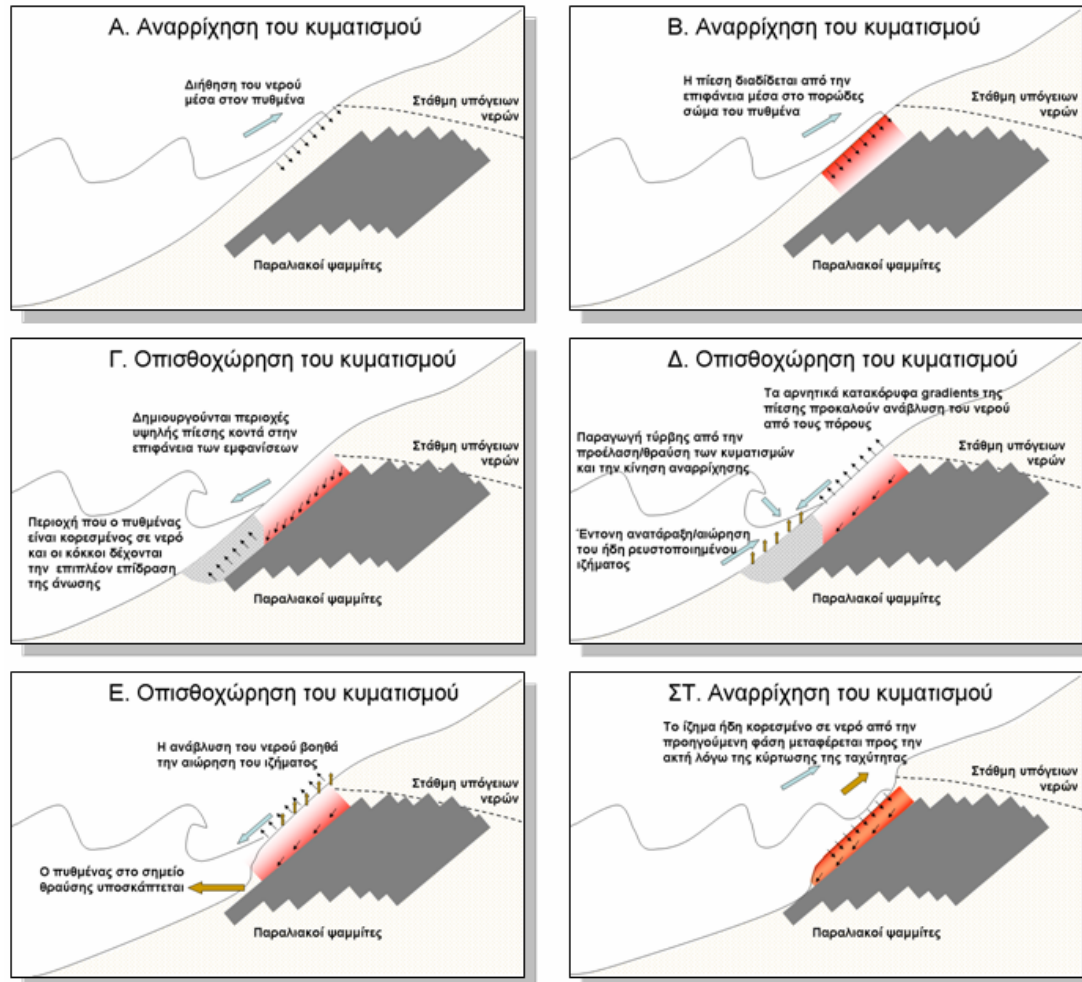
**Εικόνα 10-11** Παραλιακοί ψαμμίτες στα Βατερά. Διακρίνεται η κατακράτηση νερού στο άνω τμήμα του προφίλ με το ίζημα να βρίσκεται υπό την συνεχή επήρεια της άνωσης, καθιστώντας το πιο ευάλωτο στην μεταφορά από τους επερχόμενους κυματισμούς.

Για ενδιάμεσα πάχη του ιζηματικού στρώματος η παρουσία ΠΨ επηρεάζει τις ροές και την κατανομή της πίεσης. Όταν το πάχος του στρώματος άμμου είναι αρκετό ώστε ο κορεσμός του να μην επέρχεται ακαριαία, η παρουσία των ΠΨ έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία περιοχών υψηλής πίεσης, αφού εμποδίζει την εκτόνωση της προς τα βαθύτερα. Κοντά στην επιφάνεια των σχηματισμών, η αλληλεπίδραση της προς τα κάτω διάδοσης της πίεσης και της ανάκλασης της πάνω στην άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλές τιμές πίεσης και της κατακόρυφης κλίσης της, που ευνοούν την ανάβλυση. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι πιθανό η παρουσία ΠΨ να οδηγήσει στην παρουσία διαφορεικά φορτισμένων ενεργειακά περιοχών μέσα στο πορώδες σώμα του πυθμένα και γενικά να αλλάξει την κατανομή και τον τρόπο μεταβολής της πίεσης και των ταχυτήτων ροής στο υπόστρωμα.

Επιπλέον, οι προς τα κάτω ροές του νερού δια μέσου του επιφανειακού ιζηματικού στρώματος περιορίζονται από την (θαμμένη) άνω επιφάνεια των ΠΨ και μπορούν να συνεχιστούν μόνο παράλληλα προς αυτή κάτω από το ιζηματικό στρώμα δημιουργώντας ροές και ασκώντας μια επιπλέον αποσταθεροποιητική δύναμη στους ιζηματικούς κόκκους (lift force), που ισορροπείται από την παρουσία των περιβάλλοντων κόκκων και την βαρύτητα. Αν το πάχος του στρώματος άμμου είναι αρκετά μεγάλο, αυτή δεν έχει σημαντικό αποτέλεσμα στους κόκκους της επιφάνειας. Στην περίπτωση, όμως, που το πάχος του επιφανειακού στρώματος άμμου είναι μικρότερο (πάντα σε σχέση με την ένταση των ροών), η δύναμη αυτή συνδυάζεται με την διατμητική τάση (shear

stress-drag force) και την δύναμη ανύψωσης (lift force) της επιφανειακής ροής προκαλώντας ευκολότερα ιζηματική διάβρωση.

Όλες οι διεργασίες που περιγράφονται παραπάνω αποτυπώνονται στο Σχήμα 10-12, που περιγράφει τις αλληλεπιδράσεις ιζημάτων/ροών στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης όταν υπάρχουν θαμμένοι σχηματισμοί ΠΨ. Συνοπτικά:



**Σχήμα 10-12** Περιγραφή των διεργασιών στερεομεταφοράς στην ζώνη αναρρίχησης στο νερό και τον πορώδη πυθμένα στις διάφορες φάσεις κίνησης του κυματισμού.

- Κατά την διάρκεια της αναρριχητικής κίνησης του νερού λαμβάνει χώρα διήθηση στο μέτωπο (A) και ανάπτυξη κατακόρυφης κλίσης της πίεσης, από πάνω προς τα κάτω (B)
- Κατά την οπισθοχώρηση (επαναφορά) του νερού οι διαφορές πίεσης αντιστρέφονται και οι φορτισμένες περιοχές είναι πλέον αυτές κοντά στην άνω επιφάνεια των ΠΨ, όπου και συγκεντρώνεται το κατεισδύον ρευστό (Γ).

- Η κατακόρυφη διαφορά πίεσης προκαλεί ανάβλυση του νερού στο παραλιακό μέτωπο, η οποία συνδυαζόμενη με την κυματική τύρβη και την ύπαρξη μεγάλων 'υγρών' περιοχών στο πορώδες υπόστρωμα (στις οποίες το βάρος των ιζηματικών κόκκων ελαττώνεται) 'αποσταθεροποιούν' το ίζημα (Δ, Ε).
- Το δευτερογενές ρεύμα επαναφοράς που προκαλούν οι κυματισμοί προκαλεί την μεταφορά ιζήματος προς την θάλασσα, υποσκάπτοντας τον πυθμένα κοντά στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών (Ε). Η ήδη μικρή ποσότητα ιζήματος πάνω από τους σχηματισμούς, είναι ακόμα πιο 'ευάλωτη' στην διάβρωση, δρομολογώντας έτσι την έκθεση των σχηματισμών παραλιακών ψαμμιτών.
- Κατά την αναρρίχηση του επόμενου κυματισμού (ΣΤ) η διεργασία ξεκινά πάλι, αλλά ο πυθμένας είναι ήδη σχεδόν κορεσμένος σε νερό, με αποτέλεσμα την ευκολότερη διάβρωση, μεταφορά και απόθεση ιζήματος στο χερσαίο επιμήκες ύβωμα (berm).

### 10.3.5 Διάβρωση ή προέλαση (απόθεση ιζημάτων)

Η παρακολούθηση της μορφοδυναμικής της παραλίας των Βατερών έδειξε ιζηματική απόθεση στο χερσαίο τμήμα του παραλιακού προφίλ την χειμερινή περίοδο, η οποία δεν είναι σύμφωνη με το κλασσικό μοντέλο της εποχιακής παραλιακής μεταβολής (π.χ. Aubrey and Ross, 1985). Η απόκλιση από το κλασσικό μοντέλο που παρατηρήθηκε, αποδόθηκε κυρίως στην παράλληλη προς την ακτή μεταφορά ιζημάτων από τα ανατολικά (βλέπε Κεφάλαιο 10.1) και την αυξημένη τροφοδοσία της περιοχής με ίζημα από χερσαίες πηγές (ποτάμια και παράκτιους κρημνούς), λόγω των έντονων βροχοπτώσεων κατά την περίοδο της μελέτης (βλέπε Σχήμα 6-15). Χειμερινή ιζηματική απόθεση σε παραλίες με παραλιακούς ψαμμίτες έχει καταγραφεί και από άλλους ερευνητές (π.χ. Russell, 1959). Από την άλλη μεριά, συχνά παρατηρείται διάβρωση και αποκάλυψη των σχηματισμών ΠΨ στην ζώνη απόσβεσης και το παραλιακό μέτωπο, ενώ στο χερσαίο τμήμα του παραλιακού προφίλ (δηλ. στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης και στον έξαλο αναβαθμό (berm)) υπάρχουν ικανές ποσότητες ιζήματος για την κάλυψη των σχηματισμών των ΠΨ (Εικόνα 10-13).

Τέτοιες παρατηρήσεις υποδεικνύουν την σημασία των διεργασιών ιζηματομεταφοράς στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης, καθώς και στο γεγονός ότι η γνώση μας για αυτές είναι ελλιπής. Όσον αφορά την κάθετη προς την ακτή ιζηματομεταφορά, οι δυσκολίες στην εκτίμηση της 'καθαρής' (net) μεταφοράς καθώς και του ρυθμού και της κα-



τεύθυνσής της, οφείλονται κυρίως στο ότι αυτή προκύπτει από την αλγεβρική διαφορά δύο μεγάλων αντίθετων ζηματομεταφορών (πρός και από την χερσαία παραλία), που με την σειρά τους είναι δύσκολο να εκτιμηθούν με ακρίβεια (Masselink and Puleo, 2006)



**Εικόνα 10-13** Εμφανίσεις παραλιακών ψαμμιτών στις ακτές Καλαφάτης και Super Paradise της Μυκόνου. Είναι εμφανής η έντονη έκθεση των σχηματισμών στο υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ, ενώ στην ζώνη αναρρίχησης και πιο πάνω καλύπτονται από ίζημα.

Η συνολική στερεομεταφορά στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης αποτελείται από το φορτίο πυθμένα και κυρίως το φορτίο αιώρησης (δηλ. το γινόμενο της στιγμιαίας ταχύτητας και της συγκέντρωσης αιωρούμενου ιζήματος ολοκληρωμένο στον χρόνο και το βάθος). Οι Masselink and Russell (2005) μετά από μετρήσεις της ταχύτητας στην ζώνη αναρρίχησης, καταληξάν στο συμπέρασμα ότι αυτή παρουσιάζει κύρτωση προς την κατεύθυνση της ακτής, με εξαίρεση κάτω από πολύ ήπιες κυματικές συνθήκες. Η κύρτωση αυτή οφείλεται στην διαφυγή υγρού μέσα από το πορώδες του υποστρώματος (βλέπε Κεφάλαιο 10.3.4), αλλά ελέγχεται και από άλλες παραμέτρους όπως η φύση των ροών· η κυματική θραύση έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία τύρβης και την εμφάνιση μαζών νερού με κινητική ενέργεια ικανή να προκαλέσει αναρρίχηση στο μέτωπο της ακτής. Σημαντικό μέρος αυτής της ενέργειας χάνεται λόγω της τριβής με τον τραχύ πυθμένα (και την σύγκρουση των σωματιδίων του νερού μεταξύ τους αλλά και με τους ιζηματικούς κόκκους), με αποτέλεσμα η δυναμική ενέργεια στο ανώτερο σημείο της αναρρίχησης να είναι μικρότερη από την κινητική ενέργεια στο κατώτερο

σημείο της αναρρίχησης. Συνεπώς, αναμένεται ασύμμετρη ιζηματομεταφορά προς την χερσαία παραλία λόγω της πιο ‘ενεργητικής’ αναρρίχησης (βλέπε και Zenkovich, 1967).

Οι Masselink and Puleo (2006) δηλώνουν ότι για να συμβεί απόθεση υλικού στην ζώνη αναρρίχησης είναι απαραίτητη η κατακάθιση των αιωρούμενων ιζημάτων, πριν την έναρξη της κίνησης οπισθοχώρησης του κυματισμού. Αυτό συμβαίνει γιατί η προέλαση/θραύση των κυματισμών και η αλληλεπίδραση τους με την κίνηση οπισθοχώρησης παράγουν υψηλά επίπεδα τύρβης, προκαλώντας την αιώρηση των ιζημάτων, τα οποία με την σειρά τους πρέπει να αποθεθούν, πριν επιστρέψουν στην περιοχή έντονης ανατάραξης. Το κριτήριο που προτείνεται για την καταβύθιση της αιωρούμενης άμμου είναι το εξής:

$$\Omega = \frac{z_s}{w_s T_u} \quad 10-1$$

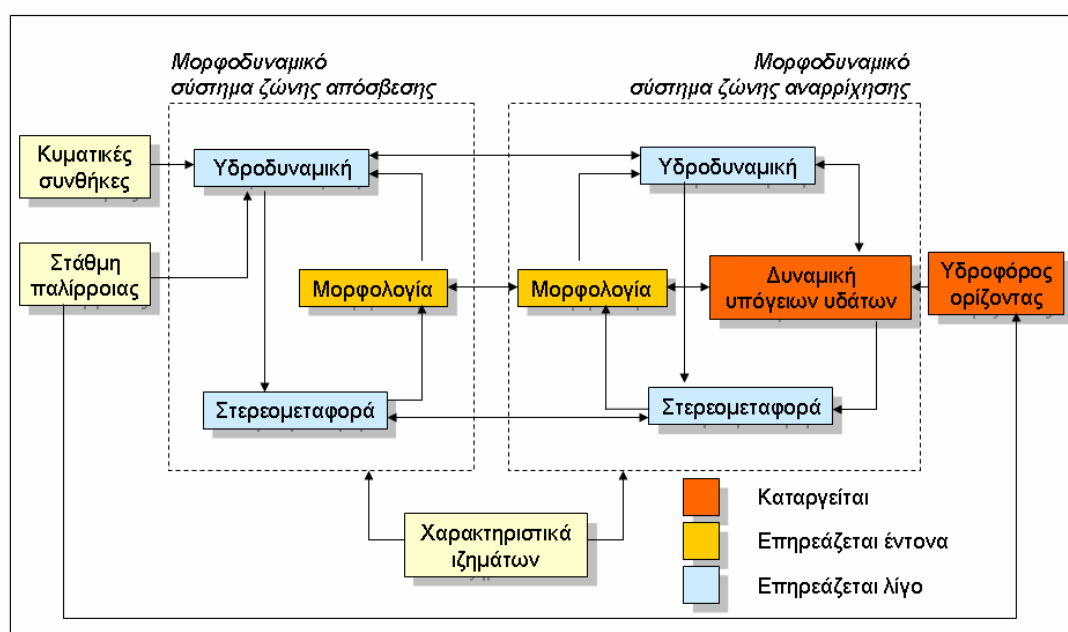
όπου  $w_s$  είναι η ταχύτητα καταβύθισης του αιωρούμενου ιζήματος,  $T_u$  η διάρκεια της αναρρίχησης και  $z_s$  το ύψος στο οποίο το ίζημα αιωρείται.

Στην περίπτωση παρουσίας (θαμμένων) ΠΨ, η αναρρίχηση των κυματισμών γίνεται πάνω από ‘υγρότερο’ υπόστρωμα, του οποίου τα επιφανειακά ιζήματα είναι περισσότερο ενδοτικά στην διάβρωση/μεταφορά (βλέπε Κεφάλαιο 10.3.4). Αυτό προκαλεί αυξημένες συγκεντρώσεις αιωρούμενου ιζήματος, οι οποίες σε συνδυασμό με την ασυμμετρία που περιγράφεται παραπάνω, προκαλούν ισχυρότερη στερεομεταφορά προς την χερσαία παραλία, συμβάλλοντας στην σταδιακή αποκάλυψη των ΠΨ στο παραλιακό μέτωπο. Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από τις παρατηρήσεις πεδίου στην παραλία των Βατερών, όπου το χερσαίο παραλιακό προφίλ συγκεντρώνει ίζημα κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται το καλοκαίρι. Επίσης εξηγούν και το φαινόμενο που παρατηρείται συχνά σε διάφορες παραλίες με ΠΨ, στις οποίες οι σχηματισμοί καλύπτονται στην χερσαία παραλία, ενώ εμφανίζονται εκτεθειμένοι στο αβαθές υποθαλάσσιο τμήμα του παραλιακού προφίλ (Εικόνα 10-13).

Ένας επιπλέον παράγοντας για την απόθεση του υπάρχοντος υλικού στο άνω «ξηρό» τμήμα του προφίλ, είναι το ίδιο το σχήμα των ΠΨ, που συνήθως ακολουθεί αυτό της ακτής, αλλά ξεπερνώντας την στάθμη της θάλασσας επεκτείνεται οριζόντια, ή ακόμα και με αρνητική κλίση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αφού προηγηθεί η έκθεση των σχηματισμών, να δημιουργείται μια «βάση», ακριβώς μετά το κεκλιμένο τμήμα, πάνω

στο οποίο το ίζημα να είναι σχετικά προστατευμένο από τους κυματισμούς, ευνοώντας την σταδιακή συσσώρευση υλικού.

Οι Masselink and Puleo (2006) περιγράφουν θεωρητικά τις δυναμικές διεργασίες στην παράκτια ζώνη και “θεωρούν την ζώνη αναρρίχησης και το μέτωπο της ακτής μέρος ενός μορφοδυναμικού συστήματος, που αλληλεπιδρά και εξελίσσεται αμοιβαία, αποτελούμενο από τις υδροδυναμικές συνθήκες στην ζώνη αναρρίχησης, την συμπεριφορά των υπόγειων νερών, την ιζηματομεταφορά και τις μορφολογικές μεταβολές της παραλίας. Επίσης το σύστημα που περιγράφεται δεν είναι απομονωμένο, αλλά επηρεάζεται αμφίδρομα, τόσο από το μορφοδυναμικό σύστημα της ζώνης απόσβεσης, όσο και τον υδροφόρο ορίζοντα στην χέρσο. [...] Τα συστήματα της ζώνης αναρρίχησης και απόσβεσης υπόκεινται σε αμφίδρομες διεργασίες ανάδρασης, αλλά η επίδραση της δεύτερης στην πρώτη είναι πιο σημαντική”.



**Σχήμα 10-14** Επίδραση των παραλιακών ψαμμιτών στο μορφοδυναμικό σύστημα της παράκτιας ζώνης που πρότειναν οι Masselink and Puleo (2006). Με κόκκινο χρώμα διακρίνονται τα στοιχεία που καταργούνται με τον σχηματισμό των ΠΨ, με πορτοκαλί αυτά που επηρεάζονται έντονα και με γαλάζιο αυτά που επηρεάζονται λιγότερο.

Μετά τον σχηματισμό ΠΨ το σύστημα αυτό εμφανίζεται σημαντικά αλλαγμένο (Σχήμα 10-14), μια και κάποια στοιχεία του αφαιρούνται (αλληλεπίδραση με υπόγεια νερά και υδροφόρο ορίζοντα), άλλα περιορίζονται σημαντικά (μορφολογία του μετώπου της ακτής και της ζώνης απόσβεσης) και πολλά από τα υπόλοιπα επηρεάζονται σε κάποιο βαθμό (υδροδυναμική και ιζηματομεταφορά στις ζώνες αναρρίχησης και

---

απόσβεσης). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός νέου μορφοδυναμικού συστήματος, που πρέπει να ταξινομηθεί/μελετηθεί σε βάθος.

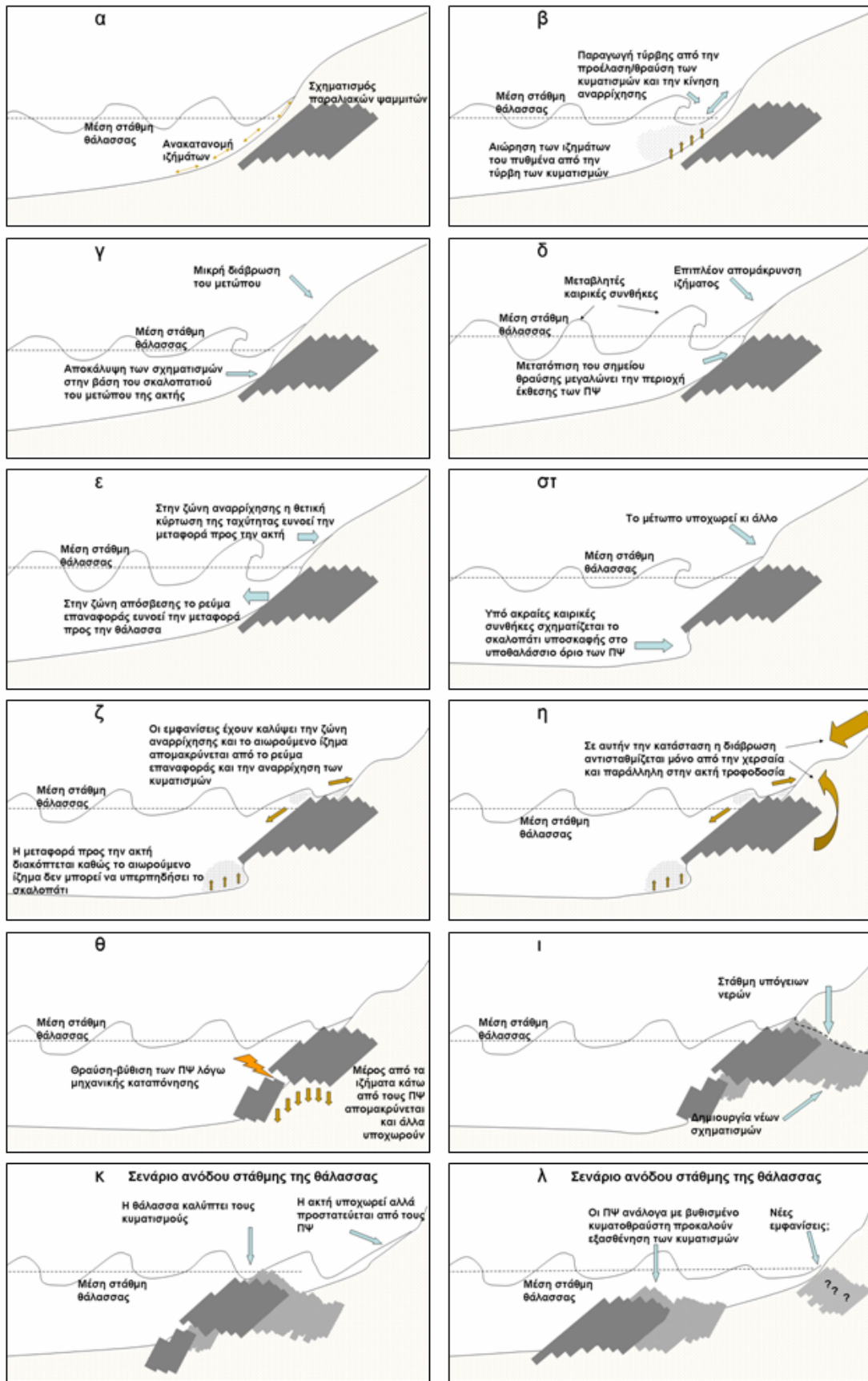
### 10.4 Θεωρητικό μοντέλο

Ακολουθεί ένα θεωρητικό μοντέλο (conceptual model) που περιγράφει τα στάδια μορφολογικής εξέλιξης μιας παραλίας με ΠΨ. Το μοντέλο, που βασίζεται σε όλα τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, εστιάζεται στις κύριες μεταβολές που συνοδεύουν τον σχηματισμό ΠΨ και έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην μορφοδυναμική συμπεριφορά της παραλίας.

- Κάτω από κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες, σχηματίζονται ΠΨ από την συνεκτικοποίηση ιζημάτων θαμμένων κάτω από ένα στρώμα παραλιακής άμμου (Σχήμα 10-15(α)). Οι δυναμικές κυματικές συνθήκες ανακατανέμουν το υλικό του πυθμένα στο αβαθές υποθαλάσσιο προφίλ και την ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης, μεταβάλλοντας το πάχος του υπερκείμενου των σχηματισμών στρώματος άμμου (Σχήμα 10-15(α)). Το πορώδες υπόστρωμα, το οποίο περιορίζεται από το μη-διαπερατό πάνω όριο των σχηματισμών, είναι πλέον πιο ευάλωτο στον κορεσμό από νερό και την ρευστοποίηση από την κυματική θραύση και αναρρίχηση, ειδικά σε περιοχές που το πάχος του είναι περιορισμένο.
- Η παραγωγή τύρβης από την προέλαση/θραύση των κυματισμών προκαλεί διάβρωση/αιώρηση των πυθμενικών ιζημάτων, που γίνεται εντονότερη όταν οι μικρές ποσότητες άμμου πάνω από τους ΠΨ επιτρέπουν στο νερό να διεισδύσει μέχρι την μη διαπερατή επιφάνεια και να διαταράξει εντονότερα τα ιζήματα. Τα διαβρωμένα ιζήματα μεταφέρονται ευκολότερα από τα κάθετα και παράλληλα στην ακτογραμμή ρεύματα (Σχήμα 10-15(β)).
- Συνήθως η εμφάνιση των ΠΨ ξεκινά από την περιοχή που γίνεται η θραύση στην βάση του «σκαλοπατιού» του μετώπου της ακτής, που σχηματίζεται από τους μηχανισμούς αιώρησης και ανακατανομής των ιζημάτων που περιγράφονται παραπάνω. Το σκαλοπάτι είναι τυπικό χαρακτηριστικό του προφίλ και δημιουργείται στο θαλάσσιο όριο της ζώνης αναρρίχησης (Σχήμα 10-15(γ)). Η απόθεση υλικού στην εκτεθειμένη επιφάνεια των σχηματισμών, εμποδίζεται από το αυξημένο δυναμικό μεταφοράς που αναπτύσσεται τοπικά, λόγω απουσίας ιζήματος, με αποτέλεσμα να μην ευνοείται η (επανα)κάλυψη των εκτεθειμένων σχηματισμών, ιδιαίτερα στην ζώνη απόσβεσης.
- Οι διαφορετικές κυματικές συνθήκες προκαλούν μετατόπιση της ζώνης θραύσης των κυματισμών, με αποτέλεσμα την ευρύτερη αποκάλυψη των σχηματισμών και

την αύξηση της έκτασης της εκτεθειμένης επιφάνειας των (Σχήμα 10-15(δ)). Κάτω από ακραίες καιρικές συνθήκες, το διαθέσιμο ιζημα μεταφέρεται βαθύτερα για να σχηματιστεί ο υποθαλάσσιος αναβαθμός (bar), αυξάνοντας έτσι την απόσβεση της κυματικής ενέργειας. Η περιορισμένη ποσότητα ιζήματος όμως δεν επαρκεί για την αποτελεσματική απόσβεση των κυματισμών, οι ζώνες απόσβεσης/αναρρίχησης είναι ακόμα αρκετά ενεργητικές και οι ΠΨ σταδιακά αποκαλύπτονται.

- Στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης, η κύρτωση της ταχύτητας προς την ακτή βοηθά την απόθεση του μεταφερόμενου ιζήματος στο χερσαίο ύψωμα και γενικότερα, στο άνω χερσαίο τμήμα του παραλιακού προφίλ (Σχήμα 10-15(ε)). Με τον χρόνο, το στρώμα του ιζήματος πάνω από τους σχηματισμούς ΠΨ μειώνεται και οι αλληλεπιδράσεις της ροής με την άνω επιφάνεια των παραλιακών ψαμμιτών ενισχύονται. Αυτό δρα βοηθητικά για την αιώρηση και στερεομεταφορά, με αποτέλεσμα να απομακρύνεται ιζημα με ακόμα γρηγορότερο ρυθμό. Η «διαβρωτική» αυτή διεργασία έχει σαν αντίβαρο μόνον την πλευρική τροφοδοσία υλικού, δηλ. από ‘εξωτερικές’ πηγές. Αυτές μπορεί να είναι χερσαίες πηγές και/ή η παράλληλη στην ακτογραμμή μεταφορά ιζημάτων, που μπορεί να ωφελεί συγκεκριμένες περιοχές της παραλίας (π.χ. ζώνες σύγκλισης παραλληλης στην ακτή μεταφοράς, ή/και ζώνες σταδιακής μείωσης της ιζηματομεταφοράς).
- Όταν αποκαλυφθούν οι ΠΨ σε όλο το εύρος του υποθαλάσσιου παραλιακού προφίλ και σε ισχυρές κυματικές συνθήκες, παρατηρείται η υποσκαφή του πυθμένα στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων και η τελική δημιουργία ενός ‘σκαλοπατιού’. Το σκαλοπάτι προκαλείται από την ‘ασυνεχή’ τροφοδοσία υλικού από τον πυθμένα που δημιουργεί διαφορετικούς ρυθμούς στερεομεταφοράς (βλέπε Κεφάλαιο 10.3.3) και επιτείνεται από την εκτεταμένη παραγωγή τύρβης λόγω του έντονου ανάγλυφου του πυθμένα (Σχήμα 10-15(στ)).



Σχήμα 10-15 Θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει τις μακροχρόνιες επιπτώσεις του σχηματισμού παραλιακών ψαμμιτών σε μια ακτή

- Η παρουσία του σκαλοπατιού ‘φιλτράρει’ την στερεοπαροχή προς την ακτή από την ζώνη απόσβεσης (Σχήμα 10-15(ζ))· αυτή πλέον είναι εφικτή μόνο από πλευρική τροφοδοσία (Σχήμα 10-15(η)). Από την άλλη μεριά, το σκαλοπάτι επηρεάζει την παράκτια υδροδυναμική με τρόπο ανάλογο ενός βυθισμένου κυματοθραύστη (μειώνοντας την προσπίπτουσα κυματική ενέργεια λόγω παραγωγής τύρβης). Έτσι, στην περίπτωση που υπάρχει ακόμα διαθέσιμο ίζημα στο άνω τμήμα του παραλιακού προφίλ, είναι δυνατή απόθεση ιζημάτων στο χερσαίο ύψωμα (βλέπε Κεφάλαιο 10.3.5).
- Η υποσκαφή στην περιοχή του ‘σκαλοπατιού’ προκαλεί σταδιακή υποχώρηση των υποκείμενων ιζημάτων, με αποτέλεσμα την μηχανική καταπόνηση των ΠΨ. Έτσι αυτοί σταδιακά βυθίζονται και/ή θραύονται μερικώς, αποκτώντας μεγαλύτερο εύρος στάθμης και κλίση (Σχήμα 10-15(θ)).
- Αν και το αντίθετο δεν αποκλείεται, η τροφοδοσία της ακτής με ιζήματα συνήθως δεν επαρκεί για να αντισταθμίζει επί μακρόν την γενικότερη τάση διάβρωσης, και η έκθεση των σχηματισμών επεκτείνεται. Παράλληλα, το φαινόμενο εξελίσσεται σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες και ο σχηματισμός παραλιακών ψαμμιτών επεκτείνεται (Σχήμα 10-15(ι)).
- Σε περίπτωση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, οι σχηματισμοί βρίσκονται σε μεγαλύτερα βάθη προκαλώντας μεγαλύτερη απόσβεση ή/και θραύση των κυματισμών. Η ακτογραμμή συνεχίζει να υποχωρεί αλλά λιγότερο σε σχέση με την περίπτωση απουσίας βυθισμένων παραλιακών ψαμμιτών, οι οποίοι δρουν προστατευτικά για την ακτή (βλέπε Κεφάλαιο 10.3.5) λειτουργώντας ως βυθισμένοι κυματοθραύστες (Σχήμα 10-15(κ,λ)).



### 10.5 Επίλογος

Οι επιπτώσεις των παραλιακών ψαμμιτών στην παραλιακή μορφοδυναμική φαίνεται ότι προκύπτουν ως αποτέλεσμα αλληλεπιδρώντων διαδοχικών διεργασιών, στις οποίες οι κύριοι οδηγοί (forcings) δεν παραμένουν σταθεροί. Η ανάλυση (και σύνθεση) της πληροφορίας που συλλέχθηκε στα πλαίσια αυτής της μελέτης οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ο σχηματισμός ΠΨ οδηγεί μακροπρόθεσμα στην απομάκρυνση των υπερκείμενων ιζημάτων και, πιθανόν, στην σταδιακή κατάληψη της παραλίας, ή τουλάχιστον της ενεργούς υδροδυναμικά περιοχής της, από ‘βραχώδεις’ εμφανίσεις.

Οι επιπτώσεις των ΠΨ πρέπει να είναι εντονότερες στις μικρές ‘παραλίες τσέπης’, που είναι πολύ συνηθισμένες στο Ελληνικό Αρχιπέλαγος, ιδιαιτέρως σε αυτές που χαρακτηρίζονται από υψηλές θερμοκρασίες των παράκτιων θαλασσινών νερών και παρουσία υδροφόρων οριζόντων και ήπιες κυματικές συνθήκες, οι οποίες ευνοούν την συνεκτικοποίηση των ιζημάτων. Αυτού του είδους τα παραλιακά συστήματα χαρακτηρίζονται από μικρές ιζηματοπαροχές και μικρά και ευαίσθητα ιζηματολογικά ισοζύγια (Βελεγράκης et al, 2005)· έτσι, αποτελούν ‘κλειστά ιζηματολογικά συστήματα’ με μικρούς χρόνους απόκρισης, ευαίσθητα ακόμα και σε περιορισμένη χωρική κλίμακα μεταβολών. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο σχηματισμός/αποκάλυψη των ΠΨ, έστω και σε μια περιοχή λίγων μέτρων κατά μήκος της παραλίας να μπορεί να οδηγήσει σε μία σοβαρή επιδύνωση της διάβρωσης της παραλιακής ζώνης σε μικρό χρονικό διάστημα.

Στην φύση είναι πολύ συχνή η εμφάνιση μη γραμμικών συμπεριφορών, που οδηγούνται από πολλές σύνθετες αλληλεπιδράσεις, με αποτέλεσμα μορφές και δομές που εμφανίζουν ταλαντώσεις γύρω από συγκεκριμένους ελκυστές. Η μορφολογική εξέλιξη των παραλιών δεν αποτελεί εξαίρεση, καθώς η θέση και το σχήμα τους, μεταβάλλεται έντονα, παρουσιάζοντας όμως παρόμοιες «μέσες» συμπεριφορές στο πεδίο του χρόνου. Ο ‘μη-ενδοτικός’ χαρακτήρας μιας σταθερής, αδιαπέραστης μάζας τοποθετημένης στην έντονη (υδρο)δυναμικά παράλια ζώνη, αποτελεί πηγή προβλημάτων, με πληθώρα παραδειγμάτων όπως οι αποτυχημένες κατασκευές (π.χ. άστοχα έργα προστασίας ακτών, έργα στήριξης γεφυρών). Ανάλογη διατάραξη της σύνθετης ισορροπίας και εκτροπή του συστήματος, είναι λογικό να προκαλούν και οι ΠΨ, οι οποίοι από την μια μπορούν να απορροφήσουν τις ακραίες δυνάμεις που αναπτύσσονται

στην παράλια ζώνη, από την άλλη αποτελούν την αιτία για την εμφάνιση «αφύσικων» μεταβολών, τριγύρω τους.

Οι παραπάνω παρατηρήσεις δεν συμπεριλαμβάνουν τον ανθρώπινο παράγοντα, ο οποίος εμφανίζεται να παίζει όλο και μεγαλύτερο (και πολλές φορές τον καθοριστικό) ρόλο στην παράκτια ζώνη. Επεμβάσεις στην παράκτια λεκάνη απορροής και την ακτογραμμή (π.χ. ποτάμια φράγματα/λιμνοδεξαμενές και άλλα διαχειριστικά έργα νερών, δημιουργία δρόμων και διευθετήσεις ρεμάτων και σταθεροποιήσεις πρανών) επηρεάζουν σημαντικά την τροφοδοσία των ακτών με ίζημα, ενώ παράκτια έργα (π.χ. λιμάνια, άστοχα έργα προστασίας από διάβρωση κλπ) μπορούν εμποδίσουν την παράκτια κυκλοφορία των ιζημάτων. Αυτές οι επεμβάσεις διαταράσσουν την ισορροπία των παράκτιων συστημάτων, με αποτέλεσμα να ευνοούνται οι τάσεις διάβρωσης· υπάρχουν πληθώρα παραδειγμάτων σημαντικών παράκτιων διαβρώσεων στην παγκόσμια (GEO-3, 2003) και Ευρωπαϊκή ακτογραμμή (Eurosion, 2004). Η σημαντικότητα της παρουσίας ΠΨ στην παραλιακή ζώνη έγκειται στο γεγονός ότι περιορίζει σημαντικά τα 'όρια αντοχής' του συστήματος και συντελεί στην απομάκρυνση (διάβρωση) των ΠΨ.

Καταλήγοντας, μπορεί να ειπωθεί ότι οι ΠΨ μπορεί να έχουν κάποιο θετικό αντίκτυπο μόνο στις (λίγες) περιπτώσεις που η διατήρηση της θέσης της ακτογραμμής αποτελεί την κύρια προτεραιότητα. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν ακτές που απειλούνται από αφανισμό, θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη ζωή και περιουσία, όπως π.χ. οι έντονα διαβρωμένες ακτές (υποβαθμισμένων) αστικών περιοχών και μικρών κοραλλιογενών νησιών. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις ο σχηματισμός ΠΨ εμφανίζεται εξαιρετικά ζημιογόνος, υποβαθμίζοντας (και συχνά 'καταστρέφοντας') τις παραλίες, με αποτέλεσμα σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής, τον τουρισμό και την οικονομία.

Μεγάλο ερωτηματικό αποτελούν οι συνέπειες μιας πιθανής ανόδου της θερμοκρασίας του πλανήτη, στην ταχύτητα και χωρική κατανομή του φαινομένου του σχηματισμού ΠΨ παγκοσμίως. Δεδομένου ότι η καταβύθιση  $\text{CaCO}_3$  φαίνεται να ευνοείται από την παρουσία υψηλών θερμοκρασιών (βλέπε Κεφάλαιο 2.3), θα ήταν αναμενόμενη μια επιτάχυνση του σχηματισμού ΠΨ καθώς και μια 'επέκταση' του φαινομένου, προς τις μη-(ύπο)-τροπικές περιοχές. Κάτι τέτοιο άλλωστε, ενδεχομένως να διαφαίνεται από την βιβλιογραφία (βλέπε Κεφάλαιο 2), περισσότερο όμως 'διαισθητικά' και χωρίς ακόμα να μπορεί να στηριχθεί σε στερεή βάση. Από την άλλη, η αύξηση της συγκέ-

---

ντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα και η απορρόφηση του από τους ωκεανούς, ήδη έχει εντοπιστεί ως ένα από τα μεγαλύτερα πιθανά περιβαλλοντικά προβλήματα, κυρίως λόγω της μείωσης του pH των θαλασσών (The Royal Society, 2005). Τα πιο όξινα νερά θα έχουν αυξημένο δυναμικό κατακράτησης CaCO<sub>3</sub> (βλέπε και Κεφάλαιο 2.3), κάτι που θέτει σε σοβαρό κίνδυνο διάφορους ασβεστιτικούς οργανισμούς (π.χ. κοράλλια), αλλά από την άλλη μπορεί να οδηγήσει σε επιβράδυνση του σχηματισμού ΠΨ. Η σχετική 'ισορροπία' των δύο παραπάνω αντιμαχόμενων δράσεων είναι πολύ δύσκολο να προβλεφτεί, καθώς σχετίζεται με τις φυσικές/χημικές ιδιότητες του πλανήτη, των οποίων τις αλληλεπιδράσεις δεν έχουμε ακόμα κατανοήσει σε βάθος.

Τέλος, τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δείχνουν ότι η μελέτη των επιπτώσεων των ΠΨ στις μορφοδυναμικές διεργασίες της παράκτιας ζώνης, ουσιαστικά ανοίγει ένα νέο κεφάλαιο στην επιστήμη της παράκτιας έρευνας και ειδικά των παραλιακών ζωνών, αφού αναιρεί μέρος των μέχρι τώρα συμπερασμάτων και καθιστά αναγκαία την μελέτη/ερμηνεία διεργασιών, που ακόμα δεν έχουν γίνει πλήρως κατανοητές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποτελεί ένα άκρως γοητευτικό και προκλητικό θέμα μελέτης, που εκτιμάται θα γίνεται ολοένα και πιο επίκαιρο.

## 11 Συμπεράσματα- Προτάσεις

### 11.1 Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα της μελέτης αναφέρονται περιληπτικά παρακάτω.

Η παραλία των Βατερών είναι μία παραλία εγκόλπωσης ('τσέπης'), με μήκος περίπου 7 km και μέσο πλάτος χερσαίας παραλίας περίπου 35 m. Το κεντροδυτικό τμήμα της (με μήκος περίπου 3 km) καταλαμβάνεται από σχηματισμούς ΠΨ, οι οποίοι όχι μόνον εμφανίζονται συχνά στην ζώνη διαβροχής/αναρρίχησης και στο αβαθές τμήμα του υποθαλάσσιου παραλιακού προφίλ, αλλά και σε πολλές περιπτώσεις, βρέθηκαν να καταλαμβάνουν όλο το πλάτος της χερσαίας παραλίας, θαμμένοι κάτω από ένα λεπτό στρώμα παραλιακών χαλαρών ιζημάτων. Η χερσαία παραλία χαρακτηρίζεται από μέτριες/φτωχά διαβαθμισμένες άμμους και χάλικες· τα πλέον αδρόκοκκα και φτωχά διαβαθμισμένα ιζήματα βρίσκονται στο ανατολικό άκρο της παραλίας. Η περιοχή αυτή περιέχει τις κυριότερες ιζηματικές πηγές της παραλίας, δηλ. τον ποταμό που εκβάλλει στο ανατολικό άκρο της παραλίας και τους παράκτιους κρημνούς Τεταρτογενών κροκαλοπαγών που βρίσκονται πίσω από την παραλία και αποχετεύονται/διαβρώνονται από πληθώρα μικρών εφήμερων ρυακιών.

Τα ιζηματολογικά δεδομένα έδειξαν ότι τα ιζήματα ακολουθούν κλασσική κατανομή ζώνωσης κατα πλάτος της χερσαίας παραλίας, με τα πλέον λεπτόκοκκα ιζήματα να βρίσκονται στην ανώτερη παραλία και τα πλέον αδρόκοκκα στο χερσαίο ύψωμα (έξαλο αναβαθμό (berm))· τα ιζήματα της ζώνης διαβροχής/αναρρίχησης (swash zone) έχουν ενδιάμεσα μεγέθη. Η υδροδυναμική ανακατανομή των ιζημάτων κατά μήκος της παραλίας είναι εμφανής στην ζώνη διαβροχής, ενώ η χωρική μεταβλητότητα των κοκκομετρικών παραμέτρων στην περιοχή των ΠΨ διαφοροποιείται από αυτή της υπόλοιπης παραλίας. Σ' αυτήν την περιοχή, οι χωρικές τάσεις των κοκκομετρικών παραμέτρων στην ζώνη διαβροχής δείχνουν ότι η παραλία είναι πιο 'ευάλωτη' στην υδροδυναμική ανακατανομή των ιζημάτων σε σχέση με την υπόλοιπη παραλία και χαρακτηρίζεται από περισσότερο λεπτόκοκκα ιζήματα (ιδιαίτερα την θερινή περίοδο) από την υπόλοιπη παραλία. Γενικά, οι χωρικές κοκκομετρικές τάσεις των ιζημάτων της κατώτερης χερσαίας παραλίας δείχνουν ότι η γενική κατεύθυνση μεταφοράς των παραλιακών ιζημάτων είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά κατά μήκος του μεγαλύτερου τμήματος της ακτογραμμής.

Οι χρονοσειρές των μορφολογικών δεδομένων έδειξαν ότι, ενώ αρχικά το τμήμα της παραλίας με τους ΠΨ παρουσιάστηκε έντονα διαβρωμένο, στην συνέχεια παρουσίασε πρόσχωση. Η πρόσχωση φαίνεται ότι σχετίζεται με περιόδους βροχόπτωσης και άρα, με ιζηματοπαροχή στην ανατολική παραλία. Η παρατήρηση αυτή, σε συνδυασμό με την παράλληλη προς την ακτή ιζηματομεταφορά από τα ανατολικά προς στα δυτικά που υπέδειξαν τα ιζηματολογικά δεδομένα, μπορεί να εξηγήσει την πρόσχωση που παρατηρήθηκε στην περιοχή των ΠΨ.

Οι προσομοιώσεις της κατανομής της παράκτιας κυματικής ενέργειας και των κυματογενών ρευμάτων έδειξαν ότι οι περιοχές εμφάνισης των ΠΨ είναι οι λιγότερο ενεργητικές στην ακτή των Βατερών. Έδειξαν επίσης ότι η κύρια κατεύθυνση των παράλληλων προς την ακτή κυματογενών ρευμάτων είναι από τα ανατολικά προς τα δυτικά για το μεγαλύτερο μέρος της παραλίας (εκτός από το ακραίο δυτικό μέρος της) για όλες σχεδόν τις κυματικές συνθήκες και ότι η περιοχή των ΠΨ αποτελεί ζώνη σύγκλισης παράλληλων προς την ακτή ρευμάτων και άρα, ατραπών ιζηματομεταφοράς. Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα από τα ιζηματολογικά και μορφολογικά δεδομένα.

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε για την οπτική παρακολούθηση των υψίσυχων μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης (όπως στην περίπτωση κυματισμών) στην παράκτια ζώνη αποδείχθηκε εύχρηστη και βοήθησε στην καταγραφή σημαντικών υδροδυναμικών φαινομένων (όπως την παρουσία υποβαρυτικών κινήσεων), καθώς και της επίδρασης των εμφανίσεων στον μετασχηματισμό των κυματισμών κοντα στην ακτογραμμή.

Η περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών χαρακτηρίζεται από απότομες κλίσεις (5-10%) του παραλιακού μετώπου και την παρουσία ενός ιδιαίτερου μορφολογικού χαρακτηριστικού σε όλο σχεδόν το μήκος του υποθαλάσσιου ορίου των σχηματισμών. Εκεί σχηματίζεται ένα 'σκαλοπάτι' ύψους περίπου 0.7 m, το οποίο μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις, αφού μπορεί να 'φιλτράρει' την κάθετη προς την ακτή ιζηματομεταφορά (δηλ. περιορίζει/διακόπτει την μεταφορά ιζημάτων από την υποθαλάσσια στην χερσαία παραλία ενώ επιτρέπει την μεταφορά ιζημάτων προς την αντίθετη κατεύθυνση). Έτσι, παρ' όλο που η περιοχή των σχηματισμών ΠΨ φαίνεται ότι αποτελεί ζώνη σύγκλισης παράλληλων προς την ακτή ατραπών ιζηματομεταφοράς (sediment transport pathway convergence zone) και, συνεπώς, ζώνη απόθεσης ιζημάτων, χαρακτηρίζεται επίσης από καθαρή (net) ιζηματομεταφορά από την χερσαίο/αβαθές υποθαλάσσιο

τμήμα του παραλιακού προφίλ προς τα ανοικτά. Αυτό σημαίνει ότι το πλευρικά τροφοδοτούμενο ιζήμα διαφεύγει προς στο υποθαλάσσιο τμήμα του προφίλ.

Η ανάλυση των χρονοσειρών μορφολογικών δεδομένων από την περιοχή των παραλιακών ψαμμιτών έδειξε ότι η άνω επιφάνεια των θαμμένων παραλιακών ψαμμιτών ελέγχει την κλίση του ανώτερου παραλιακού προφίλ. Έτσι, η δυναμική στις ζώνες διαβροχής/αναρρίχησης και απόσβεσης εμφανίζεται αισθητά περιορισμένη και οι μεγαλύτερες μεταβολές λαμβάνουν χώρα στα βαθύτερα, μη 'λιθοποιημένα' τμήματα του παραλιακού προφίλ. Οι παραπάνω παρατηρήσεις υποδηλώνουν ότι η παρουσία ΠΨ μπορεί να 'κλειδώνει' το παραλιακό προφίλ.

Τα αποτελέσματα τόσο του μορφοδυναμικού μοντέλου Boussinesq όσο και του μοντέλου ενεργητικής προσέγγισης έδειξαν ότι οι σχηματισμοί ΠΨ μπορούν να προκαλέσουν έντονα διαφοροποιημένη μορφοδυναμική συμπεριφορά σε μία παραλία. Και τα δύο μοντέλα έδειξαν την δημιουργία 'σκαλοπατιού' στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών, αναπαράγοντας έτσι τις παρατηρήσεις πεδίου. Οι προσομοιώσεις επίσης έδειξαν ότι για περιπτώσεις παραλιών με διαφορετική κοκκομετρία (και κλίση), ο σχηματισμός του σκαλοπατιού συμβαίνει όταν η θραύση λαμβάνει χώρα κοντά στο υποθαλάσσιο όριο των εμφανίσεων και, συνεπώς, προκύπτει από συγκεκριμένους κυματισμούς. Η παρουσία περισσότερο αδρόκοκκου ιζήματος (και άρα αυξημένης παραλιακής κλίσης) φαίνεται ότι 'συγκεντρώνει' την κυματική ενέργεια σε μια μικρή περιοχή, οδηγώντας σε εντονότερες μεταβολές του ανάγλυφου. Ο σχηματισμός του σκαλοπατιού αποτελεί μια δύσκολα αναστρέψιμη μορφολογική μεταβολή, καθώς οι διαστάσεις του και το βάθος του δεν επιτρέπουν την πρόσχωσή του από τους ήπιους κυματισμούς που προκαλούν μεταφορά ιζήματος προς την ακτή· έτσι, εμποδίζεται η θερινή 'ανάκαμψη' της παραλίας. Επιπλέον, το σκαλοπάτι δημιουργεί δευτερογενείς ροές και τύρβη, που υποσκάπτουν τα υποκείμενα των ΠΨ ιζήματα στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών και τελικά προκαλούν καταπόνιση, βύθιση και θραύση των σχηματισμών.

Στην περίπτωση παραλίας με μορφολογικά/ιζηματολογικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτή των Βατερών, οι προσομοιώσεις έδειξαν ότι κάτω από ήπιες κυματικές συνθήκες οι ΠΨ 'προστατεύουν' το παραλιακό μέτωπο. Αντίθετα, κάτω από ισχυρούς κυματισμούς οι ΠΨ (α) δεν επιτρέπουν στην παραλία να πάρει αποτελεσματικότερες κλίσεις για να αποσβέσει τους κυματισμούς, (β) συντελούν στην μεταφορά του διαθέσιμου ιζήματος σε μεγαλύτερα βάθη, (γ) προκαλούν τον σχηματισμό 'σκαλοπα-

τιού' υποσκαφής και (δ) οδηγούν σε δύσκολα αναστρέψιμες μεταβολές του παραλιακού προφίλ.

Η μελέτη έδειξε ότι οι πιθανότεροι παράγοντες που ελέγχουν την (διαφορετική) μορφοδυναμική συμπεριφορά παραλιών με παραλιακούς ψαμμίτες είναι: (α) το 'κλείδωμα' του παραλιακού προφίλ· (β) η διαφορετική απόκριση του πυθμένα στην παράκτια υδροδυναμική· (γ) το 'φιλτράρισμα' της κάθετης προς την ακτή ιζηματομεταφοράς· και (δ) η μεταβολή της αλληλεπίδρασης των επιφανειακών θαλάσσιων ροών με αυτές των υπόγειων νερών και ο περιορισμός/απουσία της ροής δια μέσου του υποστρώματος του πυθμένα.

Η σύνθεση όλης της πληροφορίας που συλλέχθηκε στην παρούσα μελέτη αποτέλεσε την βάση ενός θεωρητικού μοντέλου (conceptual model) που περιγράφει την εξέλιξη μιας παραλιακής ζώνης με ΠΨ. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, ο σχηματισμοί των παραλιακών ψαμμιτών κάτω από τα χερσαία παραλιακά ιζήματα και οι αλληλεπιδράσεις τους με την παράκτια υδροδυναμική και ιζηματοδυναμική καθώς και με τα υπόγεια νερά οδηγούν αμετάκλητα στην απομάκρυνση των χαλαρών παραλιακών ιζημάτων από την χερσαία και αβαθή υποθαλάσσια παραλία και την εμφάνιση τους, με αποτέλεσμα την μετατροπή της παραλίας σε βραχώδη ακτή. Έτσι, ο σχηματισμός των ΠΨ αν και μπορεί να προστατεύσει την θέση της ακτογραμμής (θέτοντας το όριο διάβρωσης του πυθμένα), απομακρύνει επίσης το παραλιακό ίζημα και 'λιθοποιεί' τις παραλίες. Συνεπώς ο σχηματισμός των ΠΨ έχει σοβαρές μορφοδυναμικές οικολογικές, αλλά και αισθητικές, κοινωνικο-οικονομικές επιπτώσεις στις παράκτιες περιοχές.

Ο μηχανισμοί δημιουργίας ΠΨ φαίνεται ότι ελέγχονται άμεσα από τις φυσικοχημικές παραμέτρους της παράκτιας ζώνης (όπως π.χ. η θερμοκρασία και το pH, ο κορεσμός σε ανθρακικά, βροχοπτώσεις κλπ) και της μεταβλητότητας τους. Ο σχηματισμός τους αντανακλά κλιματικές συνθήκες και ευνοείται ιδιαίτερα από την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας που παρατηρείται τελευταία. Έτσι, αν άλλες φυσικοχημικές διεργασίες και επανατροφοδοτούμενοι (feedback) μηχανισμοί (όπως π.χ. η μείωση του pH λόγω αύξησης της απορρόφησης CO<sub>2</sub> από την θάλασσα και άρα η αύξηση της διαλυτότητας των ανθρακικών) δεν ισορροπήσουν τις συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας, προβλέπεται ότι το φαινόμενο θα επιταχυνθεί στο μέλλον με σημαντικές συνέπειες στην παράκτια μορφοδυναμική. Οι προβλέψεις αυτές ενισχύονται από εμπειρικές παρατηρήσεις που φαίνεται να υποστηρίζουν μια πρόσφατη αύξηση των εμφανίσεων ΠΨ στον Ελληνικό Αρχιπέλαγος και την Μεσόγειο.

Η ιδιότητα των ΠΨ να σχηματίζονται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη έχει ως αποτέλεσμα η στάθμη τους να αντανακλά την μέση στάθμη της θάλασσας την περίοδο της δημιουργία τους. Αυτό, σε συνδυασμό με την φύση του συγκολλητικού (ανθρακικού) υλικού που επιτρέπει την ραδιοχρονολόγηση τους, έχει οδηγήσει στην ευρεία χρήση της θέσης (επιπέδου) παλαιότερων ΠΨ ως ιχνηλάτη (proxy) της εξέλιξης της θαλάσσιας στάθμης. Η παρούσα μελέτη έδειξε, ότι παρ' όλο που η παραλία των Βατερών είναι μικρο-παλιρροιακή, χαρακτηρίζεται από μεγάλο εύρος στάθμης των νεώτερων σχηματισμών (2-2.5 m). Η πιθανότερη ερμηνεία είναι ότι το εύρος (και οι μεγάλες κλίσεις) των σχηματισμών οφείλονται στην σταδιακή υποσκαφή των υποκείμενων ιζημάτων στο υποθαλάσσιο όριο των σχηματισμών από τους κυματισμούς, και την διαφορική καταβύθιση/θραύση των σχηματισμών στο εξωτερικό όριο τους. Αυτή η φαινομενολογία/διάγνωση αφήνει ερωτηματικά στην ακρίβεια της χρήσης των ΠΨ σαν ιχνηλάτες της εξέλιξης της θαλάσσιας στάθμης, αφού μάλιστα υπάρχουν επίσης ερωτήματα σχετικά με την ραδιοχρονολόγηση τους: η απομόνωση του ανθρακικού συγκολλητικού τσιμέντου από παλαιότερα ανθρακικά βιογενή ιζήματα που μετέχουν στο ιστό των ΠΨ είναι εξαιρετικά δύσκολη και σπάνια επιτυχημένη υπόθεση.

Τέλος, φαίνεται ότι ο σχηματισμός των ΠΨ σε μία παραλία έχει αποτελέσματα που γίνονται αισθητά σε πολύ μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες από αυτές στις οποίες λαμβάνουν χώρα οι συνήθεις δυναμικές διεργασίες της παράκτιας ζώνης. Έτσι, αν και ο σχηματισμός τους αποτελεί ένα διαχρονικό και φυσικό φαινόμενο κάτω από κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες (όπως π.χ. αυξημένη θερμοκρασία των παράκτιων θαλασσινών και υπόγειων υδάτων, σχετικά μικρή κυματική ενέργεια και, άρα, σχετική ηρεμία της ιζηματικής απόθεσης), οι ΠΨ μπορούν να θεωρηθούν ως 'εισβολείς' τους οποίους το παραλιακό σύστημα δεν μπορεί να αδρανοποιήσει· συνεπώς, προκαλούν αμετάκλητες μορφολογικές μεταβολές.



## 11.2 Προτάσεις

Η μελλοντική έρευνα πάνω στην μορφοδυναμική ακτών με ΠΨ θα μπορούσε να σχετίζεται τόσο με την συλλογή δεδομένων από μετρήσεις στο πεδίο ή σε δεξαμενές τεχνητών κυματισμών (wavetanks), όσο με την αναλυτικότερη μαθηματική μοντελοποίηση των διεργασιών. Η συνεχής αύξηση της υπολογιστικής ισχύος και η βελτίωση των μορφοδυναμικών μοντέλων, δίνει την δυνατότητα ολοένα και αναλυτικότερης περιγραφής των ροών και των διεργασιών ιζηματομεταφοράς σε τρεις διαστάσεις. Με αυτόν τον τρόπο θα είναι δυνατόν να περιγραφούν/ερμηνευτούν οι διεργασίες υποσκαφής που προκαλούν την δημιουργία του ‘σκαλοπατιού’ και το αντίκτυπο των αλληλεπιδράσεων της ροής με την επιφάνεια των ΠΨ στην αιώρηση/μεταφορά των ιζημάτων.

Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν με την χρήση μαθηματικών μοντέλων (απόκριση του προφίλ σε δεδομένες κυματικές συνθήκες, με ή χωρίς παρουσία ΠΨ) θα μπορούσαν να διερευνηθούν και σε δεξαμενές τεχνητών κυματισμών, όπου θα ήταν δυνατή και η καταγραφή της μεταβολής διάφορων παραμέτρων, όπως ταχύτητες ροής, ύψος κύματος, συγκέντρωση αιωρούμενου ιζήματος, ρυθμός στερεομεταφοράς κα. Τέτοια δεδομένα (που θα μπορούσαν να καταγραφούν και στο πεδίο) σίγουρα θα βοηθούσαν στον εντοπισμό και στην, σε βάθος, ερμηνεία πολλών από τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην κοντινή στους ΠΨ, περιοχή.

## 12 Βιβλιογραφία

### 12.1 Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abbot, D., J. C. Ogden e I. Abbott. Studies on the Acitivity Pattern, Behavior and Food of the Echinoid *Echinometra lucunter* (Linnaeus) on Beachrock and Algal Reefs at St. Croix. Technical Report 1026.
- Ahrens J.P. 2000. A fall-velocity equation, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 126, no 2, pp. 99-102
- Alexandersson, T. 1969. Recent Littoral and Sublittoral High-Mg Calcite Lithification in the Mediterranean. *Sedimentology* 12: 47-61.
- Alexandersson, T. 1972. Mediterranean beachrock cementation: marine precipitation of Mg-calcite. D. J. Stanley: 203-223.
- Allen RC, G. E., Friedman GM, Sanders JE 1969. Aragonite-cemented sandstone from outer continental shelf off Delaware Bay: submarine lithification mechanism yields product resembling beachrock. *Journal Sediment Petrol* 39: 136-149.
- Amieux, P., P. Bernier, et al 1989. Cathodoluminescence of carbonate-cemented Holocene beachrock from the Togo coastline (West Africa): an approach to early diagenesis. *Sedimentary Geology* 65(3-4): 261-272.
- Asano, T., 1990. Two-phase flow model on oscillatory sheet-flow. *Proceedings of the 22nd International Conference on Coastal Engineering*, Delft. ASCE, Reston, VA, USA, pp. 2372- 2384.
- Aubrey, D.G., 1979. Seasonal patterns of onshore/offshore sediment movement. *Journal of Geophysical Research*, vol 84 C10, pp 6347-6354.
- Aubrey, D. G. and Ross, R. M., 1985. The quantitative description of beach cycles. *Marine Geology* 69, 155-170.
- Badve, R. M., Rajshekhar, C, Kumaran, K. P. N, Kamble, C. V. 1997). On the age and fauna of beachrock of Kegaon Coast, Uran, Maharashtra. *Current Science* 72(3): 168.
- Badyukova, Y. N and Svitoch, A.A. 1986. The Beach-Rock of the Seychelles Islands. *Oceanology*, 26, 5, 604-608.
- Badyukova, Y. N. a. S., A.A. 1986. The Beach-Rock of the Seychelles Islands. *Oceanology* 26(5): 604-608.
- Bagnold, R.A. 1963. Mechanics of marine sedimentation. In *The Sea*, Vol. 3. Interscience, New York, 507-528.
- Bagnold, R.A., 1956. The flow of cohesionless grains in fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* A249, 235- 297.
- Bagnold, R.A., 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics. *US Geological Survey, Professional Paper* 422-I, 37 pp.
- Bailard, J.A., 1981. An cnergetics total load sediment transport model for a plane sloping beach. *Journal of Geophysical Research*, 86: 10,938-10,954.
- Bakker, W.T., 1968. The dynamics of a coast with a groyne system. In: *Proc. 11th Int. Conference on Coastal Engineering*, London. ASCE, pp. 492-517.
- Bascom, W.N. 1964. *Waves and Beaches*. Doubleday, Garden City, NY.
- Battjes, J. A. 1975, Modelling of turbulence in the surf zone, *Proc. Symp. Modelling Techniques*, California, ASCE, pp. 1050-1061.
- Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M. 1978. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proceedings of the 16th International Conference of Coastal Engineering*, Hamburg, 569-587.
- Beier, J. A. 1985. Diagenesis of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence. *Journal of Sedimentary Petrology* 55: 755-761.
- Bernier, P., Bonvallot, J., Dalongeville, R., Prieur, A. 1990. Le beach-rock de Temae (Ile de Moorea-Polynesie francaise). Signification geomorphologique et processus diage?ne?tiques. *Zeitschrift fur Geomorphologie N. F* 34(4): 435- 450.
- Bernier, P., Dalongeville, R. 1988. Incidence de lactivite biologique sur la cimentation des sediments littoraux actuels. *Lexample des iles de Delos et de Rhenee (Cyclades, Greece)*. C.R. Acad. Sci., Paris 307: 1901-1907.

- Bernier, P., Dalongeville, R. 1996. Mediterranean coastal changes recorded in beach-rock cementation. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl. B 102: 185–198.
- Berthois, L. Note sur la formation dun poudingue a ciment calcaire (beach-rock) au Cap Mandego. Tech. Report CERC 89-9, Coastal Engineering Research Center, US. Army Waterway Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Bezerra, F. H. R., A. M. F. Barreto, et al 2003. Holocene sea-level history on the Rio Grande do Norte State coast, Brazil. *Marine Geology* 196(1-2): 73-89.
- Bezerra, F. H. R., Vita-Finzi, C. 2000. How active is a passive margin? Palaeoseismicity in Northeastern Brazil. *Geology* 28(7): 591-594.
- Bijker, E., 1968. Littoral drift as function of waves and current. 11th Coastal Engineering Conference Proc. ASCE, London, UK, pp. 415–435.
- Binkley, K. L., Wilkinson, B.H., Owen, R.M. 1980. Vadose beachrock cementation along a Southeastern Michigan marl lake. *Journal of Sedimentary Petrology* 50: 953–962.
- Bird, E., 2000. Coastal geomorphology: An introduction. John Wiley and Sons, Chichester. 317 pp.
- Bodge, K.R., 1992. Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression. *Journal of Coastal Research*, 8, 47-55.
- Bodur, M. N. and M. Ergn 1992. Holocene sedimentation patterns and bedforms in the wave-current-dominated nearshore waters of eastern Mersin Bay (eastern Mediterranean). *Marine Geology* 108(1): 73-93.
- Boekschoten, G. J. 1962. Beachrock at Limani Chersonisos, Crete. *Geologie en Mijnbouw* 41: 3-7.
- Booij N., Ris R.C. and Holthhuijen L.H. 1999. A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104, C4, 7649-7666.
- Borah D.K. and Balloffet A. 1985, Beach evolution caused by littoral drift barrier, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, vol 111, no4, 645-660.
- Bos, K.J., Roelvink, J.A., Dingemans, M.W., 1996. Modelling the impact of detached breakwaters on the coast. *Proceedings of the 25th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, New York, pp. 2022– 2035.
- Bourrouilh-Le, Jan, 1997, The role of high-energy events (hurricanes and/or tsunamis) in the sedimentation, diagenesis and karst initiation of tropical shallow water carbonate platforms and atolls: *Sedimentary Geology*, v. 118, p. 3-36.
- Braga G, S. A. 1969. Beachrock ed Alto Adriatico: aspetti paleogeografici, climatici, morfologici ed ecologici del problema. *Atti Ist. Veneto Sci. Lett. Arti* 127: 351-361.
- Briand, M.H.G., Kamphuis, J.W., 1993. Sediment transport in the surf zone: a quasi-3D numerical model. *Coastal Engineering* 20, 135–156.
- Bricker, O. P. 1971. Introduction: beachrock and intertidal cement. O. P. Bricker, Johns Hopkins Press, Baltimore, MD: 1-3.
- Brocchini, M. Integral swash zone models. *Continental Shelf Research In Press*, Corrected Proof.
- Brownlaw, R. L. S., Jell, J. S. 1997. Beachrock Formation on Heron Island. Australian Coral Reef Society, 75th anniversary conference, 1997, Greenwood, J. G. Hall, N. J., School of Marine Science, University of Queensland 1998: 251.
- Bruun, 1992. Discussion of: Bodge, KR, 1992. Representing Equilibrium Beach Profiles with an Exponential Expression. *Journal of Coastal Research*, 8, 3.
- Bruun, P., 1954. Coast erosion and the development of beach profiles. U.S. Army Beach Erosion Board Technical Memorandum No. 44.
- Bruun, P., 1962. Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterway Harbors Div. ASCE*, 88( 117).
- Buthurst, R.G.C 1971 Carbonate Sediments and their Diagenesis. In “Development in Sedimentology”, Vol. 12 620pp. Elsevier publishing company, Amsterdam.
- Buthurst, R.G.C. 1971. Carbonate Sediments and their Diagenesis. In “Development in Sedimentology”, Vol. 12 620pp. Elsevier publishing company, Amsterdam
- Butt T, Russell P. and Turner I. 2001. The influence of swash infiltration-exfiltration on beach face sediment transport: onshore or offshore?. *Coastal Engineering*, 42, pp. 35-52.
- Caldas, L. H. d. O., K. Stattegger, et al 2006. Holocene sea-level history: Evidence from coastal sediments of the northern Rio Grande do Norte coast, NE Brazil. *Marine Geology* 228(1-4): 39-53.

- Calvet, F., M. C. Cabrera, et al 2003. Beachrocks from the island of La Palma (Canary Islands, Spain). *Marine Geology* 197(1-4): 75-93.
- Camenen, B. and P. Larroude (2003). Comparison of sediment transport formulae for the coastal environment. *Coastal Engineering* 48(2): 111-132.
- Carmo J. S and Santos F.J. On breaking waves and wave-current interaction in shallow water: A 2DH finite element model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 22:429-444, 1996.
- Carter, R.W.G., 1988. *Coastal Environments*. Academic Press Ltd, London. 617 pp.
- CEM 2002. *Coastal engineering manual*, US Army Corps of Engineers. EM 1110-2-1100 30 Apr 02
- Chapman, D. M. 1980. Coastal erosion and the sediment budget, with special reference to the gold coast, Australia. *Coastal Engineering* 4: 207-227.
- Chaves, N. S., Sial, A.N. 1998. Mixed oceanic and freshwater depositional conditions for beachrocks of northeast Brazil: evidence from carbon and oxygen isotopes. *International Geology Review* 40(8): 748-754.
- Chivas, A., Chappell, J., Polach, H., Pillans, B. and Flood, P. 1986. Radiocarbon evidence for the timing and rate of island development, beach-rock formation and phosphatization at Lady Elliot Island, Queensland, Australia. *Marine Geology* 69: 273-287.
- Chowdhury, S. Q., Fazlul Haq, A.T.M and Hasan, K 1997. Beachrock in St. Martins Island, Bangladesh: Implication of Sea Level Changes on Beachrock cementation. *Marine Geology* 20: 89- 104.
- Church J.A., Gregory, J.M., Huybrechts, P., Kuhn, M., Lambeck, K., Nhuan, M.T., Qin, D. and Woodworth, P.L. 2001, *Changes in Sea Level*, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, eds. Houghton and Ding, Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Clarke, D. J. and I. G. Eliot 1988. Low-frequency changes of sediment volume on the beachface at Warilla Beach, New South Wales, 1975-1985. *Marine Geology* 79(3-4): 189-211.
- Clifton, H. E. 1969. Beach lamination: Nature and origin. *Marine Geology* 7(6): 553-559.
- Cloud, P. E., Jr. 1952. Preliminary Report on Geology and Marine Environments of Onotoa Atoll, GI. Atoll Research Bulletin 12.
- Collins, M.B. and Rigler, J.K., 1982. The use of settling velocity in defining the initiation of motion for heavy mineral grains, under unidirectional flow. *Sedimentology*, 29: 419-426.
- Conolly, J. R. and C. C. Von Der Borch 1967. Sedimentation and physiography of the sea floor south of Australia. *Sedimentary Geology* 1: 181-187.
- Conti A., S. A., Zuppi G.M. 2002. Gas seeps and rock formation in the northern Adriatic Sea. *Continental Shelf Research* 22: 2333-2344.
- Cooper, J. A. G. and R. M. Flores 1991. Shoreline deposits and diagenesis resulting from two Late Pleistocene highstands near +5 and +6 metres, Durban, South Africa. *Marine Geology* 97(3-4): 325-343.
- Cooper, J.A.G 1991 Beachrock formation in low latitudes: implication for coastal evolution models, *Marine Geology*, 98, 145- 154.
- Cooray, P. G. 1968. A Note on the Occurrence of Beachrock along the West Coast of Ceylon. *Journal of Sedimentary Petrology* 38: 650- 654.
- Coote, S. M. 1984. A study of beachrock on Heron Island, Great Barrier Reef, Australia.
- Copeland, G. J. M., 1985. A Practical Alternative to the Mild-Slope Equation Coastal Engineering, 9, pp 125-149.
- Cruz, E.C., Isobe, M., Watanabe, A., 1997. Boussinesq equations for wave transformation on porous beds. *Coastal Engineering* 30, 125- 156.
- CUR (Center for Civil Engineering Research, Codes and Specifications) 1987. *Manual on Artificial Beach Nourishment*. Rijkswaterstaat, The Netherlands.
- DAncremond K., van der Meer J.W., deJong R.J. 1996. Wave transmission at low-crested structures. 25th Int. Conference On Coastal Engineering, Kobe, Japan, 2418-2427.
- Da Silva, M. A. M. 1979. Provenance of heavy minerals in beach sands, southeastern Brazil: from Rio Grande to Chui (Rio Grande do Sul State). *Sedimentary Geology* 24(1-2): 133-148.
- Dally, W.R., Dean, R.G., 1986. Transformation of random breaking waves on surf beat. *Proceedings Coastal Engineering*. ASCE, New York, USA, pp. 109- 123.

- Dalrymple, R.A., 1992. Prediction of storm-normal beach profiles. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 118, 193-200.
- Daly, R. A., 1934: The changing world of ice age. Yale University Press, 271 p.
- Daly, R.A., 1920: A recent world-wide sinking of ocean level, *Geology magazine* 57, pp. 246-261.
- Darwin, C. 1841. On a remarkable bar of sandstone off Pernambuco on the coast of Brazil. London Edinburgh Dublin. *Philosophical Magazine and Journal of Science* 19: 257-261.
- Davies AG, van Rijn LC, Damgaard JS, van de Graaff J, Ribberink JS. 2002 Intercomparison of research and practical sand transport models. *Coastal Eng* 46:1-23
- Davies, A.G., Li, Z., 1997. Modelling sediment transport beneath regular symmetrical and asymmetrical waves above a plane bed. *Continental Shelf Research* 17 (5), 555- 582.
- Davies, P. J., Kinsey, D.W 1973. Organic and inorganic factors in recent beach rock formation, Heron Island, Great Barrier Reef. *Journal of Sedimentary Petrology* 43: 59-81.
- de la Huz, R., M. Lastra, et al 2005. Biological impacts of oil pollution and cleaning in the intertidal zone of exposed sandy beaches: Preliminary study of the Prestige oil spill. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65(1-2): 19-29.
- De Vriend, H.J. and Stive, M.J.F., 1987. Quasi-3d modelling of nearshore currents. *Coastal Engineering*, 11: 565-601.
- De Vriend, H.J., Zyserman, J., Nicholson, J., Roelvink, J.A., Pechon, P. and Southgate, H.N., 1993. Medium-term 2DH coastal area modelling. *Coastal Engineering*, 21: 193-224.
- Dean R. G. 2003 *Beach Nourishment: A short course*, Soft Shore Protection, Kluwer Academic Publishers, eds. C. Goudas, G. Katsiaris, V. May and Th.V. Karambas, Dordrecht, Netherlands, pp. 349-394.
- Dean, R. G., 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. In: *Conference on Engineering Dynamics in the surf zone*, ASCE, Sydney, NSW, pp 209-214
- Dean, R.G., 1977. *Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf Coasts*. Newark (Delaware), Univ. of Delaware, Dept. of Civil Engineering, Ocean Engineering Report No. 12.
- Dean, R.G., 1987. Coastal sediment processes: toward engineering solutions. In: *Coastal Sediments 87, Specialty Conference on Advances in Understanding of Coastal Sediment Processes*. New Orleans, LA. ASCE, pp. 1-24.
- Dean, R.G., 1991. *Equilibrium beach profiles: characteristics and applications*. *Journal of Coastal Research*, 7, 53-84.
- Deboo, P. B. 1962. A preliminary petrographic study of beach rock. *Natl. Coastal and Shallow Water Research Conference* (1st).
- Deigaard R., Fredsoe J., and Hedegaard I.B. 1986. Mathematical model for littoral drift. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 112, No 3, pp. 351-369.
- Deigaard, R. and Fredsee, J., 1989. Shearstress distribution in dissipative water waves. *Coastal Engineering*, 13: 357-378.
- DELFT HYDRAULICS. *Erosion and deposition characteristics of natural muds, sediments from Ketelmeer*. C. Kuiper, J.M. Cornelisse and J.C. Winterwerp. Delft, WL | Delft Hydraulics, 1990 (Nov.), 63 p.
- Dravis, J. 1979. Rapid and widespread generation of recent oolitic hardgrounds on a high energy Bahamian platform, Eleuthera Bank, Bahamas. *J. Sed. Petrol.*, 49, 195-208.
- Desruelles S., F. E., Pavlopoulos K., Dalongeville R., Peulvast J.-P., Coquinot Y., Potdevin J.-L. 2004. Variations recentes de la ligne de rivage en Mer rouge et beachrocks dans l'ensemble insulaire Mykonos-Delos-Rhenee (Cyclades, Grece). *Geomorphologie* 1: 5-17.
- Desruelles S. 2004 - *Leau dans l'ensemble insulaire cristallin méditerranéen Mykonos-Délos-Rhénéé (Cyclades, Grèce) et sa gestion dans la ville antique de Délos*. Université Paris-Sorbonne (Paris IV) : thèse de Géographie, 457 p.
- Dibajnia M., 1995. Sheet flow transport formula extended and applied to horizontal plane problems. *Coastal Engineering in Japan*, vol. 38, no 2, pp179-194.
- Dibajnia M., Moriya T. and Watanabe A., 2001. A representative wave model for estimation of near-shore local transport rate. *Coastal Engineering Journal*, vol. 43, no 1, pp. 1-38.
- Dibajnia, M. and A. Watanabe 1998. Transport rate under irregular sheet flow conditions. *Coastal Engineering* 35(3): 167-183.

- Dibajnia, M., R. B. Nairn, et al 2004. Analysis of long-term sand accumulation at a harbor using 2DH numerical simulation. *Coastal Engineering, Coastal Morphodynamic Modeling* 51(8-9): 863-882.
- Dibajnia, M., Watanabe, A., 1992. Sheet flow under nonlinear waves and currents. *Coast. Engineering*, 2015– 2029.
- Dickinson W. R., G. R. C. 1998. Geoarchaeological context of Holocene subsidence at the Ferry Berth Lapita site, Mulifanua, Upolu, Samoa. *Geoarchaeology* 13(3): 239-263.
- Dohmen-Janssen, M., 1999. Grain size influence on sediment transport in oscillatory sheet flow, phase-lags and mobile-bed effects. PhD thesis, Delft University of Technology, ISBN 90-9012929- 4, The Netherlands.
- Donaldson, J. A. R. B. D. 1979. Beachrock in Proterozoic dolostone of the Belcher Islands Northwest Territories, Canada. *Journal of Sedimentary Petrology* 49: 1287-1294.
- Dong, P., Zhang, K., 2002. Intense near-bed sediment motions in waves and currents. *Coastal Engineering* 45, 75– 87.
- Driscoll, E. M. D. H. 1969. Beachrock and conglomerate in the Townsville area. *Geomorphology in a Tropical Environment* (British Geomorphological Research Group, Occasional Paper 5: 89-96.
- Duncan, J., John R. 1964. The effects of water table and tide cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development. *Marine Geology* 2(3): 186-197.
- Dunkel E., R. D. K. a. S. R. W. 1988. Aragonit versus Mg-Calcit Zement in holozanen Beachrocks der Perochora-Halbinsel (Korinth/Griechenland) als Ausdruck der Petrovarianz des Hinterlandes. *Böcher Geol. Geotech. Arbeiten* 19: 40-42.
- Dupre, W. R. 1984. Reconstruction of paleo-wave conditions during the Late Pleistocene from marine terrace deposits, Monterey Bay, California. *Marine Geology* 60(1-4): 435-454.
- Dyer, KR, 1986. *Coastal and Estuarine Sediment Dynamics*. John Wiley & Sons, 342p.
- Ebersole, B.A., Cialone, M.A. and Prater, M.D., 1986. RCPWAVE- A Linear Wave Propagation Model for Engineering Use. Regional Processes Numerical Modelling System, Report No 1. Department of the Army.
- Einstein, H., 1950. The bed-load function for sediment transportation in open channel flows. Technical Report 1026.
- Eldeberky, Y., Battjes, J.A., 1996. Spectral modelling of wave breaking: Application to Boussinesq equations. *Journal of Geophysical Research* 102, 1253-1264.
- Elfrink, B. and T. Baldock 2002. Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives. *Coastal Engineering* 45(3-4): 149-167.
- Elfrink, B., Deigaard, R., Brøker, I., Hansen, E.A. and Justesen, P. 1996: “3D Modelling of Sediment Transport in the Surf Zone”. Proceedings of the 25th Intl. Conference on Coastal Engineering, Orlando, USA.
- Elgar, S.L, Freilich, M.H. and Guza, R.T., 1990. Recurrence in truncated Boussinesq models for nonlinear waves in shallow water. *Journal of Geophysical Research*, 95 ( C 7 ): 11547 - 11557.
- El-Sated, A. a. A. A., M.A 1995. Beachrock in South Jeddah, The Red Sea Coast of Soudi Arabia. *Journal of King Abdulaziz University* 6: 53- 65.
- El-Sated, M. K. 1988. Progressive Cementation in Pleistocene Carbonate Sediments Along the Coastal Area of Alexandria, Egypt. *Journal of Coastal Research* 4(2): 289- 299.
- El-Sayed, M. K. 1988. Beachrock cementation in Alexandria, Egypt. *Marine Geology* 80(1-2): 29-35.
- Emery, K. O. C. D. C. 1956. Beachrock in the Hawaiian Islands. *Pac. Sci* 10: 382-402.
- Engelund, F. and Fredsoe, J., 1976. A sediment transport model for straight alluvial channels. *Nord. Hydrol.*, 7.
- Eugene, D. Halocene carbonate reef-flat and beachrock cementation, Enewatak Atoll, Marshall Islands. MSc Thesis, University of Delaware.
- EUROSION. 2004. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. Coastal erosion – Evaluation of the need for action, Directorate General Environment, European Commission.
- Fenneman, N.M., 1902. Development of the profile of equilibrium of the sub-aqueous shore terrace. *Journal of Geology* 6 (4), 532– 545.
- Field, R. M. 1919. Remarks of beachrock in Dry Tortugas *Carnegie Institute Yearbook* 18: 198.

- Flemming, B.W., 1988. Process and patterns of sediment mixing in a microtidal coastal lagoon along the west coast of South Africa. In P.L. DeBoer, A. Van Gelder and S.D. Nio (Editors): *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. Reidel Publishing Company, Dordrecht: 275-288.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-26.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of the Sedimentary Rocks*. (2nd Edition). Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, U.S.A. 182pp.
- Font, Y., Calvet, F. 1997. Beachrocks Holocenens de la Isla de La Reunion, Oceano Indico. *Cuadernos de Geologia Iberica* 22: 87– 102.
- Frankel, E. 1968. Rate of formation of beach rock. *Earth Planet. Sci. Lett.* 4: 439-440.
- Fredsoe, J. E. 1984. Turbulent Boundary Layer in Wave and Current Motion. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE 110: 8.
- Fredsoe, J. E. and Deigaard R., 1992 *Mechanics of Coastal Sediment Transport (Advanced Series on Ocean Engineering)*. 325 pages, World Scientific Publishing (28 April 1992)
- Freilich, M.H. and Guza, R.T., 1984. Nonlinear effects on shoaling surface gravity waves. *Philos. Trans. R. Soc. London*, A311: 1-41.
- Friedman, G. M. 2000. Rhythm of beachrock levels in contrasting plate settings: Rifting Red Sea and North American-Caribbean plates. *Carbonate Beaches 2000*, 21, Dec 5-8.
- Friedman, G. M. 2002. Holocene chronostratigraphic beachrock sequences and their geologic and climatic significance. Denver Annual Meeting.
- Friedman, G. M., Gavish, E. Mediterranean and Red Sea (Gulf of Aqaba) beachrocks. In: Bricker, O.P. (Ed.), *Carbonate Cements*. Technical Memorandum, 41, Beach Erosion Board, U.S. Army Engineer Waterway. Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Friedman, G.M., 1961. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31: 514-529.
- Friedman, G.M., 1979. Address of the retiring President of the International Association of Sedimentology: differences in size distributions of populations of particles among sands from various origins. *Sedimentology*: 26: 3-32.
- Frijlink, H., 1952. Discussion des formules de debit solide de Kalinske, Einstein et Meyer-Peter and Muller compte tenue des mesures recentes de transport dans les rivieres neerlandaises. 2nd *Journal Hydraulique*, Societe Hydraulique de France, pp. 98– 103. In French.
- Fujino, S., F. Masuda, et al Structure and depositional processes of a gravelly tsunami deposit in a shallow marine setting: Lower Cretaceous Miyako Group, Japan. *Sedimentary Geology* In Press, Corrected Proof.
- Gao, S. and Collins, M.B., 1991. A critique of the McLaren Method for defining sediment transport paths: discussion. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61:143-146.
- Gao, S. and Collins, M.B., 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of transport vectors. *Sedimentary Geology*, 80: 47-60.
- Georgiev, V. M. 1989. Recent beach rock formation in the Alepou Bay, Bulgarian Black Sea coast. *C. R. Acad. Bulgare Sci.* 42: 73-76.
- Global Environmental Outlook-3, 2003 United Nations Environmental Programme.
- Gewelt, M., Fierro, G. Le beach-rock de Capo Noli (Finale Ligure, Italie): datation <sup>14</sup>C et variations diurnes du pH dans des cuvettes. In: *Le Beachrock*. Actes Coll. Lyon, TMO, Lyon, 8, pp. 55-66. Thomas Telford, ISBN 0-7277-2584X, H.R. Wallingford, England.
- Ginsburg, R. N. 1953. Beach rock in South Florida. *Journal of Sedimentary Petrology* 23: 85-92.
- Gischler, E. 1994. Sedimentation on three Caribbean atolls: Glovers Reef, Lighthouse Reef and Turneffe Islands. *Facies* 31: 243-254.
- Grant, U.S., 1948. Influence of watertable on beach aggradation and degradation. *Journal of Marine Research*, 7, 655-660.
- Grunnet, N. M., B. G. Ruessink, et al. 2005. The influence of tides, wind and waves on the redistribution of nourished sediment at Terschelling, The Netherlands. *Coastal Engineering* 52(7): 617-631.
- Gobbi M. F. and J. T. Kirby 1999. Wave evolution over submerged sills: tests of a high-order Boussinesq model, *Coastal Engineering*, 37, pp. 57-96.

- Goudas C.L., G.A. Katsiaris, G. Labeas, G. Karahalios and G. Pnevmatikos 2001 Soft protection using submerged groin arrangements – dynamic analysis of system stability and review of application impacts, Proceedings of 1st Int. Conference on Soft Shore Protection, Patras 2000, Greece, 167-186.
- Goudie, A. 1969 : A note on Mediterranean beachrock: its history. *Atoll Research Bulletin*, 126, pp11-14, 19
- Grasmeijer, B. T. and B. G. Ruessink 2003. Modeling of waves and currents in the nearshore parametric vs. probabilistic approach. *Coastal Engineering* 49(3): 185-207.
- Guilcher, A. 1961, Le beach-rock ou grès de plage: *Annales de Géographie*. 378 113–125.
- Hallermeier, R. J. 1980. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering* 4: 253-277.
- Hanor, J. S. 1978. Precipitation of beachrock cements: mixing of marine and meteoric waters vs. CO<sub>2</sub>-degassing. *Journal of Sedimentary Petrology* 48: 489-501.
- Hanson, H., and Militello A., 2005. Representation of Nonerodible (Hard) Bottom in Two-Dimensional Morphology Change Models, ERDC/CHL CHETN-IV-63, May 2005, US Army Corps of Engineers.
- Harris, J. M., Branch, G. M., Elliott, B. L., Currie, B., Dye, A. H., McQuaid, C. D., Tomalin, B. J. & Velasquez, C. 1998. Spatial and temporal variability in recruitment of intertidal mussels around the coast of southern Africa. *South African Journal of Zoology* 33, 1- 11.
- Hibberd, S. and Peregrine, D.H., 1979. Surf and run-up on a beach: A uniform bore. *Journal of Fluid Mechanics*, 95(2): 323-345.
- Holail, H. and M. Rashed 1992. Stable isotopic composition of carbonate-cemented recent beachrock along the Mediterranean and the Red Sea coasts of Egypt. *Marine Geology* 106(1-2): 141-148.
- Holthhuijen L.H., Hemran A. and Booij N. 2003. Phase-decoupled refraction-diffraction for spectral wave models. *Coastal Engineering*, 49, 291-305.
- Hopley, D. Beachrock as a sea-level indicator. In “Sea-level Research: a manual for the collection and evaluation of data” (O. van d Plassche, ed.), pp.157- 173. Geo Books, Norwich. Delft Hydraul. Lab., Delft, Pub. 131.
- Horn, D. P., Beach groundwater dynamics, *Geomorphology*, 48, 121–146 pp
- Horn, D.P., 2006, Measurements and modelling of beach groundwater flow in the swash-zone: a review *Continental Shelf Research*, Volume 26, Issue 5, April 2006, Pages 622-652
- Hsu, T.-J., Sakakiyama, T., Liu, P.L.-F., 2002. A numerical model for wave motions and turbulence flows in front of a composite breakwater. *Coastal Engineering*, 46, 25– 50.
- Hughes and Chiu 1978. Beach and dune erosion during severe storms.. 299p.
- Inman, D.L. 1949 Sorting of sediments in the light fluid mechanics, *Journal of Sedimentary Petrology*, 19, pp.51-70
- Jacob, J., J. D. Ward, et al Some observations on diamondiferous bedrock gully trapsites on Late Cainozoic, marine-cut platforms of the Sperrgebiet, Namibia. *Ore Geology Reviews In Press*, Corrected Proof.
- James, N.P., Choquette, P.W., 1990. Limestones—the meteoric diagenetic environment. In: McIlreath, I.A., Morrow, W. (Eds.), *Diagenesis*. Geosciences. Cananada, reprint series, vol. 4, pp. 35– 73.
- Jiang D., Y. S. 1996. A Preliminary Study on Tropical Conchology of Mid-Holocene Beachrocks, Xiasha, Juexi Town Xiangshan County, Zhejiang Province. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* 31(2): 229-237.
- Jianhua, W. 1992. Some beachrocks discovered along the northwest coast of Hainan Island and their significances. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 31(1): 99-105.
- Jones, B., Rosen, M.R., Renaut, R.W. 1997. Silica-cemented beachrock from Lake Taupo, North Island, New Zealand. *Journal of Sedimentary Petrology* 67: 805–814.
- Jones, C. L. Petrography of some recent beach rock from the Caribbean. Library of Louisiana State University, microfilm. Doc. Thesis, Dep. of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands.
- Jones, P. L. M.S., Petrology and petrography of beachrock (Pleistocene?), Sonoran coast, northern Gulf of California, 47p, Schreiber, Jr., Joseph F., Sedimentation. Vol. Report H461. Delft Hydraulics.
- Kaczmarek, L. M., Harris, J.M. OConnor, B.A. 1994. Modelling movable bed roughness and friction for spectral waves. 24th Int. Conference on Coastal Engineering: 300-314.



- Kajima, R., Shimizu, T., Maruyama, K. and Saito, S. 1982. Experiments of beach profile change with a large wave flume. Proc. 18th Coastal Engineering Conference, ASCE, Cape Town, pp. 1385-1404.
- Kamphuis, J.W. 1991. Alongshore sediment transport rate. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 117, no 6, pp. 624-641.
- Kan, G. J. A. 1995. A study of the sedimentology and beachrock formation on Heron Island cay, southern Great Barrier Reef, Queensland, Australia.
- Karambas Th. V. 1999, Numerical simulation of linear wave propagation, wave-induced circulation, sediment transport and beach evolution, Coastal Engineering and Marina Developments, WIT Press, Eds C.A. Brebbia and P. Anagnostopoulos, pp. 253-274.
- Karambas Th. V. 1999. A unified model for periodic non linear dispersive wave in intermediate and shallow water. Journal of Coastal Research, Vol 15, No 1, pp. 128-139.
- Karambas Th. V. and C. Koutitas 2002. Surf and swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves., Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, ASCE, Vol. 128, no 3.
- Karambas Th. V. and N. P. Tozer 2003 Breaking waves in the surf and swash zone, Journal of Coastal Research. , vol. 19, no 3, pp. 514-528.
- Karambas, T.V., Koutitas, C., 1992. A breaking wave propagation model based on the Boussinesq equations. Coastal Engineering 18, 1-19.
- Karambas, T.V., Krestenitis, Y., Koutitas, C., 1990. A numerical solution of Boussinesq equations in the inshore zone. Hydrosoft 3 (1), 34-37.
- Karambas TV, Karathanassi EK, 2004. Longshore sediment transport by nonlinear waves and currents. JOURNAL OF WATERWAY PORT COASTAL AND OCEAN ENGINEERING-ASCE. 130 (6): 277-286
- Karlsson, T., 1969. Refraction of continuous ocean wave spectra. Journal of Waterways and Harbors Division Proceedings of ASCE 95 (WW4), pp. 437-448.
- Katoh K., Yanagishima S-I, Hasegawa I. and Katano A. 2001. Field experiments of gravity-drained system as a soft shore protection. Proceedings of 1st Int. Conference on Soft Shore Protection, Patras 2000, Greece, pp. 125-131.
- Katopodi, I., Kitou, N. and De Vriend, H.J., 1992. Coupling of a quasi-3d model for the transport with a quasi-3d model for the wave induced flow. In: Proc. 23rd Int. Conference Coastal Engineering, Venice.
- Kendall, C. G. S. C., Sadd, J.L., Alsharhan, A. 1994. Holocene marine cement coatings on beach-rocks of the Abu Dhabi coastline (UAE): analogs for cement fabrics in ancient limestones. Carb. Evap. 9: 119-131.
- Kennedy, A.B., Chen, Q., Kirby, J.T., Dalrymple, R.A., 2000. Boussinesq modeling of wave transformation, breaking, and runup. I: 1D. Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering 121 (5), 251- 261.
- Khalaf, F. I. 1988. Quaternary calcareous hard rocks and the associated sediments in the intertidal and offshore zones of Kuwait. Marine Geology 80(1-2): 1-27.
- Kindler, P. a. B., R.J. 1993. Submerged upper Holocene beachrock on San Salvador Island, Bahamas: implications for recent sea-level history. Geol Rundsch. 82: 24-247.
- Kneale, D. and H. A. Viles 2000. Beach cement: incipient CaCO<sub>3</sub>-cemented beachrock development in the upper intertidal zone, North Uist, Scotland. Sedimentary Geology 132(3-4): 165-170.
- Knox, G. J. 1973. An aragonite-cemented volcanic beach rock near Bilbao, Spain. Geologie en Mijnbouw 53: 9-12.
- Kobayashi, N., 1987. Analytical solution for dune erosion by storms. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering 113 (4), 401-418.
- Kolovoyiannis, V., 1999. Beach Profile Changes and Controlling Parameters in the English South Coast: an example from Christchurch Bay. MSc Dissertation, School of Ocean and Earth Science, Southampton Oceanography Center, University of Southampton. 112pp.
- Komar, P.D. and W.G. McDougal, 1994. "The analysis of exponential beach profiles," Journal of Coastal Research, pp. 56-69.
- Komar, P.D., 1977. Selective longshore transport rates of different grain-size fractions within a beach. Journal of Sedimentary Petrology, 56: 258-266.

- Komar, P.D., 1979. Beach-slope dependence of longshore currents. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 105, 460-464.
- Komar, P.D., 1998. *Beach Processes and Sedimentation* (2nd Edition). Prentice Hall, N.J. USA. 544 pp.
- Kraus N. and S. Harikai 1983, Numerical model of the shoreline change at Oarai beach, *Coastal Engineering*, 7, 1—28.
- Kraus, N. C., and Larson, M. 1998. “Numerical simulation of beach-profile change accounting for hard-bottom features,” *Proceedings 11th National Conference on Beach Preservation Technology*, Florida Shore & Beach Preservation Association, Tallahassee, FL, 123-138.
- Kraus, N.C. and Larson, M. 1998. SBEACH: Numerical Model for Simulating Storm-Induced Beach Change. Report 5 Representation of Nonerodible (Hard) Bottoms, in: “Technical report CERC-89-9”, August 1998
- Kriebel, D. L. 1990. Advances in numerical modelling of dune erosion. *Proceedings, 21st International Conference on Coastal Engineering*, Delft. ASCE, New York, Vol. 3: 2304-23 17.
- Kriebel, D. L. 1987. Beach Recovery Following Hurricane Elena. *Proceedings of Coastal Sediments 87*, American Society of Civil Engineers, New York, NY, pp 990-1005.
- Kriebel, D. L., Dean R. G., 1993. Convolution method for time dependent beach-profile response. *Journal of Waterways. Port, Coastal, Ocean Engng* 119, (2), 995-1011.
- Kriebel, D.L. and Dean, R.G., 1985. Numerical simulation of time-dependent beach and dune erosion. *Coastal Engineering*, 9:221-245.
- Kriebel, D.L., 1986. Verification study of a dune erosion model. *Shore and Beach*, 54(3): 13-20.
- Kriebel, D.L., 1990. Advances in numerical modelling of dune erosion. In: *Proceedings, 21st International Conference on Coastal Engineering*, Delft. ASCE, New York, Vol. 3, pp. 2304-23 17.
- Kriebel, D.L., Kraus, N.C., Larson, M., 1991. Engineering methods for predicting beach profile response. *Proc. Int. Conference Coastal Sediments 91*. ASCE, Seattle, USA, pp. 557– 571.
- Krumbein, W. E. 1979. Photolithotropic and chemoorganotrophic activity of bacteria and algae as related to beachrock formation and degradation (Gulf of Aqaba, Sinai) : 1979. *Geomicrobiol. J.*, 1(2): 139-203. *Deep Sea Research Part B. Oceanographic Literature Review* 26(12): 816.
- Landesman, E. M. and M. R. Hestenes 1992. *Linear Algebra for Mathematics, Science, and Engineering*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall. Lee 1994
- Larsen, J. and Dancy, H. 1983 Open boundaries in short wave simulation—a new approach, *Coastal Engineering* 7, 285–297.
- Larson M., K. S. a. E. L. 2001. A model of sediment transport and profile evolution in the swash zone. *Coastal Dynamics 01*, ASCE, Lund: 908-917.
- Larson M., Kubota S. and Erikson L. 2001 A model of sediment transport and profile evolution in the swash zone, *Coastal Dynamics 01*, ASCE, Lund, pp. 908-917.
- Larson, M. and Kraus, N.C., 1989. SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change, Report 1: Theory and model foundation, Tech. Report CERC 89-9, Coastal Engineering Research Center, US. Army Waterway Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Larson, M., 1988. Quantification of beach profile change. Report No. 1008, Department of Water Resources and Engineering, University of Lund, Lund, Sweden.
- Larson, M. and N. C. Kraus, 1991. Mathematical modeling of the fate of beach fill. *Coastal Engineering* 16(1): 83-114.
- Larson, M., and Kraus, N. C. 1998. “SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change, Report 5: Representation of nonerodible (hard) bottoms,” Technical Report CERC-89-9, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Larson, M., and Kraus, N. C. 2000. “Representation of non-erodible (hard) bottoms in beach profile change modeling,” *Journal of Coastal Research* 16(1), 1-14.
- Larson, M., S. Kubota, et al 2004. Swash-zone sediment transport and foreshore evolution: field experiments and mathematical modeling. *Marine Geology* 212(1-4): 61-79.
- Lazar, B., R. Enmar, et al 2004. Diagenetic effects on the distribution of uranium in live and Holocene corals from the Gulf of Aqaba. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 68(22): 4583-4593.

- Lee C. and K-D- Suh, 1998: Internal generation of waves for time-dependent mild-slope equations, *Coastal Engineering*, 34, pp 35-57.
- Leontyev I. O. 1999, Modelling of morphological changes due to coastal structures, *Coastal Engineering*, 38, 143-166.
- Leontyev, I.O. 1996. Numerical modelling of beach erosion during storm events. *Coastal Engineering*, 29, 187-200.
- Leontyev, I. O. 1997. Short-term shoreline changes due to cross-shore structures: a one-line numerical model. *Coastal Engineering* 31(1-4): 59-75.
- Leondaris, S., 1986. Erforschung der Aegais - beachrocks. Beobachtungen uber das Vorkommen und die Entwicklung von beachrocks an den kusten von SO und SW Euboa, Ostattika NO Bootien PRAK. Akad. Athen
- Lesser, G. R., J. A. Roelvink, et al 2004. Development and validation of a three-dimensional morphological model. *Coastal Engineering*
- Li, L., D. A. Barry, et al 2002. BeachWin: modelling groundwater effects on swash sediment transport and beach profile changes. *Environmental Modelling & Software* 17(3): 313-320.
- Li, L., Sawamoto, M., 1995. Multi-phase model on sediment transport in sheet-flow regime under oscillatory flow. *Coastal Engineering in Japan* 38 (2), 157–178.
- Li, Z., and Komar, P.D., 1986. Laboratory measurements of pivoting angles for applications to selective entrainment of gravel in a current. *Sedimentology*, 33: 413-423.
- Lin, P., Liu, P.L.-F., 1998. A numerical study of breaking waves in the surf zone. *Journal of Fluid Mechanics* 359, 239–264.
- Lippmann, T.C., Holman, R.A., 1990. The spatial and temporal variability of sand bar morphology. *Journal of Geophysical Research* 95, 11575–11590.
- Lippmann, T.C., Holman, R.A., Hathaway, K.K., 1993. Episodic, nonstationary behaviour of a double bar system at Duck, North Carolina, USA, 1986–1991. *Journal of Coastal Research* SI 15, 49– 75.
- Liu, P.L.-F., Lin, P., Chang, K.A., Sakakiyama, T., 1999. Numerical modeling of wave interaction with porous structures. *Journal of Waterways, Port, Coastal and Ocean Engineering* 125, 322– 330.
- Liu, P.L.-F., Lin, P., Hsu, T., Chang, K., Losada, I.J., Vidal, C., Sakakiyama, T., 2000. A Reynolds averaged Navier–Stokes equation model for nonlinear water wave and structure interactions. *Proceedings of Coastal Structures00*, pp. 169– 174.
- Logan, B. W. 1970. History of carbonate sedimentation, Quaternary Epoch, Shark Bay, Western Australia. *Carbonate Sedimentation Environments, Shark Bay, Western Australia, AAPG Mem.*, 13: 38-84.
- Longuet-Higgins, M.S. and Stewart, R.W. 1962. Radiation stress and mass transport in gravity waves, with application to surf beat. *Journal of Fluid Mechanics*, 13, 481-504.
- Lynett, PJ 2006. “Nearshore wave modeling with high-order Boussinesq-type equations.” *Journal of Waterway, Port, Coastal, Ocean Engineering*, 132(5)
- Madsen A. J., Plant N.G., 2001. Intertidal beach slope predictions compared to field data. *Mar. Geol.*, 173, 121-139.
- Madsen, O., Grant, W., 1976. Sediment transport in the coastal environment. Number 209, M.I.T. Ralph M. Parsons Lab.
- Madsen, P A & Larsen, J. 1987. An Efficient Finite-Difference Approach to the Mild-Slope Equation. *Coastal Engineering* 11, 329-351.
- Madsen, P. A., O. R. Sorensen, et al 1997. Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part I. Model description and cross-shore motion of regular waves. *Coastal Engineering* 32(4): 255-287.
- Madsen, P.A. and Schaffer, H.A. 1998 “Higher-order Boussinesq-type equations for surface gravity waves: derivation and analysis”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 356, 3123–3184.
- Madsen, P.A., Murray, R., Sørensen, O.R., 1991. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. *Coastal Engineering* 15, 371–388.
- Madsen, P.A., Sørensen, O.R., 1992. A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics. Part 2: A slowly varying bathymetry. *Coastal Engineering* 18, 183–204.
- Makrykosta E., Vousdoukas M., Kontoyianni A., Velegrakis A.F., Koutsoumbas D. 2006 Ecology of beachrock infected beaches and its controls. An example from Vatera beach, Lesvos Island, Greece.

- Conference Integrated Coastal Zone Management, Biodiversity and Marine Environment, Phokai, Turkey, 19-22 October.
- Malarkey, J., A. G. Davies, et al 2003. A simple model of unsteady sheet-flow sediment transport. *Coastal Engineering* 48(3): 171-188.
- Marshall, J. F., and Davies, P.J. Facies variation of Holocene reef growth in the southern Great Barrier Reef. PhD Thesis, Delft University of Technology, Publication No. 372, Delft Hydraulics.
- Mase H. 2001. Multi-directional random wave transformation model based on energy balance equation. *Coastal Engineering Journal*, 43, no 4, 317-337.
- Mase, H., Iwagaki, Y., 1982. Wave height distributions and wave grouping in surf zone. *Proceedings Coastal Engineering*. ASCE, New York, pp. 58– 76.
- Masselink G. and Puleo J.A., 2006. Swash-zone morphodynamics. *Continental Shelf Research*, Volume 26, Issue 5, April 2006, Pages 661-680
- Masselink, G., 1992. Longshore variation of grain-size distributions along the coast of Rhone delta, Southern France: a test of the McLaren model. *Journal of Coastal Research*, 8: 286-291.
- Masselink, G., Hughes, M.G. 1998. Field investigation of sediment transport in the swash zone. *Cent. Shelf Res.* 18, 1179-1199.
- Matthews, L.S. 1971. Heavy swell observed in the South Pacific in December 1969. Technical Note 196, pp. 11, New Zealand Meteorological service, Wellington, New Zealand.
- Maxwell, W. G. H. 1962. Lithification of carbonate sediments in the Heron Island Reef, Great Barrier Reef. *Journal of Geological Society Aust.* 8: 217–238.
- McCave, I.N., 1978. Grain-size trends and transport along beaches: an example from eastern England. *Marine Geology*, 28: M43-M51.
- McDougal, W. G. and R. T. Hudspeth 1989 Longshore current and sediment transport on composite beach profiles, *Coastal Engineering* 12:315-338.
- McLaren, P. and Bowles, D., 1985. The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55: 457-470.
- McLaren, P., 1981. An interpretation of trends in grain-size measurements. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51: 611-624.
- McLean, R. F. 1967. Origin and development of ridge-furrow systems in beachrock in Barbados, West Indies. *Marine Geology* 5(3): 181-193.
- McManus, J., Buller, A.T. and Green, C.D., 1980. Sediments of the Tay Estuary, VI: Sediments of the lower and outer reaches. *Proceedings of the Royal Society Edinburgh*, B78: 133-154.
- Mei, C.C., 1994. The applied dynamics of ocean surface waves. In: *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol. 1. World Scientific, London.
- Merrin, S. 1955. Beachrock in NE. Puerto Rico. First Caribbean Geological Congress, Antigua, British W. Indies, 15p. (mimeographed).
- Meyer-Peter, E., Muller, R., 1948. Formulas for bed-load transport. Rep. 2nd Meet. Int. Assoc. Hydraul. Struc. Res., Stockholm, Sweden., pp. 39– 64.
- Meyers, J. H. 1987. Marine vadose beachrock cementation by cryptocrystalline magnesian calcite - Maui, Hawaii. *Journal of Sedimentary Petrology* 57: 558-570.
- Middleton, G.V. and Southard, J.B., 1984. *Mechanics of Sediment Movement*. S.E.P.M. Short Course No 3, (2nd Edition). Tulsa, Oklahoma. 401pp.
- Miller, W. R. a. M., T. R. 1994. Erosional features of coastal beachrock and aeolianite outcrops in Natal and Zululand, South Africa. *Journal of Coastal Research* 10(2): 374-394.
- Milliman, J.D 1974. "Marine Carbonates". 375pp. Springer-Verlag, Berlin.
- Mizuguchi, M., 1982. Individual wave analysis of irregular wave deformation in the nearshore zone. *Coastal Engineering*. ASCE, New York, pp. 485– 504.
- Moore, B., 1982. Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. MSc Thesis, University of Delaware.
- Moore, C. H. 1973. Intertidal carbonate cementation Grand Cayman, West Indies. *Journal of Sedimentary Petrology* 43: 591-602.
- Moore, C. H. 1977. Beach Rock origin: some geochemical, mineralogical, and petrographical considerations. *Geosci. and Man* 18: 155-163.

- Moore, C. H. J. a. B. G. K. 1971. Preliminary model of beachrock cementation, Grand Cayman island, B.W.I. O. P. Bricker. Baltimore, MD, Johns Hopkins Press, : 40-43.
- Multer, H. G. Holocene cementation of skeletal grains into beachrock, Dry Tortugas, Florida. In: O.P. Bricker, ed.: Carbonate cements. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Munoz-Perez, J. J., B. Lopez de San Roman-Blanco, et al 2001. Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain). *Coastal Engineering* 42(2): 143-153.
- Naim, R.B., 1990. Prediction of cross-shore sediment transport and beach profile evolution. Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, Imperial College, London.
- Naim, R.B. and Southgate, H.N., 1993. Deterministic profile modelling of nearshore processes. Part 2. Sediment transport and beach profile development. *Coastal Engineering*, 19: 57-96.
- Neumeier, U. 1998 The role of microbial activity in early cementation of beachrocks (intertidal sediments). PhD thesis, University of Geneva.
- Neumeier, U. 1999. Experimental modelling of beachrock cementation under microbial influence. *Sedimentary Geology* 126(1-4): 35-46.
- Neumeier, U., P. Bernier, et al 2000. Highlighting Holocene sea-level changes by an analysis of beachrock characteristics and diagenesis: example from Damnoni (Crete). *Geomorphologie –Paris* 4: 211-220.
- Nicholson, J., Tanguy, J.-M., Roelvink, J.A., Price, D., Broker, I. and Moreno, L., 1997. Intercomparison of coastal area morphodynamic models. *Coast. Engineering*, 3 1: 97- 123.
- Nielsen, P. 1992. Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol. 4. World Scientific, 324.
- Nielsen, P. 1997. Coastal groundwater dynamics. *Proc. Coastal Dynamics 97*, Plymouth. ASCE, pp. 546-555.
- Nielsen, P. 2002. Shear stress and sediment transport calculations for swash zone modeling. *Coastal Engineering*. 45, pp.53-60.
- Nielsen, P., Robert, S., Moeller-Christiansen, B., Oliva, P. 2001. Infiltration effects on sediment mobility under waves. *Coastal Engineering* 42 (2), pp. 105-114.
- Nishi, R., Kraus, N.C., 1996. Mechanism and calculation of sand dune erosion by storms. *Proceedings of the 25th Coastal Engineering Conference*. ASCE, pp. 3034–3047.
- Norcross, Z. M., C. H. Fletcher, et al 2002. Annual and interannual changes on a reef-fringed pocket beach: Kailua Bay, Hawaii. *Marine Geology* 190(3-4): 553-580.
- Nordstrom, K.F., 1989. Downdrift coarsening of beach foreshore sediments at tidal inlets: an example from the coast of New Jersey. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14: 691-701.
- Nwogu, O., 1993. Alternative form of the Boussinesq equations for nearshore wave propagation. *Journal of Waterway, Port, Coastal Ocean Engineering* 119 (6), 618–638.
- Obhrai, C., P. Nielsen, et al 2002. Influence of infiltration on suspended sediment under waves. *Coastal Engineering* 45(2): 111-123.
- Ono, N., I. Irie, and H. Yamaguchi, 2004. Preserving system of nourished beach by a distorted ripple mat, *Proc. 29th ICCE*, ASCE.
- Orford, J.D., 1975. Discrimination of particle zonation on a pebble beach. *Sedimentology* 22, 441–463.
- Overton, M.F., Fisher, J.S., Hwang, K., 1994b. Development of a dune erosion model using SUPERTANK data. *Proceedings of the 24th Coastal Engineering Conference*. ASCE, pp. 2488– 2502.
- Packwood A.R. 1983. The influence of beach porosity on wave uprush and backwash. *Coastal Engineering* 7, pp. 29-40.
- Peregrine, D.H. 1972, Equations for water waves and the approximation behind them, *Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport*, ed. R.E. Meyer, Academic Press.
- Peregrine, D.H., 1967. Long waves on a beach. *Journal of Fluid Mechanics* 27 (4), 815–827.
- Pettijohn, F.G., Potter, P.D. and Siever, R., 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York. 618pp.
- Pilarczyk K.W. & Zeidler R.B. 1996. *Offshore Breakwaters and Shore Evolution Control*, A.A. Balkema, Rotterdam.

- Pilkey, O. H., Young, R. S., Riggs, S. R., Smith, A. W. S., Wu, H., and Pilkey, W. D. 1993. The Concept of Shoreface Profile of Equilibrium: A Critical Review. *Journal of Coastal Research*. 9, 1, 225-278.
- Plomaritis, T., 1999. Distribution, morphology, geochemistry and environmental impact of recent beach rocks in Sifnos Island, Aegean Sea. MSc Dissertation, School of Ocean and Earth Science, Southampton Oceanography Center, University of Southampton. 67 pp.
- Poulos S. Voulgaris G. Kapsimalis V. Collins M. & Evans G. 2002. Sediment fluxes and the evolution of a riverine-supplied tectonically-active coastal system: Kyparissiakos Gulf, Ionian Sea (eastern Mediterranean). 250-253pp.
- Prandle, D. 2006. Dynamical controls on estuarine bathymetry: Assessment against UK database. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 68(1-2): 282-288.
- Prager, E. J. 1991. Anatomy of a Galapagos Beachrock. *Sea Frontiers* 37(1): 36-39.
- Pritchard, D. and A. J. Hogg 2003. Suspended sediment transport under seiches in circular and elliptical basins. *Coastal Engineering* 49(1-2): 43-70.
- Puri, H. S. & Collier, A. 1967: Role of microorganisms in formation of limestones. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, vol.17, pp.355-367.
- Pyokari, M. Beachrock on Pattaya Beach in southeastern Thailand Beachrock on Pattaya Beach in southeastern Thailand. U.S. Army Beach Erosion Board Technical Memorandum No. 44.
- Pyokari, M. 1997. The provenance of beach sediments on Rhodes, southeastern Greece, indicated by sediment texture, composition and roundness. *Geomorphology* 18(3-4): 315-332.
- Rakha, K. A. 1998. A Quasi-3D phase-resolving hydrodynamic and sediment transport model. *Coastal Engineering* 34(3-4): 277-311.
- Rakha, K.A., Deigaard, R., Broker, I., 1997. A phase-resolving cross shore sediment transport model for beach profile evolution. *Coastal Engineering* 31, 231-261.
- Ramkumar, M., Pattabhi Ramayya, M., Gandhi, M.S. 2000. Beachrock exposures at wave cut terraces of Modern Godavari delta: their genesis, diagenesis and indications on coastal submergence and sea-level rise. *Indian Journal of Marine Sciences* 29(3): 219.
- Reading, H. G. 1986. Sedimentary environments and facies. *Sedimentary Environments and Facies*. 2nd ed. Ed. H. G. Reading, 229-341. Oxford: Blackwell.
- Rector, R.L., 1954. Laboratory study of equilibrium profiles of beaches, Technical Memorandum, 41, Beach Erosion Board, U.S. Army Engineer Waterway. Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1973. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, Berlin. 439pp.
- Rey, D., B. Rubio, et al 2004. Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex (Ria de Arousa, Galicia, NW Spain). *Sedimentary Geology* 169(1-2): 93-105.
- RF., M. 1967. Measurement of beach rock erosion by some tropical marine gastropods. *Bulletin of Marine Science* 17: 551±561.
- RF., M. 1974. Geological significance of bioerosion of beachrock. *Proceedings of the 2nd International Coral Reef Symposium (Queensland, Australia)* 2: 401±408.
- Ribberink, J., 1998. Bed-load transport for steady flows and unsteady oscillatory flows. *Coast. Engineering* 34, 52- 82.
- Roelvink J.A. 1993. Dissipation in random wave groups incident on a beach. *Coastal Engineering*, 19, pp. 127-150.
- Roelvink, J. A. and I. Broker 1993. Cross-shore profile models. *Coastal Engineering* 21(1-3): 163-191.
- Roelvink, J.A. 1993. Surf beat and its effects on cross-shore profiles. PhD Thesis, Delft University of Technology, Netherlands.
- Roelvink, J.A. and Stive, M.J.F. 1989. Bar-generating cross-shore flow mechanisms on a beach. *Journal of Geophysical Research*, 94, 4785-4800.
- Romanczyk, W., B. Boczar-Karakiewicz, et al 2005. Extended equilibrium beach profiles. *Coastal Engineering* In Press, Corrected Proof.
- ROSSI, G. 1988: Un exemple d'utilisation dune défense naturelle contre l'érosion littorale: le grès de plage. *Revue de Géomorphologie dynamique.*, 37:1-10.

- Ruessink, B.G., Van Enckevort, I.M.J., Kingston, K.S., Davidson, M.A., 2000. Analysis of observed two- and three-dimensional nearshore bar behaviour. *Marine Geology* 169, 161–183.
- Russell, R. J. 1959. Caribbean Beach Rock observation. *Zeitschrift fur Geomorphologie* 3: 227-236.
- Russell, R. J. 1962. Origin of beach rock. *Zeitsch. Geomorphol.* 6(1-13).
- Russell, R. J. 1963. Beach rock. *Journal of Trop. Geogr.* 17(24-27).
- Russell, R. J. M. W. G. 1965. Southern hemisphere beach rock. *Geogr. Rev.* 55(17-45).
- Russell, Richard J. 1967 : River plains and sea coasts . University of California Press, p. 118-137 .
- Sagga, A. M. S. 1992. The use of the textural parameters of sand in studying the characteristics and depositional processes of coastal sediments south of Jeddah, Saudi Arabia. *Marine Geology* 104(1-4): 179-186.
- Sato M., Nishi R., Nakamura K. and Sasaki T. 2001. Short-term field experiments on beach transformation under the operation of a coastal drain system. *Proceedings of 1st Int. Conference on Soft Shore Protection, Patras 2000, Greece*, 133-138.
- Sato M., T. Fukushima, R. Nishi , M. Fukunaga 1996. On the change of velocity held in nearshore zone due to coastal drain and the consequent beach transformation, *ICCE 96*, pp. 2666-2676.
- Schaffer, H.A. and Madsen, P.A. 1995. Further enhancements of Boussinesq-type equations, *Coastal Engineering*, 26, pp. 1-14.
- Schaffer, H.A., Madsen, P.A., Deigaard, R., 1993. A Boussinesq model for waves breaking in shallow water. *Coastal Engineering* 20, 185–202.
- Schmalz, R. F. 1971. Formation of beachrock at Eniwetok Atoll. O. P. Bricker. Baltimore, Johns Hopkins Press: 17-24.
- Scholten, J. J. 1972. Beach rock: a literature study with special reference to the recent literature. *Zentralbl. Geol. Palaontol. Teil I* 1971: 351-368.
- Schroeder, J. H. 1973. Submarine and vadose cements in Pleistocene Bermuda reef rock. *Sedimentary geology* 10: 179-204.
- Scoffin, T. P. 1970. A conglomeritic beachrock in Bimini, Bahamas. *Journal of Sedimentary Petrology* 40: 756–758.
- Scoffin, T. P. a. S. D. R. 1983. Beachrock and intertidal sediments. A. S. a. P. K. Goudie. London, Academic Press, Inc.: 401-425.
- Self, D. E. Holocene Carbonate Reef-Flat and Beachrock Cementation, Enewetak Atoll, Marshall Islands. (Land, L. S.).
- Self, R.P., 1977. Longshore variation in beach sands, Nautla area, Veracruz, Mexico. *Journal of Sedimentary Petrology*, 47: 1437-1443.
- Shore Protection Manual, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers, Fort Belvoir, Va., 1977.
- Siesser, W. G. 1974. Relict and Recent Beachrock from Southern Africa. *Geological Society of American Bulletin* 85: 1849- 1854.
- Silvester R. & Hsu J.R.C., 1997. Coastal Stabilization. World Scientific, Singapore.
- Silvester, R., 1960. Stabilization of sedimentary coastlines. *Nature*, 188: 467-469.
- Silvester, R., 1970. Growth of crenulate shaped bays to equilibrium. *Proc. A.S.C.E., Journal of Waterways Harbour Division*, 96 (WW2): 275-287.
- Sørensen O.R., Schäffer H. A., Madsen P.A. 1998. Surf zone dynamics simulated by a Boussinesq type model. Part III. Wave-induced horizontal nearshore circulations. *Coastal Engineering*, 33, pp 155-176.
- Soulsby, R. L. and J. S. Damgaard 2005. Bedload sediment transport in coastal waters. *Coastal Engineering* 52(8): 673-689.
- Soulsby, R., 1997. Dynamics of marine sands, a manual for practical applications. Thomas Telford, ISBN 0-7277-2584X, H.R. Wallingford, England.
- South, DL· Talbot, MR ,2000. The sequence stratigraphic framework of carbonate diagenesis within transgressive fan-delta deposits: Sant Llorenç del Munt fan-delta complex, SE Ebro Basin, NE Spain *Sedimentary Geology*, 138(1-4), pp. 179 - 198
- Spurgeon, D. L. Origin and distribution of beachrock, Point of Rocks, Siesta Key, Florida.
- Spurgeon, D., J. R. A. Davis, et al 2003. Formation of Beach Rock at Siesta Key, Florida and its influence on barrier island development. *Marine Geology*

- Spurgeon, D., J. R. A. Davis, et al 2003. Formation of Beach Rock at Siesta Key, Florida and its influence on barrier island development. *Marine Geology* **200** Pages 19-29
- Stauble, D. K. a. M. D. F. 1985. Coastal geology and the occurrence of beachrock· central Florida Atlantic Coast.
- Stive, M.J.F. and Wind, H.G., 1986. Cross-shore mean flow in the surf zone. *Coastal Engineering*, 10: 325-340.
- Stoddart, D. R. C. J. R. 1965. Nature and origin of beach rock. *Journal of Sedimentary Petrology* 35: 243-247.
- Strand, K. 2005. Sequence stratigraphy of the siliciclastic East Puolanka Group, the Palaeoproterozoic Kainuu Belt, Finland: Sedimentary systems and sequence stratigraphy related to Precambrian sea level change: a special issue dedicated to Pradip K. Bose. *Sedimentary Geology* 176(1-2): 149-166.
- Strasser, A., E. Davaud, et al 1989. Carbonate cements in Holocene beachrock: example from Bahiret et Biban, southeastern Tunisia. *Sedimentary Geology* 62(1): 89-100.
- Sumer, B.M., Kozakiewicz, A., Fredsøe, J., Diegaard, R., 1996. Velocity and concentration profiles in sheet-flow layer of movable bed. *Journal of Hydraulic Engineering* 122 (10), 549– 558.
- Sumer, B. M., J. Fredsoe, et al 2005. Local scour at roundhead and along the trunk of low crested structures. *Coastal Engineering* 52(10-11): 995-1025.
- Sunamura T., 1984, Quantitative predictions of beach-face slopes, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 242-245
- Sunamura, T., 1983. In P.D.Komar (Ed.): *Handbook of Coastal Processes and Erosion*, CRC Press, Boca Raton, Florida: 233-265.
- Swart, D.H., 1974. Offshore sediment transport and equilibrium beach profiles. Delft Hydraul. Lab., Delft, Pub]. 131.
- Szmytkiewicz, M., J. Biegowski, et al 2000. Coastline changes nearby harbour structures: comparative analysis of one-line models versus field data. *Coastal Engineering* 40(2): 119-139.
- Tachibana, K. The beach rock of Goto Island, Kyushu, Japan (in Japanese) . The Proceedings of the Education College.
- Tatumi, S. H., E. A. Kowata, et al 2003. Optical dating results of beachrock, eolic dunes and sediments applied to sea-level changes study. *Journal of Luminescence* 102-103: 562-565.
- Thieler, E. R., A. L. Brill, et al 1995. Geology of the Wrightsville Beach, North Carolina shoreface: Implications for the concept of shoreface profile of equilibrium. *Marine Geology* 126(1-4): 271-287.
- The Royal Society, 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. Policy document 12/05 June 2005. The Royal Society 2005, 6-9 Carlton House Terrace, London
- Thompson, R. Tidal Flat Sedimentation on the Colorado River Delta, Northwestern. Gulf of California. Univ. of Delaware, Dept. of Civil Engineering, Ocean Engineering Report No. 12.
- Tietz, G. a. M. G. High-Magnesian Calcite and Aragonite Cementation in Recent Beachrocks, Fuerteventure, Canary Island, Spain. In “ Carbonate Cements” (O.P. Bricker, ed.).
- Tonis, I. E., J. M. T. Stam, et al 2002. Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970. *Coastal Engineering* 44(3): 191-203.
- Tricart, J. 1967. Certaines formes de sedimentation calcaire quaternaires sont-elles dues a des disequilibres geochemiques periodiques? *Chemical Geology* 2: 233-248.
- Tsimplis M.N. 1994. Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 39, 201-208.
- Tsimplis M.N., Proctor, R. & Flather, R.A. 1995. A two-dimensional tidal model for the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research* 100 (C8), 16223 -16239.
- Turker, U. and M. S. Kabdasli 2005. The effects of sediment characteristics and wave height on shape-parameter for representing equilibrium beach profiles. *Ocean Engineering* In Press, Corrected Proof.
- Turker, U., Kabdasli, M.S., 2004. Average sediment dislocation analysis for barred profiles. *Ocean Engineering*, 31, 1741–1756.
- Turner, I.L., Masselink, G., 1998. Swash infiltration-exfiltration and sediment transport. *Journal of Geophysical Research* 103 (C13), 30,813-30,824.
- Turner, R. J. Beachrock. In: Schwartz, M.L. (Ed.), *Encyclopedia of Coastal Science*.
- Turner, R. J. Morphodynamic relationship between beachrock exposure and littoral zone processes on the West Coast of Puerto Rico.



- Turner, R. J. The evolution of beachrock morphology and its influence on beach morphodynamics. In: Fletcher, C.H., Matthews, J.V. (Eds.), *The Non-Steady-State of the Inner Shelf and Shoreline: Coastal Change on the Time Scale of Decades to Millennia the Late Quaternary*.
- US Army Corps of Engineers 2002. *Coastal Engineering Manual*
- Van de Graaff, J. 1977. Dune erosion during a storm surge. *Coastal Engineering*, 1, 99–134.
- van de Kreeke, J. and A. Hibma 2005. Observations on silt and sand transport in the throat section of the Frisian Inlet. *Coastal Engineering* 52(2): 159-175.
- Van de Plassche, 1986. *Sea-level research: a manual for the collection and evaluation of data*. Geo books, Norwich.
- Van der Meer 1993. *Conceptual design of rubble mound breakwaters* Delft Hydraulics Publications, no 483.
- Van der Meer 2000. Design of concrete armour layers. *Coastal Structures* 99, Losada (ed), Balkema, pp. 213-221.
- van Duin, M. J. P., N. R. Wiersma, et al 2004. Nourishing the shoreface: observations and hindcasting of the Egmond case, The Netherlands. *Coastal Engineering*
- Van Enckevort, I.M.J., 2001. Daily to yearly nearshore bar behaviour. Doc. Thesis, Dep. of Physical Geography, University of Utrecht, The Netherlands.
- Van Enckevort, I.M.J., Ruessink, B.G., 2001. Alongshore uniform and nonuniform bar crest change. *Coastal Dynamics*, 656– 665 (Lund, Sweden).
- Van Gent M.R.A. 1994. The modeling of wave action on and in coastal structures. *Coastal Engineering*, 22, pp.311-339.
- Van Gent M.R.A. 1995. *Wave Interaction with Permeable Coastal Structures*. Ph. D. Thesis, Delft University of Technology.
- van Rijn, L. C., D. J. R. Walstra, et al 2003. The predictability of cross-shore bed evolution of sandy beaches at the time scale of storms and seasons using process-based Profile models. *Coastal Engineering* 47(3): 295-327.
- Van Rijn, L., 1989. *Handbook Sediment Transport by Currents and Waves*, Vol. Report H461. Delft Hydraulics.
- Van Rijn, L.C., 1998. *Principles of Coastal Morphology* Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands.
- Van Rijn, L.C., Wijnberg, K.M., 1996. One-dimensional modeling of individual waves and wave-induced longshore currents in the surf zone. *Coastal Engineering* 28, 121– 145.
- Van Wellen, E., Baldock, T.E., Chadwick, A.J. and Simmonds, D., 2000. Longshore sediment transport in the swash zone. *Proceedings 27th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 3139–315
- Veeramony, J and Svendsen I.A. 2000. The flow in surf-zone waves. *Coastal Engineering*, 39, pp. 93-122.
- Vellinga, P. 1984. A tentative description of a universal erosion profile for sandy beaches and rock beaches. *Coastal Engineering* 8(2): 177-188.
- Vellinga, P., 1986. *Beach and Dune Erosion During Storm Surges*. PhD Thesis, Delft University of Technology, Publication No. 372, Delft Hydraulics.
- Villaret, C., Davies, A.G., Frey, J.M., 2000. Sand transport rate predictions using a two-phase flow model. *Proceedings of the 27th International Conference on Coastal Engineering*, Sydney. ASCE, Reston, VA, USA, pp. 2561– 2574.
- Visher, G.S., 1969. Grain-size distribution and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 39: 1075-1106.
- Vos, R. J., P. G. J. ten Brummelhuis, et al 2000. Integrated data-modelling approach for suspended sediment transport on a regional scale. *Coastal Engineering* 41(1-3): 177-200.
- Voulgaris, G., Uriarte, A. and Velegrakis A.F. 1991. PARCUM: A Fortran programme for the estimation of grain-size statistical parameters, Department of Oceanography, University of Southampton.
- Vousdoukas, M., Velegrakis, A., Karambas, T., Valais, G. and Zarkoyiannis, S., 2005. Morphodynamics of beachrock infected beaches: Vatera Beach, NE Mediterranean. *Conference Proceedings: 5th International Conference on Coastal Dynamics* Barcelona, April 2005.

- Walderhaug, O., and Bjorkum, P.A., 1992. Calcite Cementation in Shallow Marine Sandstones: Growth Mechanisms and Geometry, in Carbonate Cementation in Sandstones, Morad, S., ed., International Association of Sedimentologists, Special Publication Number 26, p. 179-192.
- Walkden, M. J. A. and J. W. Hall 2005. A predictive Mesoscale model of the erosion and profile development of soft rock shores. *Coastal Engineering* 52(6): 535-563.
- Wang, P., E. R. Smith, B.A. Ebersole 2002. Large-scale laboratory measurements of longshore sediment transport under spilling and plunging breakers. *Journal of Coastal Research*, 18 (1), pp. 118-135.
- Watanabe A., Maruyama K., 1986. Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking, *Coastal Engineering in Japan*, vol. 29, pp. 19-39.
- Watanabe, A., Mariyama, K., Shimizu, T. and Sakakiyama, T., 1986. Numerical prediction model of three-dimensional beach deformation around a structure. *Coastal Engineering Jpn.*, 29: 179-194.
- Waters, C.H., 1939. Equilibrium Slopes of Sea Beaches. MSc Thesis, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Watson, G. and Peregrine, D.H., 1992. Low frequency waves in the surf zone. In: Proc. 23rd Int. Conference Coastal Engineering, Venice. pp. 818-831.
- Webb, G. E. J., J.S. 1996. Cryptic Microbialite in Subtidal Reef Framework and Intertidal Solution Cavities in Beachrock, Heron Reef, Australia: Preliminary Observations. In: Neuweiler, F., Reitner, J. & Monty, C. (eds.): *Biosedimentology of Microbial Buildups*, IGCP Project No.380. Proceedings of 2nd Meeting, G?ttingen/Germany 1996.- *FACIES*, 36, 219-223· Erlangen.
- Webb, G. E., J. S. Jell, et al 1999. Cryptic intertidal microbialites in beachrock, Heron Island, Great Barrier Reef: implications for the origin of microcrystalline beachrock cement. *Sedimentary Geology* 126(1-4): 317-334.
- Wei, G. and Kirby, J.T. 1995 “Time-dependent numerical code for extended Boussinesq equations”, *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE 121, 251–260.
- Wei, G., Kirby, J.T. and Sinha A. 1999. Generation of waves in Boussinesq models using a source function method. *Coastal Engineering*, 36, pp. 271-299.
- Wei, G., Kirby, J.T., 1994. A high order time-dependent numerical model for the extended Boussinesq equations. In: *Proceedings of the International Symposium: Waves-Physical and Numerical Modelling*, Vancouver, pp. 544–553.
- Whittle, G. L., Alsharhan, A. S., Kendall, C. G. S. C. 1995. Petrography of Holocene beachrock and hardgrounds, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Quaternary deserts and climatic change*, Editor(s): Alsharhan, A. S., Publisher: A A Balkema· 1998.
- Wiedemann, H. U. 1969. Solutions in intertidal and supratidal environments of modern carbonate sedimentation: Their implication on diagenesis. *Chemical Geology* 4(3-4): 393-409.
- Williams, A. T. 1971. An analysis of some factors involved in the depth of disturbance of beach sand by waves. *Marine Geology* 11(3): 145-158.
- Wilson, K.C., 1989. Mobile-bed friction at high shear stress. *Journal of Hydraulic Engineering* 115 (6), 825– 830.
- Winant, C.D., Inman, D.L., and Nordstron, C.E., 1975. Description of Seasonal Beach Changes Using Empirical Eigenfunctions. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 80, No. 15: 1979-1986.
- Witte, H.H. and Riekmann, U., 1987. Ein verfahren zur Ermittlung der Wellenaugeschwindigkeiten an Boscungen. *Leichtweiss-Inst. Wasserbau Tech. Univ. Braunschweig Mitt.*, 98: 29-65.
- Witting, J.M. 1967. A unified model for the evolution of nonlinear water waves. *Journal of Computational Physics*, 56, pp. 203-236.
- Wright, L. D., Short, A. D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis, *Mar. Geol.* 56, 93-118.
- Wright, L. D., Short, A. D., Green, M. O., 1985. Short term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. *Mar. Geol.* 62, 339-364.
- Yaltirak, C., M. Sakinc, et al 2002. Late Pleistocene uplift history along the southwestern Marmara Sea determined from raised coastal deposits and global sea-level variations. *Marine Geology* 190(1-2): 283-305.
- Yonetani, S. The beach rock on the SW Islands of Japan, (in Japanese) . *Bull . History Dept.*, No. 13.
- Zencovich, V., 1967. *Processes of Coastal Development*. Edited by J.A. Steers. Oliver and Boyd, London. 738pp.

Zyserman, J.A., Fredsøe, J., 1994. Data analysis of bed concentration of suspended sediment. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 120 9 , 1021–1042.

## 12.2 Ελληνική βιβλιογραφία

Αλεξούλη-Λειβαδίτη Α. και Λειβαδίτης Γ., 2004 Μορφολογία των ακτών της Άνδρου Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004 Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004

Βαλαής, Γ., 2004. Μορφολογία και ιζηματολογία μιας μικροπαλιρροιακής νησιώτικης ακτής: Ανατολική ακτή των Βατερών, Μυτιλήνη, Ελλάδα. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη. 98 σελ.

Βελεγράκης, Α.Φ., Βουδούκας, Μ. και Μελιωνίτης, Ρ., 2005. Διάβρωση Νησιωτικών Παραλιών: Φαινομενολογία και αίτια της υποβάθμισης του μεγαλύτερου φυσικού πόρου της νησιωτικής Ελλάδας. Πρακτικά Συνεδρίου Η νησιωτική Ελλάδα στον 21 Αιώνα, Νίσυρος Μάιος 2004. Τόμος 1, Εκδόσεις Σιδέρη, pp. 243-262

Γκιώνης Γ., Πούλος Σ., Μπουζιωτοπούλου Ν. και Ντούνας Κ. 2004. Ο ρόλος ενός φυσικού υποθαλάσσιου κυματοθραύστη στη διαμόρφωση των υδροδυναμικών και ιζηματολογικών συνθηκών στην παραλία της Αμμουδάρας (βόρειες ακτές Ν. Ηρακλείου Κρήτης) Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004 Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004

Δερμιτζάκης Μ. Θεοδωρόπουλος Δ. 1975 Περι των “beach rock” του Αιγαίου. Παρατηρήσεις επι των σχηματισμών των παραλιών ΝΑ Κρητης, Ν Ροδου και Ν. Μετώπης. Annual Geology Pays Hellas, v26 p 275-305 Athenes

Ζαρκογιάνης Σ., 2004. Μορφολογία και ιζηματολογία μιας μικροπαλιρροιακής νησιώτικης ακτής: Ανατολική ακτή των Βατερών, Μυτιλήνη, Ελλάδα. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη. 98 σελ.

Ιντζίδου Χ., 1993. Τουριστική Ανάπτυξη Βατερών. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Περιβάλλοντος,, Πανεπιστήμιο Αιγαίου. 50 σελ.

Ίσαρρης, Γ., 2005. Η αξιοποίηση των δεικτών θαλάσσιας στάθμης ως μάρτυρες των πρόσφατων τεκτονικών κινήσεων της παράκτιας ζώνης του κόλπου Δομβραίνας. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη. 88 σελ.

Καραμπάς Θ. 2004. Υπολογιστική κυματομηχανική και ακτομηχανική – Θεωρητική προσέγγιση εκπαιδευτικό & επιχειρησιακό λογισμικό, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Παν. Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Κουτίτας Χ. 1998. Εισαγωγή στην παράκτια τεχνική και τα λιμενικά έργα, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσ/νίκη.

Κουτίτας, Χ. 1985, Μαθηματικά ομοιώματα στην Παράκτια Μηχανική, Θεσσαλονίκη.

Λειβαδίτης Γ. 2000 Παράκτια γεωμορφολογία Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών Ωκεανογραφίας Αθήνα

Μαρουκιάν Χ. και Τζιαβός Χ., 1985, Αξιολόγηση προβληματικών ακτών στον Ελληνικό χώρο. Πρακτικά Πρώτου Πανελληνίου Συμπόσιου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Αθήνα, 385-390.

Μακρυκώστα Ε.Ν. 2006. Παραλιακοί ψαμμίτες: Η βενθική οικολογία τους και οι κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις. Πτυχιακή εργασία ΠΜΣ Διαχείριση Παράκτιων Περιοχών σελ 105.

Μέμος, Κ. 2002, Μαθήματα Λιμενικών Έργων, Ε.Μ.Π., Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

Παυλόπουλος Κ., Καρύμπαλης Ε., Καρκάνας Π., Παρλαμά Λ., Μάνος Ι., Τριανταφύλλου Μ. και Θεοχάρη Μ., 2004, Γεωμορφολογική εξέλιξη του Όρμου Παμαλαρίου (ΒΑ Σκύρος) κατά το ανώτερο Ολόκαινο, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, 2004 Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004

Παυλόπουλος, Κ., Μαρουκιάν, Χ., Ζαμάνη Α. και Παπαγεωργάκης, Ι., 1998, Γεωμορφολογία, υδρογεωλογία και δυνατότητες αξιοποίησης των ιαματικών πηγών Θερμής Λέσβου. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Αθήνα, 306-324.

Ρουμπανης Β. 1971 Ακται Αττικής. Παρατηρήσεις επι των εμφανίσεων συγχρονων παραλιακών ψαμμιτών “beach rocks” Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας τ. VIII τευχ. 1 σ.33-54 Αθήνα



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Στο παράρτημα αυτό περιλαμβάνονται τα τοπογραφικά δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής. Για λόγους οικονομίας χώρου, η χωρική ανάλυση των δεδομένων των σταθμών Ρ2 και Ρ8 μειώθηκε κατά ¼.

### ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ1

### ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ3

χ	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	χ	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04
0	2.657	2.657	2.657	2.657	0	2.763	2.763	2.763	2.763
0.5	2.6324	2.6317	2.6334	2.571	0.5	2.7516	2.7528	2.7504	2.7557
1	2.6077	2.6064	2.6098	2.485	1	2.7401	2.7426	2.7379	2.7484
1.5	2.5831	2.5811	2.5862	2.399	1.5	2.7287	2.7323	2.7253	2.7412
2	2.5584	2.5558	2.5626	2.313	2	2.7172	2.7221	2.7128	2.7339
2.5	2.5333	2.5305	2.539	2.227	2.5	2.7058	2.7119	2.7002	2.7266
3	2.5067	2.5051	2.5153	2.1412	3	2.6943	2.7017	2.6877	2.7193
3.5	2.4757	2.4794	2.4913	2.056	3.5	2.6829	2.6914	2.6751	2.7121
4	2.4365	2.4522	2.4661	1.9733	4	2.6714	2.6812	2.6626	2.7048
4.5	2.3866	2.4212	2.4372	1.898	4.5	2.66	2.671	2.65	2.6975
5	2.3285	2.3825	2.4015	1.8366	5	2.6486	2.6608	2.6374	2.6902
5.5	2.2663	2.3341	2.357	1.793	5.5	2.6371	2.6506	2.6249	2.6829
6	2.2037	2.2781	2.3056	1.7635	6	2.6257	2.6403	2.6123	2.6757
6.5	2.1437	2.2182	2.2506	1.7412	6.5	2.6141	2.63	2.5997	2.6683
7	2.0893	2.1569	2.1944	1.7215	7	2.6019	2.619	2.5863	2.6602
7.5	2.0417	2.0949	2.1377	1.7024	7.5	2.5865	2.6047	2.5693	2.6484
8	1.9971	2.032	2.0803	1.6834	8	2.5592	2.5783	2.5393	2.6236
8.5	1.9476	1.9667	2.0213	1.6645	8.5	2.5015	2.5217	2.4768	2.5664
9	1.8841	1.8965	1.9592	1.6456	9	2.3946	2.4179	2.3634	2.4593
9.5	1.8017	1.8203	1.8932	1.6266	9.5	2.2466	2.2794	2.2126	2.3175
10	1.7052	1.7393	1.824	1.6076	10	2.0966	2.1481	2.0696	2.1881
10.5	1.6042	1.6558	1.7533	1.5883	10.5	1.9709	2.0455	1.9578	2.0936
11	1.5067	1.5715	1.682	1.5679	11	1.8722	1.9647	1.8703	2.0248
11.5	1.4168	1.4873	1.6108	1.5441	11.5	1.7944	1.8933	1.7954	1.9667
12	1.3338	1.4044	1.5406	1.514	12	1.7301	1.8244	1.7284	1.9117
12.5	1.2561	1.3249	1.4729	1.4757	12.5	1.6737	1.7561	1.6684	1.8574
13	1.1839	1.2523	1.4103	1.431	13	1.6233	1.6879	1.6136	1.8031
13.5	1.1173	1.1883	1.3541	1.3831	13.5	1.5785	1.62	1.5614	1.749
14	1.055	1.1312	1.3029	1.3339	14	1.5376	1.5529	1.5101	1.6953
14.5	0.99527	1.0778	1.2544	1.2845	14.5	1.4985	1.4882	1.4591	1.6428
15	0.937	1.0267	1.2069	1.235	15	1.4597	1.4283	1.4085	1.5926
15.5	0.87993	0.97858	1.16	1.1855	15.5	1.4204	1.3743	1.3587	1.5454
16	0.82412	0.93576	1.1138	1.1361	16	1.3802	1.325	1.3104	1.5005
16.5	0.77017	0.89958	1.0683	1.087	16.5	1.3387	1.2781	1.2642	1.4569
17	0.71928	0.86864	1.0235	1.0382	17	1.2951	1.232	1.2195	1.4136
17.5	0.67215	0.84046	0.97912	0.99018	17.5	1.2489	1.1862	1.1759	1.3705
18	0.62804	0.81351	0.93504	0.9432	18	1.2009	1.1402	1.1331	1.3274
18.5	0.58565	0.78757	0.89158	0.89821	18.5	1.1529	1.0936	1.0924	1.2843
19	0.54422	0.76313	0.84929	0.85674	19	1.1063	1.0461	1.0552	1.2413
19.5	0.50348	0.74056	0.80845	0.81967	19.5	1.062	0.99733	1.0227	1.1985
20	0.46324	0.71946	0.76865	0.78603	20	1.0197	0.94807	0.99375	1.1561

20.5	0.42343	0.69913	0.72911	0.75412	20.5	0.97841	0.89975	0.96654	1.1141
21	0.38409	0.67909	0.6891	0.72266	21	0.93777	0.85414	0.93943	1.0725
21.5	0.34547	0.65899	0.64828	0.69091	21.5	0.89759	0.81226	0.9109	1.0311
22	0.30809	0.6377	0.60682	0.6578	22	0.85786	0.77378	0.87934	0.9898
22.5	0.27335	0.61208	0.56511	0.62105	22.5	0.81872	0.73827	0.8439	0.9485
23	0.24344	0.57717	0.52369	0.57738	23	0.78053	0.70618	0.80539	0.9072
23.5	0.21959	0.53002	0.48341	0.52545	23.5	0.74353	0.67798	0.76532	0.86591
24	0.20057	0.47321	0.44539	0.46896	24	0.70763	0.6531	0.72477	0.82466
24.5	0.18416	0.41178	0.41025	0.41571	24.5	0.67279	0.6309	0.68431	0.78352
25	0.16896	0.34948	0.37737	0.37441	25	0.63925	0.61151	0.64428	0.74259
25.5	0.15446	0.28822	0.34568	0.34914	25.5	0.60721	0.59513	0.60482	0.70192
26	0.14066	0.22917	0.31447	0.33499	26	0.57628	0.58089	0.56581	0.66146
26.5	0.12806	0.17456	0.28354	0.32165	26.5	0.5458	0.56728	0.52705	0.62111
27	0.11781	0.1279	0.25296	0.29908	27	0.51526	0.55297	0.48842	0.5808
27.5	0.11109	0.091276	0.22275	0.26273	27.5	0.48438	0.537	0.44996	0.54051
28	0.10731	0.063141	0.19256	0.21671	28	0.453	0.5183	0.41179	0.50024
28.5	0.1015	0.041068	0.16163	0.17003	28.5	0.42078	0.49426	0.37396	0.46014
29	0.083655	0.024411	0.12902	0.13123	29	0.38714	0.46076	0.33643	0.42069
29.5	0.044672	0.013048	0.094333	0.10363	29.5	0.35167	0.41555	0.29905	0.38304
30	-0.01788	0.005071	0.058582	0.084816	30	0.31453	0.36159	0.26182	0.34885
30.5	-0.10203	-0.00296	0.024258	0.074128	30.5	0.27591	0.30447	0.22485	0.31883
31	-0.20243	-0.01507	-0.00494	0.074566	31	0.23596	0.24885	0.18838	0.29123
31.5	-0.30778	-0.03531	-0.02609	0.082001	31.5	0.19605	0.1972	0.15256	0.26236
32	-0.40288	-0.06755	-0.04201	0.080805	32	0.15971	0.15028	0.11733	0.22824
32.5	-0.47983	-0.11554	-0.06395	0.054783	32.5	0.13097	0.10964	0.082654	0.18733
33	-0.54087	-0.18115	-0.10381	0.000807	33	0.11161	0.078663	0.048684	0.14306
33.5	-0.59269	-0.26112	-0.16211	-0.07051	33.5	0.099429	0.059333	0.015683	0.10305
34	-0.64085	-0.34573	-0.2278	-0.14839	34	0.087695	0.049014	-0.01594	0.076241
34.5	-0.6883	-0.42718	-0.28983	-0.2276	34.5	0.068344	0.042859	-0.04525	0.067326
35	-0.73619	-0.50719	-0.34472	-0.3056	35	0.034603	0.036326	-0.07152	0.072789
35.5	-0.78502	-0.59219	-0.39285	-0.38137	35.5	-0.02002	0.024468	-0.09703	0.085354
36	-0.83554	-0.68283	-0.43382	-0.45621	36	-0.10069	0.001493	-0.1283	0.097537
36.5	-0.88897	-0.771	-0.46716	-0.53274	36.5	-0.20508	-0.03577	-0.17072	0.099652
37	-0.94601	-0.84884	-0.49474	-0.61291	37	-0.31818	-0.08453	-0.22319	0.08015
37.5	-1.0059	-0.91434	-0.51938	-0.69659	37.5	-0.42128	-0.13946	-0.28049	0.033813
38	-1.0672	-0.97105	-0.54313	-0.78195	38	-0.50327	-0.19694	-0.33724	-0.03297
38.5	-1.1292	-1.0236	-0.5674	-0.86975	38.5	-0.56403	-0.25608	-0.38982	-0.1084
39	-1.1912	-1.0746	-0.59477	-0.96482	39	-0.6136	-0.31787	-0.43716	-0.18242
39.5	-1.2531	-1.1247	-0.63117	-1.0689	39.5	-0.66721	-0.38368	-0.48056	-0.24912
40	-1.3159	-1.1737	-0.68597	-1.1759	40	-0.73802	-0.45474	-0.52317	-0.30717
40.5	-1.3843	-1.222	-0.76684	-1.282	40.5	-0.82591	-0.53403	-0.56762	-0.35978
41	-1.4712	-1.2726	-0.87421	-1.3923	41	-0.91319	-0.62584	-0.61432	-0.41443
41.5	-1.5916	-1.3325	-1.0033	-1.5068	41.5	-0.98447	-0.73014	-0.66304	-0.47895
42	-1.7411	-1.4114	-1.1463	-1.6105	42	-1.0433	-0.83953	-0.71558	-0.55743
42.5	-1.8931	-1.5148	-1.2936	-1.6898	42.5	-1.0985	-0.94645	-0.77742	-0.6503
43	-2.0325	-1.6372	-1.4359	-1.75	43	-1.1496	-1.0481	-0.85576	-0.75683
43.5	-2.163	-1.7687	-1.5705	-1.804	43.5	-1.1968	-1.146	-0.95214	-0.88004
					44	-1.255	-1.2425	-1.0587	-1.0239
					44.5	-1.3472	-1.3397	-1.1702	-1.1763

					45	-1.4857	-1.4411	-1.2912	-1.303
					45.5	-1.6574	-1.5538	-1.4235	-1.3816
					46	-1.8316	-1.6859	-1.5547	-1.4297
					46.5	-1.996	-1.836	-1.676	-1.4735



**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ2****Μακρά προφίλ**

x	Aug 04	Feb 05	Mar 05	May 05	Jul 05	Sep 05
0.00	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
2.00	2.65	2.75	2.75	2.72	2.74	2.74
4.00	2.59	2.80	2.79	2.73	2.77	2.76
6.00	2.53	2.72	2.73	2.72	2.70	2.69
8.00	2.37	2.36	2.41	2.44	2.40	2.38
10.00	2.11	2.09	2.12	2.14	2.11	2.10
12.00	1.85	1.92	1.88	1.94	1.93	1.88
14.00	1.68	1.77	1.69	1.75	1.75	1.68
16.00	1.51	1.62	1.50	1.55	1.55	1.50
18.00	1.41	1.47	1.35	1.36	1.36	1.34
20.00	1.31	1.29	1.21	1.21	1.20	1.20
22.00	1.14	1.10	1.13	1.09	1.08	1.07
24.00	0.96	0.97	0.98	0.99	0.99	0.96
26.00	0.83	0.87	0.77	0.88	0.87	0.84
28.00	0.70	0.64	0.61	0.75	0.75	0.73
30.00	0.56	0.52	0.49	0.60	0.65	0.67
34.00	0.38	0.32	0.29	0.59	0.50	0.49
36.00	0.08	0.12	0.11	0.28	0.41	0.13
38.00	0.23	0.19	0.07	0.01	0.04	0.14
40.00	0.50	0.37	0.25	0.21	0.24	0.45
42.00	0.80	0.53	0.55	0.56	0.62	0.75
44.00	1.05	0.86	0.98	0.95	1.00	1.01
46.00	1.50	1.51	1.51	1.48	1.49	1.51
48.00	1.73	1.72	1.73	1.87	1.79	1.72
50.00	1.81	2.05	2.00	2.08	2.10	1.95
52.00	1.99	2.22	2.25	2.50	2.40	2.25
54.00	2.48	2.28	2.49	2.70	2.65	2.52
56.00	2.94	2.35	2.65	2.85	2.89	2.78
58.00	3.02	2.45	2.80	2.95	3.02	2.95
60.00	3.08	2.60	2.95	3.05	3.15	3.05
62.00	3.20	2.80	3.09	3.15	3.23	3.15
64.00	3.40	2.90	3.15	3.25	3.30	3.25
66.00	3.59	2.90	3.20	3.35	3.35	3.32
68.00	3.65	2.98	3.25	3.42	3.40	3.38
70.00	3.70	3.13	3.30	3.48	3.45	3.43
72.00	3.72	3.22	3.35	3.53	3.50	3.48
74.00	3.73	3.28	3.40	3.58	3.53	3.53
76.00	3.73	3.30	3.40	3.60	3.55	3.58
78.00	3.73	3.30	3.40	3.60	3.58	3.60
80.00	3.75	3.35	3.45	3.60	3.60	3.60
82.00	3.79	3.45	3.50	3.60	3.63	3.60
84.00	3.84	3.50	3.55	3.60	3.65	3.60
86.00	3.88	3.50	3.59	3.60	3.68	3.63
88.00	3.91	3.50	3.55	3.63	3.70	3.68
90.00	3.95	3.50	3.51	3.68	3.70	3.73
92.00	0.00	3.53	3.55	3.70	3.70	3.78
94.00	0.00	3.58	3.60	3.70	3.73	3.80
96.00	0.00	3.60	3.60	3.73	3.75	3.80

98.00	0.00	3.60	3.60	3.78	3.80	3.80
100.00	0.00	3.63	3.60	3.80	3.84	3.80
102.00	0.00	3.68	3.60	3.80	3.83	3.80
104.00	0.00	3.70	3.65	3.83	3.80	3.80
106.00	0.00	3.70	3.70	3.88	3.83	3.83
108.00	0.00	3.67	3.70	3.87	3.85	3.88
110.00	0.00	3.63	3.70	3.83	3.88	3.90
112.00	0.00	3.60	3.70	3.80	3.90	3.90
114.00	0.00	3.60	3.70	3.80	3.90	3.90
116.00	0.00	3.55	3.70	3.80	3.90	3.90
118.00	0.00	3.45	3.70	3.80	3.93	3.90
120.00	0.00	3.46	3.70	3.80	3.94	3.90
122.00	0.00	3.46	3.70	3.80	3.90	3.90
124.00	0.00	3.49	3.70	3.77	3.86	3.90
126.00	0.00	0.00	3.70	3.73	3.88	3.87
128.00	0.00	0.00	3.65	3.70	3.90	3.83
130.00	0.00	0.00	3.60	3.70	3.90	3.80
132.00	0.00	0.00	3.60	3.70	3.90	3.80
134.00	0.00	0.00	3.60	3.70	3.88	3.80
136.00	0.00	0.00	3.60	3.70	3.85	3.80
138.00	0.00	0.00	3.60	3.70	3.83	3.80
140.00	0.00	0.00	3.60	3.67	3.80	3.80
142.00	0.00	0.00	3.60	3.63	3.80	3.80
144.00	0.00	0.00	3.60	3.60	3.80	3.80
146.00	0.00	0.00	3.60	3.60	3.78	3.77
148.00	0.00	0.00	3.60	3.57	3.75	3.73
150.00	0.00	0.00	3.60	3.61	3.73	3.70
152.00	0.00	0.00	3.55	3.60	3.70	3.70
154.00	0.00	0.00	3.50	3.60	3.68	3.67
156.00	0.00	0.00	3.50	3.56	3.65	3.63
158.00	0.00	0.00	3.50	3.51	3.63	3.60
160.00	0.00	0.00	3.45	3.50	3.60	3.60
162.00	0.00	0.00	3.40	3.50	3.55	3.55
164.00	0.00	0.00	3.40	3.42	3.50	3.45
166.00	0.00	0.00	3.39	3.33	3.45	3.38
168.00	0.00	0.00	3.30	3.23	3.40	3.33
170.00	0.00	0.00	3.20	3.13	3.30	3.25
172.00	0.00	0.00	3.10	3.06	3.20	3.15
174.00	0.00	0.00	3.00	3.01	3.15	3.08
176.00	0.00	0.00	2.90	3.00	3.10	3.03
178.00	0.00	0.00	2.81	3.00	3.08	3.00
180.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.05	3.00
182.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.03	3.00
184.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.00	3.00
186.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.00	3.00
188.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.00	3.00
190.00	0.00	0.00	2.80	3.00	3.00	3.03
192.00	0.00	0.00	2.80	3.04	3.00	3.08
194.00	0.00	0.00	2.80	3.09	3.03	3.15
196.00	0.00	0.00	2.85	3.18	3.05	3.25
198.00	0.00	0.00	2.91	3.27	3.13	3.32
200.00	0.00	0.00	3.05	3.34	3.20	3.38

202.00	0.00	0.00	3.19	3.39	3.25	3.45
204.00	0.00	0.00	3.25	3.48	3.30	3.55
206.00	0.00	0.00	3.30	3.57	3.35	3.65
208.00	0.00	0.00	3.40	3.64	3.40	3.75
210.00	0.00	0.00	3.50	3.69	3.45	3.82
212.00	0.00	0.00	3.55	3.78	3.50	3.88
214.00	0.00	0.00	3.60	3.88	3.60	3.95
216.00	0.00	0.00	4.40	3.98	3.70	4.05
218.00	0.00	0.00	0.00	4.07	3.80	4.12
220.00	0.00	0.00	0.00	4.14	3.90	4.18
222.00	0.00	0.00	0.00	4.19	3.95	4.23
224.00	0.00	0.00	0.00	4.24	4.00	4.28
226.00	0.00	0.00	0.00	4.29	4.05	4.03
228.00	0.00	0.00	0.00	4.38	4.10	4.08
230.00	0.00	0.00	0.00	4.48	4.63	4.13
232.00	0.00	0.00	0.00	5.00	4.68	4.18
234.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	4.20
236.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.70	4.20

**Βραχέα προφίλ**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	Jun 04	Aug 04	Feb 05	Mar 05	May 05	Jul 05	Sep 05
0	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413	2.413
0.5	2.4131	2.42	2.42	2.4166	2.4139	2.398	2.4234	2.4229	2.4155	2.4206	2.4194
1	2.4133	2.427	2.427	2.4201	2.4148	2.383	2.4337	2.4328	2.418	2.4282	2.4257
1.5	2.4134	2.434	2.434	2.4237	2.4157	2.368	2.4441	2.4427	2.4205	2.4358	2.4321
2	2.4135	2.441	2.441	2.4273	2.4167	2.353	2.4545	2.4526	2.423	2.4434	2.4385
2.5	2.4136	2.448	2.448	2.4308	2.4176	2.338	2.4648	2.4625	2.4255	2.451	2.4448
3	2.4137	2.455	2.455	2.4344	2.4185	2.323	2.4752	2.4725	2.428	2.4586	2.4512
3.5	2.4139	2.462	2.462	2.4379	2.4194	2.308	2.4855	2.4824	2.4305	2.4661	2.4575
4	2.414	2.469	2.469	2.4415	2.4203	2.293	2.4959	2.4923	2.433	2.4737	2.4639
4.5	2.458	2.476	2.476	2.467	2.4213	2.278	2.5063	2.5022	2.4355	2.4813	2.4703
5	2.502	2.483	2.483	2.4925	2.4222	2.263	2.5166	2.5121	2.438	2.4889	2.4766
5.5	2.497	2.4045	2.4045	2.4507	2.4231	2.248	2.527	2.522	2.4405	2.48	2.483
6	2.492	2.326	2.326	2.409	2.424	2.233	2.4344	2.4391	2.443	2.4047	2.4017
6.5	2.364	2.2475	2.2475	2.3057	2.32	2.218	2.3419	2.3563	2.3663	2.3295	2.3204
7	2.236	2.169	2.169	2.2025	2.216	2.203	2.2493	2.2734	2.2895	2.2543	2.2391
7.5	2.108	2.101	2.201	2.1045	2.112	2.1372	2.1567	2.1906	2.2128	2.1791	2.1579
8	1.98	2.033	2.133	2.0065	2.008	2.0714	2.0641	2.1077	2.136	2.1039	2.0766
8.5	1.9168	1.965	2.065	1.9409	1.9453	2.0056	1.9716	2.0249	2.0593	2.0287	1.9953
9	1.8535	1.897	1.997	1.8752	1.8827	1.9398	1.879	1.942	1.9825	1.9534	1.914
9.5	1.7902	1.829	1.929	1.8096	1.82	1.874	1.8361	1.8815	1.9057	1.8782	1.8587
10	1.727	1.761	1.861	1.74	1.7573	1.8082	1.7933	1.821	1.829	1.803	1.8035
10.5	1.6685	1.693	1.793	1.6979	1.6947	1.7424	1.7504	1.7605	1.7817	1.7588	1.7482
11	1.61	1.625	1.725	1.6557	1.632	1.6766	1.7075	1.7	1.7343	1.7145	1.693
11.5	1.5515	1.557	1.657	1.6136	1.5858	1.6108	1.6646	1.6395	1.687	1.6703	1.6378
12	1.493	1.489	1.589	1.5715	1.5397	1.545	1.6218	1.579	1.6397	1.626	1.5825
12.5	1.443	1.4568	1.5568	1.5294	1.4935	1.5027	1.5789	1.5314	1.5923	1.5818	1.5273
13	1.393	1.4246	1.5007	1.4873	1.4473	1.4605	1.536	1.4837	1.545	1.5375	1.472
13.5	1.343	1.3924	1.4338	1.4451	1.4012	1.4183	1.5007	1.4361	1.4967	1.4933	1.4266
14	1.293	1.3602	1.3669	1.403	1.355	1.376	1.4655	1.3885	1.4483	1.449	1.3813
14.5	1.2427	1.328	1.3	1.3725	1.313	1.3337	1.4303	1.3409	1.4	1.3996	1.3359
15	1.1925	1.2958	1.2331	1.342	1.271	1.2915	1.395	1.2933	1.3517	1.3503	1.2905

15.5	1.1422	1.2636	1.1925	1.3115	1.229	1.2493	1.3598	1.2456	1.3033	1.3009	1.2451
16	1.092	1.2314	1.1518	1.281	1.187	1.207	1.3245	1.198	1.255	1.2515	1.1997
16.5	1.0457	1.1992	1.1112	1.2592	1.145	1.1831	1.2893	1.1611	1.2062	1.2021	1.1544
17	0.9995	1.167	1.0705	1.2375	1.103	1.1592	1.254	1.1243	1.1573	1.1528	1.109
17.5	0.95325	1.1145	1.0298	1.2157	1.0695	1.1354	1.211	1.0874	1.1085	1.1034	1.0734
18	0.907	1.062	0.98918	1.194	1.036	1.1115	1.168	1.0505	1.0597	1.054	1.0378
18.5	0.86775	1.0095	0.9603	1.1648	1.0025	1.0876	1.125	1.0136	1.0108	1.0162	1.0021
19	0.8285	0.957	0.93142	1.1355	0.969	1.0638	1.082	0.97675	0.962	0.97833	0.9665
19.5	0.78925	0.9045	0.90254	1.1062	0.9355	1.0399	1.039	0.93988	0.93367	0.9405	0.93087
20	0.75	0.852	0.87366	1.077	0.902	1.016	0.996	0.903	0.90533	0.90267	0.89525
20.5	0.711	0.7995	0.84478	1.0233	0.86733	0.97162	0.9475	0.88533	0.877	0.86483	0.85962
21	0.672	0.747	0.8159	0.9695	0.83267	0.92725	0.899	0.86767	0.84867	0.827	0.824
21.5	0.633	0.72783	0.76023	0.91575	0.798	0.88287	0.8505	0.85	0.82033	0.8055	0.79588
22	0.594	0.70867	0.70456	0.862	0.76333	0.8385	0.802	0.83233	0.792	0.784	0.76775
22.5	0.5665	0.6895	0.64889	0.82125	0.72867	0.79413	0.7535	0.81467	0.7675	0.7625	0.73962
23	0.539	0.67033	0.59322	0.7805	0.694	0.74975	0.705	0.797	0.743	0.741	0.7115
23.5	0.5115	0.65117	0.53755	0.73975	0.65875	0.70538	0.68533	0.74133	0.7185	0.7195	0.68337
24	0.484	0.632	0.48188	0.699	0.6235	0.661	0.66567	0.68567	0.694	0.698	0.65525
24.5	0.4485	0.592	0.4397	0.65025	0.58825	0.62838	0.646	0.63	0.6695	0.665	0.62712
25	0.413	0.552	0.39752	0.6015	0.553	0.59575	0.62633	0.57433	0.645	0.632	0.599
25.5	0.3775	0.512	0.35534	0.55275	0.5135	0.56312	0.60667	0.51867	0.61333	0.599	0.571
26	0.342	0.472	0.31316	0.504	0.474	0.5305	0.587	0.463	0.58167	0.566	0.543
26.5	0.311	0.432	0.27098	0.46325	0.4345	0.49788	0.52275	0.42483	0.55	0.533	0.515
27	0.28	0.392	0.2288	0.4225	0.395	0.46525	0.4585	0.38667	0.51833	0.5	0.487
27.5	0.249	0.335	0.22424	0.38175	0.36175	0.43262	0.39425	0.3485	0.48667	0.47483	0.45775
28	0.218	0.278	0.21968	0.341	0.3285	0.4	0.33	0.31033	0.455	0.44967	0.4285
28.5	0.1755	0.221	0.21512	0.325	0.29525	0.36325	0.30125	0.27217	0.41717	0.4245	0.39925
29	0.133	0.164	0.21056	0.309	0.262	0.3265	0.2725	0.234	0.37933	0.39933	0.37
29.5	0.1225	0.14575	0.19973	0.293	0.224	0.28975	0.24375	0.21367	0.3415	0.37417	0.36725
30	0.112	0.1275	0.1889	0.277	0.186	0.253	0.215	0.19333	0.30367	0.349	0.3645
30.5	0.0925	0.10925	0.11594	0.2565	0.148	0.225	0.208	0.173	0.26583	0.324	0.36175
31	0.073	0.091	0.04298	0.236	0.11	0.197	0.201	0.15267	0.228	0.299	0.359
31.5	0.087	0.05725	0.04423	0.2155	0.066	0.169	0.194	0.13233	0.24	0.274	0.34675
32	0.101	0.0235	0.13144	0.195	0.022	0.141	0.187	0.112	0.252	0.249	0.3345
32.5	0.06	0.01025	0.19671	0.162	0.022	0.134	0.1675	0.084	0.264	0.224	0.32225
33	0.019	0.044	0.26197	0.129	0.066	0.127	0.148	0.056	0.276	0.199	0.31
33.5	0.098	0.0755	0.32724	0.167	0.067	0.12	0.079	0.028	0.28767	0.20075	0.2535
34	0.215	0.107	0.3925	0.205	0.068	0.113	0.01	2.22E16	0.29933	0.2025	0.197
34.5	0.378	0.171	0.44038	0.182	0.146	0.018	0.0255	0.04925	0.311	0.20425	0.1115
35	0.541	0.235	0.48826	0.054	0.21867	0.077	0.061	0.0985	0.20175	0.206	0.026
35.5	0.602	0.2975	0.53614	0.013	0.29133	0.142	0.112	0.14775	0.0925	0.174	0.079
36	0.663	0.36	0.58402	0.115	0.364	0.207	0.163	0.197	0.01675	0.142	0.184
36.5	0.6265	0.4365	0.65784	0.1865	0.4195	0.305	0.263	0.228	0.126	0.0055	0.247
37	0.59	0.513	0.73165	0.258	0.475	0.3545	0.363	0.259	0.18675	0.131	0.31
37.5	0.6665	0.616	0.80547	0.3055	0.513	0.404	0.4315	0.223	0.2475	0.19675	0.373
38	0.743	0.719	0.87928	0.353	0.551	0.543	0.5	0.187	0.30825	0.2625	0.44375
38.5	0.8195	0.76683	0.98302	0.383	0.6005	0.613	0.5495	0.29167	0.369	0.32825	0.5145
39	0.896	0.81467	1.0868	0.413	0.65	0.683	0.599	0.39633	0.41425	0.394	0.58525
39.5	0.967	0.8625	1.2421	0.5305	0.6995	0.735	0.634	0.501	0.4595	0.4688	0.656
40	1.038	0.91033	1.3974	0.648	0.749	0.787	0.669	0.55739	0.50475	0.5436	0.74457
40.5	1.109	0.95817	1.5527	0.759	0.8105	0.8825	0.70633	0.61378	0.55	0.6184	0.83314
41	1.18	1.006	1.7081	0.87	0.872	0.978	0.74367	0.67017	0.65375	0.6932	0.91711

41.5	1.282	1.0715	1.9948	0.983	0.965	1.0401	0.781	0.7452	0.7575	0.768	0.98267
42	1.384	1.137	2.2815	1.096	1.142	1.1023	0.828	0.8482	0.86125	0.91492	1.0482

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ4**

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ5**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	Jun 04	x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04
0	2.723	2.723	2.723	2.723	2.723	0	2.737	2.737	2.737	2.737
0.5	2.6953	2.6932	2.6903	2.688	2.6771	0.5	2.7041	2.7142	2.7106	2.7038
1	2.6676	2.6633	2.6576	2.653	2.6312	1	2.6712	2.6915	2.6841	2.6707
1.5	2.6399	2.6335	2.6249	2.618	2.5853	1.5	2.6383	2.6688	2.6577	2.6375
2	2.6122	2.6037	2.5922	2.583	2.5394	2	2.6054	2.646	2.6312	2.6043
2.5	2.5845	2.5738	2.5595	2.548	2.4935	2.5	2.5725	2.6232	2.6048	2.5712
3	2.5567	2.544	2.5268	2.513	2.4476	3	2.5396	2.6005	2.5783	2.538
3.5	2.5285	2.5142	2.4941	2.478	2.4017	3.5	2.5069	2.5777	2.5519	2.5048
4	2.4987	2.4842	2.4614	2.443	2.3558	4	2.4747	2.555	2.5254	2.4717
4.5	2.4644	2.4538	2.4287	2.408	2.3099	4.5	2.4441	2.5322	2.499	2.4385
5	2.4213	2.4213	2.396	2.3729	2.264	5	2.4164	2.5095	2.4726	2.4053
5.5	2.3672	2.3833	2.3633	2.3376	2.2181	5.5	2.3926	2.4867	2.4461	2.3722
6	2.3046	2.3346	2.3306	2.3013	2.1722	6	2.3717	2.4639	2.4197	2.339
6.5	2.2379	2.2725	2.2979	2.2623	2.1263	6.5	2.3523	2.4408	2.3932	2.3058
7	2.1706	2.2008	2.265	2.2179	2.0804	7	2.3335	2.4164	2.3667	2.2727
7.5	2.1043	2.1271	2.2311	2.1668	2.0345	7.5	2.3146	2.3884	2.34	2.2395
8	2.0396	2.0584	2.1931	2.1103	1.9886	8	2.2952	2.3536	2.3124	2.2063
8.5	1.9774	1.9978	2.1434	2.0511	1.9428	8.5	2.2739	2.31	2.2823	2.1732
9	1.9195	1.9441	2.0716	1.991	1.897	9	2.249	2.2596	2.2475	2.14
9.5	1.8668	1.894	1.9768	1.9307	1.8517	9.5	2.2194	2.2057	2.2066	2.1068
10	1.8182	1.8451	1.8769	1.871	1.8072	10	2.1854	2.1504	2.1609	2.0736
10.5	1.7717	1.7966	1.7917	1.8131	1.7636	10.5	2.147	2.095	2.1127	2.0404
11	1.7259	1.7484	1.725	1.7584	1.7208	11	2.1031	2.0398	2.0639	2.0067
11.5	1.6803	1.7009	1.6693	1.7081	1.6785	11.5	2.0529	1.9856	2.0154	1.9721
12	1.6349	1.6546	1.6178	1.661	1.6362	12	1.998	1.9332	1.9678	1.9356
12.5	1.5902	1.61	1.5675	1.6157	1.594	12.5	1.9414	1.8832	1.9214	1.8966
13	1.5468	1.5666	1.5178	1.5708	1.5518	13	1.8855	1.8351	1.876	1.8558
13.5	1.5052	1.524	1.4691	1.5257	1.5098	13.5	1.8315	1.7879	1.8311	1.8139
14	1.4648	1.4815	1.4222	1.4798	1.4682	14	1.7791	1.741	1.7865	1.7719
14.5	1.4251	1.4393	1.3775	1.433	1.4279	14.5	1.7276	1.6943	1.7423	1.7303
15	1.3853	1.3974	1.3342	1.3855	1.39	15	1.6768	1.6477	1.6986	1.6897
15.5	1.3453	1.3566	1.2905	1.3376	1.3554	15.5	1.6264	1.6014	1.6556	1.6502
16	1.3052	1.3178	1.2445	1.2902	1.3232	16	1.5767	1.5558	1.6132	1.6117
16.5	1.2656	1.2817	1.1952	1.2441	1.2923	16.5	1.5281	1.5109	1.5711	1.5737
17	1.2269	1.2476	1.1432	1.2009	1.2618	17	1.4814	1.4667	1.5292	1.5358
17.5	1.1896	1.2146	1.0902	1.1611	1.2315	17.5	1.4372	1.4228	1.4878	1.498
18	1.1531	1.182	1.0377	1.1242	1.2012	18	1.3946	1.379	1.4472	1.4602
18.5	1.1167	1.1494	0.98779	1.0889	1.1707	18.5	1.3522	1.3354	1.4075	1.4225
19	1.0797	1.1164	0.94334	1.0545	1.1398	19	1.3086	1.2921	1.3686	1.3851
19.5	1.0418	1.0824	0.90578	1.0216	1.1076	19.5	1.2632	1.2497	1.3302	1.3487
20	1.0037	1.0464	0.8736	0.99128	1.073	20	1.2165	1.2092	1.2922	1.314
20.5	0.96673	1.0079	0.84408	0.96424	1.0354	20.5	1.1699	1.1711	1.2552	1.2815
21	0.93266	0.96739	0.81528	0.93976	0.99634	21	1.1246	1.1348	1.2199	1.2507
21.5	0.90231	0.92587	0.78638	0.91648	0.95865	21.5	1.0813	1.0995	1.1869	1.2209
22	0.87444	0.88405	0.75723	0.89313	0.92572	22	1.0397	1.0645	1.1555	1.1914
22.5	0.84645	0.84242	0.72788	0.86842	0.89926	22.5	0.99945	1.0296	1.1251	1.162
23	0.81576	0.80191	0.69821	0.84083	0.87787	23	0.96022	0.99482	1.0948	1.1326
23.5	0.7811	0.76458	0.66777	0.80958	0.85877	23.5	0.92203	0.9601	1.0643	1.1033
24	0.74345	0.73341	0.63587	0.77543	0.83978	24	0.88447	0.92559	1.0332	1.0741
24.5	0.70489	0.71008	0.60211	0.73974	0.8198	24.5	0.84686	0.89135	1.0013	1.0453

25	0.66722	0.69291	0.56691	0.70335	0.79807	25	0.80849	0.85731	0.96879	1.0175
25.5	0.63121	0.67892	0.53107	0.66636	0.77315	25.5	0.769	0.82339	0.93586	0.99077
26	0.59631	0.66606	0.49544	0.62844	0.74266	26	0.72847	0.7895	0.90257	0.9649
26.5	0.56108	0.65342	0.46104	0.58937	0.70528	26.5	0.68705	0.75563	0.86855	0.9393
27	0.52402	0.6406	0.42918	0.54939	0.66266	27	0.64466	0.72177	0.83316	0.91316
27.5	0.48451	0.62713	0.40054	0.50898	0.6178	27.5	0.60131	0.68796	0.79605	0.88508
28	0.44365	0.61236	0.37444	0.46851	0.57304	28	0.55766	0.65424	0.75753	0.85316
28.5	0.40387	0.59595	0.34958	0.4283	0.52946	28.5	0.51512	0.62067	0.71814	0.81633
29	0.36792	0.57818	0.32493	0.38867	0.48703	29	0.4754	0.58743	0.67779	0.77546
29.5	0.33721	0.55942	0.29968	0.3498	0.4455	29.5	0.43942	0.55488	0.63538	0.73201
30	0.31058	0.5391	0.27307	0.31153	0.40484	30	0.40639	0.52353	0.58915	0.68671
30.5	0.28577	0.51494	0.24469	0.27361	0.36526	30.5	0.37485	0.49318	0.5383	0.6398
31	0.26104	0.48309	0.21498	0.23599	0.32721	31	0.34378	0.4616	0.48471	0.59177
31.5	0.23582	0.44009	0.18484	0.19891	0.29201	31.5	0.31291	0.42357	0.43231	0.54338
32	0.21083	0.38439	0.15559	0.16285	0.26183	32	0.28265	0.37218	0.38536	0.49524
32.5	0.1881	0.31554	0.12928	0.12809	0.23788	32.5	0.25432	0.30444	0.34603	0.44787
33	0.17044	0.23721	0.10807	0.094389	0.21883	33	0.22983	0.22643	0.31271	0.40206
33.5	0.15942	0.16012	0.091125	0.061515	0.20221	33.5	0.21041	0.14953	0.28226	0.35966
34	0.15289	0.096092	0.072891	0.029986	0.18616	34	0.19571	0.084454	0.2523	0.32355
34.5	0.14465	0.050408	0.04807	0.001632	0.16941	34.5	0.18545	0.036723	0.22182	0.2953
35	0.12611	0.019424	0.016477	-0.02124	0.15091	35	0.18041	0.00464	0.19071	0.27305
35.5	0.091255	-0.00324	-0.01953	-0.03924	0.13025	35.5	0.18024	-0.01629	0.15913	0.2534
36	0.039992	-0.02125	-0.05957	-0.05883	0.10826	36	0.18067	-0.02948	0.12714	0.2337
36.5	-0.02691	-0.03576	-0.10722	-0.08956	0.086852	36.5	0.17432	-0.03723	0.094846	0.21283
37	-0.10993	-0.04783	-0.16831	-0.13865	0.068274	37	0.15348	-0.04259	0.062735	0.19108
37.5	-0.20282	-0.06007	-0.24415	-0.20562	0.053648	37.5	0.11386	-0.04989	0.031979	0.16949
38	-0.28734	-0.07679	-0.3267	-0.27999	0.039724	38	0.057057	-0.06445	0.004678	0.14919
38.5	-0.34782	-0.10169	-0.40545	-0.34999	0.016992	38.5	-0.01368	-0.09128	-0.01608	0.13095
39	-0.38606	-0.13568	-0.47512	-0.4111	-0.02421	39	-0.09686	-0.13402	-0.02673	0.11512
39.5	-0.41462	-0.17858	-0.53497	-0.46453	-0.0836	39.5	-0.19121	-0.19578	-0.02726	0.10233
40	-0.44673	-0.23274	-0.58586	-0.51324	-0.15731	40	-0.29268	-0.27801	-0.03088	0.092562
40.5	-0.49252	-0.30477	-0.62929	-0.55953	-0.24371	40.5	-0.39558	-0.37675	-0.06184	0.081293
41	-0.55496	-0.39761	-0.66848	-0.6046	-0.32991	41	-0.49465	-0.48013	-0.12944	0.05831
41.5	-0.62933	-0.50144	-0.70977	-0.64937	-0.39794	41.5	-0.58632	-0.57579	-0.21759	0.016552
42	-0.71368	-0.60556	-0.76241	-0.69592	-0.45036	42	-0.67007	-0.65915	-0.30488	-0.04019
42.5	-0.81217	-0.71166	-0.83371	-0.74884	-0.5037	42.5	-0.74941	-0.7338	-0.38001	-0.1051
43	-0.92423	-0.82652	-0.92422	-0.81516	-0.56882	43	-0.8309	-0.80943	-0.44248	-0.17669
43.5	-1.0373	-0.94973	-1.0298	-0.90078	-0.64745	43.5	-0.91777	-0.89563	-0.49599	-0.2537
44	-1.1403	-1.0741	-1.1446	-1.0063	-0.73655	44	-1.0059	-0.9923	-0.54407	-0.32907
44.5	-1.2309	-1.1938	-1.264	-1.1278	-0.83223	44.5	-1.0914	-1.0889	-0.58935	-0.39658
45	-1.314	-1.309	-1.385	-1.258	-0.931	45	-1.18	-1.1786	-0.63503	-0.45875
						45.5	-1.2849	-1.2631	-0.68715	-0.52343
						46	-1.4164	-1.3493	-0.75497	-0.59748
						46.5	-1.5669	-1.4491	-0.84634	-0.68412
						47	-1.7115	-1.5771	-0.96224	-0.78239
						47.5	-1.8357	-1.7403	-1.0978	-0.88906
						48	-1.945	-1.927	-1.244	-1

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ6**

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ7**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04
0	2.806	2.806	2.806	2.806	0	1.766	1.766	1.766	1.766
0.5	2.7893	2.7916	2.7847	2.7843	0.5	1.7132	1.6757	1.669	1.6766
1	2.7726	2.7773	2.7633	2.7627	1	1.6473	1.5855	1.572	1.5873
1.5	2.7559	2.7629	2.742	2.741	1.5	1.555	1.4952	1.475	1.4979
2	2.7392	2.7486	2.7206	2.7193	2	1.4353	1.4049	1.3781	1.4086
2.5	2.7225	2.7342	2.6993	2.6977	2.5	1.3071	1.3142	1.2816	1.3196
3	2.7058	2.7199	2.6779	2.676	3	1.1925	1.2222	1.1867	1.2318
3.5	2.6892	2.7055	2.6566	2.6543	3.5	1.0947	1.1267	1.0964	1.1474
4	2.6728	2.6911	2.6352	2.6327	4	1.0022	1.0258	1.0148	1.0696
4.5	2.6569	2.6768	2.6138	2.611	4.5	0.91002	0.92191	0.94437	1.0001
5	2.6421	2.6624	2.5925	2.5893	5	0.82628	0.82407	0.88275	0.93729
5.5	2.6286	2.6478	2.5711	2.5677	5.5	0.75471	0.73988	0.82576	0.87783
6	2.615	2.6323	2.5498	2.546	6	0.691	0.66824	0.7708	0.81961
6.5	2.599	2.6146	2.5284	2.5243	6.5	0.62957	0.60345	0.71741	0.76182
7	2.5774	2.5924	2.5071	2.5027	7	0.56695	0.54116	0.66638	0.70459
7.5	2.5484	2.5646	2.4857	2.481	7.5	0.50193	0.47953	0.61831	0.64877
8	2.5142	2.5324	2.4644	2.4593	8	0.4354	0.41805	0.57294	0.59566
8.5	2.4785	2.4978	2.4429	2.4377	8.5	0.36953	0.3568	0.52996	0.54599
9	2.4449	2.4624	2.4212	2.416	9	0.30674	0.29633	0.48978	0.49904
9.5	2.4152	2.4268	2.3988	2.3943	9.5	0.24833	0.23807	0.45259	0.45349
10	2.3888	2.3909	2.3749	2.3726	10	0.19375	0.18414	0.41723	0.40843
10.5	2.3646	2.3544	2.3491	2.3504	10.5	0.14208	0.13578	0.38141	0.36351
11	2.342	2.3166	2.3218	2.3267	11	0.093264	0.092267	0.34274	0.31865
11.5	2.3206	2.2774	2.2935	2.2986	11.5	0.047493	0.052536	0.30007	0.27398
12	2.2988	2.2369	2.2637	2.262	12	0.004344	0.016678	0.25432	0.23006
12.5	2.2734	2.1958	2.2307	2.2146	12.5	-0.03656	-0.01486	0.20744	0.18822
13	2.2401	2.1539	2.1914	2.1588	13	-0.0749	-0.04224	0.16106	0.15045
13.5	2.1966	2.1108	2.1442	2.0989	13.5	-0.11029	-0.06501	0.11589	0.11782
14	2.145	2.0653	2.0908	2.0385	14	-0.14308	-0.08134	0.071726	0.089224
14.5	2.0891	2.0169	2.0343	1.9811	14.5	-0.17348	-0.09005	0.027938	0.062592
15	2.0317	1.966	1.9774	1.9299	15	-0.20101	-0.09282	-0.016	0.036206
15.5	1.9739	1.914	1.922	1.8868	15.5	-0.22521	-0.09246	-0.06026	0.008608
16	1.9158	1.8615	1.8701	1.85	16	-0.24648	-0.09064	-0.10455	-0.02167
16.5	1.8573	1.8089	1.8228	1.8164	16.5	-0.26522	-0.08752	-0.14807	-0.0554
17	1.7982	1.7562	1.7791	1.7841	17	-0.28108	-0.08236	-0.18982	-0.09184
17.5	1.7385	1.7035	1.7372	1.752	17.5	-0.29389	-0.07472	-0.22919	-0.12965
18	1.6783	1.6506	1.6959	1.72	18	-0.30492	-0.06542	-0.26645	-0.16785
18.5	1.6188	1.5975	1.6547	1.6879	18.5	-0.31669	-0.05633	-0.30195	-0.20589
19	1.5609	1.5442	1.6131	1.6554	19	-0.33212	-0.05039	-0.33556	-0.24336
19.5	1.5052	1.4909	1.5712	1.622	19.5	-0.35312	-0.05228	-0.36715	-0.28003
20	1.4513	1.4375	1.5289	1.5868	20	-0.37919	-0.06792	-0.39735	-0.31578
20.5	1.3989	1.3843	1.4866	1.5492	20.5	-0.40761	-0.10093	-0.4273	-0.35011
21	1.3478	1.3314	1.4444	1.5097	21	-0.43507	-0.14963	-0.45801	-0.38132
21.5	1.2981	1.2798	1.4028	1.4692	21.5	-0.46198	-0.21023	-0.48976	-0.40627
22	1.2494	1.2303	1.3625	1.428	22	-0.49449	-0.27956	-0.52153	-0.42146
22.5	1.2015	1.1838	1.3238	1.3857	22.5	-0.53809	-0.35363	-0.55103	-0.42673
23	1.1542	1.1394	1.2864	1.3413	23	-0.59041	-0.42588	-0.57583	-0.42937
23.5	1.1076	1.0963	1.2495	1.2945	23.5	-0.64356	-0.49074	-0.59641	-0.4416
24	1.0619	1.0536	1.2128	1.2462	24	-0.69255	-0.54768	-0.61827	-0.47199
24.5	1.0178	1.0111	1.1757	1.1984	24.5	-0.74161	-0.59992	-0.6484	-0.51822
25	0.97621	0.96904	1.1378	1.153	25	-0.79926	-0.65172	-0.69074	-0.57266



25.5	0.93785	0.92833	1.099	1.1112	25.5	-0.87067	-0.70593	-0.74479	-0.63116
26	0.90171	0.89016	1.0594	1.0729	26	-0.95617	-0.76328	-0.80575	-0.69368
26.5	0.86592	0.8552	1.0195	1.0376	26.5	-1.0519	-0.82432	-0.86737	-0.76003
27	0.82873	0.82279	0.97942	1.0061	27	-1.1517	-0.89059	-0.92499	-0.82775
27.5	0.78931	0.79168	0.93948	0.97843	27.5	-1.2479	-0.96223	-0.97739	-0.89587
28	0.74821	0.76106	0.89985	0.95261	28	-1.3319	-1.0371	-1.0272	-0.96773
28.5	0.70663	0.73068	0.86067	0.92448	28.5	-1.3962	-1.1157	-1.0775	-1.0469
29	0.66565	0.70079	0.82208	0.88921	29	-1.4388	-1.2031	-1.1304	-1.1321
29.5	0.62583	0.67222	0.78443	0.8443	29.5	-1.4668	-1.2984	-1.1888	-1.2182
30	0.58713	0.64615	0.74837	0.7918	30	-1.4908	-1.3909	-1.2574	-1.2987
30.5	0.54949	0.62298	0.71405	0.73564	30.5	-1.5189	-1.4711	-1.3348	-1.3687
31	0.51314	0.60104	0.6803	0.67871	31	-1.5558	-1.5354	-1.4084	-1.426
31.5	0.47834	0.57668	0.64457	0.62234	31.5	-1.6034	-1.5829	-1.4662	-1.4679
32	0.44512	0.54549	0.60372	0.567	32	-1.6603	-1.6156	-1.5082	-1.4926
32.5	0.41376	0.50508	0.55627	0.51334	32.5	-1.7216	-1.6406	-1.5414	-1.5064
33	0.38513	0.45697	0.50423	0.46244	33	-1.7795	-1.669	-1.5715	-1.529
33.5	0.35988	0.40389	0.45173	0.41512	33.5	-1.829	-1.7125	-1.6015	-1.5815
34	0.3377	0.34738	0.4028	0.37128	34	-1.878	-1.7784	-1.6346	-1.6707
34.5	0.31834	0.28877	0.35948	0.33125	34.5	-1.955	-1.8671	-1.6767	-1.7866
35	0.30237	0.23106	0.32105	0.29648	35	-2.0957	-1.9807	-1.7361	-1.9067
35.5	0.29004	0.17826	0.28604	0.26797	35.5	-2.319	-2.1258	-1.8168	-2.0134
36	0.27966	0.13379	0.25393	0.2446	36	-2.606	-2.298	-1.9117	-2.107
36.5	0.26787	0.099537	0.22456	0.22474					
37	0.2509	0.075253	0.19684	0.20775					
37.5	0.22661	0.059691	0.16887	0.19331					
38	0.1958	0.051373	0.13878	0.18001					
38.5	0.15961	0.047482	0.10596	0.16535					
39	0.11745	0.039978	0.072461	0.14732					
39.5	0.067934	0.016842	0.042571	0.12747					
40	0.009929	-0.02575	0.020057	0.11156					
40.5	-0.05973	-0.07985	0.00163	0.10242					
41	-0.14703	-0.14007	-0.02662	0.092826					
41.5	-0.2557	-0.21188	-0.07831	0.06984					
42	-0.38078	-0.30228	-0.15205	0.025963					
42.5	-0.51082	-0.40502	-0.23344	-0.0354					
43	-0.63636	-0.50886	-0.30991	-0.10707					
43.5	-0.75985	-0.61492	-0.37671	-0.18288					
44	-0.88975	-0.72886	-0.43446	-0.25692					
44.5	-1.0218	-0.84744	-0.48517	-0.32529					
45	-1.1436	-0.96315	-0.53087	-0.38868					
45.5	-1.2516	-1.0697	-0.5746	-0.45177					
46	-1.3516	-1.1631	-0.6213	-0.52117					
46.5	-1.4502	-1.2438	-0.67525	-0.60209					
47	-1.552	-1.3193	-0.73712	-0.69552					
47.5	-1.6588	-1.3973	-0.8047	-0.79903					
48	-1.769	-1.479	-0.875	-0.908					

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ8**

**Μακρά προφίλ**

x	Aug 04	Feb 05	Mar 05	May 05	Jul 05	Sep 05
0	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555	2.555
2	2.335	2.3676	2.3615	2.387	2.3782	2.365
4	2.1139	2.1786	2.1677	2.219	2.2014	2.1759
6	1.8825	1.9856	1.9715	2.0348	2.0328	1.995
8	1.6562	1.8119	1.7757	1.8381	1.8715	1.8168
10	1.491	1.6524	1.5863	1.6717	1.7057	1.656
12	1.3303	1.4476	1.4173	1.5019	1.5298	1.4954
14	1.1527	1.2596	1.2656	1.3299	1.33	1.319
16	0.99326	1.0895	1.0977	1.1954	1.1795	1.1673
18	0.90061	0.89532	0.89947	1.0684	1.0504	1.0471
20	0.80842	0.72332	0.73414	0.94435	0.92469	0.9249
22	0.69934	0.57908	0.59471	0.81706	0.79787	0.83603
24	0.59903	0.47502	0.47613	0.72556	0.69819	0.75611
26	0.3606	0.33772	0.37389	0.67519	0.68087	0.5857
28	0.080813	0.15828	0.22143	0.45816	0.54819	0.35958
30	-0.16312	0.016689	0.16697	0.15039	0.19953	0.054001
32	-0.37667	-0.20658	-0.22531	-0.06233	-0.17336	-0.21785
34	-0.58373	-0.45826	-0.59336	-0.48332	-0.60725	-0.63455
36	-0.80146	-0.8036	-0.79463	-0.81522	-0.80557	-0.80084
38	-1.1159	-1.116	-1.1268	-1.1136	-1.1108	-1.1137
40	-1.6754	-1.6585	-1.6505	-1.658	-1.6605	-1.6493
42	-2.0066	-2.0242	-2.0311	-2.0176	-2.0104	-2.0359
44	-2.799	-2.8456	-2.7423	-2.748	-2.7123	-2.5574
46	-3.1021	-3.122	-2.945	-2.8326	-2.8748	-2.7043
48	-3.297	-3.175	-3.145	-3.0389	-3.025	-2.9
50	-3.4345	-3.2503	-3.269	-3.2137	-3.1497	-3.0915
52	-3.5719	-3.35	-3.32	-3.3457	-3.25	-3.2
54	-3.6585	-3.45	-3.37	-3.4235	-3.3247	-3.2957
56	-3.7	-3.55	-3.42	-3.4764	-3.375	-3.35
58	-3.7511	-3.5993	-3.4953	-3.5417	-3.425	-3.4
60	-3.8125	-3.6	-3.595	-3.6069	-3.475	-3.45
62	-3.875	-3.6127	-3.6697	-3.6583	-3.525	-3.5
64	-3.9375	-3.6375	-3.72	-3.7069	-3.575	-3.55
66	-4	-3.6625	-3.77	-3.7318	-3.5997	-3.5957
68	-4.0625	-3.6875	-3.82	-3.7333	-3.6	-3.6
70	-4.1144	-3.6998	-3.8447	-3.7418	-3.6253	-3.6
72	-4.0624	-3.7	-3.845	-3.7598	-3.675	-3.6
74	-4.0053	-3.7127	-3.845	-3.7846	-3.6997	-3.6042
76	-4	-3.7375	-3.845	-3.8153	-3.7	-3.65
78	-4	-3.7372	-3.845	-3.8319	-3.7	-3.6958
80	-4	-3.7125	-3.845	-3.8319	-3.7	-3.7
82	-3.9958	-3.7255	-3.845	-3.811	-3.6873	-3.6957
84	-3.95	-3.775	-3.845	-3.7722	-3.6625	-3.65
86	-3.9042	-3.7743	-3.8197	-3.7473	-3.6375	-3.6042
88	-3.9	-3.725	-3.77	-3.7375	-3.6125	-3.6
90	-3.9	-3.675	-3.7453	-3.7334	-3.6002	-3.6
92	0	-3.625	-3.745	-3.7333	-3.6	-3.6
94	0	-3.6257	-3.745	-3.7361	-3.6127	-3.5958
96	0	-3.675	-3.745	-3.7292	-3.6375	-3.55
98	0	-3.649	-3.7197	-3.7152	-3.6372	-3.5085

100	0	-3.55	-3.67	-3.7208	-3.6125	-3.55
102	0	-3.4753	-3.6453	-3.7263	-3.5875	-3.5915
104	0	-3.425	-3.645	-3.7042	-3.5625	-3.55
106	0	-3.4157	-3.645	-3.6806	-3.5375	-3.5042
108	0	-3.4274	-3.645	-3.6694	-3.5125	-3.5
110	0	-3.4391	-3.645	-3.65	-3.5002	-3.5
112	0	-3.4509	-3.645	-3.6348	-3.5	-3.5
114	0	-3.4626	-3.645	-3.6333	-3.5	-3.5
116	0	-3.4743	-3.645	-3.6333	-3.5	-3.5
118	0	-3.486	-3.645	-3.6333	-3.5	-3.5
120	0	-3.4625	-3.645	-3.6333	-3.5	-3.5
122	0	-3.4628	-3.645	-3.6376	-3.5127	-3.5
124	0	-3.4875	-3.645	-3.6458	-3.5375	-3.5
126	0	0	-3.6197	-3.6542	-3.5625	-3.5
128	0	0	-3.57	-3.6625	-3.5875	-3.5
130	0	0	-3.5707	-3.6624	-3.5872	-3.5
132	0	0	-3.62	-3.6542	-3.5625	-3.5
134	0	0	-3.6447	-3.6515	-3.5502	-3.5042
136	0	0	-3.645	-3.6667	-3.55	-3.55
138	0	0	-3.645	-3.6763	-3.5373	-3.5915
140	0	0	-3.645	-3.6527	-3.5125	-3.55
142	0	0	-3.6197	-3.6125	-3.4875	-3.5
144	0	0	-3.57	-3.5708	-3.4625	-3.45
146	0	0	-3.52	-3.5348	-3.4502	-3.4042
148	0	0	-3.47	-3.5167	-3.45	-3.4
150	0	0	-3.4453	-3.4859	-3.412	-3.3958
152	0	0	-3.445	-3.4306	-3.3375	-3.35
154	0	0	-3.369	-3.3974	-3.2878	-3.3042
156	0	0	-3.22	-3.3861	-3.2625	-3.3
158	0	0	-3.1966	-3.3597	-3.2375	-3.2915
160	0	0	-3.295	-3.3056	-3.2125	-3.2
162	0	0	-3.3697	-3.2597	-3.1748	-3.1042
164	0	0	-3.42	-3.2236	-3.125	-3.05
166	0	0	-3.394	-3.1764	-3.075	-3.0043
168	0	0	-3.295	-3.1431	-3.025	-3
170	0	0	-3.2203	-3.1377	-3.013	-3
172	0	0	-3.17	-3.1473	-3.0375	-3
174	0	0	-3.1453	-3.1708	-3.0625	-3
176	0	0	-3.145	-3.1944	-3.0875	-3
178	0	0	-3.1703	-3.2084	-3.1252	-3
180	0	0	-3.22	-3.2264	-3.175	-3
182	0	0	-3.2447	-3.2555	-3.2123	-3.0042
184	0	0	-3.245	-3.2958	-3.2375	-3.05
186	0	0	-3.2957	-3.3459	-3.2878	-3.1
188	0	0	-3.395	-3.4056	-3.3625	-3.15
190	0	0	-3.4697	-3.475	-3.4248	-3.2
192	0	0	-3.52	-3.5402	-3.475	-3.25
194	0	0	-3.57	-3.5973	-3.5377	-3.3042
196	0	0	-3.62	-3.6708	-3.6125	-3.4
198	0	0	-3.6447	-3.7444	-3.6748	-3.5085
200	0	0	-3.649	-3.8431	-3.725	-3.7
202	0	0	-3.7301	-3.9555	-3.7877	-3.8788
204	0	0	-3.8366	-4.0041	-3.8625	-3.8499
206	0	0	-4.037	-4.0444	-3.9248	-3.8085

208	0	0	-4.0999	-4.1069	-3.975	-3.85
210	0	0	-4.158	-4.1583	-4.025	-3.9
212	0	0	-4.255	-4.2069	-4.075	-3.95
214	0	0	-4.347	-4.2501	-4.1503	-4
216	0	0	-4.4	-4.3014	-4.25	-4.05
218	0	0	0	-4.3582	-4.3247	-4.1
220	0	0	0	-4.4083	-4.375	-4.15
222	0	0	0	-4.4597	-4.425	-4.2043
224	0	0	0	-4.525	-4.475	-4.3
226	0	0	0	-4.5903	-4.525	-4.3958
228	0	0	0	-4.6417	-4.575	-4.45
230	0	0	0	-4.6917	-4.625	-4.5
232	0	0	0	-5	-4.675	-4.175
234	0	0	0	0	-4.6997	-4.1998
236	0	0	0	0	-4.7	-4.2

**Βραχεία προφίλ**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	Jun 04	Aug 04	Feb 05	Mar 05	May 05	Jul 05	Sep 05
0	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755	1.755
0.5	1.737	1.7373	1.7467	1.7034	1.7045	1.7	1.7081	1.7066	1.713	1.7108	1.7075
1	1.719	1.7197	1.7383	1.6517	1.654	1.645	1.6613	1.6583	1.671	1.6666	1.66
1.5	1.701	1.702	1.73	1.6001	1.6035	1.59	1.6144	1.6099	1.629	1.6224	1.6125
2	1.683	1.6843	1.7217	1.5485	1.553	1.535	1.5676	1.5615	1.587	1.5782	1.565
2.5	1.665	1.6667	1.7133	1.4969	1.5025	1.48	1.5207	1.5131	1.545	1.534	1.5175
3	1.5625	1.649	1.705	1.4452	1.452	1.425	1.4739	1.4648	1.503	1.4898	1.47
3.5	1.46	1.506	1.5805	1.3936	1.4015	1.37	1.427	1.4164	1.461	1.4456	1.4225
4	1.3575	1.363	1.456	1.342	1.351	1.315	1.3787	1.368	1.419	1.4014	1.375
4.5	1.255	1.3027	1.3315	1.2802	1.2745	1.2569	1.3304	1.3189	1.377	1.3572	1.33
5	1.1986	1.2423	1.207	1.2185	1.198	1.1987	1.2821	1.2698	1.335	1.313	1.285
5.5	1.1422	1.182	1.1498	1.1567	1.1215	1.1406	1.2339	1.2206	1.285	1.2728	1.24
6	1.0858	1.1217	1.0925	1.095	1.045	1.0825	1.1856	1.1715	1.235	1.2327	1.195
6.5	1.0294	1.0613	1.0352	1.0332	1.001	1.0244	1.1373	1.1224	1.185	1.1925	1.15
7	0.973	1.001	0.978	0.9715	0.957	0.96625	1.089	1.0733	1.135	1.1523	1.105
7.5	0.92775	0.94067	0.9165	0.90975	0.913	0.90812	1.0503	1.0241	1.085	1.1122	1.06
8	0.8825	0.88033	0.855	0.848	0.869	0.85	1.0117	0.975	1.035	1.072	1.015
8.5	0.83725	0.82	0.7935	0.81062	0.825	0.81025	0.973	0.92783	0.99417	1.0304	0.97525
9	0.792	0.75967	0.732	0.77325	0.781	0.7705	0.93433	0.88067	0.95333	0.98886	0.9355
9.5	0.741	0.69933	0.681	0.73588	0.737	0.73075	0.89567	0.8335	0.9125	0.94729	0.89575
10	0.69	0.639	0.63	0.6985	0.693	0.691	0.857	0.78633	0.87167	0.90571	0.856
10.5	0.639	0.5926	0.579	0.66112	0.65675	0.65125	0.80467	0.73917	0.83083	0.86414	0.81625
11	0.588	0.5462	0.528	0.62375	0.6205	0.6115	0.75233	0.692	0.79	0.82257	0.7765
11.5	0.53225	0.4998	0.494	0.58637	0.58425	0.57175	0.7	0.6545	0.746	0.781	0.73675
12	0.4765	0.4534	0.46	0.549	0.548	0.532	0.64767	0.617	0.702	0.73067	0.697
12.5	0.42075	0.407	0.426	0.45775	0.501	0.48717	0.59533	0.5795	0.658	0.68033	0.6525
13	0.365	0.3626	0.392	0.3665	0.454	0.44233	0.543	0.542	0.614	0.63	0.608
13.5	0.32	0.3182	0.35725	0.27525	0.407	0.3975	0.50117	0.5045	0.57	0.57967	0.5635
14	0.275	0.2738	0.3225	0.184	0.36	0.35267	0.45933	0.467	0.526	0.52933	0.519
14.5	0.23	0.2294	0.28775	0.162	0.31475	0.30783	0.4175	0.4255	0.49333	0.479	0.4745
15	0.185	0.185	0.253	0.14	0.2695	0.263	0.37567	0.384	0.46067	0.4458	0.43
15.5	0.15075	0.17	0.22575	0.118	0.22425	0.228	0.33383	0.3425	0.428	0.4126	0.3985
16	0.1165	0.155	0.1985	0.096	0.179	0.193	0.292	0.301	0.39533	0.3794	0.367
16.5	0.08225	0.14	0.17125	0.074	0.131	0.158	0.24283	0.24975	0.36267	0.3462	0.3355
17	0.048	0.125	0.144	0.052	0.083	0.123	0.19367	0.1985	0.33	0.313	0.304
17.5	0.02225	0.11	0.10575	0.03	0.035	0.1115	0.1445	0.14725	0.29917	0.28167	0.2755

18	-0.0035	0.095	0.0675	0.008	-0.013	0.1	0.095333	0.096	0.26833	0.25033	0.247
18.5	-0.02925	0.062	0.02925	-0.014	-0.04825	0.0885	0.046167	0.055	0.2375	0.219	0.2185
19	-0.055	0.029	-0.009	-0.036	-0.0835	0.077	-0.003	0.014	0.20667	0.18767	0.19
19.5	-0.0865	-0.004	-0.0425	-0.0545	-0.11875	0.043	-0.04	-0.027	0.17583	0.15633	0.1575
20	-0.118	-0.037	-0.076	-0.073	-0.154	0.009	-0.077	-0.068	0.145	0.125	0.125
20.5	-0.1555	-0.088	-0.1095	-0.0915	-0.18525	-0.025	-0.114	-0.10275	0.11225	0.09275	0.0925
21	-0.193	-0.139	-0.143	-0.11	-0.2165	-0.059	-0.151	-0.1375	0.0795	0.0605	0.06
21.5	-0.2255	-0.19	-0.156	-0.135	-0.24775	-0.08	-0.188	-0.17225	0.04675	0.02825	0.04775
22	-0.258	-0.241	-0.169	-0.16	-0.279	-0.101	-0.225	-0.207	0.014	-0.004	0.0355
22.5	-0.276	-0.27767	-0.2315	-0.201	-0.3065	-0.122	-0.25	-0.23675	-0.00975	-0.03075	0.02325
23	-0.294	-0.31433	-0.294	-0.242	-0.334	-0.143	-0.275	-0.2665	-0.0335	-0.0575	0.011
23.5	-0.3515	-0.351	-0.3015	-0.2145	-0.3615	-0.1645	-0.3	-0.29625	-0.05725	-0.08425	-0.01625
24	-0.409	-0.40733	-0.309	-0.187	-0.389	-0.186	-0.325	-0.326	-0.081	-0.111	-0.0435
24.5	-0.441	-0.46367	-0.3885	-0.198	-0.385	-0.2515	-0.35	-0.3495	-0.0855	-0.11075	-0.07075
25	-0.473	-0.52	-0.468	-0.302	-0.381	-0.317	-0.375	-0.373	-0.09	-0.1105	-0.098
25.5	-0.506	-0.56025	-0.507	-0.37	-0.4605	-0.378	-0.41833	-0.3965	-0.0945	-0.11025	-0.15575
26	-0.539	-0.6005	-0.546	-0.424	-0.54	-0.439	-0.46167	-0.42	-0.099	-0.11	-0.2135
26.5	-0.587	-0.64075	-0.585	-0.5075	-0.58	-0.50131	-0.505	-0.4615	-0.1795	-0.13675	-0.27125
27	-0.635	-0.681	-0.624	-0.591	-0.62	-0.56362	-0.552	-0.503	-0.26	-0.1635	-0.329
27.5	-0.715	-0.744	-0.6895	-0.6425	-0.679	-0.63467	-0.599	-0.5445	-0.2845	-0.19025	-0.3785
28	-0.795	-0.807	-0.755	-0.694	-0.738	-0.71883	-0.646	-0.586	-0.309	-0.217	-0.428
28.5	-0.893	-0.8905	-0.8385	-0.7335	-0.7915	-0.803	-0.68033	-0.61171	-0.434	-0.346	-0.51467
29	-0.991	-0.974	-0.922	-0.773	-0.845	-0.8565	-0.71467	-0.58167	-0.559	-0.475	-0.60133
29.5	-1.0605	-1.051	-0.9685	-0.8635	-0.898	-0.91	-0.749	-0.51444	-0.60525	-0.5385	-0.688
30	-1.13	-1.128	-1.015	-0.954	-0.951	-0.96333	-0.78333	-0.60557	-0.6515	-0.602	-0.74838
30.5	-1.2175	-1.205	-1.0835	-1.053	-0.984	-1.0167	-0.81767	-0.73629	-0.69775	-0.6655	-0.80877
31	-1.305	-1.282	-1.152	-1.152	-1.017	-1.07	-0.852	-0.867	-0.744	-0.729	-0.87187
31.5	-1.2805	-1.3255	-1.2485	-1.21	-1.144	-1.1233	-0.967	-0.94633	-0.803	-0.8485	-0.93906
32	-1.256	-1.369	-1.345	-1.268	-1.271	-1.1767	-1.0113	-1.0257	-0.862	-0.968	-1.0063
32.5	-1.363	-1.4125	-1.3355	-1.3025	-1.315	-1.23	-1.0557	-1.105	-0.921	-1.099	-1.0969
33	-1.47	-1.456	-1.326	-1.337	-1.359	-1.2833	-1.1	-1.207	-0.98	-1.23	-1.2813
33.5	-1.474	-1.475	-1.3515	-1.3675	-1.3925	-1.3367	-1.1517	-1.309	-1.126	-1.361	-1.4098
34	-1.478	-1.494	-1.377	-1.398	-1.426	-1.39	-1.2033	-1.39E+00	-1.272	-1.4039	-1.4543
34.5	-1.5125	-1.513	-1.462	-1.4725	-1.4865	-1.4203	-1.255	-1.4715	-1.3845	-1.4467	-1.4987
35	-1.547	-1.532	-1.547	-1.547	-1.547	-1.4505	-1.379	-1.5237	-1.497	-1.4896	-1.5432
35.5	-1.598	-1.5924	-1.598	-1.598	-1.598	-1.4808	-1.503	-1.5564	-1.5348	-1.5324	-1.5876
36	-1.649	-1.6528	-1.649	-1.649	-1.649	-1.5111	-1.5405	-1.5892	-1.5726	-1.5753	-1.6321
36.5	-1.7113	-1.7131	-1.7113	-1.7113	-1.7113	-1.5413	-1.578	-1.622	-1.6104	-1.6181	-1.6501
37	-1.7735	-1.7735	-1.7735	-1.7735	-1.7735	-1.5716	-1.6155	-1.6517	-1.6482	-1.661	-1.6615
37.5	-1.8339	-1.8339	-1.8339	-1.8339	-1.8339	-1.6018	-1.653	-1.6814	-1.686	-1.7971	-1.6729
38	-1.8943	-1.8943	-1.8943	-1.8943	-1.8943	-1.658	-1.698	-1.7111	-1.7119	-1.9333	-1.6986
38.5	-1.9546	-1.9546	-1.9546	-1.9546	-1.9546	-1.753	-1.743	-1.7711	-1.7378	-2.0694	-1.7819
39	-2.015	-2.015	-2.015	-2.015	-2.015	-1.848	-1.788	-1.8388	-1.7636	-2.2055	-1.8651

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ9**

**ΣΤΑΘΜΟΣ Ρ10**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04
0	2.031	2.031	2.031	2.031	0	2.395	2.395	2.395	2.395
0.5	2.0286	2.0233	1.9837	1.9843	0.5	2.3694	2.3712	2.3427	2.34
1	2.0256	2.0154	1.9364	1.9376	1	2.3437	2.3475	2.2904	2.285
1.5	2.0201	2.0066	1.8891	1.8909	1.5	2.3181	2.3237	2.2381	2.23
2	2.0072	1.9938	1.8418	1.8442	2	2.2922	2.2997	2.1858	2.175
2.5	1.98	1.9703	1.7945	1.7975	2.5	2.265	2.2746	2.1335	2.12
3	1.9334	1.9258	1.7471	1.7507	3	2.2329	2.2451	2.0811	2.065
3.5	1.8683	1.855	1.6994	1.7037	3.5	2.1875	2.2036	2.0285	2.0097
4	1.7872	1.7643	1.6505	1.6558	4	2.1177	2.1403	1.9746	1.9539
4.5	1.6926	1.6657	1.5981	1.605	4.5	2.0221	2.0538	1.9176	1.8961
5	1.5899	1.5691	1.5389	1.549	5	1.9168	1.9582	1.8542	1.8347
5.5	1.4861	1.4788	1.4713	1.4862	5.5	1.8198	1.8695	1.7831	1.7687
6	1.3876	1.3942	1.3975	1.4182	6	1.7353	1.7919	1.7066	1.6991
6.5	1.2976	1.3127	1.3219	1.3473	6.5	1.6582	1.7211	1.6293	1.6275
7	1.2151	1.233	1.2485	1.2755	7	1.5828	1.653	1.5557	1.5554
7.5	1.1379	1.1558	1.1791	1.2035	7.5	1.5068	1.5855	1.4881	1.483
8	1.0651	1.0828	1.1131	1.1315	8	1.43	1.5182	1.4253	1.4107
8.5	0.99671	1.0151	1.0489	1.0598	8.5	1.3532	1.4512	1.365	1.3387
9	0.93171	0.95167	0.98552	0.98938	9	1.2773	1.3847	1.3056	1.268
9.5	0.86875	0.89051	0.92263	0.92259	9.5	1.2031	1.3202	1.2466	1.2011
10	0.80708	0.8307	0.86049	0.86283	10	1.1312	1.2594	1.1884	1.1413
10.5	0.7464	0.77272	0.8	0.81199	10.5	1.0628	1.2033	1.1321	1.0907
11	0.68611	0.71795	0.74259	0.76818	11	1.0004	1.1509	1.0795	1.0472
11.5	0.62519	0.66721	0.68918	0.72798	11.5	0.94547	1.1005	1.0317	1.0075
12	0.56243	0.61963	0.63933	0.68908	12	0.89644	1.0506	0.98838	0.96908
12.5	0.49732	0.57359	0.59252	0.65051	12.5	0.85065	1.001	0.94901	0.93101
13	0.43073	0.52781	0.54915	0.61199	13	0.80639	0.95143	0.91425	0.89302
13.5	0.36452	0.48125	0.50953	0.57346	13.5	0.76298	0.90195	0.88441	0.8551
14	0.30069	0.43292	0.47273	0.53483	14	0.72	0.85286	0.85732	0.81744
14.5	0.24038	0.38236	0.43714	0.49591	14.5	0.67704	0.80486	0.82868	0.78052
15	0.18339	0.33036	0.40152	0.45643	15	0.63371	0.75906	0.79378	0.74503
15.5	0.12956	0.27883	0.36521	0.41624	15.5	0.58994	0.7163	0.75023	0.71136
16	0.079666	0.23087	0.32775	0.3755	16	0.54623	0.67713	0.69987	0.67913
16.5	0.034371	0.1904	0.28823	0.33448	16.5	0.50373	0.64316	0.64637	0.64774
17	-0.00685	0.15947	0.24512	0.29342	17	0.46395	0.61748	0.59253	0.61698
17.5	-0.04448	0.13577	0.19762	0.25249	17.5	0.42768	0.60156	0.53966	0.58733
18	-0.07794	0.1148	0.14687	0.21189	18	0.39403	0.59173	0.48816	0.55975
18.5	-0.10681	0.092207	0.095073	0.17188	18.5	0.36128	0.58048	0.43858	0.53491
19	-0.1324	0.063908	0.044122	0.13298	19	0.32797	0.55954	0.39203	0.51276
19.5	-0.15711	0.026312	-0.00501	0.096564	19.5	0.29353	0.52377	0.34929	0.49353
20	-0.18338	-0.02156	-0.05224	0.064703	20	0.25855	0.47469	0.31012	0.47828
20.5	-0.21317	-0.07596	-0.09736	0.038593	20.5	0.22462	0.41957	0.27448	0.4675
21	-0.24687	-0.13122	-0.1396	0.017118	21	0.19393	0.3683	0.24337	0.45929
21.5	-0.28119	-0.18366	-0.17841	-0.00167	21.5	0.16849	0.3263	0.2174	0.44984
22	-0.30883	-0.23272	-0.21446	-0.01894	22	0.1484	0.29001	0.19508	0.43478
22.5	-0.32457	-0.27885	-0.24879	-0.0353	22.5	0.13022	0.25313	0.17374	0.41134
23	-0.33178	-0.32191	-0.28192	-0.05182	23	0.10698	0.21345	0.151	0.38028
23.5	-0.34088	-0.36179	-0.31405	-0.07066	23.5	0.073308	0.17191	0.12573	0.34512
24	-0.36383	-0.39972	-0.34558	-0.0951	24	0.029224	0.12896	0.098346	0.31099
24.5	-0.4059	-0.43821	-0.37701	-0.12799	24.5	-0.02461	0.082628	0.069745	0.28253

25	-0.46111	-0.48044	-0.40812	-0.16945	25	-0.09089	0.029426	0.040038	0.26148
25.5	-0.52154	-0.52971	-0.43745	-0.21616	25.5	-0.1712	-0.03221	0.007714	0.24469
26	-0.58584	-0.58836	-0.46465	-0.26369	26	-0.25971	-0.09992	-0.0306	0.22395
26.5	-0.65563	-0.65621	-0.49632	-0.31311	26.5	-0.34572	-0.1712	-0.0789	0.1919
27	-0.72936	-0.72946	-0.54498	-0.37192	27	-0.42137	-0.24623	-0.13942	0.14762
27.5	-0.80325	-0.80327	-0.61451	-0.44454	27.5	-0.48691	-0.32408	-0.20998	0.092503
28	-8.75E-01	-0.8746	-0.6942	-0.52703	28	-0.54673	-0.39996	-0.2829	0.025321
28.5	-0.94325	-0.94325	-0.77058	-0.61446	28.5	-0.60423	-0.47117	-0.35007	-0.05187
29	-1.0117	-1.0117	-0.83803	-0.70168	29	-0.66078	-0.54243	-0.40797	-0.1315
29.5	-1.0826	-1.0826	-0.89758	-0.78347	29.5	-0.7164	-0.61983	-0.45726	-0.20872
30	-1.1539	-1.1539	-0.95276	-0.86291	30	-0.77018	-0.70311	-0.50118	-0.28629
30.5	-1.2175	-1.2175	-1.0071	-0.94897	30.5	-0.82061	-0.78604	-0.5446	-0.36989
31	-1.2667	-1.2667	-1.0638	-1.0454	31	-0.86701	-0.86054	-0.594	-0.46088
31.5	-1.303	-1.303	-1.1255	-1.1431	31.5	-0.9108	-0.92194	-0.65639	-0.55604
32	-1.3324	-1.3324	-1.1938	-1.2254	32	-0.95444	-0.97202	-0.73577	-0.65323
32.5	-1.3594	-1.3594	-1.2655	-1.2861	32.5	-0.99901	-1.0147	-0.82715	-0.74802
33	-1.386	-1.386	-1.3324	-1.3313	33	-1.0421	-1.0518	-0.91459	-0.82956
33.5	-1.4137	-1.4137	-1.3873	-1.3699	33.5	-1.0796	-1.0838	-0.98418	-0.8909
34	-1.4446	-1.4446	-1.4313	-1.4072	34	-1.1109	-1.1123	-1.036	-0.93857
34.5	-1.482	-1.482	-1.4695	-1.4463	34.5	-1.1387	-1.139	-1.078	-0.98217
35	-1.5285	-1.5285	-1.5062	-1.4916	35	-1.1657	-1.1658	-1.1163	-1.0235
35.5	-1.5853	-1.5853	-1.5447	-1.5542	35.5	-1.1944	-1.1944	-1.1538	-1.0618
36	-1.6565	-1.6565	-1.5875	-1.6508	36	-1.2269	-1.2269	-1.1918	-1.1002
36.5	-1.7499	-1.7499	-1.636	-1.7871	36.5	-1.2651	-1.2651	-1.2318	-1.1391
37	-1.868	-1.868	-1.6889	-1.9455	37	-1.3107	-1.3107	-1.2777	-1.1708
37.5	-2.0017	-2.0017	-1.744	-2.1036	37.5	-1.3684	-1.3684	-1.336	-1.1897
38	-2.1395	-2.1395	-1.8	-2.255	38	-1.4462	-1.4462	-1.4156	-1.2026
					38.5	-1.5481	-1.5481	-1.522	-1.2191
					39	-1.666	-1.666	-1.6477	-1.241

**ΣΤΑΘΜΟΣ P11**

x	Jun 03	Nov 03	Dec 03	Feb 04	18.5	0.40805	0.38102	0.50369	0.58328
0	2.338	2.338	2.338	2.338	19	0.37603	0.32813	0.46113	0.51528
0.5	2.2469	2.28	2.2453	2.2582	19.5	0.34241	0.27741	0.41711	0.46242
1	2.1571	2.2073	2.154	2.1784	20	0.30553	0.23578	0.3696	0.42493
1.5	2.0706	2.1171	2.067	2.0989	20.5	0.26484	0.20507	0.31767	0.39408
2	1.9908	2.023	1.9882	2.0204	21	0.22261	0.18066	0.26305	0.36376
2.5	1.9195	1.9399	1.9198	1.9447	21.5	0.18373	0.15656	0.20934	0.33198
3	1.8552	1.8706	1.8596	1.8745	22	0.15355	0.13001	0.16043	0.29809
3.5	1.7953	1.8093	1.8037	1.8114	22.5	0.13312	0.10042	0.11823	0.26189
4	1.7386	1.7516	1.7495	1.7537	23	0.11546	0.067129	0.081199	0.22395
4.5	1.6847	1.6958	1.6959	1.6989	23.5	0.089999	0.029727	0.046168	0.18532
5	1.633	1.6425	1.6422	1.6451	24	0.049065	-0.01091	0.010623	0.14752
5.5	1.5831	1.5922	1.588	1.5915	24.5	-0.00771	-0.05386	-0.0262	0.11328
6	1.535	1.5441	1.5328	1.538	25	-0.07222	-0.09985	-0.06259	0.085931
6.5	1.4887	1.4973	1.4762	1.4847	25.5	-0.13695	-0.15031	-0.09454	0.065439
7	1.4439	1.4508	1.4191	1.4318	26	-0.2056	-0.20383	-0.11791	0.045324
7.5	1.3996	1.4045	1.3628	1.3802	26.5	-0.28888	-0.25678	-0.13434	0.017563
8	1.3554	1.3582	1.3093	1.3311	27	-0.3878	-0.31244	-0.15456	-0.02052
8.5	1.3108	1.3119	1.2594	1.2852	27.5	-0.49281	-0.38165	-0.18978	-0.06497
9	1.2655	1.2655	1.2124	1.2418	28	-0.59251	-0.46797	-0.24244	-0.11136
9.5	1.2185	1.219	1.167	1.1997	28.5	-0.6806	-0.56555	-0.30795	-0.16453
10	1.1683	1.1722	1.1221	1.158	29	-0.75802	-0.66587	-0.37892	-0.23282
10.5	1.1144	1.125	1.0775	1.1166	29.5	-0.82804	-0.76186	-0.44819	-0.31421
11	1.0578	1.0776	1.0335	1.0754	30	-0.892	-0.84781	-0.51063	-0.39879
11.5	1.0008	1.03	0.9911	1.0348	30.5	-0.95038	-0.91972	-0.56489	-0.48071
12	0.94561	0.98221	0.95187	0.99554	31	-1.0055	-0.97725	-0.6148	-0.56309
12.5	0.89331	0.93426	0.91667	0.95785	31.5	-1.0616	-1.0258	-0.66707	-0.65015
13	0.84347	0.88592	0.88479	0.92145	32	-1.1233	-1.0738	-0.72792	-0.74119
13.5	0.79525	0.83708	0.85507	0.88593	32.5	-1.1943	-1.1295	-0.80026	-0.8355
14	0.74827	0.78782	0.82694	0.85157	33	-1.2783	-1.1973	-0.8827	-0.93518
14.5	0.70252	0.73826	0.80007	0.81985	33.5	-1.3823	-1.277	-0.97389	-1.0414
15	0.65804	0.68849	0.7735	0.79316	34	-1.5111	-1.3679	-1.074	-1.1512
15.5	0.61529	0.63876	0.74525	0.77281	34.5	-1.6504	-1.4688	-1.1779	-1.2599
16	0.57524	0.59005	0.71292	0.75728	35	-1.7694	-1.5679	-1.2724	-1.3635
16.5	0.5385	0.54446	0.67524	0.74324	35.5	-1.8552	-1.6386	-1.3496	-1.4551
17	0.50437	0.50415	0.63345	0.72595	36	-1.9162	-1.6624	-1.418	-1.5256
17.5	0.4717	0.46769	0.5899	0.69767	36.5	-1.966	-1.652	-1.488	-1.5765
18	0.43973	0.42842	0.54641	0.64976					



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Χαρακτηριστικά δειγμάτων ιζήματος της περιοχής των Βατερών.

### ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ-ΣΤΑΘΜΟΙ Ρ

SAMPLE	x (m)	MEAN	GRAPHIC METHOD			MEAN	MOMENTS METHOD		
			SORT	SKEW	KURT		SORT	SKEW	KURT
P1.1	13.80	0.83	0.52	0.14	1.13	0.78	0.58	0.09	0.41
P1.2	22.20	0.47	0.52	-0.07	1.31	0.44	0.62	-0.24	1.08
P1.3	24.50	-1.2	1.85	-0.37	0.75	-1.23	1.89	-2.95	25.78
P1.4	27.20	-2.87	1.37	0.23	0.99	-2.91	1.38	1.29	9.38
P1.5	29.60	-1.84	1.28	0.08	0.75	-1.83	1.34	0.12	6.51
P1.6	30.80	-1.45	1.11	0.05	1.21	-1.52	1.14	0.06	4.8
P1.7	40.00	-0.32	0.72	-0.21	0.97	-0.32	0.82	-0.36	1.51
P2.1	16.20	0.64	0.56	0.05	1.09	0.63	0.62	0.07	0.55
P2.2	25.80	-0.7	1.33	-0.17	0.93	-0.72	1.39	-1.12	9.88
P2.3	29.60	-2.96	1.45	0.07	0.86	-2.91	1.46	0.95	11.54
P2.4	33.40	-2.15	0.66	-0.09	0.99	-2.2	0.74	-0.07	0.9
P2.5	40.00	-1.19	1.06	0.05	1.09	-1.21	1.13	0.16	5.24
P3.1	15.90	0.8	0.51	0.12	1.12	0.77	0.58	0.09	0.42
P3.2	27.00	0.02	0.7	-0.11	1.07	0.01	0.78	-0.18	1.37
P3.3	31.30	-1.58	1.67	0.11	0.61	-1.61	1.79	0.71	18.18
P3.4	34.60	-2.06	0.91	0.17	1.33	-2.03	1.07	1.44	7.12
P3.5	36.00	-2.1	1.04	-0.13	0.76	-2.13	1.11	-0.25	3.26
P3.6	40.00	-1.41	0.87	-0.07	0.99	-1.45	0.95	-0.24	2.31
P4.1	16.50	0.95	0.5	0.1	1.03	0.91	0.58	0.04	0.31
P4.2	27.00	0.18	0.81	-0.21	1.26	0.18	0.89	-0.47	2.59
P4.3	31.60	-1.57	0.88	-0.19	1.12	-1.6	0.97	-0.52	2.75
P4.4	35.30	-1.8	1.21	0.21	0.83	-1.82	1.27	0.51	5.88
P4.5	37.60	-1.44	1.08	-0.3	0.92	-1.46	1.17	-0.93	4.88
P4.6	38.00	-0.98	0.99	0.1	1.15	-0.98	1.06	0.33	4.58
P5.1	16.00	0.95	0.53	0.17	1.07	0.9	0.61	0.12	0.41
P5.2	27.80	0	0.68	-0.12	1.06	-0.01	0.76	-0.17	1.24
P5.3	30.60	-0.6	1.13	-0.21	1.51	-0.68	1.22	-1.45	9.6
P5.4	33.10	-1.51	1.28	-0.48	0.83	-1.47	1.34	-1.6	7.45
P5.5	34.50	-2.57	0.9	0.19	0.87	-2.64	1.02	0.46	3.09
P5.6	36.60	-2.05	0.96	0.19	1.03	-2.1	1.02	0.47	3.17
P5.7	38.40	-1.97	1	0.02	1.03	-1.98	1.07	0.15	3.61
P5.8	39.60	-1.22	1.55	-0.44	1.18	-1.29	1.67	-4.75	25.36
P6.1	20.80	0.89	0.52	0.16	1.1	0.84	0.6	0.11	0.43
P6.2	30.85	-0.01	0.72	0.03	1.1	0	0.8	0.19	1.66
P6.3	34.60	-2.39	0.72	0.07	1.06	-2.44	0.78	0.18	1.54
P6.4	38.10	-2.6	1.84	0.2	0.81	-2.6	1.8	2.55	24.15

P6.5	40.40	-1.65	0.89	-0.3	1.11	-1.66	1	-0.82	3.16
P6.6	41.50	-0.33	0.94	0.24	1.84	-0.33	1.01	0.82	4.92
P7.1	11.00	0.35	0.84	-0.11	1.46	0.25	1.17	-2.89	15.3
P7.2	14.90	-0.13	0.75	0.01	1.16	-0.16	0.9	-0.36	4.21
P7.3	16.90	-1.83	2.03	-0.52	0.63	-1.72	2.11	-5.62	38.63
P7.4	19.60	-1.9	1.49	-0.36	0.65	-1.96	1.63	-1.32	12.29
P7.5	21.70	-1.58	0.83	-0.26	0.91	-1.59	0.96	-0.5	2.28
P7.6	40.00	-1.54	0.87	-0.38	0.96	-1.53	1.02	-0.79	2.98
P8.1	8.00	0.85	0.5	0.18	1.17	0.79	0.57	0.13	0.38
P8.2	15.30	-0.02	0.66	0.23	1.13	-0.03	0.77	0.33	1.49
P8.3	18.80	-1.42	1.59	-0.15	0.68	-1.35	1.65	-1.48	14.58
P8.4	23.10	-1.97	1.11	-0.13	0.91	-1.94	1.18	-0.04	5.54
P9.1	9.70	0.99	0.72	-0.01	1.05	0.93	0.93	-1.35	8.13
P9.2	16.40	0.54	0.85	0.11	0.94	0.51	0.91	0.17	1.85
P9.3	19.20	-1.26	1.62	-0.29	0.72	-1.21	1.69	-1.15	17.89
P9.4	23.40	-1.85	1.01	0.23	1.01	-1.89	1.07	0.57	3.77
P9.5	25.10	-1.22	0.83	0.01	0.76	-1.28	0.97	-0.01	1.8
P10.1	10.80	0.39	0.71	0.18	1.1	0.39	0.79	0.29	1.27
P10.2	17.50	-0.26	0.57	0.12	1.12	-0.28	0.65	0.21	0.9
P10.3	23.50	-0.82	1.25	-0.36	1.36	-0.78	1.27	-1.65	8.71
P10.4	25.80	-0.51	0.57	-0.03	1.34	-0.51	0.69	0.06	1.51
P11.1	9.90	0.75	0.49	0.06	1.1	0.73	0.57	0.07	0.37
P11.2	13.50	-0.01	0.86	-0.14	1	0.01	0.92	-0.15	2.13
P11.3	18.10	-1.47	1.4	-0.45	0.89	-1.37	1.45	-2.09	10.13
P11.4	21.30	-0.87	0.93	-0.18	1.16	-0.89	1.01	-0.56	4.07
P11.5	22.80	-2.14	1.25	0.21	0.66	-2.19	1.4	1.08	9.19
P11.6	24.80	-0.38	0.74	-0.05	1.02	-0.38	0.81	-0.06	1.6

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΣΤΑΘΜΟΙ Ρ

SAMPLE	x (m)	MEAN	GRAPHIC METHOD			MOMENTS METHOD			
			SORT	SKEW	KURT	MEAN	SORT	SKEW	KURT
P1.1	9.90	1.1	0.6	0.07	0.98	1.07	0.69	0.02	0.67
P1.2	20.00	-0.82	1.65	-0.55	0.98	-0.67	1.7	-4.27	21.56
P1.3	23.00	-1.17	1.25	0.18	0.71	-1.23	1.33	0.61	6.4
P1.4	25.00	-1.95	1.6	0.49	0.7	-2.13	1.69	3.3	17.58
P1.5	28.20	-2.48	1.45	0.04	1.05	-2.46	1.47	0.72	12.82
P1.6	31.00	-1.88	1.14	0.21	0.81	-1.9	1.21	0.44	4.88
P1.7	33.00	-1.34	1.21	-0.25	1.01	-1.35	1.3	-0.78	8.12
P2.1	15.50	0.76	0.59	0.1	1.17	0.73	0.64	0.08	0.66
P2.2	26.00	-1.58	2.06	-0.23	0.72	-1.53	2.1	-2.81	36.68
P2.3	29.40	-1.65	2.17	-0.08	0.75	-1.56	2.18	-1.52	42.03
P2.4	31.00	-3.07	1.89	0.61	1.27	-3.3	1.94	8.86	46.38
P2.5	31.80	-0.08	1.12	-0.34	1.03	-0.07	1.2	-1.18	6.08
P2.6	34.00	-2.89	1.17	0.21	0.77	-2.9	1.25	0.57	5.07
P2.7	35.60	-0.8	1.19	-0.26	1	-0.78	1.24	-0.94	7.11
P3.1	16.20	1.1	0.56	0.14	0.98	1.08	0.65	0.08	0.47
P3.2	30.00	-1.54	1.2	-0.02	0.97	-1.57	1.25	-0.05	6.44
P3.3	33.20	-3.15	1.44	0.48	1.41	-3.1	1.59	5.34	25.19
P3.4	36.30	-2.83	0.5	0	1	-2.82	0.57	-0.11	0.52
P3.5	37.40	-2.6	0.64	0.03	1	-2.61	0.72	0.08	1.26
P3.6	38.50	-0.77	1.33	-0.17	1.06	-0.81	1.39	-1.21	11.18
P4.1	15.90	1.08	0.56	0.1	1	1.06	0.64	0.03	0.52
P4.2	31.30	-2.52	1.08	0.34	1.11	-2.58	1.22	1.6	7.83
P4.3	34.60	-2.61	1.17	0.52	1.19	-2.72	1.32	2.33	9.9
P4.4	37.00	-2.94	0.44	-0.01	1.01	-2.9	0.57	-0.14	0.51
P4.5	39.10	-1.18	0.63	-0.02	0.98	-1.2	0.73	-0.03	1
P5.1	16.50	0.97	0.48	0.27	1.13	0.9	0.58	0.14	0.46
P5.2	27.00	-0.79	1.89	-0.61	0.53	-0.82	2.15	-6.1	35.24
P5.3	31.60	-1.33	1.18	-0.05	0.93	-1.38	1.24	-0.31	5.83
P5.4	36.30	-2.96	1.47	0.06	1.21	-2.85	1.48	1.63	15.07
P5.5	40.00	-2.85	0.46	-0.01	1.02	-2.83	0.53	-0.15	0.37
P5.6	41.70	-1.68	1.5	-0.31	1.08	-1.72	1.56	-2.88	17.03
P6.1	21.00	0.97	0.58	0.25	1.09	0.91	0.66	0.2	0.62
P6.2	31.60	-2.12	1.92	0.24	0.56	-2.03	2.1	1.21	26.9
P6.3	33.00	-1.3	1.26	0.07	0.74	-1.36	1.34	0.13	6.43
P6.4	37.60	-2.97	0.65	0.26	0.96	-3.04	0.82	0.29	1.54
P6.5	40.00	-2.78	0.49	-0.01	1.02	-2.77	0.57	-0.05	0.62
P6.6	42.20	-2.38	0.88	-0.29	1.28	-2.47	1	-1.02	4.23

P6.7	42.50	-0.59	0.79	-0.13	0.68	-0.57	1	-0.4	2.45
P7.1	7.00	0.87	0.64	0.15	1.1	0.84	0.7	0.12	0.87
P7.2	15.30	-1.23	1.12	0.24	1.5	-1.32	1.19	1.01	7.61
P7.3	20.00	0.01	0.93	0.22	1.21	0.06	1.02	0.77	3.7
P7.4	23.40	-1.91	1.18	0.35	0.91	-1.99	1.24	1.25	6.18
P7.5	25.00	-1.18	0.5	0.04	1.04	-1.2	0.61	0.03	0.5
P8.1	8.00	0.83	0.74	0.12	0.94	0.82	0.8	0.16	1.13
P8.2	14.50	-1.14	1.25	0.09	1.35	-1.15	1.32	0.5	10.95
P8.3	17.30	-0.46	1.07	0.15	0.95	-0.47	1.14	0.52	4.78
P8.4	19.80	-1.8	1.01	-0.3	0.83	-1.78	1.11	-0.8	3.76
P8.5	21.20	-1.67	1.34	-0.27	0.75	-1.63	1.4	-1.1	7.99
P8.6	23.80	-1.94	1	-0.19	0.92	-1.92	1.08	-0.33	3.97
P8.7	25.30	-2.26	0.68	0.05	1.05	-2.31	0.74	0.13	1.11
P8.8	29.10	-1.11	0.88	0.24	1.32	-1.16	0.96	0.6	3.8
P9.1	10.00	0.75	0.87	-0.14	0.98	0.71	1.03	-1.35	7.58
P9.2	21.00	-1.34	1.8	0.01	0.63	-1.39	1.95	0.7	24
P9.3	23.00	-0.2	1.22	-0.05	0.92	-0.21	1.28	0.14	6.58
P9.4	26.50	-1.4	0.73	-0.14	0.97	-1.41	0.83	-0.2	1.41
P9.5	28.00	-1.3	0.63	-0.22	1.33	-1.35	0.79	-0.61	2.13
P10.1	11.00	0.08	0.68	0.33	1.06	0.04	0.77	0.39	1.18
P10.2	20.50	-1.46	1.42	-0.47	0.61	-1.56	1.58	-1.46	10.18
P10.3	23.40	-1.81	1.4	0.39	0.87	-1.93	1.42	1.81	9.89
P10.4	27.40	-2.47	0.68	-0.06	0.88	-2.48	0.77	-0.05	1.08
P10.5	28.00	-1.28	0.58	-0.18	0.89	-1.27	0.72	-0.17	0.65
P11.1	8.00	0.24	0.64	0.05	1.04	0.23	0.72	0.07	0.89
P11.2	21.00	-2.39	1.52	0.75	0.67	-2.51	1.74	4.27	20.14
P11.3	23.00	-0.41	0.72	0.26	2.3	-0.3	0.86	1.1	3.79
P11.4	26.00	-2	0.66	-0.17	1.03	-2.04	0.75	-0.17	0.98
P11.5	28.00	-1.36	0.4	0.01	1.07	-1.39	0.49	0.02	0.3

**ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ-ΣΤΑΘΜΟΙ S**

SAMPLE	x (m)	MEAN	SORT	SKEW	KURT
S1.1	1.7	-1.2	1.13	-0.16	1.03
S1.2	4	-1.01	0.94	-0.29	1.35
S1.3	8	0.33	0.6	0.05	1.03
S1.4	13.5	-2.1	1.21	0.23	0.79
S1.5	15.6	-0.6	0.96	0.07	1.69
S2.1	13	0.22	0.45	-0.06	1.05
S2.2	19.3	-0.98	1.47	-0.25	0.74
S2.3	22	-0.61	0.37	-0.07	1.17
S3.1	6.3	0.92	0.64	0.07	1.04
S3.2	16	0.09	0.67	0.24	1
S3.3	23	-1.03	0.91	-0.18	1.23
S3.4	26	-0.66	0.98	0.19	1.27
S4.1	5	0.05	0.76	0.42	1.32
S4.2	17.7	-1.92	1.11	-0.12	0.68
S4.3	21.3	-1.41	0.68	-0.28	0.91
S4.4	22.5	-1.59	0.33	-0.05	1.1
S5.1	5	1.35	0.63	-0.05	0.91
S5.2	15	0.99	0.66	0.14	0.99
S5.3	27	-2.27	1.13	0.19	0.68
S5.4	28.9	0.04	1.34	0.09	0.92
S6.1	11	0.21	1.02	-0.27	1.38
S6.2	22.9	-3.9	0.88	0.29	0.96
S6.3	24.6	-2.32	1.18	0.03	1.34
S6.4	26.1	-0.65	0.93	-0.09	0.93
S7.1	17	0.88	0.58	0.12	1.09
S7.2	26	-0.21	0.52	0.01	1.04
S7.3	31.9	-2.65	0.89	0.22	0.73
S7.4	36.3	-1.99	1.11	0.18	0.92
S7.5	37.5	-0.64	0.8	-0.08	1.34
S8.1	12	0.72	0.56	0.15	1.35
S8.2	19.5	-0.44	0.62	-0.04	1.21
S8.3	25.5	-3.2	0.95	0.01	1.08
S8.4	27.6	-2.12	1.09	0.2	0.99
S8.5	29	-0.65	1.34	-0.16	0.88
S9.1	16.5	0.44	0.52	0.01	1.04
S9.2	29	1.09	0.53	0.04	1
S9.3	35.4	-2.62	1.13	0.47	1.07
S9.4	38.1	-2.78	0.76	0.21	1.16
S9.5	40	-1.17	1.77	0.05	0.65
S10.1	7.1	0.91	0.63	0.05	1.05
S10.2	16.52	0.14	0.99	-0.23	1.24
S10.3	22.2	-3.3	1.67	0.58	0.87
S10.4	26	-0.63	1.5	-0.18	0.7
S11.1	10	0.77	0.48	0.08	1.1
S11.2	25	-1.57	2.22	-0.5	0.54
S11.3	26	-3.49	0.73	-0.09	0.94
S11.4	30	-2.41	1.35	0.05	1.09
S12.1	9	0.72	0.47	0.1	1.18
S12.2	16.7	-0.91	1.75	-0.56	0.64

S12.3	20.6	-1.94	1.58	0.47	0.99
S12.4	24	-0.37	1.57	-0.43	0.65
S13.1	8.4	0.45	0.81	0.06	1.03
S13.2	20	-2.83	1.97	0.52	1.1
S13.3	22	-2.84	0.93	0.39	1.35
S13.4	25	-0.08	1.51	-0.27	0.78
S14.1	8.6	0.74	0.77	-0.06	1.04
S14.2	15	-0.34	1.35	-0.28	0.76
S14.3	24.7	-3.13	1.19	0.06	1.17
S14.4	25.8	-2.99	1.3	0.12	1.23
S14.5	28.3	-0.91	1.79	0.02	0.71
S15.1	18.2	0.54	0.65	0	1.01
S15.2	30	-2.98	1.99	0.62	1.04
S15.3	33.3	-3.44	0.83	-0.17	0.89
S15.4	35.7	-1.11	1.79	0.07	1.07
S16.1	7.5	0	1.49	-0.42	0.71
S16.2	18.1	-1.57	1.5	0.05	0.98
S16.3	20	-4.24	0.69	0.48	0.89
S16.4	23	-4.19	0.72	0.44	0.92
S16.5	24.5	-3.29	0.91	-0.12	0.93
S16.6	26.2	-1.37	0.97	0.4	1.61
S17.1	3	0.81	0.62	0.01	1.03
S17.2	7.2	0.7	0.6	-0.08	1.11
S17.3	12	0.24	1.12	-0.34	1.97
S17.4	22	-3.77	1	0.26	0.85
S17.5	24.6	-2.88	0.83	0.39	1.08
S17.6	26	-0.67	1.57	0.14	0.94
S18.1	6	0.9	0.57	0.02	1.02
S18.2	15.9	0.2	0.79	0.08	0.98
S18.3	24.1	-2.82	2.04	0.52	0.83
S18.4	25.5	-3.61	0.97	0.02	0.76
S18.5	25.9	-2.83	1.47	-0.27	1.15
S19.1	3	0.83	0.54	0.05	1.05
S19.2	16	-2.63	1.57	0.54	0.63
S19.3	21.3	-1.88	0.94	-0.14	0.79
S19.4	23.4	-1.47	1	-0.23	1.07
S20.1	3.8	0.24	0.53	0.01	1.02
S20.2	10.4	-2.23	1.85	-0.38	0.54
S20.3	15.1	-0.49	0.69	-0.15	1.31
S20.4	18.5	-1.83	2.19	-0.29	0.5
S21.1	1.7	-1.16	2.36	-0.66	1.56
S21.2	8.4	-4.14	0.56	0.11	0.86
S21.3	12.9	-1.99	0.68	-0.27	1.06
S21.4	18	-4.57	0.47	0.47	1.36
S21.5	21.5	-2.38	1.65	0	1.03
S22.1	7.7	-2.67	2.3	0.67	0.53
S22.2	17.1	-3.91	0.79	0.2	1.2
S22.3	26.6	-1.35	1.83	0.23	0.67
S22.4	27.4	-3.02	0.84	0.59	1.14

**ΧΕΙΜΩΝΑΣ-ΣΤΑΘΜΟΙ S**

SAMPLE	x (m)	MEAN	SORT	SKEW	KURT
S1.1	0.2	-1.72	0.72	-0.19	1.13
S1.2	3	-1.15	1.21	-0.4	1.02
S1.3	4.5	-0.82	1.23	-0.05	0.81
S1.4	5	-1.19	1.04	0.4	1.1
S1.5	12	-1.79	1.32	0.09	1.05
S1.6	14.6	-2.78	0.95	0.31	1.55
S1.7	17	-0.82	1.33	0.41	0.86
S2.1	4.6	0.57	0.8	0.11	0.94
S2.2	12	-0.52	0.89	-0.27	2.26
S2.3	15.6	-2.09	1.27	0.32	0.87
S2.4	16.6	-0.86	1.19	-0.21	1.14
S3.1	6.3	0.44	0.66	0.16	1.03
S3.2	16	-0.7	1.29	-0.29	1.27
S3.3	19.3	-3.18	1.23	-0.14	0.88
S3.4	22.3	-2.79	0.75	0.21	1.04
S3.5	24.8	-1.32	0.6	-0.1	0.89
S4.1	4.9	0.06	1.34	-0.2	1.5
S4.2	13.5	-1.76	1.55	0.3	0.71
S4.3	16.4	-2.67	1.13	-0.13	0.94
S4.4	19.7	-0.83	1.65	0.25	1.11
S5.1	5	1.06	0.84	-0.11	1.14
S5.2	15	-0.93	1.68	-0.48	0.8
S5.3	24.3	-3.05	0.56	0.21	0.95
S5.4	27.8	-1.72	0.68	-0.29	1.61
S6.1	11	-0.12	0.94	-0.49	1.13
S6.2	22.5	-0.41	1.26	-0.15	1.32
S6.3	23.2	-0.37	0.91	-0.11	1.11
S7.1	17	1.09	0.53	0.2	1
S7.2	26	0.61	1.07	-0.21	2.99
S7.3	31.9	-2.09	1.36	0.41	0.98
S7.4	34.5	-2.96	0.96	0.59	1.34
S7.5	35.3	-0.86	1.04	-0.11	0.91
S8.1	12	0.51	1.57	-0.43	2.55
S8.2	19.5	-0.76	1.79	-0.68	0.8
S8.3	25.7	-3.38	1.38	0.33	1.29
S8.4	26.6	-0.97	1.11	-0.17	1.03
S9.1	16.5	1.27	0.48	-0.01	1.01
S9.2	29	-1.29	2.19	-0.55	0.63
S9.3	32.1	-1.06	1.55	-0.38	0.98
S10.1	7.1	-1.17	2.57	-0.54	0.48
S10.2	16.5	-3.91	0.67	0.1	1.05
S10.3	18.5	-2.81	2	0.57	0.99
S10.4	20.2	-0.87	1.22	-0.11	0.95
S11.1	10	-2.27	0.86	-0.34	0.79
S11.2	18.7	-3.06	1.73	0.3	0.68
S11.3	23.9	-2.82	1.83	0.21	0.64
S11.4	25.5	-2.46	1.44	0.06	0.95
S12.1	11.5	-0.95	2.54	-0.62	0.51
S12.2	18	-3.73	0.97	0.14	0.71

S12.3	19.5	-1.42	1.12	0.11	1.46
S13.1	8.4	1	0.64	0.24	1.01
S13.2	18.7	-2.44	2.2	0.32	0.51
S13.3	20.7	-4.05	2.18	0.47	0.74
S13.4	21.6	-1.71	2.1	-0.58	0.53
S14.1	8.6	1	0.62	0.05	1.01
S14.2	15	-1.89	2.4	-0.08	0.51
S14.3	22.7	-2.49	1.83	0.33	0.77
S14.4	25	-2.12	1.9	-0.38	0.92
S15.1	18.2	0.81	1.38	-0.4	2.55
S15.2	25.2	-2.5	1.66	0.13	0.81
S15.3	30.9	-3.45	1.83	0.85	1.55
S15.4	32	-0.72	1.06	-0.27	1.78
S16.1	7.5	1.16	0.56	0.02	0.99
S16.2	14	-1.29	2.33	-0.66	0.5
S16.3	18.3	-1.06	1.41	-0.42	1.09
S16.4	20.2	-1.41	1.78	-0.44	0.67
S17.1	3	1.01	0.52	-0.01	1.01
S17.2	8	-0.77	1.91	-0.54	0.53
S17.3	12	-3.5	1.67	0.71	1.37
S17.4	22	-3.56	0.98	-0.04	0.75
S17.5	25.6	-2.56	0.95	0.27	1.14
S17.6	30	-1.03	2.16	-0.24	0.92
S18.1	4.4	1.05	0.64	0	1
S18.2	12.1	-3.37	2.81	0.9	0.52
S18.3	17.4	-4.49	2.76	0.97	26.29
S19.1	5.3	0.81	0.64	-0.01	1.11
S19.2	11.6	-2.16	1.33	0.23	0.67
S19.3	14.6	-2.46	0.85	-0.01	0.79
S19.4	18	-1.47	0.62	-0.01	0.76
S19.5	20.8	-1.61	0.65	0.19	1.17
S20.1	9	-4.73	0.31	0.27	1.54
S20.2	11	-3.79	0.69	-0.15	0.76
S20.3	15.6	-5.5	0.7	0.24	0.76
S20.4	18.3	-1.38	2.11	-0.29	0.68
S21.1	4.7	-6.19	0.11	0.19	1.65
S21.2	14.9	-0.47	2	-0.61	1.77
S21.3	19.5	-3.09	1.39	0.09	0.87
S21.4	21	-1.34	0.65	-0.12	1.28
S22.1	3.7	-1.01	2.52	-0.68	0.47
S22.2	8	-1.02	2.52	-0.6	0.52
S22.3	10.1	-2.94	2.22	0.76	0.87
S22.4	15	-0.15	1.42	-0.47	0.86