

Μορφολογικές μεταβολές στην παραλιακή ζώνη Γούβες – Γούρνες (Ν. Ηρακλείου, Β. Κρήτη) λόγω μεταβολής του ιζηματολογικού της ισοζυγίου οφειλόμενη στην ανθρώπινη παρέμβαση.

ΜΠΟΥΖΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ Ν., ΓΚΙΩΝΗΣ Γ., ΠΟΥΛΟΣ Σ.

ABSTRACT

The area under examination is located between the torrential rivers of Gouviianos and Gournianos, on the North shores of the Heraklion Prefecture of Crete. The eastward longshore sediment transport in the area (some $28 \times 10^3 \text{m}^3$) was calculated on the basis of the longshore current speed (V_L) and the sedimentological regime (S), estimated from the results of the analysis of sediment samples collected from both the breaker and the surf zone, and the Shields parameter θ . The area is under an intense wave and wind regime (wave heights $>5\text{m}$ during a storm) with the dominant winds being from N and NW and with wave runup (R) reaching elevations of up to 2.9m on the beach face, resulting in erosion and shoreline retreat. These phenomena have been aggravated by human interventions in the coastal zone, including constructions, such as roads that cross the lower route of Gournianos and inhibit the water/sediment discharge of the torrential river and small marinas that impede the longshore sediment transport, whilst and at the same time become useless because of the wave diffraction that blocks the entrances with sediment. A seawall that was constructed to support a street over the beach of Gourmes results in more intense wave reflection and sediment loss, while groynes, which were constructed in order to protect the existing beach and restore the original beach width, didn't have the expected results due to the deminished longshore sediment transport.

Keywords: erosion, human impact, sediment transport

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης ευρίσκεται μεταξύ των ποταμοχειμάρρων Γουβιανού (Α) και Γουρνιανού (Δ) στις βόρειες ακτές του Νομού Ηρακλείου, σε μια παράκτια ζώνη με εμφανείς τις συνέπειες της διάβρωσης αλλά και της έντονης ανθρώπινης παρέμβασης (κυρίως τουριστικού χαρακτήρα). Η παραλιακή ζώνη είναι εκτεθειμένη κυρίως σε ΒΔ, Β και ΒΑ ανέμους οι οποίοι σχετίζονται με έντονο κυματικό καθεστώς (ύψη $>5\text{ m}$). Η προκαλούμενη (πραγματική) ετήσια παραλιακή στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής στην περιοχή μελέτης είναι της τάξης των $26 \times 10^3 \text{m}^3/\text{a}$ με διεύθυνση από Δύση προς Ανατολή. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονη διάβρωση και οπισθοχώρηση της ακτογραμμής με απομάκρυνση του λεπτόκοκκου υλικού και υποθαλάσσια αποκάλυψη του υποβάθρου, στην οποία συντείνουν, αν δεν την προκαλούν, μια σειρά από ανθρώπινες παρεμβάσεις. Οι παρεμβάσεις αυτές περιλαμβάνουν την ανάσχεση των φερτών υλικών των ποταμοχειμάρρων με παρεμπόδιση της φυσικής ροής τους με εγκάρσιους δρομίσκους, την παρουσία αλιευτικού καταφυγίου και μαρίνας, κατασκευών που παρεμποδίζουν την παράκτια στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτογραμμής και παραλιακό τοίχο για την υποστήριξη του παραλιακού δρόμου των Γουβών, πάνω στον οποίο ανακλώνται τα εισερχόμενα κύματα και απομακρύνουν τα παράκτια ιζήματα. Η κατα-

MORPHOLOGICAL CHANGES IN THE SHORE ZONE OF GOUVES-GOURNES (N. CRETE) DUE TO ALTERATIONS OF ITS SEDIMENT BUDGET CAUSED BY HUMAN ACTIVITIES

Τομέας Γεωγραφίας & Κλιματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη Ζωγράφου, Αθήνα 15784.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
buzhiki@hotmail.com; gghionis@geol.uoa.gr; poulos@geol.uoa.gr

σκευή προβόλων κάθετων στο παραλιακό μέτωπο για προστασία και ανάκτηση της παραλίας, όχι μόνο δεν έχουν αποτρέψει τα φαινόμενα διάβρωσης, αλλά τα έχουν επιτείνει λόγω της αποκοπής της στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής.

Λέξεις κλειδιά: διάβρωση, ανθρώπινη παρέμβαση, πραγματική στερεομεταφορά.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

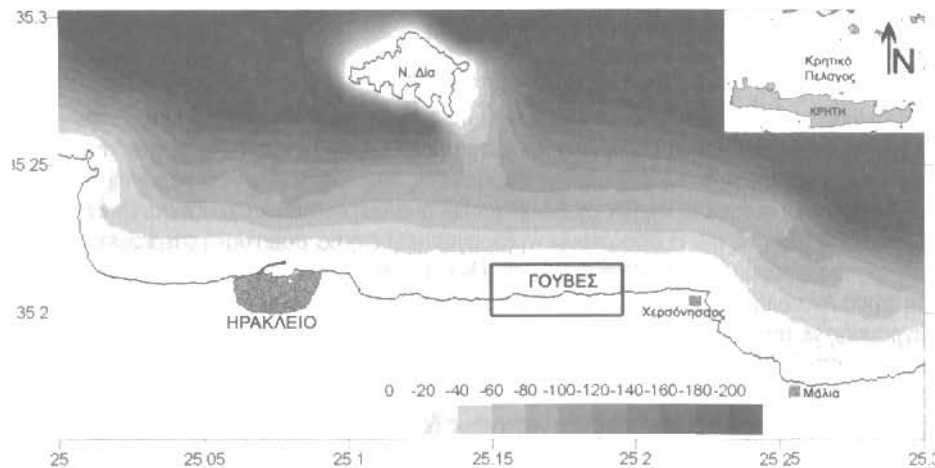
Η παραλιακή ζώνη είναι ένα δυναμικό και παράλληλα ευμετάβλητο περιβάλλον, ευαίσθητο σε κάθε είδος αλλαγών των υδροδυναμικών και ιζηματολογικών συνθηκών. Η ανθρώπινη παρέμβαση στην παραλιακή ζώνη είτε με τη μορφή έργων ανάπλασης (παραλιακοί δρόμοι) είτε με τη μορφή τουριστικής (π.χ. μαρίνες) αλλά και οικιστικής ανάπτυξης (αποχετευτικοί αγωγοί, διαμόρφωση παραλιακής ζώνης) τείνει να αλλοιώσει το παράκτιο περιβάλλον. Ένα από τα συχνότερα αποτελέσματα της ανθρώπινης παρέμβασης είναι η διάβρωση των παραλιακών ζωνών που συνοδεύεται από οπισθοχώρηση της ακτογραμμής. Χαρακτηριστικά παραδείγματα οπισθοχώρησης των παραλιακών ζωνών στον Ελληνικό χώρο είναι η παράκτια ζώνη Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης (Δελημάνη και Ξειδάκης, 2002), η παραλία του Αγίου Νικήτα στη Λευκάδα (Βερυκίου κ.α., 2004) και η περιοχή της Κάτω Αχαΐας (Poulos and Chronis, 2001). Ανάλογα προβλήματα αντιμετωπίζει και

η παραλιακή ζώνη του Νομού Ηρακλείου της νήσου Κρήτης όπου αλιευτικά καταφύγια, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, επεκτάσεις ξενοδοχειακών μονάδων και αυθαίρετη δόμηση επιτείνουν το πρόβλημα υποβάθμισης της παραλιακής ζώνης (Βουτυράκης, 2003).

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ποιοτική και ποσοτική μελέτη της διάβρωσης της παραλιακής ζώνης που αναπτύσσεται μεταξύ των ποταμοχειμάρρων Γουβιανού και Γουρνιανού (βόρειες ακτές Νομού Ηρακλείου) σε σχέση με το υφιστάμενο υδροδυναμικό καθεστώς, τα ιζηματολογικά της χαρακτηριστικά, αλλά και τις ποικίλες ανθρώπινες παρεμβάσεις.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η παραλιακή ζώνη της περιοχής μελέτης (Σχήμα 1) αναπτύσσεται μπροστά από μια ομαλή αλλοιωματική πεδιάδα πλάτους περί τα 750m και κλίσεων μικρότερων του 2.5%. Είναι γενικά αμμώδης, ενώ οι υποθαλάσσιες κλίσεις κυμαίνονται μεταξύ του 1% και 3% (Πούλος κ.α., 2002).



Σχήμα 1: Περιοχή μελέτης (κλίμακα βαθών σε μέτρα)

Η περιοχή είναι εκτεθειμένη σε άνεμους κυρίως βόρειων διευθύνσεων με μεγαλύτερη συχνότητα αυτή των βορειοδυτικών (28,74%) και βόρειων ανέμων (16,9%) (Ε.Μ.Υ. σταθμός ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ (754)). Πιο συγκεκριμένα, για τους ΒΔ ανέμους τα συνήθη κύματα προκαλούνται από ανέμους εντάσεως 7-10 κόμβων (knots) και 11-16 κόμβων με ετήσιες συχνότητες εμφάνισης 9,1% και 10,5% αντίστοιχα (Πίνακας 1). Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος κύματος κυμαίνεται μεταξύ των 1,3 και 3,2m, η περίοδος του κύματος μεταξύ 5,8 και 8,6 s ενώ τα μήκη κύματος είναι περίπου 52m και 114m, αντίστοιχα. Για τους

άνεμους Β διευθύνσεων τα συνήθη κύματα οφείλονται σε ανέμους έντασης 7-10 κόμβων, 4-6 κόμβων και 11-16 κόμβων με ετήσιες συχνότητες εμφάνισης 4,9%, 4,3% και 4,2% αντίστοιχα. Γενικά, τα κύματα που παράγονται από ανέμους Β διευθύνσεων παρουσιάζουν μικρότερα ύψη κύματος, περιόδους και μήκη κύματος σε σχέση με τα κύματα ΒΔ προέλευσης. Η υπολογιζόμενη ετήσια δυνητική παράκτια στερεομεταφορά είναι περίπου $28 \times 10^3 \text{ m}^3$ (περίπου $46 \times 10^3 \text{ ton/a}$) και έχει φορά από Δύση προς Ανατολή (Πούλος κ.α. 2002).

Πίνακας 1: Κυματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης (Πούλος κ.α., 2002).

Διεύθυνση Ανέμου	f(ετ) (%)	U_m (m/s)	T_s (s)	H_s (m)	α_0 (μοίρες)	P_{1s} (W/m)
Δ	28,9	3,13	2,32	0,35	87	426,0 ^a
ΒΔ	23,6	3,19	7,02	2,46	40	23214,2
Β	12,4	3,37	4,92	1,31	-3	-743,1
ΒΑ	3,7	2,21	3,74	0,71	-40	-1133,3
Α	6,8	2,16	2,95	0,46	-87	-46,6
ΣΥΝΟΛΟ						21717,2

Επεξήγηση: f(ετ): Ετήσια συχνότητα εμφάνισης ανέμου, U_m : Μέση ετήσια (σταθμική) ταχύτητα ανέμου, H_s : σημαντικό ύψος κύματος (σταθμικό) στα βαθιά νερά, T_s : (σταθμική) περίοδος κύματος στα βαθιά νερά, (α_0): γωνία μεταξύ της ράχης των κυμάτων και της ακτογραμμής, P_{1s} : Συνολική ετήσια ροή ενέργειας κατά μήκος της ακτογραμμής (θετική φορά Δ προς Α).

Ο ποταμοχειμάρρος Γουρνιανός ($32,95 \text{ km}^2$) που βρίσκεται στα δυτικά της περιοχής μελέτης (Σχήμα 2) είναι αυτός που κυρίως συνεισφέρει χερσαίο υλικό στο ιζηματολογικό ισοζύγιο και δευτερευόντως ο Γουβιανός ($18,35 \text{ km}^2$), με τις αντίστοιχες στερεοπαροχές τους να εκτιμώνται

(θεωρητικά) σε $30 \times 10^3 \text{ tonnes/a}$ και $9 \times 10^3 \text{ tonnes/a}$ (Πούλος κ.α., 2002). Οι ποταμοχειμάρροι αποστραγγίζουν αλλοιύβια, ανθρακικά, Νεογενή πετρώματα και φλύσχη με μεγαλύτερη εμφάνιση αυτή των ανθρακικών πετρωμάτων και των Νεογενών.



Οι μορφές παρέμβασης εντοπίζονται στην ανάσχεση φερτών υλικών των ποταμοχειμάρρων που εκβάλλουν στην περιοχή με διαδοχικές οδούς που διασχίζουν την κοίτη τους, παραλιακούς τοίχους, ως μέτρα στήριξης των παραλιακών δρόμων, που επιτείνουν το φαινόμενο της ανάκλασης των κυμάτων, αλιευτικά καταφύγια καθώς και βραχίονες με σκοπό τη διατήρηση των χαρακτηριστικών της παραλίας, που εμποδίζουν την κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά, με αποτέλεσμα τη διάβρωση και οπισθοχώρηση της συγκεκριμένης παραλιακής ζώνης.

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για τις ανάγκες της εργασίας αυτή χρησιμοποιήθηκαν ο τοπογραφικός χάρτης κλίμακας 1:50.000, φύλλο Μοχός, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (ΓΥΣ), τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000, Α1, Α2 φύλλο Μοχός της ΓΥΣ, ο υδρογραφικός χάρτης Νο. 157, κλίμακας 1.175.000 έκδοσης 1992, της Υδρογραφικής Υπηρεσίας (Π.Ν.), καθώς και δορυφορικές λήψεις της περιοχής από το Google Earth.

Επισκέψεις στην περιοχή πραγματοποιήθηκαν τη θερινή περίοδο (Ιούλιος-Αύγουστος) των ετών 2003 και 2006, στη διάρκεια των οποίων πραγματοποιήθηκαν τοπογραφική αποτύπωση της παραλίας, συλλογή 20 δειγμάτων ιζήματος κατά μήκος πέντε τομών και φωτογράφιση της παραλιακής ζώνης (βλέπε Σχήμα 2).

Με βάση το γνωστό κυματικό καθεστώς της περιοχής (Πίνακας 1), υπολογίστηκε το μέγιστο βάθος σημαντικής κινητοποίησης των ιζημάτων του πυθμένα (h_c) με χρήση της εξίσωσης (Komar, 1998):

$$h_c = 2,28 H_s - 68,5 \left(\frac{H_s^2}{g T_s^2} \right)$$

όπου H_s και το T_s είναι το ύψος και η περίοδος των κυμάτων που αντιστοιχούν στην μεγαλύτερη ένταση ανέμου για κάθε μία από τις κύριες διευθύνσεις, δηλαδή των κυμάτων θύελλης για κάθε κύρια διεύθυνση του ανέμου.

Το μέγιστο ύψος αναρρίχησης (R) του κύματος πάνω στην παραλία, σε σχέση με τη

μέση στάθμη της θάλασσας, δίνεται από την εξίσωση (Komar, 1998):

$$R = 0,36 g^{0,5} S H_s^{0,5} T$$

όπου S είναι η εφασπτόμενη κλίση της παραλίας ($\sim 5^\circ$) για την εξεταζόμενη περιοχή.

Η ταχύτητα του παράκτιου ρεύματος (U_c) υπολογίζεται με βάση τα κυματικά χαρακτηριστικά ανοικτής θαλάσσης από τη σχέση CERC (1984):

$$U_c = (\sqrt{g \cdot H_s}) \cdot \eta \mu(\alpha_0) \cdot \sigma \nu \nu(\alpha_0)$$

Η παράκτια στερεομεταφορά δίνεται από τη σχέση (CERC, 1984):

$$Q_l = \frac{0,39 \times P_{ls}}{g \times (\sigma - \rho) \times a'}$$

όπου Q_l δίνεται σε m^3/s , σ και ρ (kg/m^3) είναι οι πυκνότητες του ιζήματος ($2650 kg/m^3$) και του θαλασσινού νερού ($1025 kg/m^3$) αντίστοιχα, $a'=0,6$ (σταθερά πορώδους) and P_{ls} η παράλληλη στην ακτογραμμή συνιστώσα της ροής της κυματικής ενέργειας (Πίνακας 1).

Η πραγματική παραλιακή στερεομεταφορά εκτιμάται βάσει της ικανότητας του παραλιακού ρεύματος να θέσει τα ιζήματα της ζώνης κυματώγης σε κίνηση. Για το λόγο αυτό υπολογίζεται η παράμετρος (θ) του Shields, η οποία συσχετίζει την κρίσιμη διατμητική τάση που ασκείται από το θαλάσσιο ρεύμα στα ιζήματα του πυθμένα με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση (διάμετρο d), από τις εξισώσεις (Pethick, 1984):

$$\theta = \tau / [(\sigma - \rho) \cdot g \cdot d]$$

$$\tau = \rho \cdot C_D \cdot u^2(z)$$

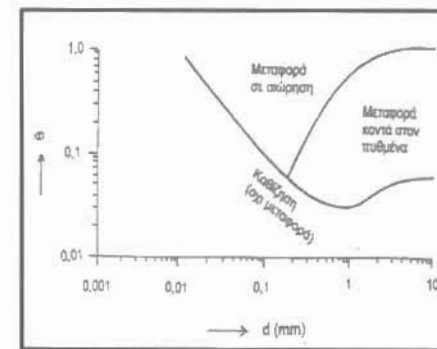
$$C_D(z) = \left[\kappa / \ln(z/z_0) \right]^2$$

$$z_0 = k / 30$$

όπου σ η πυκνότητα των κόκκων του ιζήματος ($2650 kg/m^3$), ρ η πυκνότητα του θαλασσινού νερού ($1025 kg/m^3$), (d) η διάμετρος των κόκκων, (τ) η διατμητική τάση, C_D ο συντελεστής σύρσης, κ η σταθερά του von Karman ($\cong 0,41$), z_0 η υδραυλική ανωμαλία του πυθμένα και k η μορφολογική ανωμαλία του πυθμένα (στην περίπτωση επίπεδου πυθμένα καθορίζεται από τη κοκκομετρία του).

Με βάση την τιμή της παραμέτρου (θ) ελέγχεται με χρήση του διαγράμματος του σχήματος

3 η ικανότητα των παράκτιων ρευμάτων που δημιουργούνται από τα ανεμογενή κύματα να κινητοποιήσουν τα επιφανειακά ιζήματα του πυθμένα.



Σχήμα 3: Διάγραμμα προσδιορισμού της ικανότητας των παράκτιων ρευμάτων να θέσουν σε κίνηση τα ιζήματα του πυθμένα, με βάση τη διάμετρο (d) των κόκκων και την τιμή της παραμέτρου (θ) του Shields (Pethick, 1984).

Στους υπολογισμούς τόσο της δυνητικής όσο και της πραγματικής παράκτιας στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής χρησιμοποιήθηκε το ήμισυ της τιμής που προκύπτει για τους ανέμους A και Δ διευθύνσεων, καθώς βάσει του προσανατολισμού της (Δ - A) είναι εκτεθειμένη μόνο κατά το ήμισυ περίπου στα προσερχόμενα κύματα από ανατολή και δύση. Κατά τον προσδιορισμό του συντελεστή C_D , για μεν το μέτωπο της παραλίας (βάθος $<0,5$ m) ως ανωμαλία πυθμένα ελήφθη το μέγεθος των κόκκων, ενώ για τα μεγαλύτερα βάθη το 1 cm, λόγω της παρουσίας αμμορυτιδών. Δεδομένου ότι οι υπολογισμοί αναφέρονται εξ ορισμού στο οριακό στρώμα του πυθμένα, για βάθη <1 m ελήφθη ως z το βάθος θραύσης (d_b), ενώ για βάθη >1 m χρησιμοποιήθηκε προσεγγιστικά $z=1$ m. Τέλος, η εκτίμηση της πραγματικής στερεομεταφοράς έγινε ανά κοκκομετρική τάξη των δειγμάτων B5, H2, Z2, B1, B2 και B3 (βλέπε Πίνακα 2, Σχήμα 3) που αντιστοιχούν στις ζώνες κυματώγης, όπως αυτές διαμορφώνονται από τα κύματα

που προκαλούνται από ανέμους διαφορετικής έντασης.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Κοκκομετρία

Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά μήκος τεσσάρων διαφορετικών τομών στην περιοχή μελέτης, έδειξε ότι τα δείγματα ανήκουν στην κατηγορία της λεπτής άμμου (S), καθώς τα χονδρόκοκκα υλικά αλλά και η ιλύς και η άργιλος αντιπροσωπεύονται από ποσοστά μικρότερα του 1,5% (Πίνακας 2). Η απουσία χονδρόκοκκου υλικού μπορεί να εκτιμηθεί και ως μειωμένη στερεοπαροχή χερσαίων υλικών καθώς και ως καλή επεξεργασία του ήδη υπάρχοντος υλικού από το υδροδυναμικό καθεστώς που επικρατεί στην περιοχή (έντονος κυματισμός, δράση παράκτιων ρευμάτων). Τα δείγματα που συλλέχθηκαν από την περιοχή μελέτης κατά μήκος τεσσάρων υποθαλάσσιων τομών είναι ομοιογενή με καλή και πολύ καλή ταξινόμηση (βλέπε Πίνακα 2) γεγονός που επιβεβαιώνει ότι πρόκειται για ένα περιβάλλον υψηλής ενέργειας με μικρή ή/και ομοιόμορφη κοκκομετρικά προσφορά ιζημάτων. Οι κατανομές των δειγμάτων από την περιοχή μελέτης είναι ως επί το πλείστον συμμετρικές, με λίγες εξαιρέσεις θετικής και αρνητικής λοξότητας, όπου δηλαδή υπερτερούν τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα υλικά αντίστοιχα (Πίνακας 2).

Η κατανομή των κοκκομετρικών χαρακτηριστικών, με βάση τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων, αλλά και μετά από επιτόπιες παρατηρήσεις κατά μήκος των υποθαλάσσιων τομών, δίνεται στο Σχήμα 4, όπου βλέπουμε ότι σε βάθος περίπου 1,5 m υπάρχει, έστω και τοπικά, εμφάνιση του σκληρού υπόβαθρου, δηλαδή απομάκρυνση του αμμώδους επιφανειακού μανδύα. Γενικά οι υποθαλάσσιες τομές είναι ομαλές (κλίσεις από 1,5% μέχρι 7%) με εξαίρεση το βαθύτερο τμήμα της τομής 4, όπου μετά την εμφάνιση του σκληρού υπόβαθρου η κλίση αυξάνεται απότομα.

Πίνακας 2: Αποτελέσματα κοκκομετρικών αναλύσεων

Κωδικός Δείγματος	Ιλύς+Αργίλος (<0,063 mm) (%)	Md		σ _i		Sk _i	
		(mm)	Χαρακτηρισμός	(φ)	Χαρακτηρισμός		Χαρακτηρισμός
B1	0,02	0,19	ΛΕΠΤΗ ΑΜΜΟΣ	0,44	Κ	0,10	ΣΣ
B2	0,12	0,15		0,45	Κ	0,01	ΣΣ
B3	0,07	0,16		0,45	Κ	-0,14	ΑΛ
B4	0,00	0,21		0,35	Κ	-0,09	ΣΣ
B5	0,00	0,20		0,31	ΠΚ	0,12	ΘΛ
Γ1	0,03	0,21		0,38	Κ	-0,12	ΑΛ
Γ2	0,02	0,19		0,43	Κ	0,09	ΣΣ
Γ3	0,04	0,17		0,39	Κ	0,10	ΣΣ
Δ1	0,01	0,22		0,40	Κ	-0,05	ΣΣ
Δ2	0,02	0,20		0,43	Κ	0,05	ΣΣ
Z1	0,00	0,20		0,37	Κ	0,05	ΣΣ
Z2	0,01	0,20		0,42	Κ	0,04	ΣΣ
Z3	0,01	0,19		0,40	Κ	0,06	ΣΣ
Z4	0,04	0,17		0,40	Κ	0,09	ΣΣ
H1	0,03	0,19		0,37	Κ	0,10	ΣΣ
H2	0,01	0,19		0,36	Κ	0,07	ΣΣ
H3	0,03	0,17		0,37	Κ	0,02	ΣΣ
H4	0,02	0,18		0,34	ΠΚ	0,16	ΘΛ
H5	0,07	0,19	0,32	ΠΚ	0,18	ΘΛ	
H6	0,00	0,23	0,45	Κ	-0,20	ΑΛ	

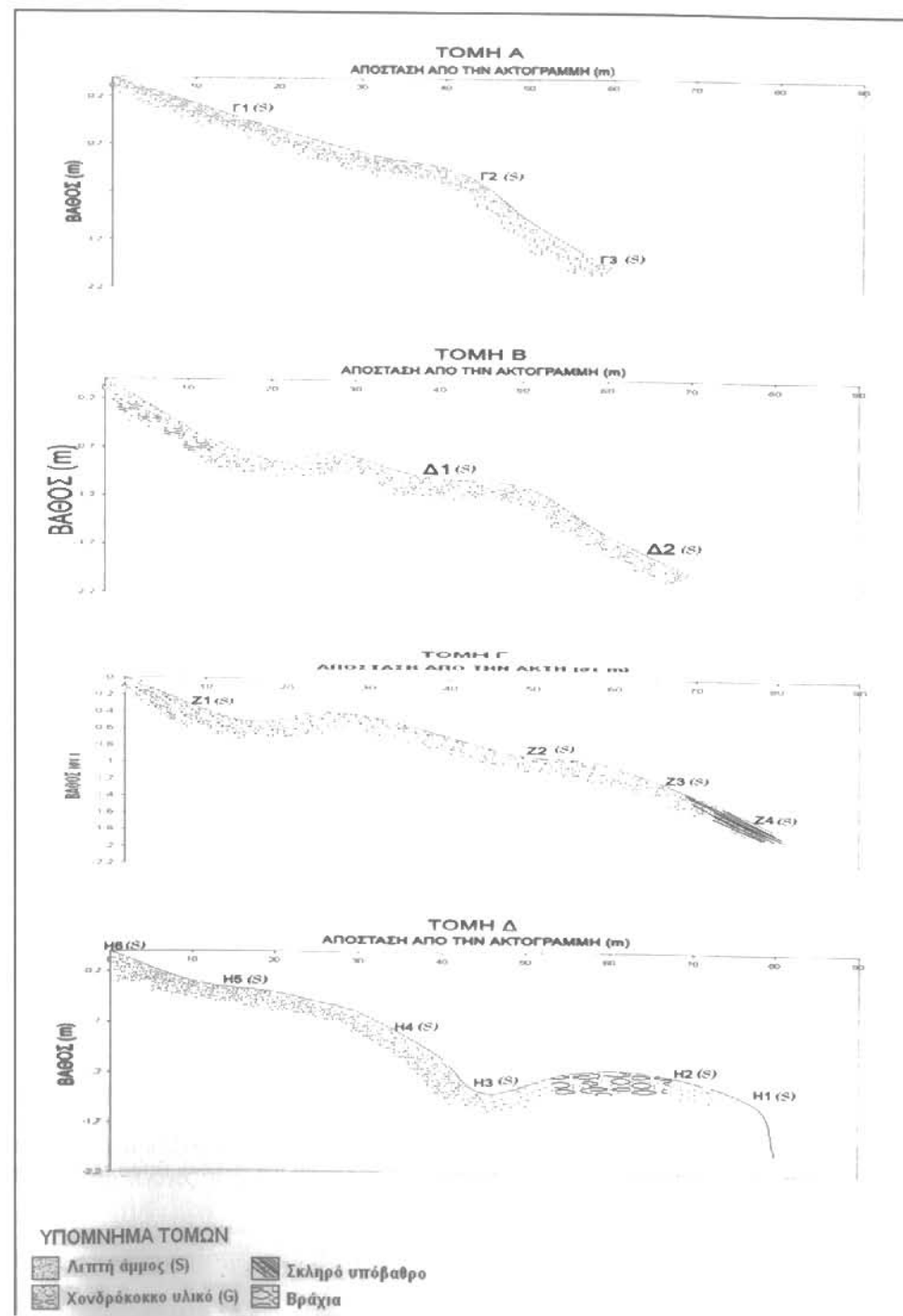
Επεξήγηση: Λεπτή άμμος (0,125-0,25 mm), σ_i: τυπική απόκλιση, ΠΚ: πολύ καλή ταξινόμηση, Κ: καλή ταξινόμηση, ΣΣ: σχεδόν συμμετρική κατανομή (-0,1 μέχρι +0,1), ΘΛ: Θετική Λοξότητα (επικράτηση λεπτόκοκκου υλικού) (+0,1 μέχρι +0,3), ΑΛ: Αρνητική Λοξότητα (επικράτηση χονδροκόκκου υλικού) (-0,1 μέχρι -0,3).

4.2. Κυματικά χαρακτηριστικά

Τα βασικά χαρακτηριστικά των κυμάτων έχουν περιγραφεί στον Πίνακα 1. Στη παρούσα ενότητα εκτιμώνται τα χαρακτηριστικά των κυμάτων θυέλλης και των επιπτώσεων τους στην παραλιακή ζώνη (Πίνακας 3).

Οι άνεμοι Β και ΒΔ διευθύνσεων δίνουν κύματα θυέλλης με ύψη που ξεπερνούν ακόμη και τα 6 m τα οποία επηρεάζουν την υποθαλάσσια τομή μέχρι βάθους 12m, ενώ η ζώνη της παράκτιας στερεομεταφοράς με βάση το βάθος θραύσης (d_b) κυμαίνεται

μεταξύ περίπου 1,8 και 3,9 μέτρων. Η ικανότητα αναρρίχησης των κυμάτων φτάνει περί τα 3 m, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα αναρρίχησης σε όλο το εύρος της παραλιακής ζώνης. Μεταξύ των δύο αυτών διευθύνσεων, τα ΒΔ κύματα είναι τα πλέον επικίνδυνα λόγω της συχνότερης ετήσιας (0,21%) εμφάνισής τους. Οι επιπτώσεις των κυμάτων των υπολοίπων διευθύνσεων (ΒΑ, Α και Δ) είναι ηπιότερες λόγω της μικρότερης συχνότητας εμφάνισής τους, αλλά και του μικρότερου σχετικού ύψους τους (βλέπε Πίνακα 3).



Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά κυμάτων θυέλλης και αντίστοιχα ύψη αναρρίχησης κυμάτων και βάθη κινητοποίησης των ιζημάτων

	W (knots)	f (%)	H ₀ (m)	T _s (s)	d _b (m)	h _c (m)	R (m)
B	41-47	0,01	6,5	11,2	1,9	12,5	2,8
BA	28-33	0,01	5,0	10,2	1,1	9,7	2,2
A	28-33	0,01	3,4	7,2	0,7	6,0	1,3
BD	28-47	0,21	6,5	11,6	3,6	12,6	2,9
Δ	34-40	0,01	1,6	4,0	0,5	2,5	0,5

Επεξήγηση: H₀, T_s: ύψος, περίοδος κύματος, d_b: βάθος θραύσης, h_c: μέγιστο βάθος κινητοποίησης ιζημάτων πυθμένα, R: ύψος αναρρίχησης των κυμάτων, W: ταχύτητα ανέμου, f: ετήσια συχνότητα εμφάνισης των ανέμων.

4.3. Εκτίμηση της πραγματικής στερεομεταφοράς στην παραλιακή ζώνη

Με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων, προκύπτει ότι τα παράκτια ρεύματα που δημιουργούνται από ανεμογενή κύματα οφειλόμενα σε B, Δ και A ανέμους δεν έχουν δυνατότητα στερεομεταφοράς. Από τους ΒΔ και ΒΑ μόνο τα κύματα μικρής ταχύτητας ανέμου (<3 knots και <6 knots, αντίστοιχα) δεν μπορούν να μετακι-

νήσουν τα ιζήματα του πυθμένα (Πίνακας 4). Με βάση τη συνεισφορά της κάθε διεύθυνσης (με μέγιστη τη ΒΔ), εκτιμάται ότι η συνολική πραγματική στερεομεταφορά είναι της τάξης των 26,8x 10³m³/a με φορά προς Α και μειωμένη ως προς τη δυνητική κατά 5% περίπου.

Πίνακας 4: Υπολογισμός της ετήσιας πραγματικής στερεομεταφοράς

W	B (-)		BA (+)			A (+)		BD (-)			Δ (-)	
	V _L	Δ	V _L	Δ	Π	V _L	Δ	V _L	Δ	Π	V _L	Δ
1-3	0,02	0,04	0,41	0,13	0,12	0,02	0,001	0,41	0,018	0,017	0,02	0,00
4-6	0,05	1,11	0,83	17,65	17,58	0,05	0,25	0,96	7,12		0,04	0,15
7-10	0,09	28,98	1,38	141,15		0,10	4,40	1,8	398,59		0,06	0,90
11-16	0,16	380,93	2,43	724,89		0,13	4,32	2,8	11426,65		0,08	3,41
17-21	0,19	346,46	2,78	427,79		0,15	2,32	3,31	8873,16		0,09	2,21
22-27	0,22	313,25	3,15	201,99		0,18	1,67		5608,29		0,11	1,27
28-33	0,25	137,98	3,48	111,21		0,20	3,10	3,98	2101,19		0,12	0,52
34-40	0,28	83,61									0,14	0,47
41-47	0,28	16,69										
				1624,7					-28415,0			
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΔΥΝΗΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ =						28,1 x 10 ³ m ³ /a						
ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΣΤΕΡΕΟΜΕΤΑΦΟΡΑ =						26,8 x 10 ³ m ³ /a						

Επεξήγηση: V_L: Ταχύτητα παράκτιου ρεύματος, Δ: Δυνητική παράκτια στερεομεταφορά, Π: Πραγματική παράκτια στερεομεταφορά (x10³). Τα ανεμογενή κύματα Δ, Β, και Α προέλευσης έχουν μηδενική πραγματική στερεομεταφορά, καθώς δεν έχουν την ικανότητα να κινητοποιήσουν τα ιζήματα του πυθμένα. Θετικό πρόσημο για φορά από Δ προς Α.

Βάσει των αποτελεσμάτων αυτών φαίνεται ότι η συνολική προς Α παράκτια στερεομεταφορά έχει τη δυνατότητα να μετακινεί το σύνολο της ετήσιας στερεοσπορροής του ποταμοχείμαρρου Γουρνιανού (περί τα 11,32x10³m³), Δ άκρο περιοχής μελέτης) και του Γουβιανού (2,65x10³m³), Α άκρο περιοχής μελέτης). Να σημειωθεί ότι η προς τα δυτικά στερεομεταφορά που οφείλεται στα εισερχόμενα από ΒΑ κύματα (1,6x10³m³/a) είναι μικρότερη από τη στερεοσπορροή του Γουρνιανού. Τα αποτελέσματα αυτά συνηγορούν στο ότι η ανασχεση των φερτών υλικών των ποταμοχείμαρρων επηρεάζει αρνητικά το ιζηματολογικό ισοζύγιο της εξεταζόμενης παραλιακής ζώνης συντείνοντας στα παρατηρούμενα φαινόμενα διάβρωσης.

4.4. Ανθρώπινη παρέμβαση

Παρακολουθώντας τις μορφές ανθρώπινης παρέμβασης από τα δυτικά προς τα ανατολικά της περιοχής μελέτης παρατηρούνται τα εξής φαινόμενα: Οι εκβολές του Γουβιανού που εντοπίζονται στα δυτικά της περιοχής παρεμποδίζονται από διαδοχικούς δρομίσκους που διακόπτουν τη φυσιολογική ροή της κοίτης (Φωτ. 1, Σχ. 5) με αποτέλεσμα να προκαλείται κατακράτηση μεγάλου μέρους των φερτών υλικών, οπισθοχώρηση των εκβολών και διάβρωση της γύρω περιοχής, όπως φαίνεται και στο παραλιακό τμήμα περίπου 10 m Α των εκβολών και αμέσως μετά τον πρώτο πρόβολο (Φωτ. 2 και 3, Σχ. 5). Χαρακτηριστική είναι η επιδείνωση μεταξύ των ετών 2003 και 2006, όπου παρατηρείται πλήρης απουσία λεπτόκοκκου υλικού, περαιτέρω οπισθοχώρηση της παραλίας (στο χρονικό αυτό διάστημα των 3 ετών), ενώ κάποια έργα αντιστήριξης της παραλιακής οδού και η παρουσία του δεύτερου προβόλου δεν είχαν θετικά αποτελέσματα. Μάλιστα, η παντελής έλλειψη λεπτόκοκκου ιζήματος, αλλά και η μεγαλύτερη οπισθοχώρηση ανατολικά του προβόλου επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι η παράκτια στερεομε-

ταφορά πραγματοποιείται με διεύθυνση από Δύση προς Ανατολή.

Ανατολικότερα πάνω στο παραλιακό μέτωπο, υπάρχει το πρώτο αλιευτικό καταφύγιο που έχει υποστεί τις ίδιες συνέπειες με τα άλλα δύο και μεγαλύτερα αλιευτικά καταφύγια που συναντώνται στην περιοχή των Γουρνών (στα Α της περιοχής μελέτης): Λόγω της παράκτιας στερεομεταφοράς που έχει φορά από Δ προς Α, υπάρχει διάβρωση του πυθμένα και πρόσχωση των στομιών των καταφυγίων, η οποία ενισχύεται από τη διάθλαση των κυμάτων. Συγκεκριμένα αναφέρεται ότι στο αλιευτικό καταφύγιο 2 (βλέπε Σχ. 1) η πρόσχωση είναι τόσο έντονη που τελικά δεν τέθηκε ποτέ σε λειτουργία, ενώ στο αλιευτικό καταφύγιο 3 το βάθος στο στόμιο είχε μετρηθεί γύρω στο 1,5m το 2003, ενώ βρέθηκε γύρω στο 1 m το 2006 (το αρχικό του βάθος ήταν 4 m). Στο παραλιακό μέτωπο των Γουρνών, όπου και εντοπίζεται ο παραλιακός τοίχος ύψους 2m περίπου, ο οποίος κατασκευάστηκε για την προστασία της παραλιακής οδού, σε προηγούμενη μελέτη της περιοχής (Ιούνιος – Ιούλιος 2001), το πλάτος της χαμηλού ύψους αμμώδους παραλίας που αναπτυσσόταν στον πόδα του παραλιακού τοίχου ξεπερνούσε τα 8 με 10m (Φωτ.5, Σχ. 5). Σε μετρήσεις του 2003, το πλάτος βρίσκεται περιορισμένο στα 3-4m, ενώ κατά θέσεις φαίνεται να καλύπτεται πλήρως από κύματα (μικρού ύψους <30 cm) (Φωτ. 6, Σχ. 5) και σε ορισμένα σημεία έχει αποκαλυφθεί το 'σκληρό' υπόβαθρο. Το καλοκαίρι του 2006 το τμήμα αυτό εμφανίζει μερική ανάκαμψη (συσσώρευση άμμου) και δημιουργία στενής παραλίας πλάτους 1,5 με 2 m (Φωτ. 7, Σχ. 5).

Τέλος, ανατολικά του τελευταίου αλιευτικού καταφυγίου παρατηρείται έντονη οπισθοχώρηση της ακτογραμμής, φαινόμενο που επιδεινώθηκε μετά την επέκτασή του, όπου παρατηρείται πλήρης απουσία του λεπτόκοκκου υλικού και εμφάνιση του σκληρού υποβάθρου (Φωτ. 7 και 8, Σχ. 5).



Σχήμα 5: Φωτογραφίες (1-8) από τη παραλιακή ζώνη (για θέσεις βλέπε Σχ. 1) [Στη Φωτ. 1, τα βέλη δείχνουν δύο οδούς εγκάρσιες στην κοίτη του Γουρνιανού].

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραλιακή ζώνη που αναπτύσσεται μεταξύ των ποταμοχειμάρρων Γουρνιανού και Γουβιανού βρίσκεται σήμερα σε καθεστώς διάβρωσης, η οποία οφείλεται στη διατάραξη του ιζηματολογικού ισοζυγίου μετά από μια σειρά ανθρώπινων παρεμβάσεων. Μεταξύ των παρεμβάσεων αυτών οι πλέον σημαντικές είναι η ανάσχεση των φερτών υλικών των δυο ποταμοχειμάρρων (περί τα 39×10^3 t/a), η κατασκευή των αλιευτικών καταφυγίων που παρεμποδίζουν την παραλιακή επιμήκη θαλάσσια στερεομεταφορά (περί τα $26,8 \times 10^3$ m³/a), ενώ η παρουσία του παραλιακού τοίχου συντείνει στην απομάκρυνση προς τα βαθιά των ιζημάτων, κυρίως μέση-λεπτή άμμος, από τα ρεύματα επιστροφής που δημιουργούνται λόγω της ανάκλασης των κυμάτων πάνω σε αυτόν. Τέλος, σημειώνεται ότι η τοποθέτηση των κάθετων προβόλων δεν έχει αντιμετωπίσει με επιτυχία το φαινόμενο της εξελισσόμενης διάβρωσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Athanasoulis G.A. and Skarsoulis E.K. 1992. Wind and wave atlas of north-east Mediterranean Sea, Laboratory of Nautical and Marine Hydrodynamics, NTUA, Athens.
- Βερυκίου-Παπαστυριδάκου, Ε., Λειβαδίτης, Γ., Πούλος, Σ.Ε. και Κατόπουλος, Ν., 2004. Σύγχρονες μεταβολές της παραλίας του Αγ.Νικήτα (Νήσος Λευκάδα): Φυσικές διεργασίες και ανθρώπινη παρέμβαση. Πρακτικά 7^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Μυτιλήνη 2004, Τόμος Α, σ. 175-190.
- Βουτυράκης Ε., 2003. Εμπειρίες και περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή παράκτιων έργων στο Νομό Ηρακλείου. Πρακτικά 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για τη Διαχείριση και βελτίωση παράκτιων Ζωνών, 25-28/11/2002, Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, Ε.Μ.Π., σ. 219-222.
- CERC (Coastal Engineering Research Centre), 1984. *Shore Protection Manual*, US Army Corps of Engineers, Washington DC 21314.
- Δελημάνη, Π., και Ξειδάκης, Γ 2002. Περιβαλλοντικά προβλήματα στην παράκτια περιοχή Αν Μακεδονίας και Θράκης. Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου της

Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Θεσσαλονίκη 2002, Τόμος ΙΙ, 355-362.

Komar, P.D., 1998. *Beach processes and sedimentation* (2nd edition). Prentice Hall.

Pethick, J.S. (1984). "An introduction to Coastal Geomorphology". Arnold, London.

Poulos, S.E. and Chronis, G.Th, 2001. Coastline changes in relation to longshore sediment transport and human impact, along the shoreline of Kato Achaia (NW Peloponnese, Greece). *Mediterranean Marine Science*, 2(1), 5-13.

Πούλος, Σ.Ε., Ντούνας, Κ., Πετυχάκης, Γ., 2002. Μελέτη του ιζηματολογικού και υδροδυναμικού καθεστώτος της παραλίας Γουρνών του Νομού Ηρακλείου (νήσος Κρήτη), Πρακτικά 6^{ου} Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, 10/2003.

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ