

# ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΑΛΙΑΚΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΔΕΛΤΑ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ)

<sup>1,2</sup> Λαζογιάννης Κ\*, <sup>1</sup>Πούλος Σ., <sup>1</sup>Γιαννούλη Δ.Η., <sup>1</sup>Σιφνιώτη Δ.Ε., <sup>1</sup>Τσανάκας Κ., <sup>1</sup>Τσούτσια Α., <sup>1</sup>Δίλαλος Σ., <sup>1</sup>Γκιώνης Γ., <sup>1</sup>Βασιλάκης Ε., <sup>1</sup>Πετράκης Σ., <sup>1</sup>Ταράση Δ., <sup>1</sup>Τερεζάκης Γ.

<sup>1</sup>Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, Πανεπιστημιούπολη, Ζωγράφου 15784, Αττική

<sup>2</sup>Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Μυτιλήνη 81100, Λέσβος

\*Στοιχεία επικοινωνίας: E-mail: [klazog@geol.uoa.gr](mailto:klazog@geol.uoa.gr), Τηλ: +30 2107274195

## Περίληψη

Το 13% του συνολικού μήκους της ακτογραμμής στην Ελλάδα ανήκει σε δελταϊκές πεδιάδες όπου αναπτύσσονται πλουτοπαραγωγικές δραστηριότητες άμεσα εξαρτώμενες από τις μεταβολές στην παράκτια ζώνη. Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η παρούσα μορφοδυναμική κατάσταση της τουριστικά αξιοποιημένης παραλιακής ζώνης του Δέλτα του Πηνειού μέσω των αλλαγών της θέσης της ακτογραμμής, και της καταγραφής των μορφομετρικών και κοκκομετρικών χαρακτηριστικών της. Η συλλογή δεδομένων περιλάμβανε: α) τοπογραφικές αποτυπώσεις στο χερσαίο και υποθαλάσσιο τμήμα της παραλιακής ζώνης, κάθετα στην ακτογραμμή σε 10 θέσεις, β) παράλληλη συλλογή επιφανειακών δειγμάτων ιζήματος και γ) όδευση με DGPS της ακτογραμμής θερινού και χειμερινού αιγιαλού από το Στόμιο έως το Καστρί-Λουτρό. Η παραλιακή ζώνη που διαχωρίστηκε σε Βόρειο και Νότιο τμήμα, χαρακτηρίζεται από ποικιλία τοπογραφικών κλίσεων (1,5-10%) και συνίσταται κυρίως από αμμώδες υλικό με μικρή παρουσία κροκαλών. Το υποθαλάσσιο τμήμα είναι αμμώδες, με μικρή κλίση (1,5 – 3,7%), ενώ φιλοξενεί συστήματα αυλάκων – επιμήκων ράχων ως αποτέλεσμα της κυματικής δράσης. Στο Νότιο τμήμα οι τομές έδειξαν ότι η παραλιακή ζώνη έχει μεγαλύτερο πλάτος γενικά σε σχέση με αυτή του Βόρειου, υποδηλώνοντας είτε μεταφορά ιζήματος από βορά προς το νότο, είτε καθεστώς απώλειας ιζήματος βορειότερα των εκβολών. Από θερινό σε χειμερινό προφίλ παρατηρήθηκε οπισθοχώρηση της ακτογραμμής στις τομές 1, 2, 3 και 10 ενώ στις τομές 5, 7, 8 και 9 προέλαση. Οι περιοχές που βρίσκονται νότια των εκβολών και είναι εκτεθειμένες σε εντονότερο κυματικό καθεστώς, παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενεργό τμήμα της παραλίας. Στο Νότιο τμήμα παρατηρείται χαμηλό πεδίο θινών που η ανθρώπινη παρέμβαση στο Βόρειο τμήμα τείνει να εξαφανίσει. Εκεί, σε ορισμένες περιοχές τα αποτελέσματα των οδεύσεων έδειξαν ότι η ακτή οπισθοχωρεί εποχιακά απειλώντας κατοικίες ενώ σε άλλες προελαύνει πιθανόν με την υποβοήθηση του ανθρώπινου παράγοντα. Λόγω του περιορισμένου αριθμού οδεύσεων της ακτογραμμής, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για το αν είναι σταθερή, προελαύνει ή οπισθοχωρεί, γεγονός που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.

**Λέξεις κλειδιά:** μεταβολή, ακτογραμμή, όδευση, κοκκομετρία, προφίλ, παράκτια δόμηση,

# STUDY OF MORPHODYNAMIC PROCESSES OF PINIOS (THESSALY) DELTA BEACH ZONE

<sup>1,2</sup> Lazogiannis K\*, <sup>1</sup>Poulos S.E., <sup>1</sup>Giannouli D.I., <sup>1</sup>Sifnioti D. E., <sup>1</sup>Tsanakas K., <sup>1</sup>Tsoutsia A., <sup>1</sup>Dilalos S., <sup>1</sup>Ghionis G., <sup>1</sup>Vasilakis E., <sup>1</sup>Petrakis St., <sup>1</sup>Tarasi D., <sup>1</sup>Terezakis G.

<sup>1</sup>Department of Geography & Climatology, Faculty of Geology & Geoenvironment, University of Athens, Panepistimioupoli, Zografou, 15784Athens, Greece

<sup>2</sup>Department of Marine Sciences, University of the Aegean, University Hill, 81100 Mytilene, Lesvos, Greece

\*Corresponding author: E-mail: [klazog@geol.uoa.gr](mailto:klazog@geol.uoa.gr), Tel +30 2107274195

In Greece 13% of the total length of the coastline belongs to deltaic plains where local socio-economic development, is based on anthropogenic activities directly dependent on changes in the coastal zone. The delta of Pinios River (approximately 69 km<sup>2</sup>) is characterized by the extensive agricultural cultivation and expanding touristic exploitation of the coastline; deltaic plain is among the most productive agricultural lands of the broader area and there many vacation settlements and small hotels built along the coastal front of the delta. Touristic development of the area depends on the stability of the 'beach' front for the improvement and conservation of any recreational facilities. The scope of this contribution is to examine the current morphodynamic setting of Pinios' deltaic touristic beach by investigating the seasonal changes of the shoreline's position and recording of morphometric and granulometric characteristics. Data collection included 10 descriptive shore-normal profiles along the beach zone, which extended to the distance of 250 m., and collecting surface sediment samples. In order to investigate seasonal coastline evolution, the shoreline was recorded with the use of a portable DGPS from Stomio to Kastri-Loutro. Beach zone was divided in two sections (South and North) and characterized by a variety of topographic gradients (1.5-10%). The majority of the beach zone granulometry, according to Folk (1980), is characterized as sand and gravelly sand. The inshore slope is small (from 1.5 to 3.7%) and subaqueous surficial sediments are characterized as sand. A trough-bar system was also observed in the inshore zone as a result of incoming waves. In South section the coastal zone is generally wider, suggesting either sediment transport from north to south, or sediment loss north of the river's mouth. The seasonal shoreline displacement (from swell to storm beach profile) suggests that beach at shore-normal profiles 1, 2, 3 and 10 retreated while at profiles 5, 7, 8 και 9 propagate. The shoreline displacement in profiles 4 and 6 were within the limit of accuracy ( $\pm 1$  m) of DGPS and, therefore, they may be considered as rather stable. The active part of the beach is larger in the South section which is exposed to intense wave regime; the largest change to the area occurs close to river's mouth. In North section, which is characterized by expanding touristic exploitation of the coastline, sand dunes are almost absent whilst they still exist in the South section. In some areas of the North section, coastline retreat is great and storm waves can reach vacation coastal constructions (fences of residences and hotels). The latter could probably considered as a consequence of the sand dune destruction in the North section where there is some evidence that human interventions (e.g. seasonal beach nourishment) has alter the natural way the coast advances or retreats; these arguments to be proven, certainly require further research to be done. Finally, due to the limited number of measurements of the seasonal shoreline displacement, we cannot say if it is stable, propagating or retreats.

**Keywords:** coastline displacement, profiles, routing, granulometry, coastal building,

## Εισαγωγή

Η εξέλιξη των δελταϊκών πεδιάδων, που κατέχουν το 13% του συνολικού μήκους της ακτογραμμής της Ελλάδας (Poulos et al. 2013), εξαρτάται τόσο από ανθρωπογενείς δραστηριότητες όσο και από φυσικές διεργασίες. Έτσι, η κατασκευή φραγμάτων στη Μεσόγειο (Simeoni et al. 1997; Eronat 1999; Poulos et al. 2000), οι αμμοληψίες και η καταστροφή των αμμοδών θινών (Loizidou & Iacovou 1999) αλλά και η κλιματική αλλαγή, μέσω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης και της μείωσης των στερεοπαροχών (Pranzini & Rossi 1995; Khalil 1997; Mackay 2007), είναι παράγοντες που προκαλούν οπισθοχώρηση της ακτογραμμής και κατά συνέπεια την απώλεια δελταϊκής γης. Σύμφωνα με τα παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη ότι στα δέλτα αναπτύσσονται τουριστικές και αγροτικές δραστηριότητες, άμεσα εξαρτώμενες από τις μεταβολές στην παράκτια ζώνη και σημαντικές για την εξέλιξη της τοπικής και εθνικής οικονομίας, κρίνεται αναγκαία η καταγραφή της μεταβολής των δελταϊκών ακτογραμμών και των παραγόντων που τις επηρεάζουν, με απώτερο στόχο την ολοκληρωμένη προστασία και διαχείριση των παράκτιων δελταϊκών περιοχών.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η παρούσα μορφοδυναμική κατάσταση της παραλιακής ζώνης του Δέλτα του Πηνειού, μέσω της διερεύνησης των αλλαγών της θέσης της ακτογραμμής, και της καταγραφής των μορφομετρικών και κοκκομετρικών χαρακτηριστικών της.

## Περιοχή Μελέτης

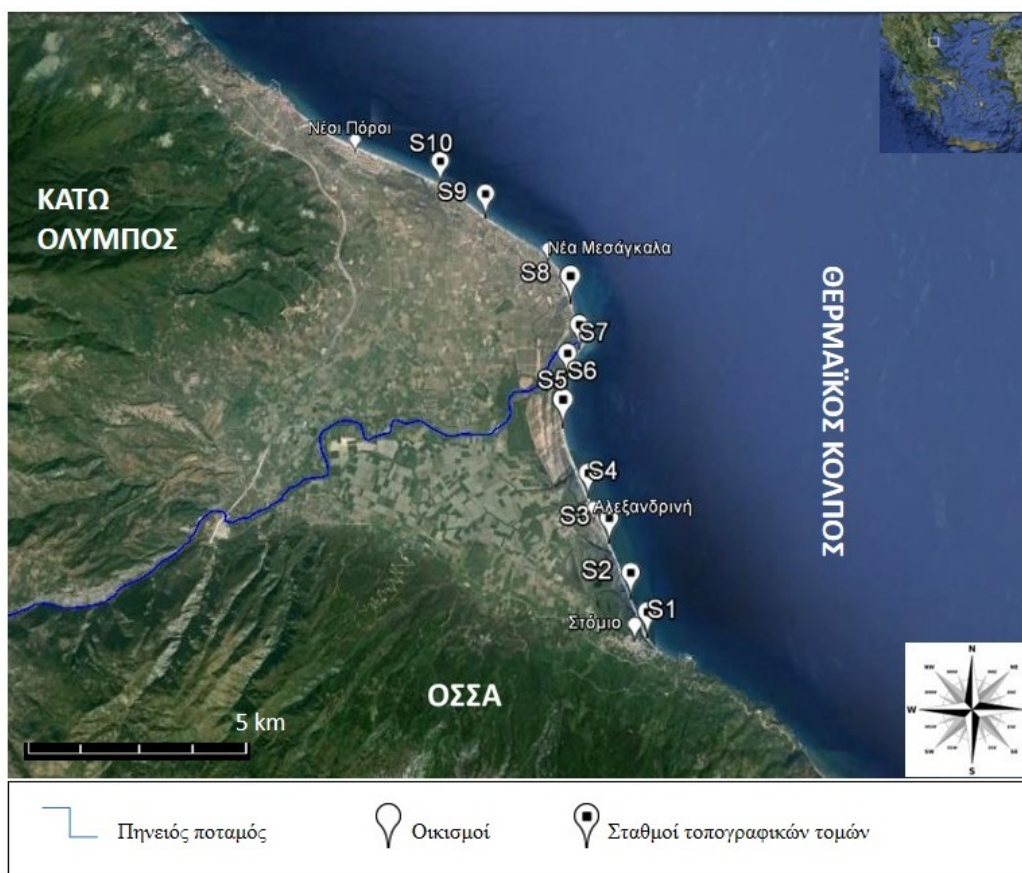
Ο Πηνειός ποταμός, το μόνο μεγάλο ελληνικό ποτάμι που η κοίτη του δεν έχει υποστεί τεχνητό περιορισμό ή ευθυγράμμιση (Καρύμπαλης 2008; Poulos et al. 2013), διασχίζοντας τη θεσσαλική πεδιάδα και την κοιλάδα των Τεμπών και έχοντας διαμορφώσει δέλτα έκτασης 69 km<sup>2</sup> εκβάλλει στην δυτική ακτή του νότιου Θερμαϊκού Κόλπου (Εικ. 1). Ο Πηνειός έχει τη μεγαλύτερη απορροή την περίοδο από Νοέμβριο έως Απρίλιο (Lazogiannis et al. 2014). Επιπλέον, την ίδια περίοδο η ακτογραμμή του Πηνειού δέχεται τη μεγαλύτερη κυματική ενέργεια με αποτέλεσμα το ποτάμιο ίζημα να ανακατανέμεται από τον ισχυρό κυματισμό και τα θαλάσσια ρεύματα που έχουν φορά κυρίως προς το νότο (Poulos et al. 2000). Τα παράκτια ύδατα μπροστά ανοικτά του δέλτα εκτελούν μια αντικυκλωνική κίνηση (Karageorgis and Anagnostou 2001) που επηρεάζει πιθανόν τη διάχυση των λεπτόκοκκων ιζημάτων στον εξωτερικό Θερμαϊκό Κόλπο.

Τα τελευταία χρόνια η επεκτεινόμενη τουριστική αξιοποίηση της ακτογραμμής εκατέρωθεν των εκβολών (Poulos et al. 2013) οδήγησε στην κατασκευή νέων παραθεριστικών κατοικιών και τουριστικών καταλυμάτων εντός της παραλιακής ζώνης στις περιοχές που βρίσκονται σήμερα οι οικισμοί Αλεξανδρινή, Νέα Μεσάγκαλα και Νέοι Πόροι. Οι τελευταίοι δύο, αποτελώντας σημαντικά τουριστικά θέρετρα για Έλληνες και ξένους τουρίστες, έχουν δομηθεί χωρίς σωστό πολεοδομικό σχεδιασμό (Οικονόμου 2005) ουσιαστικά πάνω στις νεότερες παράκτιες αποθέσεις του Πηνειού, όπως αυτές διαμορφώθηκαν μετά την τελευταία μετακίνηση των εκβολών του πριν από περίπου 50 χρόνια (Καρύμπαλης 2008).

Η ακτογραμμή του Δέλτα είναι εκτεθειμένη κυρίως σε ανέμους βόρειων διευθύνσεων (B, BA και BΔ) και σε ανατολικούς (A), με τους B να είναι οι επικρατούντες άνεμοι με ετήσια συχνότητα 17%, ενώ οι A έχουν συχνότητα 14,81%. Η δελταϊκή ακτογραμμή βόρεια των εκβολών δέχεται ανεμογενή κύματα κυρίως από βόρειες διευθύνσεις τα οποία είναι μικρότερα λόγω περιορισμένου μήκους ανάπτυξης τους (fetch) σε σχέση με τη πλευρά νότια των εκβολών, η οποία δέχεται κύματα ανατολικών διευθύνσεων ύψους 4-5 m (Αθανασούλης και Σκαρσουλής 1992). Τέλος, η επίδραση της παλίρροιας στην περιοχή μελέτης θεωρείται αμελητέα καθώς γενικά οι παλίρροιας στο B. Αιγαίο είναι χαμηλές, με μέσο εύρος 0,20 m στην περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου (Tsimplis 1994).

## Υλικά και Μέθοδοι

Η συλλογή δεδομένων περιλάμβανε γεωμορφολογικές αποτυπώσεις, με τοπογραφικές τομές κάθετες στην ακτογραμμή σε 10 θέσεις (Εικ. 1) με παράλληλη συλλογή επιφανειακών (χερσαίων και υποθαλάσσιων) δειγμάτων ιζήματος. Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις, στις 10 τομές (S1-S10) έγινε στο χερσαίο τμήμα της παραλιακής ζώνης κάνοντας χρήση αποστασιόμετρου laser Leica DISTO A8. Στις ίδιες τομές και στην ίδια διεύθυνση, πραγματοποιήθηκε αποτύπωση του πυθμένα με φορητό βυθόμετρο Hondex PS-7, ακρίβειας ολίγων εκατοστών και σε απόσταση μέχρι 250 m από την ακτογραμμή. Επιπλέον οι εργασίες πεδίου περιλάμβαναν τοπογραφική αποτύπωση της ακτογραμμής με όδευση από το Στόμιο έως το Καστρί-Λουτρό με τη χρήση DGPS Topcon GMS-2, ακρίβειας ~1 m, προκειμένου να καταγραφούν τυχόν μετατοπίσεις της ακτογραμμής και η μεταβολή του πλάτους της παραλιακής ζώνης κατά τη μετάβαση από θερινό σε χειμερινό προφίλ. Η κοκκομετρική ανάλυση των ιζημάτων έγινε στο Εργαστήριο ιζηματολογίας του Εργαστηρίου Φυσικής Γεωγραφίας σύμφωνα με την μεθοδολογία Folk (1980).



Εικόνα 1: Χάρτης του Δέλτα του Πηνειού με τις θέσεις των τοπογραφικών τομών (1-10).

## Αποτελέσματα και Συζήτηση

Η παραλιακή ζώνη του Δέλτα του Πηνειού ποταμού έχει συνολικό μήκος περίπου 17 km με το τμήμα νότια των εκβολών να έχει πλάτος 25-30 m. Η κοκκομετρική ανάλυση των δειγμάτων ιζήματος (Πίν. 1) έδειξε ότι τα ιζήματα του συνόλου της παραλιακής ζώνης του Δέλτα αποτελούνται κυρίως από άμμους (S) και ελαφρώς κροκαλούχες άμμους ((g)S), με την γενική εικόνα να αλλάζει ελάχιστα στις τομές 2, 4 και 9 όπου βρέθηκαν και αδρομερέστερα ιζήματα όπως αμμούχες κροκάλες (sG) και κροκάλες (G).

Πίνακας 1: Οριζόντια απόσταση, ύψος/βάθος και ταξινόμηση κατά Folk (1980) των δειγμάτων που λήφθηκαν σε κάθε τοπογραφική τομή (οι αρνητικές τιμές δείχνουν είτε βάθος είτε απόσταση από την ακτογραμμή προς τη χέρσο).

Τομή	Δείγμα	Ύψος/ Βάθος	Οριζόντια Απόσταση	Ταξινόμηση (Folk 1980)	Τομή	Δείγμα	Ύψος / Βάθος	Οριζόντια Απόσταση	Ταξινόμηση (Folk 1980)
1	1	1,4	-23,2	(g)S	5	44	-2	30	S
	2	0,9	-11	S		45	-1,4	75	S
	3	0,4	-6	(g)S		46	-2,1	100	S
	4	0,4	-3,9	S		47	-4	180	(g)S
	5	0	0	(g)S	6	48	1,9	-14,8	(g)S
	6	-0,5	11,8	(g)S		49	1,3	-9,3	S
	7	-1,9	100	S		50	1,1	-7,1	(g)S
	8	-2,9	200	S		51	0,5	-4,3	(g)S
2	9	2,1	-23,2	S		52	0,2	-1,1	(g)S
	10	0,6	-9,7	S		53	-0,7	4,1	gS
	11	0,3	-6,7	(g)S		54	-1,1	10	gS
	12	0,3	-4,9	sG		55	-2	80	(g)S
	13	0,2	-3,3	S	56	-3,1	120	S	
	14	0	0	gS	57	-4,3	140	S	
	15	1,3	20	(g)S	7	58	0,6	-5,2	(g)S
	16	2	50	(g)S		59	0,8	-1,6	(g)S
	17	1	80	(g)S		60	0	0	(g)S
	18	2	160	(g)S		61	-1	10	gS
19	3,1	220	S	62		-1,9	135	(g)S	
20	2	-15,8	(g)S	63		-4	195	S	
3	21	1,4	-12	S	8	64	1,4	-13	S
	22	1	-7	S		65	0,9	-8,2	(g)S
	23	0	0	gS		66	0,4	-2,1	S
	24	9	-0,9	gS		67	0	0	sG
	25	2,3	140	S		68	-0,9	10	sG
	26	3,1	200	S		69	-2,2	120	(g)S
4	27	1	-9,6	(g)S	9	70	-3,1	160	(g)S
	28	0,7	-6,2	(g)S		71	1,6	-17,6	(g)S
	29	0,3	-4,6	(g)S		72	1,3	-15,3	(g)S
	30	0,1	-1,3	sG		73	1	-9,6	gS
	31	-0,3	2,3	sG		74	0,5	-2,5	G
	32	-2,2	40	(g)S		75	0	0	sG
	33	-1,2	90	S		76	-1,2	10	sG
	34	-2,2	120	S		77	-2,1	70	(g)S
	35	-3,1	160	S		78	-1,1	100	S
	36	-4	220	(g)S		79	-3	180	(g)S
5	37	1,9	-32,4	S	10	80	1,8	-13,8	S
	38	0,9	-13,7	S		81	0,9	-6,5	(g)S
	39	0,8	-9,1	(g)S		82	0,4	-2,3	gS
	40	0,3	-4,8	(g)S		83	0	0	(g)S
	41	0,3	-2,1	S		84	-0,6	5	(g)S
	42	0	0	gS		85	-2	70	(g)S
	43	-1,1	10	(g)S		86	-3,2	200	(g)S

#### Νότιο Τμήμα

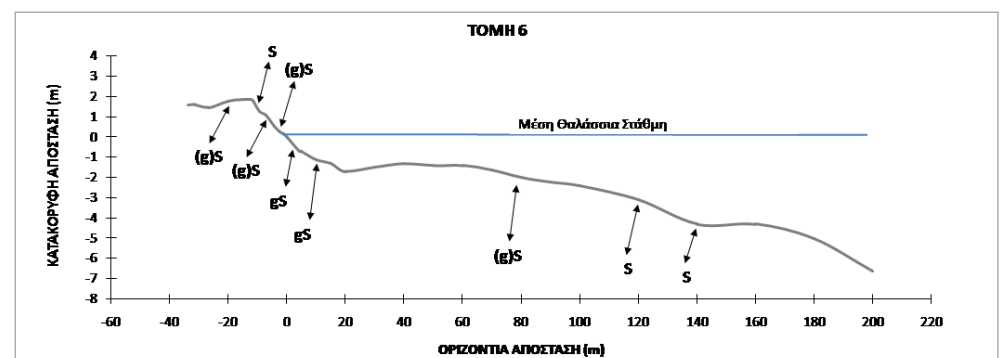
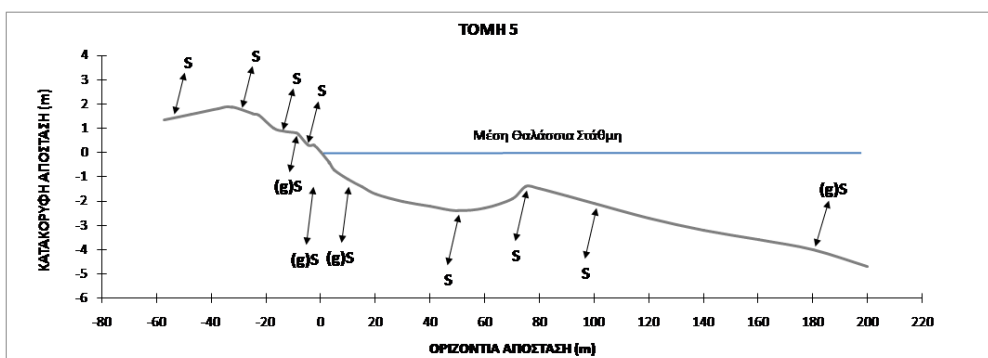
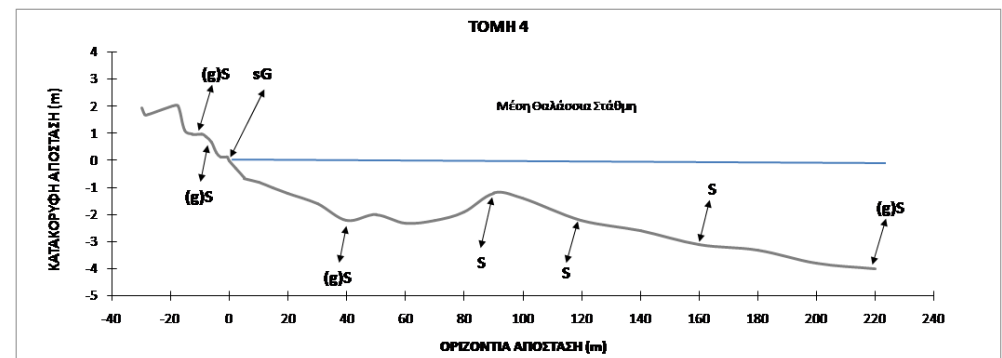
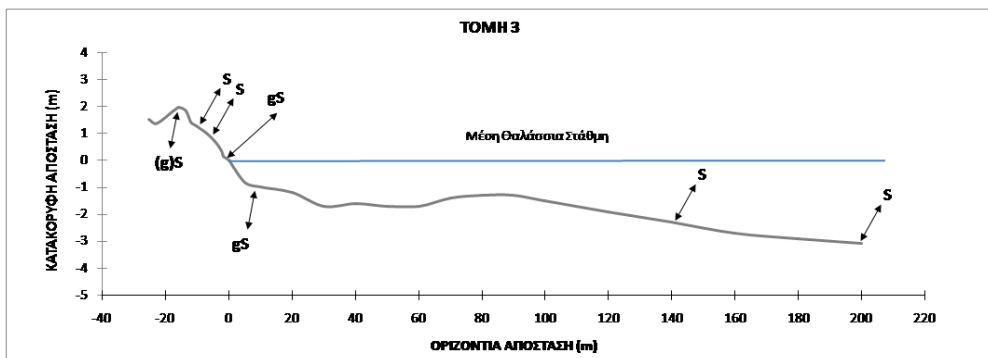
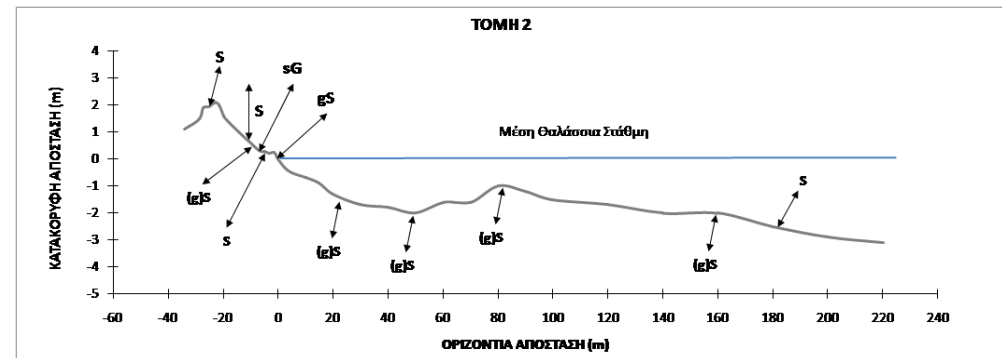
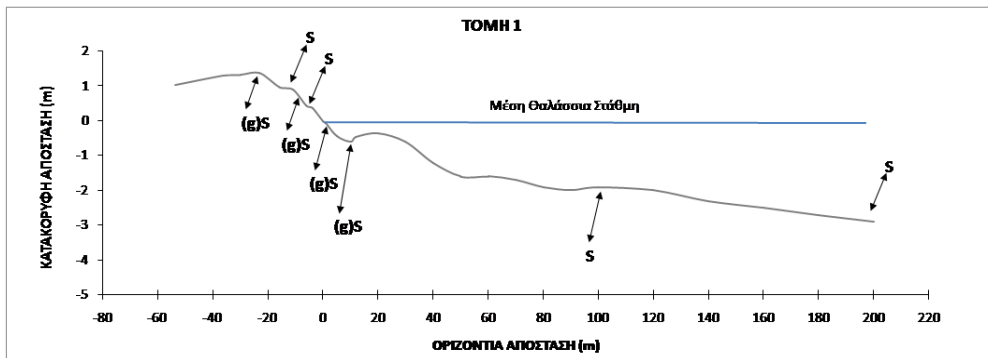
Στο Νότιο τμήμα το πλάτος της παραλίας κυμαίνεται γενικά από 15-30 m περίπου με εξαίρεση την τομή 1 στην περιοχή του Στομιού που ανέρχεται στα 65 m περίπου (Εικ. 2). Τα επιφανειακά χερσαία ιζήματα (τομές 1-7) είναι κυρίως άμμοι (S) και ελαφρώς κροκαλούχοι άμμοι ((g)S), που εναλλάσσονται σε επιμήκεις ζώνες (berms) στην επι-παραλία ζώνη.

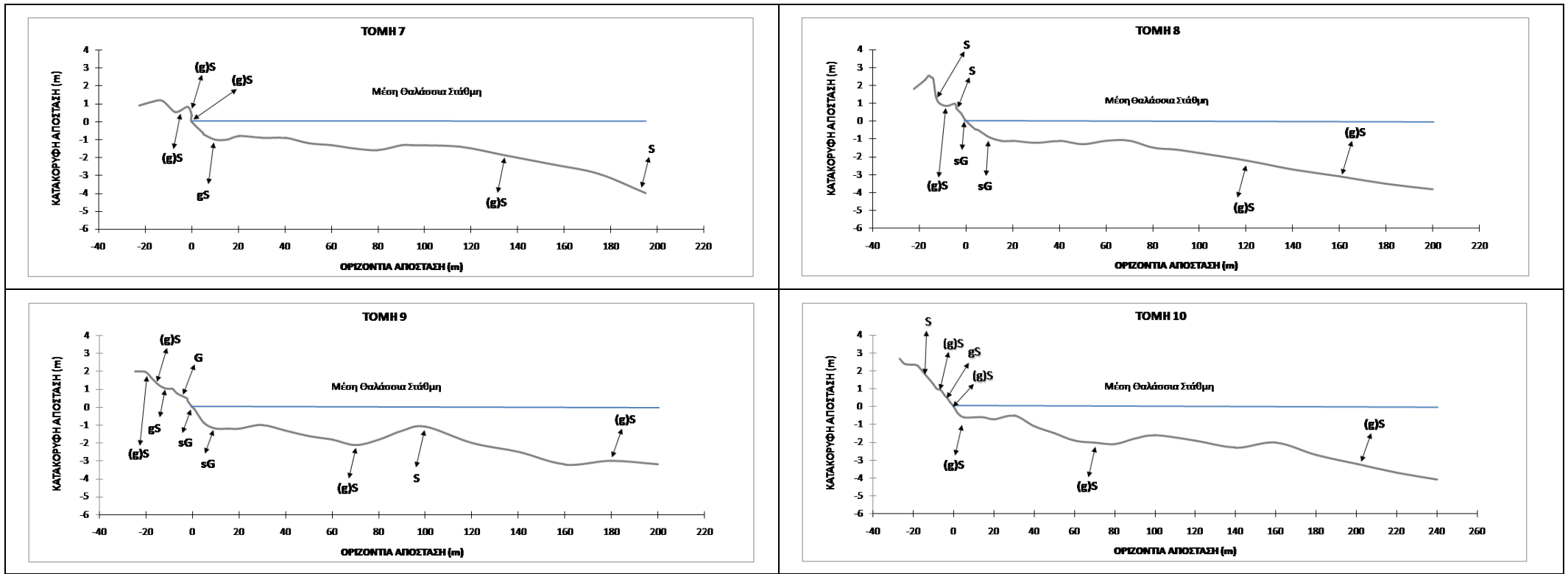
Σε όλο το μήκος της παραλιακής ζώνης στο Νότιο τμήμα (εκτός από την τομή 1) που αντιστοιχεί σε παραλιακό φραγμό (barrier beach) των παλαιών εκβολών παρατηρούνται αμμώδεις θίνες που οριοθετούν ουσιαστικά την επίδραση της θάλασσας στην ακτή και προστατεύουν τη χαμηλού υψομέτρου και κλίσης περιοχή της δελταϊκής πεδιάδας από την θαλάσσια κατάκλυση. Μία άλλη χαρακτηριστική γεωμορφή που απαντάται στο νότιο τμήμα πάνω στην ακτογραμμή είναι οι ημισελήνοειδείς αμμώδεις σχηματισμοί (beach cusps) που αποτελούν ένδειξη επίδρασης στην ακτή κυμάτων παράλληλων προς αυτή και εξασθένησης της επιμήκους παράκτιας μεταφοράς ιζήματος.

Όσο αφορά το υποθαλάσσιο τμήμα της παραλιακής ζώνης, η κλίση του πυθμένα σε απόσταση έως 10 m από την ακτογραμμή παίρνει τιμές από 6 % (τομή 1) έως 11% (τομές 5 και 6) και γενικά ακολουθεί την κλίση του χερσαίου τμήματος της παραλίας, ενώ τα ιζήματα είναι κροκαλούχοι άμμοι (gS) (τομές 2, 3 και 6), ελαφρώς κροκαλούχοι άμμοι ((g)S) (τομές 1 και 5) και κροκάλες (G) (τομή 4). Γενικά στο Νότιο τμήμα, όσο αυξάνεται η απόσταση από την ακτογραμμή τόσο μειώνεται η διάμετρος των επιφανειακών υποθαλάσσιων ιζημάτων και από ελαφρώς κροκαλούχα άμμο συναντούμε άμμο εκτός από την περίπτωση των τομών 4 και 5, όπου σε βάθος 4 m και 180-200 m από την ακτογραμμή το ίζημα γίνεται ποιο χονδρόκοκκο με την επικράτηση ελαφρώς κροκαλούχας άμμου.

Ο πυθμένας μετά τα 10 m από την ακτογραμμή έχει κλίση που κυμαίνεται από 1,5% έως 3,5% και χαρακτηρίζεται από την παρουσία αμμορυτίδων (ripple marks) κυρίως παράλληλων προς την ακτή. Επίσης παρατηρήθηκε σύστημα επιμήκων αυλάκων (troughs) και επιμήκων ράχων (bars) σε διάφορα βάθη και αποστάσεις από την ακτογραμμή. Γενικά, η δημιουργία τους εννοείται από παράγοντες, όπως η έκθεση της παραλίας σε ισχυρούς κυματισμούς (κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες), η μικρή κλίση της περι-παραλίας ζώνης και η χαμηλή παλίρροια (Carter 1988), που αποτελούν χαρακτηριστικά γνωρίσματα της παραλιακής ζώνης του Δέλτα του Πηνειού. Κατά τους θερινούς μήνες ο χαμηλός κυματισμός μεταφέρει και αποθέτει το ίζημα των επιμήκων ράχων στη κορυφή του μετώπου της παραλίας και από εκεί με τη βοήθεια του ανέμου τοποθετείται στην ανώτερη περιοχή της, στην περιοχή δηλαδή των θινών, όπου παγιδύεται από την υφιστάμενη βλάστηση, αποτελώντας πηγή ιζήματος για την παραλία αλλά και προστασίας της στη περίπτωση ενός επεισοδίου καταιγίδας (CERC 1984).

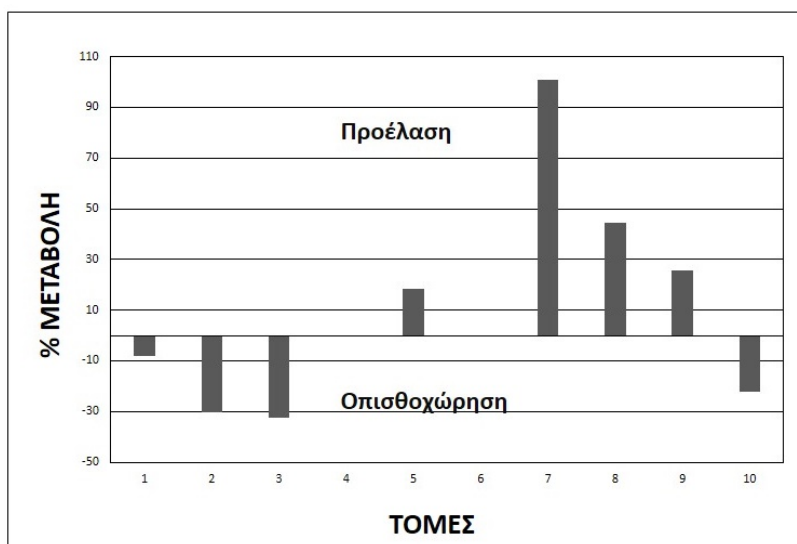
Μετά από την σύγκριση των οδεύσεων της ακτογραμμής που πραγματοποιήθηκαν, προέκυψε ότι μεταβαίνοντας από θερινό σε χειμερινό προφίλ η παραλιακή ζώνη στις τομές 1, 2, 3 οπισθοχώρησε κατά 8,2%, 30,1% και 32,4%, αντίστοιχα, ενώ στις τομές 5 και 7 προέλασε κατά 18,4% και 101%, αντίστοιχα, (Εικ. 3). Στις τομές 4 και 6 η μεταβολή που μετρήθηκε είναι μικρότερη από την ακρίβεια του φορητού GPS ( $\pm 1$  m) και για αυτό το λόγο το πλάτος της επι-παραλιακής ζώνης σε αυτές τις θέσεις θεωρείται ουσιαστικά αμετάβλητο μεταξύ των δυο περιόδων.





Εικόνα 2: Μορφολογία και κοκκομετρία (τομές 1-10) της παραλιακής ζώνης του Δέλτα Πηνειού





Εικόνα 3: Εποχιακή μεταβολή (%) του πλάτους της παραλίας κατά τη μετάβαση από θερινό σε χειμερινό προφίλ.

### Βόρειο Τμήμα

Το τμήμα της παραλιακής ζώνης που τοποθετείται βόρεια των εκβολών του ποταμού έχει προσανατολισμό ANA-ΔΒΔ, και περιλαμβάνει τις θέσεις τοπογραφικής αποτύπωσης 8-10 (Εικ. 2). Σε αυτό το τμήμα, η παραλιακή ζώνη φιλοξενεί τους σημαντικότερους τουριστικούς οικισμούς, τα Νέα Μεσάγκαλα, το Καστρί Λουτρό και τους Νέους Πόρους. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτής της περιοχής είναι η έντονη δόμηση πλησίον ή ακόμα και εντός της παραλιακής ζώνης.

Το πλάτος της επι-παραλιακής ζώνης προσεγγίζει τα 25 m και στις τρεις τομές και φέρει ιζήματα που ταξινομούνται ως άμμοι (S), ελαφρώς κροκαλούχοι άμμοι ((g)S), κροκαλούχοι άμμοι (gS), και κροκάλες (G). Στις τομές 9 και 10 τα ιζήματά γίνονται αδρότερα από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο τμήμα της παραλίας, δηλαδή από ελαφρώς κροκαλούχα άμμο σε κροκάλες και από άμμο σε κροκαλούχα άμμο, αντίστοιχα. Στην τομή 8 η ιζηματολογική εικόνα είναι παρόμοια με αυτή των θέσεων στο Νότιο τμήμα (πιο λεπτόκοκκο) με την άμμο (S) και την ελαφρώς κροκαλούχα άμμο ((g)S) να εναλλάσσεται σε ζώνες. Στο Βόρειο τμήμα αμμώδεις θίνες παρατηρούνται μόνο στην τομή 8, όπου η ανθρώπινη παρέμβαση είναι ελάχιστη (π.χ. δόμηση και παραλιακά έργα οδοποιίας) ενώ στις τομές 9 (Νέα Μεσάγκαλα) και 10 (Καστρί Λουτρό) η παρουσία τους είναι πολύ περιορισμένη έως ανύπαρκτη, προφανώς μετά από ανθρώπινη επέμβαση. Η εκτεταμένη δόμηση και η κατασκευή δρόμων κοντά στην ακτογραμμή συνοδεύτηκε από την καταστροφή ή την αποκοπή από το υπόλοιπο σύστημα της επί-παραλιακής ζώνης των αμμωδών θινών (Εικ. 4) που δρουν πρωτίστως ως φυσικό μέτρο προστασίας απέναντι στη θαλάσσια πλημμύρα και δευτερευόντως ως πηγή/αποθήκη ιζήματος για την παραλία.

Στο υποθαλάσσιο τμήμα της παραλιακής ζώνης η κλίση του πυθμένα σε απόσταση έως 10 m από την ακτογραμμή ακολουθεί την ευρύτερη κλίση της επι-παραλιακής ζώνης και είναι περίπου 12% στις τομές 9 και 10, ενώ στην τομή 8 δεν υπερβαίνει το 7,5%. Παράλληλα, τα υποθαλάσσια ιζήματα στις τομές 8 και 9 ταξινομούνται ως αμμούχες κροκάλες (sG) και είναι πιο αδρομερή από αυτά των τομών του νότιου τμήματος αλλά και από αυτά της τομής 10 που είναι ελαφρώς κροκαλούχοι άμμοι ((g)S). Σε απόσταση μεγαλύτερη των 10 m η κλίση του πυθμένα είναι ομαλότερη και δεν ξεπερνά τα 3% μέχρι τα 200-240 m, ενώ τα ιζήματα είναι ελαφρώς κροκαλούχοι άμμοι ((g)S) και άμμοι (S). Όπως και στο Νότιο τμήμα παρατηρείται σύστημα επιμήκων αυλάκων (troughs) και επιμήκων ράχων (bars) σε διάφορα βάθη και αποστάσεις από την ακτογραμμή.



(α)



(β)

Εικόνα 4: Καταστροφή ή περιορισμός αμμοδών θινών στο Βόρειο τμήμα: α) παραλιακός δρόμος και αποκομμένη σειρά αμμοθινών, Β) κατασκευή περίφραξης εντός πεδίου θινών

Τέλος, σύμφωνα με τις δεδομένα των οδεύσεων, το πλάτος της παραλίας κατά τη μετάβαση από θερινό σε χειμερινό προφίλ στις τομές 8 και 9 αυξήθηκε κατά 44,3% και 25,7%, αντίστοιχα, ενώ στην τομή 10 οπισθοχώρησε κατά 22,3% (Εικ 3). Επίσης κατά τόπους το πλάτος της επι-παραλιακής ζώνης βρέθηκε να είναι σαφώς μεγαλύτερο από αυτό στις τομές 8-10 (~25 m) όντας 30-40 σε θέσεις πλησίον της τομής 8 και μεταξύ των τομών 9 και 10 αλλά και πολύ μικρότερο (<10 m) μεταξύ των τομών 8 και 9. Στην ίδια περιοχή μεταξύ των θέσεων 8 και 9 όπου υπάρχει πυκνή δόμηση εντός της παραλιακής ζώνης, κατά το χειμερινό προφίλ παρατηρήθηκε ότι το πλάτος της παραλίας μειώθηκε σχεδόν 20 m επιτρέποντας το χειμέριο κύμα να αναρριχάται έως την περίφραξη κατοικιών και να απειλεί την ύπαρξη τους (Εικ. 5). Οι διαφορές που εντοπίζονται κατά τόπους στο Βόρειο τμήμα δείχνουν ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα πιθανόν έχει μεταβάλλει τις φυσικές συνθήκες που ανακατανέμουν το ίζημα στην περιοχή: το κυρίαρχο ρεύμα με φορά προς το νότο, που προκαλείται από τους πιο συχνούς Β ανέμους και η αντικυκλωνική κίνηση των θαλάσσιων υδάτων θα έπρεπε να προκαλεί μια εικόνα γενικής οπισθοχώρησης της ακτής στο Βόρειο τμήμα (τομή 10 και η περιοχή μεταξύ των τομών 8 και 9 στα κατάντη κατοικιών). Αντ' αυτού παρατηρείται προέλαση (τομές 8 και 9 και σε ορισμένα άλλα σημεία) γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε πιθανή ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. εποχιακές (θερινές) αναπληρώσεις ιζήματος) ή/και σε ένα πιο σύνθετο ενεργό μορφοδυναμικό παράκτιο περιβάλλον που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης.



Εικόνα 5: Ακτογραμμή θερινού και χειμερινού αιγιαλού στο Βόρειο τμήμα: Κατοικίες εντός της σύγχρονης παραλιακής ζώνης, σε θέση μεταξύ των τομών 8 και 9, απειλούνται από τις εποχιακές μεταβολές του πλάτους της (~20 m) (Πηγή: Google Earth, 06/2013).

## **Συμπεράσματα**

Η παραλιακή ζώνη του Δέλτα του Πηνειού χαρακτηρίζεται από ποικιλία τοπογραφικών κλίσεων (1,5-10%), ενώ συνίσταται κυρίως από αμμώδες υλικό με μικρή παρουσία κροκαλών. Το υποθαλάσσιο τμήμα είναι αμμώδες, με μικρή κλίση (1,5–3,7%), ενώ φιλοξενεί συστήματα επιμήκων αυλάκων – ράχων (troughs-bars), ως αποτέλεσμα της κυματικής δράσης.

Επιπλέον το Νότιο τμήμα έχει γενικά μεγαλύτερο πλάτος παραλίας σε σχέση με το Βόρειο τμήμα που δείχνει είτε το μεν πρώτο ότι τροφοδοτείται (από Β) με ίζημα, είτε το δε δεύτερο να βρίσκεται σε καθεστώς απώλειας ιζήματος.

Το ενεργό τμήμα της παραλίας, δηλαδή η μεταβολή μεταξύ χειμερινού και θερινού προφίλ, είναι μεγαλύτερο στο νότιο τμήμα της το οποίο είναι εκτεθειμένο σε εντονότερο κυματικό καθεστώς, με τη μεγαλύτερη μεταβολή να σημειώνεται στη περιοχή των εκβολών.

Η ανθρώπινη παρέμβαση είναι έντονη στο Βόρειο τμήμα με αποτέλεσμα την σχεδόν ολοκληρωτική εξαφάνιση του χαμηλού πεδίου θινών που παρατηρείται στο νότιο τμήμα. Οι επιπτώσεις αυτής της παρέμβασης είναι εντονότερες σε περιοχές όπου η ακτή οπισθοχωρεί εποχιακά έως και την παραλιακή δόμηση με ενδεχόμενο αντίκτυπο μακροπρόθεσμα στην τουριστική/παραθεριστική δραστηριότητα της περιοχής. Επιπλέον υπάρχουν ενδείξεις ότι η ανθρώπινη παρέμβαση έχει παίξει ρόλο στο πώς μεταβάλλεται με φυσικό τρόπο εποχιακά η ακτή (οπισθοχώρηση ή προέλαση), κάτι βέβαιο που απαιτεί επιπλέον έρευνα για υποστηριχτεί με βεβαιότητα.

Τέλος, λόγω του περιορισμένου αριθμού μετρήσεων της απόλυτης θέσης της ακτογραμμής, δεν μπορούμε να αποφανθούμε εάν είναι σταθερή, προελαύνει ή οπισθοχωρεί γεγονός που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Έργου ΘΑΛΗΣ-DAPHNE -ΕΚΠΑ (MIS: 375908) το οποίο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από Εθνικούς πόρους.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### ***Ξενόγλωσση***

- Carter R.W.G., 1988. Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines, London; San Diego: Academic Press
- CERC, 1984. Shore protection Manual. U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Research Center, Washington D.C
- Cooper W.S., 1967. Coastal dunes of California. Geological Society of America Memoir, 104, 131pp
- Eronat A. H., 1999. Altinova Madra Creek region coastal erosion study, (E. Özhan, Ed.), Proc. of the MEDCOAST 99 – EMECS 99 Joint Conference: Land-Ocean Interactions – Managing Coastal Ecosystems, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 3, pp: 1525-1540.
- Folk R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Co, Austin, Texas, 183 pp.
- Gaki-Papanastasiou K., Maroukian H., Pavlopoulos K. and Zamani A., 1997. The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century. Proceedings International Symposium of Engineering Geology and the Environment: 121-126
- Karageorgis A.P. and Anagnostou C.L, 2001. Particulate matter spatial-temporal distribution and associated sediment properties: Thermaikos Gulf and Sporades Basin, NW Aegean Sea, Continental Shelf Research 21, pp. 2141-2153.
- Khalil S., 1997. Critical problems of the Egyptian Mediterranean coastal zones, (E. Özhan, Ed.), Proc. of the Third International Conference on the Mediterranean Coastal

- Environment, MEDCOAST 97, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 1, pp: 513-521.
- Loizidou X. I. and Iacovou N.G., 1999. Anthropogenic coastal erosion and shoreline management in Cyprus, (E. Özhan, Ed.), Proc. of the MEDCOAST 99 – EMECS 99 Joint Conference: Land-Ocean Interactions – Managing Coastal Ecosystems, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 3, pp: 1501-1509.
- Mackay A., 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Journal of Environmental Quality, 37, 2407-2407.
- Pranzini E. and Rossi L., 1995. Physical model test in the framework of beach nourishment performance evaluation, (E. Özhan, Ed.), Proc. of the Second International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST 95, MEDCOAST Secretariat, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, v: 2, pp: 1145-1159.
- Poulos S., Chronis G., Collins M. and Lykousis V., 2000. Thermaikos Gulf coastal system, NW Aegean Sea: an overview of water/sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. Journal of Marine Systems, 25, 47-76.
- Poulos S.E, Alexopoulos I., Dassenakis M., Kotsopoulos S., Lazogiannis K., Matiatos I., Paraskevopoulou V., Sifnioti D.E., Ghionis G., Alexiou I. and Panagopoulos A., 2013. An investigation of the impact of the climate change on river deltas. Case Study: the delta of R. Pinios (Thessaly, Greece) – Concept and preliminary results on surface water environmental state. Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013, Ref. no CEST2013\_0372.
- Simeoni, U. et al., 1997. The coastline of Albania: morphology, evolution and coastal management issues, In: Transformation and evolution of the Mediterranean coastline, Eds: F. Briand & A. Moldonado, CIESM Science Series no 3, Monaco.
- Tsimplis, M.N., 1994. Tidal oscillations in the Aegean and Ionian Seas, Estuarine Coastal and Shelf Science 3 (1994), pp. 201-208.

### *Ελληνική*

- Αθανασούλης Γ.Α., Σκαρσουλής Ε.Κ., «Άτλας ανέμου και κύματος Βορειοανατολικής Μεσογείου Θαλάσσης», ΕΝΘΥ/ΩΚ/ΚΔ-11/92, ΓΕΝ/ΩΚ-20/92, 20+191 σελ., Ιούλιος 1992.
- Καρύμπαλης Ε., Γάκη-Παπαναστασίου Κ., 2008 Γεωμορφολογική μελέτη των ποταμών Πηνειού, Καλαμά, Εύηνου και Μόρνου. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Διαχείριση και Βελτίωση Παράκτιων Ζωνών, Έκδοση Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π., 86-94.
- Οικονόμου Α., 2005 Η Παράκτια Ζώνη του Δέλτα Πηνειού Ποταμού: Ανάπτυξη και Προστασία Περιβάλλοντος. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, II, τευχ. 1-2), σελ. 37-47.