

## ΦΥΣΙΚΟ-ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΛΙΑΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΓΙΑΛΟΥ ΚΑΙ ΜΥΛΟΠΟΤΑΜΟΥ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΙΟΥ

Καραγκιώζογλου Κωνσταντία, Πούλος Σεραφεΐμ, Βερυκίου Ευθυμία και Αλεξανδράκης Γεώργιος

*Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωγραφίας και Κλιματολογίας, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, Αττική.*

### Περίληψη

Ο σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παράκτια φυσικο-γεωγραφική μελέτη, συμπεριλαμβανομένων και των επιπτώσεων της μελλοντικής άνοδου της θαλάσσιας στάθμης, δύο από τις πλέον τουριστικές παραλίες (Γιαλού και Μυλοποτάμου) της Νήσου Ίου, που ανήκουν στη κατηγορία των εγκιβωτισμών (rocket beach) παραλιών. Η παραλία του Γιαλού έχει μήκος ακτογραμμής περί τα 500 m και εμφανίζεται με το μεγαλύτερο πλάτος στα άκρα της (~30 m), ενώ η παραλία του Μυλοποτάμου, με μήκος ακτογραμμής περί τα 700 m παρουσιάζει το μεγαλύτερο πλάτος της (>50 m) στη κεντρική της περιοχή. Κοκκομετρικά, η παραλιακή ζώνη του Γιαλού συνίσταται από άμμο με μικρή συμμετοχή ψηφίδων που αυξάνει προς το ΝΑ της άκρο, σε αντίθεση με τον Μυλοπόταμο, όπου το υλικό εμφανίζεται αδρομερέστερο στο ΒΔ άκρο (gS-sG). Η μέση κλίση του χερσαίου τμήματος της παραλίας του Γιαλού είναι 2,2-5,2% με την μεγαλύτερη κλίση να εμφανίζεται στο κεντρικό τμήμα της παραλίας, ενώ στη παραλία του Μυλοποτάμου η κλίση είναι 1,4-3,6% με τις μεγαλύτερες κλίσεις να εμφανίζονται στα άκρα της. Τα μεγαλύτερα κύματα στο Γιαλό έχουν ύψη έως και 4m με τα συχνότερα να είναι <1m. Στον Μυλοπόταμο τα μεγαλύτερα ύψη φθάνουν τα 6m και οφείλονται στον ΝΔ άνεμο, με τα συχνότερα εμφανιζόμενα Δ κύματα να έχουν ύψη <0,3m. Η αναμενόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,4m (το 2100) θα προκαλέσει οπισθοχώρηση της ακτογραμμής των περί τα 10m.

### Abstract

The aim of this paper is the coastal physico-geographical study of two most touristic beaches (Gialos and Mylopotamos) at the Ios Island, including the consequences of the potential sea-level rise due to climatic change. Both are pocket beaches with the Gialos having coastline length some 500 m and being wider at its both ends (~30 m), while Milopotamos is longer ~750 m and wider at its central part (>50m). The Gialos consists of sandy material with small percentages of granules, fining towards its SE end. In contrary, Mylopotamos beach consists of coarser material ((gS-sG) becoming finer at its NW end. Subaerial beach slope at Gialos is 2.2-5.2%, becoming steeper at its both ends. In Milopotamos slopes are 1.4-3.6%, but with the higher values at its central part. The highest incoming waves at Gialos reach the 4 m with the most common ones being <1m. At Milopotamos the highest (SW) reach the 6 m, when the common (W) waves are <0,3m. The potential increase of sea-level by 0.4 m (for the 2100) will cause shoreline retreat by approximately 10m in both pocket beaches.

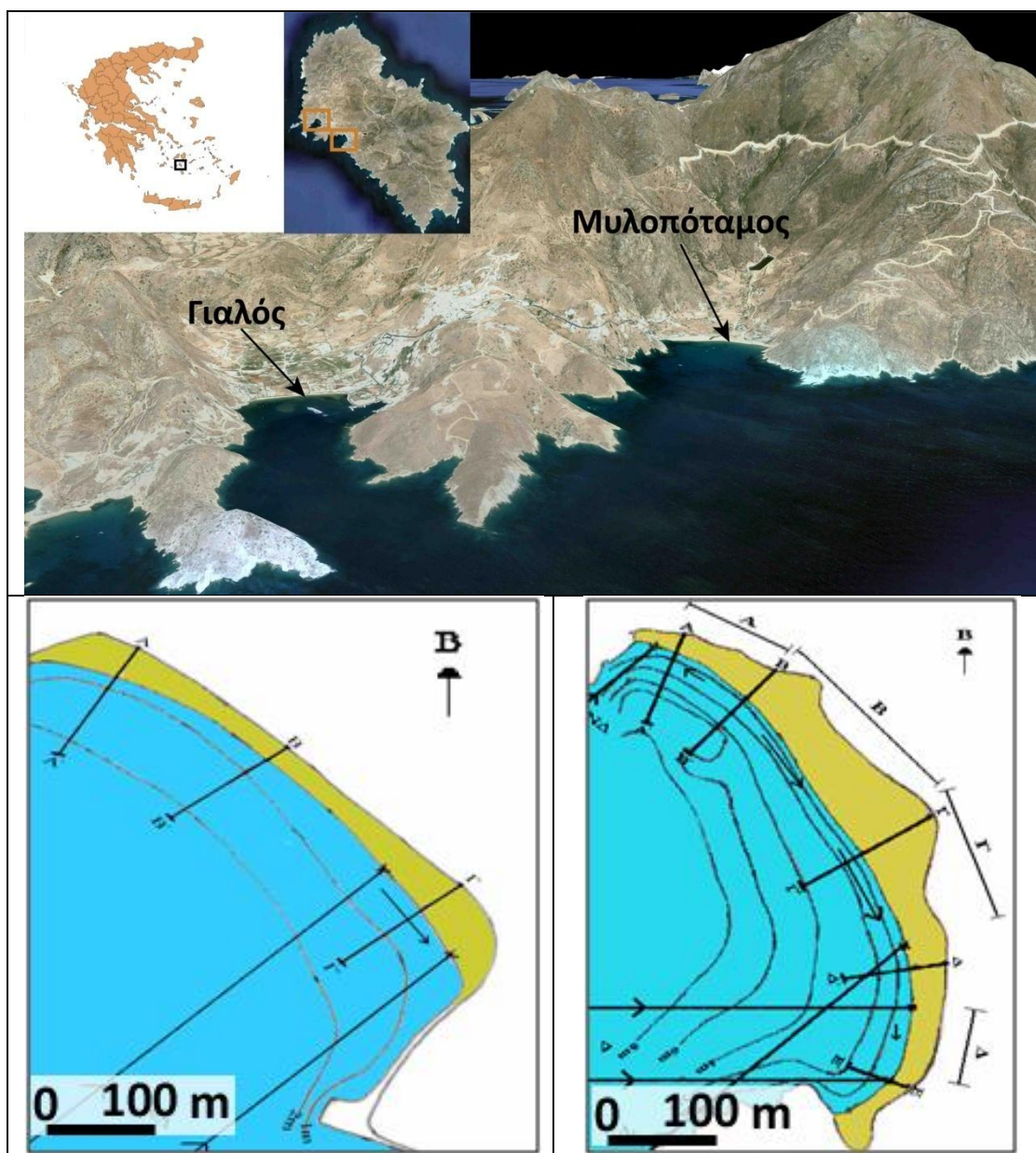
**Λέξεις κλειδιά:** ανύψωση θαλάσσιας στάθμης, κοκκομετρία, κύματα, Brunn rule

**Key words:** sea-level rise, granulometry, waves, Brunn rule

### 1. Εισαγωγή

Στην εργασία αυτή διερευνώνται τα μορφολογικά και ιζηματολογικά χαρακτηριστικά σε σχέση με επικρατών παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς στις παραλιακές ζώνες, οι οποίες βρίσκονται στους όρμους Γιαλού και Μυλοποτάμου, στο ΒΔ τμήμα της Νήσου Ίου. Οι παραλιακές αυτές ζώνες αναπτύσσονται μπροστά από χαμηλές αλλουβιακές πεδιάδες έχοντας τα χαρακτηριστικά των παραλιών τσέπης (rocket beach), μη δυνάμενες να ανταλλάξουν ιζήματα πλευρικά καθώς περιορίζονται από ακρωτήρια. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Άτλαντα Ανέμου και Κύματος των Αθανασούλη και Σκαρσουλή (1992), τα επικρατέστερα μέσα ύψη των κυμάτων που φθάνουν στην ακτή είναι 0-0,5m (41,2%) και 0,5-1m (23,6%). Επίσης με βάση στατιστικά στοιχεία που πήραμε από την Υδρογραφική Υπηρεσία που αφορούν στις μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας για την περίοδο 1955-2002, καθώς και στοιχεία για τις παλιρροϊκές διακυμάνσεις (Tsimplis, 1994),

για τον σταθμό της Νήσου Σύρου, προκύπτει ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας στις περιοχές μελέτης οφείλεται κυρίως στην επίδραση του ανέμου (μέγιστη πλήμμη >1m) και κατά ένα μικρό μόνο ποσοστό στην επίδραση του φαινομένου της αστρονομικής παλίρροιας (~0,06m). Ακόμη, επιχειρείται μια εκτίμηση της οπισθοχώρησης την οποία θα υποστούν λόγω της αναμενόμενης άνοδου της θαλάσσιας στάθμης λόγω της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2007).



Σχήμα 1. Οι παραλίες Γιαλού (αριστερά) και Μυλοποτάμου (δεξιά) μαζί με σκαριφήματα των θέσεων των μορφολογικών τομών και των επιμέρους τομέων τους.

## 2. Μεθοδολογία

Οι εργασίες πεδίου περιελάμβαναν γεωμορφολογικές αποτυπώσεις, τοπογραφικές τομές, δειγματοληψία ιζημάτων, καταγραφή ανθρώπινων παρεμβάσεων με παράλληλη λήψη φωτογραφικού υλικού. Η τοπογραφική αποτύπωση των δύο παραλιών, έγινε για μεν το χερσαίο τμήμα με χρήση σταδίων και αναφορά στο επίπεδο του ορίζοντα (Komar, 1976) ενώ για την υποθαλάσσια αποτύπωση μέχρι το βάθος των 5m χρησιμοποιήθηκε μετροταινία και φορητό βυθόμετρο HONDEX με εκτιμώμενη ακρίβεια  $\pm 10\text{cm}$ . Η κοκκομετρική ανάλυση και στατιστική επεξεργασία των 60 δειγμάτων (οι θέσεις των δίνονται στο Σχήμα 2) έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Folk (1980).

Το παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς προσδιορίστηκε με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής των Κυκλάδων, όπως αυτά προκύπτουν από μέσες ετήσιες τιμές του Άτλαντα Ανέμου και

Κύματος της Ανατολικής Μεσογείου (Αθανασούλης και Σκαρσουλής, 1991) και χρησιμοποιώντας τις προγνωστικές εξισώσεις του CECR (1984, τομ. Ι,σελ. 3-48), όσον αφορά το σημαντικό ύψος και τη περίοδο των προσερχόμενων κυμάτων από τα βαθιά νερά για τις αντίστοιχες διεύθυνσης ανάπτυξης του κυματισμού και τις εντάσεις του πνέοντος ανέμου. Το ύψος θραύσης ( $H_b$ ) του κύματος βρέθηκε με τη χρήση της εξίσωσης (Carter, 1980):

$$H_b = 0,563 \times \frac{H_0}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0,2}} \quad (1)$$

όπου  $H_0$  και  $L_0$  είναι αντιστίχως το σημαντικό ύψος και μήκος κύματος.

Το βάθος ( $d_b$ ) θραύσης του κύματος δίνεται από την ημι-εμπειρική σχέση (Komar, 1976):

$$H_b/d_b = 0,78 \quad (2).$$

Το μεγαλύτερο βάθος  $h_c$  κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα, μέχρι το οποίο γίνεται η μεγαλύτερη αλλαγή του υποθαλάσσιου προφίλ της παραλίας, άρα και το μεγαλύτερο μέρος της μετακίνησης ιζημάτων με διεύθυνση κάθετη στην ακτογραμμή υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$h_c = 2,28H_e - 68,5\left(\frac{H_e^2}{T_e^2}\right) \quad (3)$$

Το  $H_e$  και το  $T_e$  είναι το ύψος και η περίοδος του κύματος που αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη ένταση ανέμου.

Το μέγιστο ύψος αναρρίχησης ( $R$ ) του κύματος πάνω στην παραλία, σε σχέση με τη μέση στάθμη της θάλασσας, δίνεται από την εξίσωση (Komar, 1976):

$$R = 0,36 \times g^{0,5} \times S \times H_0^{0,5} \times T \quad (4)$$

όπου  $S$ , είναι η εφαπτομένη κλίση του χερσαίου τμήματος της παραλίας.

Τέλος, η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής λόγω της επικείμενης ανόδου της θάλασσας στάθμης προσεγγίστηκε κάνοντας χρήση του μοντέλου του Brunh (1958):

$$R_c = \frac{L}{B + h_c} S \quad (5)$$

όπου,  $h_c$  είναι το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα,  $L$  είναι η κάθετη στην ακτογραμμή απόσταση από αυτή του βάθους ( $h_c$ ),  $B$  το υψόμετρο της πρώτης berm.

### 3. Αποτελέσματα – Συζήτηση

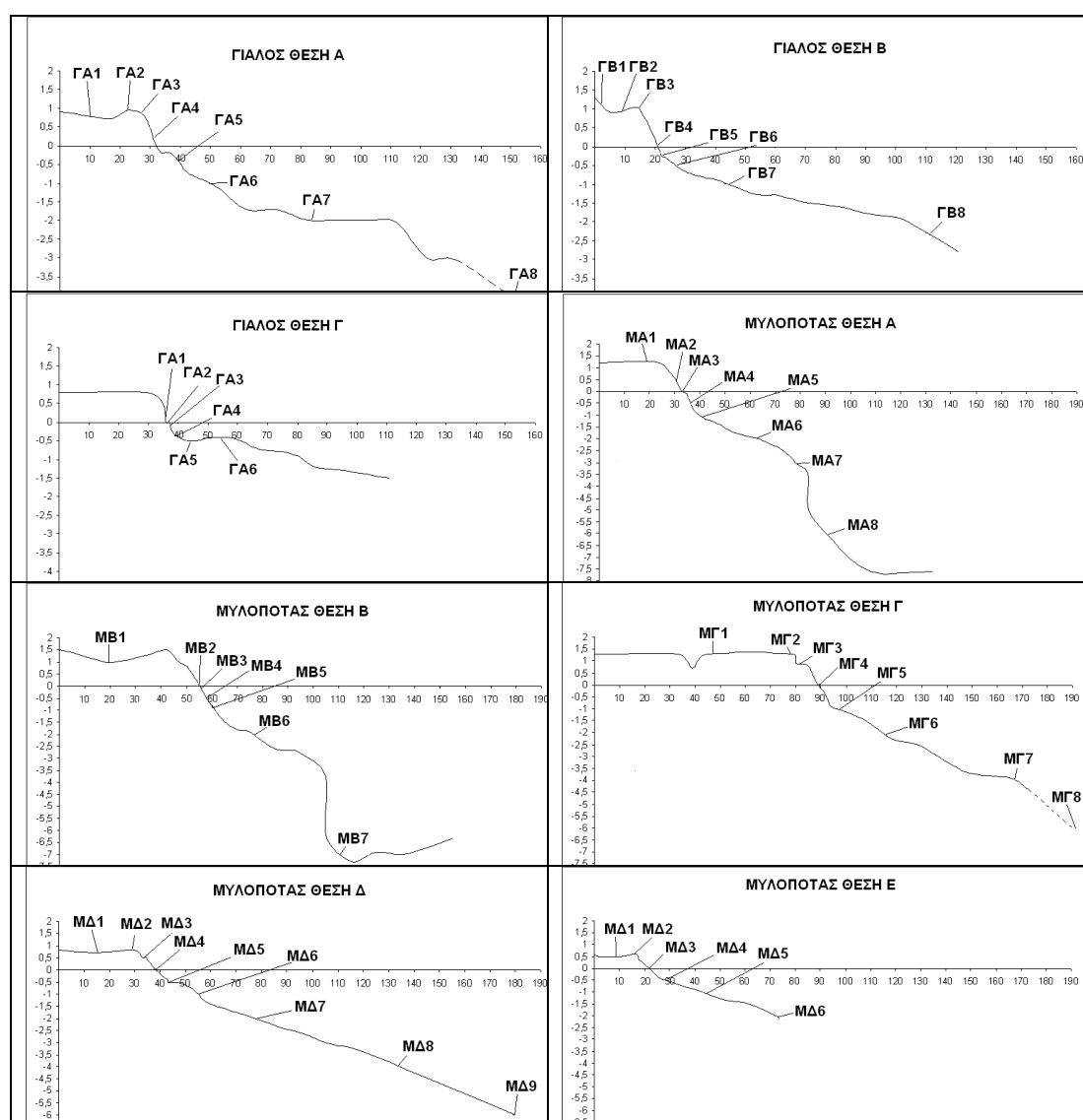
#### 3.1. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Οι δύο παραλίες που μελετήθηκαν, όρμος Γιαλού και όρμος Μυλοποτάμου, χαρακτηρίζονται ως παραλίες σπέτης (rocket beaches) γιατί είναι απομονωμένες, όσον αφορά στην πλευρική τροφοδοσία σε ίζημα, καθώς περιορίζονται η μεν πρώτη από τα ακρωτήρια Φανάρι και Ξέρες, η δε δεύτερη από τα ακρωτήρια Ξέρες και Κακόβολο (Σχήμα 1). Ο Γιαλός παρουσιάζει το μεγαλύτερο πλάτος του στα άκρα δείχνοντας ότι ανήκει στην κατηγορία των παραλιακών ζωνών με ευθυγράμμιση ακτογραμμής στην ζώνη διαβροχής (swash alignment). Σε αντίθεση ο Μυλοπόταμος, παρά το γεγονός ότι και αυτή είναι μια "rocket beach", παρουσιάζει αυξανόμενο πλάτος (χερσαίο και υποθαλάσσιο) στο κεντρικό και προς το νότιο άκρο της που φαίνεται να συνδέεται με την ύπαρξη του ομώνυμου χείμαρρου και με τη παράκτια προς νότο στερεομεταφορά (drift alignment), ενώ το βορειότερο τμήμα της χαρακτηρίζεται υποθαλάσσια και από την παρουσία σκληρού υποβάθρου (πιθανότατα ακτόλιθου).

Στην παραλία του Γιαλού η γενική κλίση του χερσαίου τμήματος της παράλιας ζώνης κυμαίνεται από 2,2% έως 6,2%, η κλίση του υποθαλάσσιου τμήματος της αντίστοιχα από 2% έως 3,2%, ενώ του μετώπου της από 16,7% έως 20% (Σχήμα 2). Στον Μυλοπόταμο η γενική κλίση του χερσαίου τμήματος κυμαίνεται από 1,4% έως 3,6%, του υποθαλάσσιου από 1% έως 8%, ενώ του μετώπου από 8,75% έως 20% (Σχήμα 2).

Όσον αφορά στις γεωμορφές, στην παραλία του Γιαλού εμφανίζεται μόνο ένας παράλιος (χερσαίος) καλά ανεπτυγμένος αναβαθμός (berm) σε ύψος που κυμαίνεται από 0,75m έως 1m, πάνω από το επίπεδο της θάλασσας, ενώ στην παραλία του Μυλοποτάμου το χερσαίο τμήμα της παραλίας χαρακτηρίζεται από δύο αναβαθμούς (berm), με τον χαμηλότερο να συνδέεται με το

μέτωπο της παραλίας και τον δεύτερο να βρίσκεται πάνω από την στάθμη της θάλασσας μεταξύ 0,5 m και 1,5 m. Και στις δύο παραλίες παρατηρούνται ημισεληνοειδείς αμμόδεις σχηματισμοί (beach cusps), στο ΝΑ άκρο της παραλίας του Γιαλού και σε όλο το μήκος της παραλίας του Μυλοποτάμου. Στην παραλία του Γιαλού τα "beach cusps" οφείλονται πιθανότατα στην διάθλαση των κυμάτων στην τεχνητή προβλήτα του λιμανιού της Ίου και οι αποστάσεις (από κορυφή σε κορυφή) των μετρήθηκαν από 4,5m έως 7m. Στην παραλία του Μυλοποτάμου θα μπορούσαν να αποδοθούν στην ανάκλαση των προσερχόμενων κυμάτων στα φυσικά ακρωτήρια από τα οποία οριοθετείται, και εμφανίζονται με ενδιάμεση απόσταση των 14 m και διαφορά ύψους (κορυφής με κοιλά) περί τα 0,2 m. Χαρακτηριστική επίσης είναι η ύπαρξη αμμοθινών στο ΝΑ άκρο της παραλίας του Μυλοποτάμου, λόγω του ότι η μορφολογία του εδάφους αποτελεί εμπόδιο στον επικρατούντα Δ άνεμο, με αποτέλεσμα την συσσώρευση υλικού. Υποθαλάσσια, στην παραλία του Μυλοποτάμου χαρακτηριστική είναι και η εμφάνιση συμπαγούς βραχώδους σχηματισμού (πιθανότατα ακτόλιθου), σε βάθη 1,5-3 m, στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της.



Σχήμα 2. Τοπογραφικές τομές εγκάρσιων στην ακτογραμμή όπου εμφανίζονται οι θέσεις των δειγμάτων ιζήματος (οι θέσεις των τομών φαίνονται στο Σχήμα 1).

### 3.2. Κοκκομετρικά χαρακτηριστικά

Τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων δίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 1. Στην παραλία του Γιαλού η πλειοψηφία των δειγμάτων χαρακτηρίζεται κατά Folk (1980), από άμμος (S) έως ελαφρά χαλικούχος άμμος ((g)S), με το υλικό να εμφανίζεται πιο λεπτόκοκκο στο ΒΔ άκρο της παραλίας. Αντίθετα, στην παραλία του Μυλοποτάμου το αδρομερέστερο υλικό ((g)S-sG), εμφανίζεται στο ΒΔ άκρο, ενώ στο ΝΑ τμήμα του επικρατεί η άμμος (S), η οποία σε συνδυασμό και

με την αισθητή μείωση του βάθους αποτελούν ενδείξεις είτε τοπικής προσφοράς λεπτόκοκκου υλικού, είτε στερεομεταφοράς του από το κεντρικό και βορειοδυτικό τμήμα της παραλίας.

Τα χερσαία δείγματα της παραλίας του Γιαλού χαρακτηρίζονται από κακή έως μέτρια διαβάθμιση ( $0,88 < \sigma_i < 1,20$ ) δηλαδή περιβάλλον χαμηλής ενέργειας, σε αντίθεση με το μέτωπο, όπου η διαβάθμιση είναι από μέτρια έως καλή για να εξελιχτεί σε μέτρια όσο απομακρυνόμαστε από την ακτογραμμή, ένδειξη περιορισμένης κυματικής δράσης. Όσον αφορά στην ασυμμετρία (Ski), τα χερσαία δείγματα από σχεδόν συμμετρικά στο μέτωπο, παρουσιάζουν αρνητική ασυμμετρία (π.χ. Ski = -0,21) προς τη ενδοχώρα. Στο υποθαλάσσιο τμήμα του μετώπου της παραλίας τα ιζήματα εμφανίζουν θετική ασυμμετρία, ενώ σε μεγαλύτερο βάθος παρατηρείται αρνητική ασυμμετρία, δηλαδή επικρατεί το αδρομερέστερο υλικό. Τέλος, όσο απομακρυνόμαστε από την ακτογραμμή οι αθροιστικές καμπύλες εμφανίζονται σχεδόν συμμετρικές, ενώ σε απόσταση 35m από (δηλαδή για βάθος > 1,50m) παρατηρούνται κατά θέσεις και φύκια.

Στη παραλία του Μυλοποτάμου, τα χερσαία δείγματα γενικά παρουσιάζουν μέτρια διαβάθμιση του υλικού και θετική ασυμμετρία (Ski = 0,13), ενώ τα υποθαλάσσια ιζήματα έχουν μέτρια έως καλή ( $0,49 < \sigma_i < 0,82$ ) ταξινόμηση και από θετική ασυμμετρία (επικράτηση του λεπτόκοκκου υλικού,  $-0,05 < Ski < 0,19$ ) έως σχεδόν συμμετρικές καμπύλες. Αρνητική ασυμμετρία ( $-0,19 < Ski < -0,12$ ) δηλαδή επικράτηση των σχετικά πιο χονδροκόκκων υλικών παρατηρείται στο μέτωπο και του κατώτερου αναβαθμού (berm), ως το αποτέλεσμα μεταβαλλόμενων υδροδυναμικών συνθηκών. Η καλύτερη ταξινόμηση των ιζημάτων, κυρίως στο κεντρικό και νότιο της τμήμα, σε σχέση με τη παραλία του Γιαλού αποδίδεται στην έκθεσή της σε εντονότερο κυματικό καθεστώς.

Πίνακας 1. Αποτελέσματα κοκκομετρικής ανάλυσης σε μονάδες (φ) και χαρακτηρισμός των δειγμάτων κατά Folk (οι θέσεις των δειγμάτων φαίνονται στο σχήμα 1).

ΔΕΙΓΜΑ	M <sub>d</sub>	σ <sub>i</sub>	Ski	K <sub>G</sub>	Χαρακτηρισμός Folk	ΔΕΙΓΜΑ	M <sub>d</sub>	σ <sub>i</sub>	Ski	K <sub>G</sub>	Χαρακτηρισμός Folk
ΓΑ1	0,62	1,24	-0,22	1,52	gS	ΜΒ1	0,19	0,87	-0,04	1,09	(g)S
ΓΑ2	0,94	0,73	0,20	0,89	S	ΜΒ2	-1,09	1,18	-0,63	0,91	gS
ΓΑ3	1,59	0,84	-0,25	0,73	S	ΜΒ3	-0,76	0,66	-0,15	0,82	(g)S
ΓΑ4	2,16	0,95	-0,35	1,06	S	ΜΒ4	-2,37	1,39	0,07	0,55	sG
ΓΑ5	2,11	0,77	-0,05	1,34	S	ΜΒ5	-1,69	1,48	-0,24	0,50	sG
ΓΑ6	2,89	0,48	0,04	1,05	(g)S	ΜΒ6	1,90	0,52	0,05	1,23	S
ΓΑ7	2,89	0,40	0,10	0,92	S	ΜΒ7	2,88	0,81	-0,18	1,11	(g)S
ΓΑ8	3,53	1,41	-0,46	2,37	gmS	ΜΓ1	-0,40	0,51	0,01	1,01	(g)S
ΓΒ1	0,60	1,21	-0,09	1,24	gS	ΜΓ2	0,34	0,74	0,13	1,42	S
ΓΒ2	1,14	0,88	-0,21	1,03	(g)S	ΜΓ3	-0,49	0,51	-0,13	1,07	(g)S
ΓΒ3	2,04	0,58	0,11	1,60	(g)S	ΜΓ4	-0,15	0,69	-0,12	1,01	(g)S
ΓΒ4	2,10	0,96	-0,24	1,58	(g)S	ΜΓ5	1,66	0,82	-0,19	1,13	S
ΓΒ5	-1,29	0,73	0,12	0,99	gS	ΜΓ6	2,12	0,61	0,18	0,96	S
ΓΒ6	2,46	0,43	-0,13	1,07	(g)S	ΜΓ7	2,69	0,56	0,19	1,26	S
ΓΒ7	3,40	0,53	-0,01	0,91	mS	ΜΓ8	2,84	0,49	-0,05	1,09	S
ΓΒ8	3,25	0,71	-0,08	0,93	mS	ΜΔ1	0,36	0,85	0,05	1,25	(g)S
ΓΓ1	0,13	0,67	-0,15	0,96	(g)S	ΜΔ2	1,67	0,86	-0,36	1,20	(g)S
ΓΓ2	2,80	0,36	-0,07	0,87	S	ΜΔ3	1,81	0,80	-0,37	1,01	S
ΓΓ3	1,74	0,71	0,00	1,07	(g)S	ΜΔ4	1,39	0,90	-0,14	0,87	(g)S
ΓΓ4	2,12	2,08	-0,42	0,78	gS	ΜΔ5	1,44	1,65	-0,56	1,37	gS
ΓΓ5	1,90	0,53	0,05	1,21	(g)S	ΜΔ6	2,13	0,59	-0,07	1,14	(g)S
ΓΓ6	1,74	1,26	-0,35	0,83	(g)S	ΜΔ7	2,63	0,69	0,12	1,16	S
ΜΑ1	0,90	0,85	-0,08	1,00	(g)S	ΜΔ8	2,74	0,65	-0,16	1,20	S
ΜΑ2	0,07	0,56	0,00	1,09	S	ΜΔ9	2,63	0,57	-0,07	0,86	S
ΜΑ3	0,56	0,42	-0,10	1,09	(g)S	ΜΕ1	2,04	0,49	0,25	1,38	S
ΜΑ4	-0,30	0,73	-0,27	0,94	(g)S	ΜΕ2	2,13	0,51	0,31	0,96	S
ΜΑ5	0,36	1,19	-0,31	1,09	gS	ΜΕ3	2,48	0,53	0,01	0,74	S
ΜΑ6	1,70	0,61	0,05	1,21	(g)S	ΜΕ4	2,79	0,43	0,29	1,76	S
ΜΑ7	2,00	0,59	0,11	1,44	(g)S	ΜΕ5	3,00	0,56	0,20	0,84	S
ΜΑ8	1,87	0,63	-0,12	1,38	S	ΜΕ6	2,99	0,67	0,16	0,87	S

### 3.3. Παράκτιο υδροδυναμικό καθεστώς

Η παραλία του Γιαλού και συγκεκριμένα το ΝΑ άκρο της, επηρεάζεται άμεσα μόνο από κύματα ΝΔ διεύθυνσης. Το υπόλοιπο τμήμα της παράλιας ζώνης παραμένει προστατευμένο από την επίδραση των ανεμογενών κυμάτων, λόγω της μικρής έκτασης και του προσανατολισμού του όρμου. Πιθανότατα μέρος των προσερχόμενων κυμάτων να οφείλεται και στην μερική ανάκλαση

των κυμάτων στα δύο ακρωτήρια Φαναρίου και Ξέρες (Σχήμα 1). Η παραλία του Μυλοποτάμου επηρεάζεται πρωτίστως από τον ΝΔ άνεμο στο μεγαλύτερο μέρος της (υποπεριοχές Α έως Δ) και μερικώς (υποπεριοχή Δ) από τον Δ άνεμο στο ΝΑ άκρο της (Σχήμα 1). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 2, στην παραλία του Γιαλού τα μεγαλύτερα κύματα έχουν ύψη έως και 4m με αντίστοιχη περίοδο μέχρι και τα 8s και το ύψος των κυμάτων με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης φθάνει το 1m. Στον Μυλοπότα τα μεγαλύτερα ύψη κύματος φθάνουν τα 6m με αντίστοιχη περίοδο μέχρι και τα 10,5s, με τα συχνότερα εμφανιζόμενα κύματα να οφείλονται στον Δ άνεμο έχοντας ύψη <0,3m. Τα μέγιστα μήκη κύματος στον Γιαλό παρατηρούνται από ορμητικούς ΝΔ ανέμους (>22,5 m/s) και φθάνουν τα 92m, ενώ στον Μυλοπότα παρατηρούνται από θυελλώδεις ΝΔ ανέμους ταχύτητας μεγαλύτερης από 33knots και φθάνουν τα 168m.

Πίνακας 2. Υπολογισμός χαρακτηριστικών κυμάτων για τις συνήθειες (συχνότερα εμφανιζόμενες), μέγιστες και μεσοσταθμικές (αναφορικά με τα ετήσια ποσοστά εμφάνισης των) ταχύτητες ανέμου για τις παραλίες Γιαλού και Μυλοποτάμου

Γιαλός	<b>ΝΔ</b> (F=57,9 km)	<b>U</b> (m/s)	<b>f</b> (%)	<b>Ho</b> (m)	<b>To</b> (sec)	<b>H<sub>b</sub></b> (m)	<b>d<sub>b</sub></b> (m)	<b>R</b> (m)	<b>Hc</b> (m)	<b>Po'</b> (W/m)
	Σύνηθες	6,94	2,23	0,95	4,76	1,10	1,41	0,19		23,31
	Μέγιστο	22,35	0,02	3,99	7,69	4,21	5,40	0,65	7,22	6,01
	Σταθμ Μ.	6,51		0,87	4,64	1,02	1,31	0,18		
	Σύνολο		<b>8,53</b>							<b>153,52</b>
Μυλοπόταμος	<b>Δ</b> (F=5,37 km)	<b>U</b> (m/s)	<b>f</b> (%)	<b>Ho</b> (m)	<b>To</b> (sec)	<b>H<sub>b</sub></b> (m)	<b>d<sub>b</sub></b> (m)	<b>R</b> (m)	<b>hc</b> (m)	<b>Po'</b> (W/m)
	Σύνηθες	6,94	4,11	0,29	2,16	0,31	0,40	0,04		3,61
	Μέγιστο	22,35	0,02	1,22	3,48	1,19	1,52	0,12	1,92	0,51
	Σταθμ Μ.	6,50		0,27	2,10	0,29	0,37	0,03		
	Σύνολο		<b>14,57</b>							<b>21,80</b>
	<b>ΝΔ</b> (F=173 km)	<b>U</b> (m/s)	<b>f</b> (%)	<b>Ho</b> (m)	<b>To</b> (sec)	<b>H<sub>b</sub></b> (m)	<b>D<sub>b</sub></b> (m)	<b>R</b> (m)	<b>hc</b> (m)	<b>Po'</b> (W/m)
	Σύνηθες	6,94	2,23	1,64	6,86	1,97	2,53	0,25		402,09
	Μέγιστο	19,01	0,07	5,65	10,38	6,27	8,04	0,70	10,82	227,93
	Σταθμ Μ.	6,50		1,51	6,68	1,83	2,34	0,23		
Σύνολο		<b>8,53</b>							<b>2464,42</b>	

Υπόμνημα. U: ταχύτητα ανέμου, f: ετήσια συχνότητα εμφάνισης, Ho: σημαντικό ύψος κύματος, To: περίοδος, H<sub>b</sub>: ύψος θραύσης, d<sub>b</sub>: βάθος θραύσης, R: αναρρίχηση κυμάτων, hc: μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων πυθμένα και Po': κυματική ροή ενέργειας (ισχύς).

Η ζώνη θραύσης των κυμάτων στον Γιαλό εμφανίζεται περί τα 25m από την ακτογραμμή στο ΒΔ τμήμα της παραλίας, περί τα 35m στο κεντρικό τμήμα της και περί τα 60m στο ΝΑ. Στον Μυλοπόταμου η ζώνη θραύσης των κυμάτων εμφανίζεται περί τα 30m απόσταση από την ακτογραμμή στο ΒΔ και κεντρικό τμήμα της παραλίας και περί τα 50 m στο ΝΑ της τμήμα. Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων (hc) φθάνει τα 7,2 m στον Γιαλό ενώ στον Μυλοπόταμου ξεπερνά τα 10m. Στην περίπτωση των κυμάτων θύελλας το μέγιστο ύψος αναρρίχησης του κύματος πάνω στην παραλία φθάνει στον Γιαλό τα 0,65m και στον Μυλοπόταμου τα 0,12m για το τμήμα της παραλίας που επηρεάζεται από τον Δ άνεμο, και τα 0,7m για το τμήμα της παραλίας που επηρεάζεται από τον ΝΔ.

Στο κεντρικό τμήμα της παραλίας ζώνης του Μυλοποτάμου τα κύματα που διαδίδονται σε ενδιάμεσα και ρηχά νερά υφίστανται διάθλαση και οι γραμμές κορυφής τους τείνουν να γίνουν παράλληλες με τις ισοβαθείς μετά το βάθος των 4m (L/20) και πριν από το βάθος των 2m, όπου έχουμε τη ζώνη θραύσης των κυμάτων, με αποτέλεσμα να προσπίπτουν στο μέτωπο της παραλίας με γωνία μικρότερη από την αρχική. Στην παραλία του Γιαλού και στο ΝΑ άκρο της παραλίας του Μυλοποτάμου το φαινόμενο της διάθλασης των κυμάτων δεν είναι έντονο, γιατί είτε η ζώνη θραύσης των κυμάτων ταυτίζεται με το βάθος στο οποίο αρχίζει να επιδρά έντονα το φαινόμενο της διάθλασης (παραλία Γιαλού, L/20 = 1,7m), είτε γιατί τα κύματα έχουν ήδη σπάσει (ΝΑ άκρο Μυλοπότα, L/20 = 0,35m).

Στην περίπτωση των κυμάτων θυέλλης εάν στο μέγιστο ύψος αναρρίχησης του κύματος (0,6-0,7 μ) προστεθεί και η ανύψωση λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας που στη περίπτωση του κεντρικού και βόρειου Αιγαίου οφείλεται σε ανέμους νοτίων διευθύνσεων και μπορεί ξεπεράσει το 0,5 μ (ΥΥ, 2005), τότε αρκεί η ύπαρξη κυμάτων <1 μ ώστε το θαλάσσιο νερό να ξεπεράσει το μέγιστο υψόμετρο της παραλίας, πλημμυρίζοντας την περιοχή όπισθεν αυτής, όπως παραστατικά φαίνεται και στη φωτογραφία του σχήματος 3 και όπως συνέβη πρόσφατα τον Ιανουάριο του 2010.



Σχήμα 3. Φωτογραφίες από το πλημμυρισμένο τμήμα της οπισθοπαραλίας στην ανατολική πλευρά (α) και ενδείξεις παρουσίας θαλασσινού νερού στο παραλιακό δρόμο στο δυτικό της άκρο (β), μετά το μετεωρολογικό επεισόδιο του Ιανουαρίου 2010.

### 3.4. Ανθρώπινη παρέμβαση και μελλοντική εξέλιξη.

Η σημαντικότερη ανθρώπινη επέμβαση είναι η οικιστική δραστηριότητα και κυρίως η κατασκευή των παραλιακών δρόμων, κυρίως στη περίπτωση του Γιαλού, εφ'απτομενικά, εάν όχι επάνω σε τμήμα της οπισθοπαραλίας, η οποία σε συνδυασμό με τη παρουσία μαντρών αφενός περιορίζει την απόσταση απόσβεσης της κυματικής ενέργειας, ενισχύοντας τη διαβρωτική ικανότητα των κυμάτων και αφετέρου διακόπτει τη φυσική συνέχεια της παραλιακής ζώνης με την παρακείμενη της ενδοχώρα με την οποία ανταλλάσει ιζήματα. Μάλιστα, η ανθρώπινη παρέμβαση εκτείνεται και στη διευθέτηση των υπαρχόντων εφήμερων υδατορευμάτων, η οποία συνήθως σχετίζεται και με στέρηση των όποιων περιοδικά ή/και σποραδικά ιζημάτων μεταφέρονταν προς τη παραλία.

Επιπροσθέτως, ως έμμεση ανθρώπινη παρέμβαση θεωρείται και η αναμενόμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης, η οποία σύμφωνα με το συντηρητικό σενάριο της τελευταίας αναφοράς του Intergovernmental Panel for the Climatic Change (IPCC, 2007) αναμένεται να φθάσει τα 0,4 m το 2100, ενώ σε νεότερες μελέτες αναφέρεται άνοδος της τάξης του 1-2 m (Pfeffer et al., 2008).

Πίνακας 3. Υπολογισμένες τιμές οπισθοχώρησης ( $R_c$ ) της ακτογραμμής σύμφωνα με τον κανόνα του Bruhn (για τις άλλες παραμέτρους βλέπε ενότητα 3, εξίσωση 5).

	Γιαλός		Μυλοπόταμος	
S (m)	0,4	1,0	0,4	1,0
L (m)	85		230	
B (m)	1		1,5	
Hc (m)	2		11	
<b>Rc (m)</b>	11,3	28,3	9,2	23,1

Με βάση τον κανόνα του Bruhn (Πίνακας 4), η παραλιακή ζώνη του Γιαλού αναμένεται να οπισθοχωρήσει περί τα 11 m και 28 m στη περίπτωση της ανύψωσης κατά 0,4 m και 1 m,

αντίστοιχα. Έτσι, στη μεν πρώτη περίπτωση θα απολεστεί τουλάχιστον το 1/3 και κυρίως το κεντρικό της τμήμα ενώ στη δεύτερη σχεδόν τα 4/5 του χερσαίου τμήματος της παραλίας. Αντιστοίχως, στη παραλία του Μυλοποτάμου, προβλέπεται οπισθοχώρηση της τάξης των 9 m και 23 m, η οποία θα οδηγήσει σε απώλεια που κυμαίνεται από 1/6 έως 1/2 της επιφάνειας της χερσαίας παραλιακής ζώνης με το φαινόμενο να είναι εντονότερο στη νότια πλευρά της, καθώς η παρουσία του βραχώδους υποβάθρου (πιθανώς ακτόλιθοι) θα επιβραδύνει, τουλάχιστον αρχικά, την οπισθοχώρηση της παραλιακής ζώνης, ενώ επιπλέον αμφισβητείται και η ακρίβεια εφαρμογής του κανόνα του Bruun (Psomiadis et al., 2010).

#### 4. Συμπεράσματα

Οι παραλίες Γιαλού και Μυλοποτάμου αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα μικρών παραλιών τύπου τσέπης (rocket beach) με μήκη ακτογραμμής (<750m) και μικρές σχετικά χερσαίες (<6,5%) και υποθαλάσσιες (<8%) κλίσεις. Όσον αφορά στην ιζηματολογία και οι δύο παραλίες χαρακτηρίζονται ως αμμώδης, με το περισσότερο λεπτόκοκκο υλικό να εμφανίζεται στο ΒΔ άκρο της παραλίας του Γιαλού και στο ΝΑ άκρο της παραλίας του Μυλοποτάμου, ως αποτέλεσμα του προσανατολισμού των και της έκθεσης των στο σύνολό τους ή μέρος τους σε διαφορετικό συνδυασμό ανεμογενών κυμάτων ΝΔ και Δ διευθύνσεων.

Τα μεγαλύτερα κύματα στο Γιαλό έχουν ύψη έως και 4m και το ύψος των κυμάτων με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης φθάνει το 1m. Στον Μυλοπόταμο τα μεγαλύτερα ύψη φθάνουν τα 6m και οφείλονται στον ΝΔ άνεμο, ενώ τα συχνότερα εμφανιζόμενα κύματα οφείλονται στον Δ άνεμο και έχουν ύψη < 0,3m. Το μέγιστο βάθος κινητοποίησης των ιζημάτων ( $h_c$ ) φθάνει τα 7,2m στον Γιαλό ενώ στον Μυλοπόταμο ξεπερνά τα 10m. Η αναρρίχηση των κυμάτων που προσεγγίζει τα 0,7 m σε συνδυασμό με ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης που στη περίπτωση νοτίων ανέμων φθάνει και ξεπερνά το 0,5 m δίνουν τη δυνατότητα στα κύματα να φθάνουν και να ξεπερνούν το απώτατο χερσαίο όριο της παραλίας του Γιαλού και των ακραίων τμημάτων του Μυλοποτάμου.

Η εκτιμώμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης κατά 0,4 m, λόγω της ήδη εκδηλωμένης κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να προκαλέσει σημαντική απώλεια παραλιακής ζώνης λόγω οπισθοχώρησης της ακτογραμμής των περί τα 10 m.

#### Βιβλιογραφία

- Αθανασούλη Γ.Α. & Σκαρσούλη Ε.Κ., 1992. Άτλας Ανέμου και Κύματος, βορειοανατολικής Μεσογείου Θαλάσσης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Αθήνα.
- Bruun P., 1958. Coast erosion and the development of beach profiles. Technical Memorandum, vol. 44. Beach Erosion Board, Corps of Engineers, 82 pp.
- Carter R.W.G., 1988. Coastal Environments, Academic Press Ltd, London
- CERC, 1984. *Shore protection Manual*, U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Washington
- Folk P.L., 1980 : Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 183 pp.
- IPCC, 2007. Summary for Policy Makers. (In:) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contributing of Working Group I to the Fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L. (eds). Cambridge University Press, UK, pp. 7-22.
- Komar P. D., 1976. Beach Processes and Sedimentation. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- Pfeffer W.Y., Harper J.T. and O'Neel S., 2008. Kinematic constraints on Glacier Contributions to 21<sup>st</sup> – Century Sea-Level Rise. Science, 321 (no 5894), pp. 1340-1343.
- Psomiadis D., Albanakis K., Tsourlos P., 2010. Evaluation of sea-level rise impact on cemented and uncemented coast. Case study from Thassos Island, Greece. Proceedings of the Carpathian-Balkan Geological Association (<http://www.cbga2010.org/Documents.htm>)
- Tsimplis M. N., 1994. Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas. Estuarine Coastal and Shelf Science, Volume 39, Issue 2, Pages 201-208
- Υδρογραφική Υπηρεσία, 2005. Στοιχεία Παλίρροιας Ελληνικών Λιμένων, Υδρογραφική Υπηρεσία Πολεμικού Ναυτικού, σελ. 82-83.