



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ **ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Γεωλογικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες στην διαμόρφωση ακτών: Η
περίπτωση της Βάρκιζας – Ν. Αττικής**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:
Καθ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου (Επιβλέπων),
Καθ. Κώστας Συνολάκης, ΜΗΠΕΡ
Δρ. Χρήστος Αναγνώστου, Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας ΕΛΚΕΘΕ

ΒΑΣΙΛΗΣ ΣΚΑΝΑΒΗΣ

ΧΑΝΙΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013

Στη γιαγιά μου Μαρία Τσαμπούκου

Ευχαριστίες

Αν ζητούσαμε από τους νεαρούς ερευνητές, να μας περιέγραφαν την εμπειρία τους σχετικά με την εκπόνηση της πτυχιακής τους εργασίας, διάφορες οπτικές γωνίες θα έκαναν την εμφάνισή τους. Αν όμως τους ρωτούσαμε, τι έπαιξε τον πιο καθοριστικό ρόλο στην υλοποίηση της έρευνάς τους, όλοι θα ανέφεραν ως καθοριστικούς παράγοντες, **την υποστήριξη, την καθοδήγηση και την έμπνευση.**

Σήμερα που, ολοκληρώνω το πτυχίο μου στο Τμήμα Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, νιώθω έντονα την επιθυμία να ευχαριστήσω, ειλικρινά και δυνατά, όλους όσους στάθηκαν δίπλα μου, όλους όσους βρέθηκαν στο πλάι μου σε αυτή την ερευνητική διαδρομή. Θέλω αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Μανώλη Μανούτσογλου για την συνεχόμενη **υποστήριξη του**, η οποία άρχισε από την πρώτη ημέρα που βρέθηκα στην τάξη του. Συνεχίζω με τις ευχαριστίες μου, στον Δρ. Χρήστο Αναγνώστου από το Ελ.Κε.Θε., τον **καθοδηγητή μου**. Μαζί του έγραψα πολλές ώρες επίπονης εργασίας και συζήτησης, πολλές στιγμές αγωνίας και ενθουσιασμού. Ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον **έμπνευστή μου**, Καθηγητή Κώστα Συνολάκη, ο οποίος είναι ο μέντοράς μου. Με πήρε μαζί του σε μακρινά μέρη και μου έδειξε την ομορφιά και τον θυμό της φύσης. Μου έδειξε ότι η ακαδημαϊκή ζωή δεν είναι απλά μια εργασία, αλλά ένας τρόπος ζωής.

Ευχαριστώ το Ελ.Κε.Θε. για όλη του την συνεισφορά στην έρευνά μου και ιδιαίτερα την Βιβή και την Χαρά

Τέλος, αλλά όχι με λιγότερη σημασία, ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ τον αδελφό μου Κωνσταντίνο γιατί μαζί αγαπήσαμε την θάλασσα! Για τους γονείς μου ξέρω το ευχαριστώ είναι να με βλέπουν να προχωράω όμορφα κάθε μέρα της ζωής μου και αυτό υπόσχομαι ότι θα προσπαθώ.

Βασίλης Σκαναβής

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, μελετήθηκαν οι μεταβολές στην γεωμορφολογία των ακτών του όρμου της Βάρκιζας, ο οποίος αποτελεί ένα κατάλληλο φυσικό εργαστήριο και λόγω της ύπαρξης διαχρονικών αεροφωτογραφιών αλλά και ευκολίας πρόσβασης για κυματικές και γεωμορφολογικές μετρήσεις. Για πρώτη φορά, στην περιοχή, έγιναν μετρήσεις με την χρήση κυματομετρητή σε ρηχά νερά και παρήχθησαν δεδομένα για το κυματικό καθεστώς της περιοχής. Έγιναν νέες τοπογραφικές αποτυπώσεις, εκατέρωθεν του παραλιακού μετώπου (χερσαίου και θαλάσσιου), μετά από κυματικά συμβάντα και αποτυπώθηκαν οι μεταβολές. Οι κοκκομετρικές μετρήσεις που έγιναν σε δείγματα, που ελήφθησαν κατά μήκος τομών κάθετα του παραλιακού μετώπου, υπέδειξαν τις μεταβολές του κοκκομετρικού μεγέθους των επιφανειακών ιζημάτων, μετά από κυματικά συμβάντα. Πέραν των ανωτέρω, με χρήση βαθυμέτρου, δημιουργήθηκε ένας βαθυμετρικός χάρτης για την περιοχή.

Από τα στοιχεία που συλλέχτηκαν και επεξεργάστηκαν προκύπτει ότι υπάρχει παράκτια μετακίνηση λεπτόκοκκων ιζημάτων από ανατολικά προς την δυτικά. Το ανατολικό παραλιακό μέτωπο διαβρώνεται και τα υλικά μετακινούνται, κυρίως δυτικά. Στο δυτικότερο σημείο του όρμου παρατηρείται πρόσχωση με λεπτόκοκκο υλικό και είναι υπεύθυνη για την συχνή βυθοκόρηση του λιμένος.

Η διαχρονική, μέσω αεροφωτογραφιών, σύγκριση της ακτογραμμής υπέδειξε την δυναμική εξέλιξη της παραλίας τα τελευταία 70 χρόνια. Αρνητικά έδρασαν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες της αμμοληψίας, από το παραλιακό μέτωπο κατά την δεκαετία του 70, όταν αναπτυσσόταν η περιοχή και έγινε διευθέτηση των ποταμών και επέκταση της παραλιακής λεωφόρου.

Συμπερασματικά, έχει αποδειχθεί ότι ο συνδυασμός μετρήσεων κυμάτων με μετρήσεις μικρο-τοπογραφικών και κοκκομετρικών μεταβολών επιτρέπει ικανοποιητική αξιολόγηση της δυναμικής μιας προσχωσιγενούς παραλίας. Τα αποτελέσματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιολόγηση ήπιων παρεμβάσεων στο παραλιακό μέτωπο.

Abstract

In the present work, the geomorphological changes, of the Bay of Varkiza coastline, were studied. This specific Bay is a suitable “in real conditions” laboratory due to the existence of temporal aerial photographs and the easy access to geomorphological and wave measurements. For the first time in this region, measurements were taken, with the use of a wave meter in shallow waters, and therefore data on the wave regime were recorded. Following the occurrence of wave incidents, new surveying imprints from both sides of the coastal front (terrestrial and marine) were taken and the resulting changes were recorded. The grain particles measurements, made on samples, taken along vertical incisions of the coastal front, have suggested changes in the grain size of the surface sediments, after the occurrence of wave events.

In addition to the above, with the use of equipment that measure the depth of the ocean, a relative map for the region's depth was created. From the collected and processed data, it results that there is a coastal fine-grained sediment movement with direction from east to west. The eastern seafront is getting eroded and the materials are being moved, mostly towards the west side. At the westernmost point of the Bay, a silting with fine-grained material is observed, which is responsible for the frequent silting of the port-basin of the fishing shelter of Varkiza, which in order to remain functional, has to be drilled at regular intervals.

The comparison of the shoreline, through the years, with aerial photographs, suggested the dynamic evolution of this beach during the last 70 years. The anthropogenic sand extraction activities, from the beach front in the 1970s, when the area was being developed along with the rivers settlement and expansion of the coastal avenue, had negative effects.

In conclusion, it was shown, that the combination of the wave measurements with those of the micro-topographic and grain particles' changes, permits a satisfactory evaluation of the dynamics of an erosion volatile beach. The obtained results could be used to assess mild interventions in the coastal front.

1. Εισαγωγή – Προβληματισμός.....	7
2. Περιγραφή της περιοχής μελέτης	
2.1. Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης.....	9
2.2. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Αττικής και εστίαση στην περιοχή μελέτης.....	9
2.3. Γεωμορφολογία και υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης.....	12
3. Μεθοδολογία	
3.1. Βαθυμετρία του κόλπου.....	15
3.2. Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή.....	15
3.3. Ανάλυση ιστορικών αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων για αποτύπωση μεταβολών της ακτογραμμής.....	19
3.4. Μέθοδοι υπολογισμού και μέθοδοι μέτρησης των κυμάτων στην περιοχή μελέτης	
3.4.1. Μέτρηση κυμάτων στην περιοχή μελέτης.....	20
3.4.2. Αξιοποίηση υφισταμένης πληροφορίας για τον υπολογισμό των κυματισμών.....	23
3.5. Ανεμολογικά στοιχεία της περιόδου μελέτης.....	23
3.6. Μεθοδολογία κοκκομετρικές αναλύσεις παράκτιων ιζημάτων.....	24
4. Αποτελέσματα	
4.1 Βαθυμετρία του κόλπου.....	25
4.2. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των ακτών με φερτές ύλες.....	26
4.3. Ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή.....	26
4.3.1. Οι μετρήσεις και τα πειραματικά δεδομένα της παρούσας εργασίας	
4.3.1.1. Μετρήσεις κυμάτων.....	26
4.3.1.2. Τοπογραφικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα.....	32
4.3.1.3. Κοκκομετρικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα.....	38
4.3.2. Ποσειδώνια και ανεμολογικά στοιχεία.....	41
4.3.3. Άνοιγμα του παράγοντα χρόνου πέρα του πλαισίου των πειραμάτων της παρούσας εργασίας	
4.3.3.1. Αναφορά στο κυματικό καθεστώς με στοιχεία του Άτλαντα ανέμων και κυμάτων.....	41
4.3.3.2 Πρόσφατη εξέλιξη της ακτογραμμής με βάση τις πληροφορίες αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων.....	43
4.3.4. Ανθρωπογενείς παράγοντες που έχουν επηρεάσει την δυναμική της ακτής.....	46
5. Σύνθεση.....	46
6. Συμπεράσματα.....	47
Βιβλιογραφία.....	48

1. Εισαγωγή - Προβληματισμός

Η παρούσα διπλωματική εργασία «Γεωλογικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες στην διαμόρφωση ακτών: Η περίπτωση της Βάρκιζας – Ν. Αττικής» έχει εκπονηθεί, στα πλαίσια των προπτυχιακών υποχρεώσεων στη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Στόχος είναι η μελέτη του μηχανισμού της πρόσφατης διαχρονικής και δυναμικής εξέλιξης μιας προσχωσιγενούς ακτής, δηλαδή ενός ευμετάβλητου φυσικού συστήματος.

Οι καθοριστικοί φυσικοί παράγοντες που διαμορφώνουν προσχωσιγενείς ακτές είναι:

- α) ο μηχανισμός τροφοδοσίας της ακτής με φερτές ύλες,
- β) ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή (U.S. Army Corps of Engineers. 2002)

Προκειμένου να μελετηθούν αυτοί οι μηχανισμοί επιλέχτηκε, ως φυσικός «πειραματικός» χώρος, η παραλία του όρμου της Βάρκιζας. Πρόκειται για μια προσχωσιγενή παραλία με μειωμένη, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων, τροφοδοσία από το ποταροχειμάρριο σύστημα της περιοχής. Ο όρμος της Βάρκιζας αποτελεί μια γεωμορφή σχήματος U με ανοιχτό προσανατολισμό προς νότο. Ως ημίκλειστο φυσικό σύστημα επιτρέπει πολύ καλύτερα την παραμετροποίηση τόσο του μηχανισμού τροφοδοσίας όσο και του μηχανισμού διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή, σε σχέση με άλλες παραλίες.

Ως όριο του υπό εξέταση του παράκτιου συστήματος χρησιμοποιήθηκε η υδροκριτική γραμμή. Η υδροκριτική γραμμή εσωκλείει τον δυναμικό παράγοντα του υδρογραφικού δικτύου, του «μεταφορέα» δηλαδή των φερτών υλών μέχρι την ακτογραμμή. Το ανάγλυφο (η μορφολογία) που εμπεριέχεται στον άνω υδροκρίτη αποτελεί την λεκάνη απορροής, η οποία μαζί με τις βροχοπτώσεις (ποσότητα και ραγδαιότητα) καθορίζουν την δυναμική του υδρογραφικού δικτύου. Η γεωλογική δομή της λεκάνης απορροής επηρεάζει την δυναμική διαμόρφωση της ακτής, γιατί τα πετρώματα αποτελούν τα αρχικά υλικά, που μέσω της αποσάθρωσης και της διάβρωσης, παράγουν φερτά υλικά, που μέρος εξ αυτών καταλήγει στην ακτή και διαμορφώνει την έκταση και την ποιότητα της.

Η μορφή U του όρμου της Βάρκιζας περιορίζει την ποικιλότητα του κυματικού δυναμικού, που αποτελεί τον κύριο παράγοντα διευθέτησης των πρόσφατων φερτών υλών κατά μήκος της ακτής και καθιστά ευκολότερη την παραμετροποίηση αυτού του παράγοντα. Έγινε αξιοποίηση υφισταμένων πληροφοριών του άνεμο-κυματικού καθεστώτος αλλά και νέων μετρήσεων των κυμάτων για ένα έτος. Οι πρωτογενείς αυτές μετρήσεις της παρούσας

εργασίας, σε συνδυασμό με τις μετρήσεις μικρο μεταβολών, που προκαλούνται στην ακτογραμμή από τον κυματισμό, αλλά και με τις μετρήσεις της κοκκομετρίας των πρόσφατων κλασικών ιζημάτων χαρακτηριστικών της προσχωσιγενούς παραλίας, επιτρέπουν την σε βάθος κατανόηση του μηχανισμού μορφοδυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής (U.S. Army Corps of Engineers 2002).

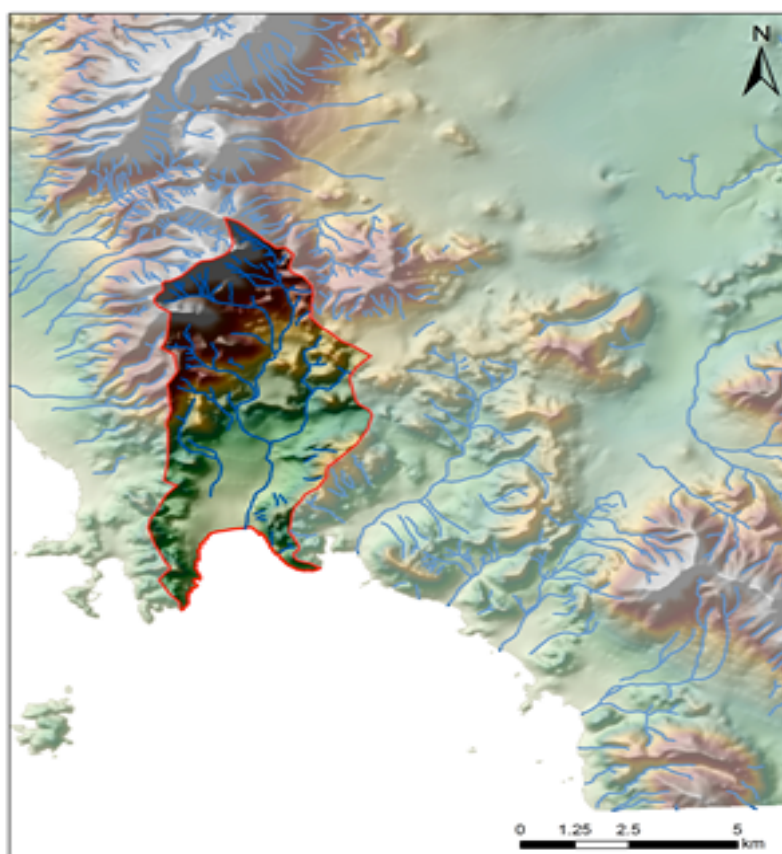
Η κατανόηση αυτής της δυναμικής μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό γνωστικό υπόβαθρο, που μπορεί να βρει εφαρμογή στο μεγάλο πρόβλημα της διάβρωσης των ακτών, και όχι μόνο του ελληνικού χώρου. Επίσης μπορεί να βρει εφαρμογή σε κατασκευαστικές παρεμβάσεις στις ακτές (πχ. αλιευτικά καταφύγια, λιμάνια, πρόβολοι, κυματοθραύστες, κ.α.) και μπορεί να προτείνει συγκεκριμένα εργαλεία σχεδιασμού της παράκτιας διαχείρισης.

2. Περιγραφή της περιοχής μελέτης

2.1. Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης

Η οριοθέτησης της περιοχής μελέτης είναι το παράκτιο σύστημα της Βάρκιζας. Το κριτήριο είναι ο υδροκρίτης, που καθορίζει το όριο της λεκάνης που απορρέει στον ομώνυμο όρμο.

Στην Εικόνα 1 φαίνονται τα όρια της λεκάνης απορροής, που αποτελούν και όρια της περιοχής μελέτης.



Εικόνα 1: Οριοθέτηση της περιοχής μελέτης

2.2. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Αττικής και εστίαση στην περιοχή μελέτης

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας έγινε μια προσπάθεια να κατανοηθεί η γεωλογία της ευρύτερης περιοχής της Αττικής, στην οποία εντάσσεται και η περιοχή μελέτης. Η προσπάθεια αυτή ανέδειξε την σύνθετη γεωλογική δομή της Αττικής, η οποία έχει οδηγήσει και σε διαφορετικές ερμηνείες της δομής από τους διάφορους μελετητές. Οι βιβλιογραφικές αναφορές ανατρέχουν πίσω ένα αιώνα, με σημαντικό σταθμό η αναφορά στην εργασία του Lepsius (1893). Ακολούθησαν πολλές και σημαντικές εργασίες και επιλεκτικά αναφέρονται αυτές των Negris (1915-1919), Κτενάς (1930), Sindowski (1951), Marinos & Petraschek

(1956), Leleu & Neuman (1969), Παπαδέας (1987), Papadeas (2000), Katsikatsos (1977, 1986), Durr et al. (1978), Clement (1983), Παπανικολάου (1980), Κατσαβριάς (1990), Λόζιος (1993), Lekkas & Lozios (2000), και Φωτιάδη & Καρρά (2001).

Η γεωλογική δομή της Αττικής αποτελείται από πετρώματα που χρονολογούνται από την Παλαιοζωική περίοδο μέχρι το Ολόκαινο. Οι σχηματισμοί διαιρούνται σε:

- αλπικούς σχηματισμούς, ηλικίας από το Κατώτερο Τριαδικό μέχρι το Ανώτερο Κρητιδικό, και σε
- μεταλπικούς σχηματισμούς του Τριτογενούς και Τεταρτογενούς (που επικάθονται ασύμφωνα στους προηγούμενους σχηματισμούς).

Οι **Αλπικοί σχηματισμοί** αποτελούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα χαμηλής μεταμόρφωσης, μάρμαρα, δολομίτες και σχιστόλιθους με τις χαρακτηριστικές ονομασίες από τα παλαιότερα προς τα νεότερα: σχιστόλιθοι της Βάρης, Δολομίτες της Πυρναρής, Κατώτερο μάρμαρο, Σχιστόλιθοι της Καισαριανής, Ανώτερο μάρμαρο.

Οι **μεταλπικοί σχηματισμοί** της περιοχής έρευνας ανήκουν στο **Τριτογενές**, και πιο συγκεκριμένα εμφανίζονται μόνο Νεογενείς αποθέσεις, και στο **Τεταρτογενές**, που χαρακτηρίζεται από Πλειστοκαινικές και Ολοκαινικές αποθέσεις. Οι **Νεογενείς** αποθέσεις επίκεινται ασύμφωνα πάνω στο αλπικό υπόβαθρο. Χαρακτηρίζονται από ιζήματα λιμναίου και αλμυρού περιβάλλοντος (ηλικίας Α. Μειοκαίνου), ψαμμίτες, μάργες πηλοί, κροκαλλοπαγή και ιζήματα θαλάσσιου παράκτιου περιβάλλοντος (ηλικίας Α. Πλειοκαίνου), ψαμμίτες, ψαμμούχες μάργες και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι (Trikkalinos 1940, Χαραλαμπίκης 1952, Γαιτανάκης 1982).

Οι αποθέσεις του **Τεταρτογενούς** επίκειται ασύμφωνα, είτε πάνω στο αλπικό υπόβαθρο, είτε στους Νεογενείς σχηματισμούς, με τα **πλειστοκαινικά** ιζήματα να αποτελούνται από χερσαίες και ποτάμιες αποθέσεις, ενώ οι νεότεροι **ολοκαινικοί** σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από αλουβιακές αποθέσεις, παλαιούς και νέους κώνους κορημμάτων και σύγχρονες αποθέσεις ακτών.

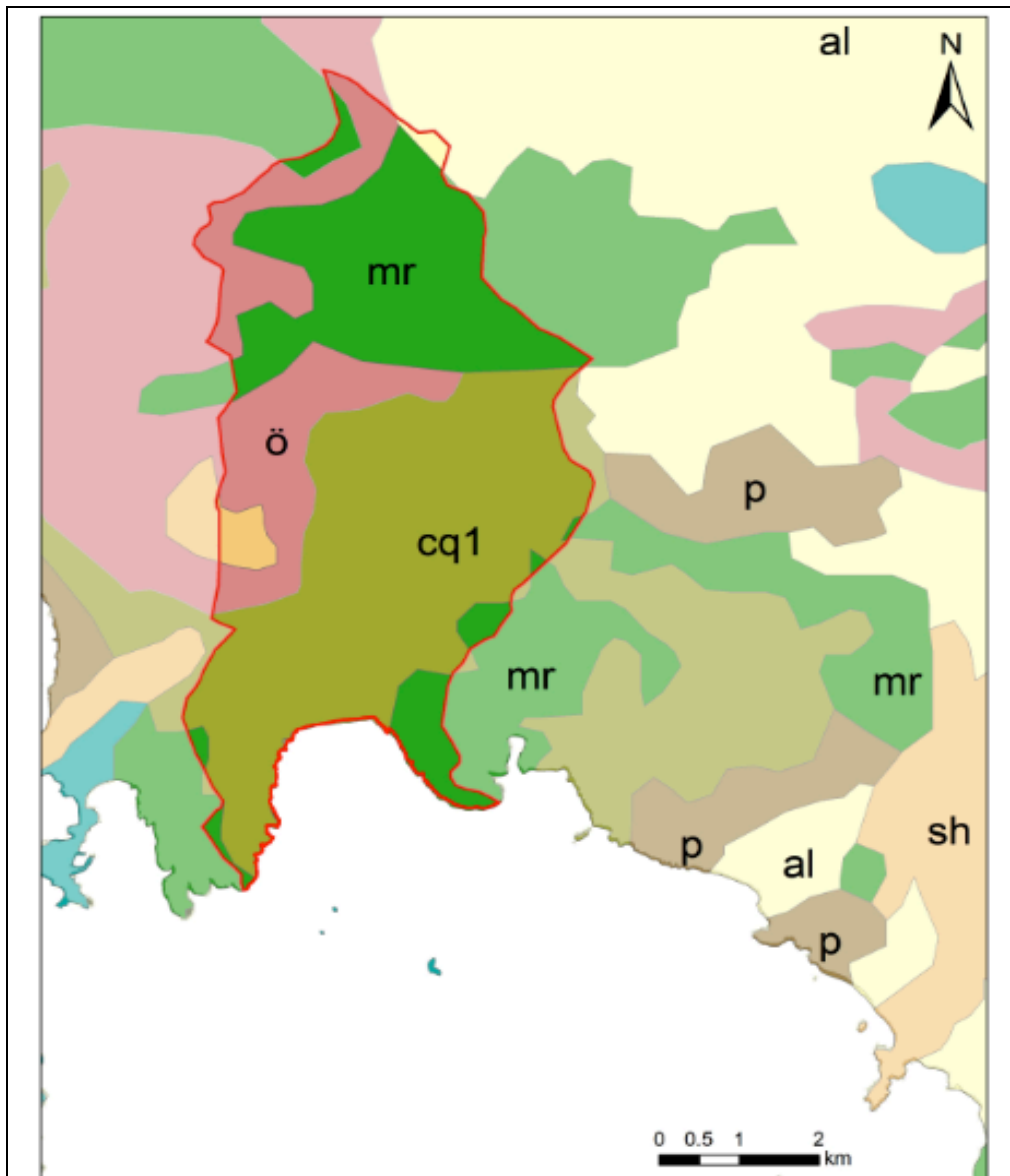
Στην ευρύτερη περιοχή παρατηρείται **πτυχωσιγενής** και **ρηξιγενής** τεκτονική. Στην πτυχωσιγενή τεκτονική, οι πτυχώσεις χαρακτηρίζονται από άξονες ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Υμηττός, που αποτελεί ένα αντίκλινο με άξονα ΒΒΑ-ΝΝΔ κατεύθυνσης, που συμπίπτει με την μορφολογική διεύθυνση του κύριου όγκου του.

Το κύριο χαρακτηριστικό της ευρύτερης περιοχής είναι η ύπαρξη μεγάλων ρηξιγενών ζωνών, που την χωρίζουν σε μεγάλα ρηξιγενή τεμάχια, που φαίνεται ότι αποτελούν μεγάλα τεκτονικά βυθίσματα ή κέρατα (Παπανικολάου & Λόζιος, 1990). Πρόκειται για ρήγματα και ζώνες διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ και εγκάρσιες ή υπό γωνία προς αυτές, και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, που οριοθετούν ρηξίτεμάχια και μακροδομές των ίδιων διευθύνσεων. Τα τεκτονικά βυθίσματα

είναι πληρωμένα κατά κύριο λόγο με χερσαίες φάσεις μεταλλικών σχηματισμών, αλλά και με θαλάσσιες αποθέσεις, που εντοπίζονται μόνο στις παραθαλάσσιες περιοχές, γεγονός που πιστοποιεί τις μικρές σχετικά ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις των επί μέρους ρηξιτεμαχών.

Η Αττική χαρακτηρίζεται από χαμηλή σεισμικότητα, σε σχέση με άλλες περιοχές της Ελλάδας (Makropoulos 2000, Voulgaris et al. 2000). Η Αττική έχει πληγεί από σεισμούς, που το επίκεντρό τους βρισκόταν σε γειτονικές περιοχές, όπως ο Κορινθιακός Κόλπος, η περιοχή των Θηβών, της Αταλάντης, της Χαλκίδας και του Σαρωνικού κόλπου. Παρ' όλα αυτές τις αναφορές, ο Νικόλαος Αμβράζης ισχυριζόταν ότι στην Αττική μπορεί να ενεργοποιηθούν ρήγματα που είναι ακόμη άγνωστα, γιατί δεν έχουν προξενήσει σεισμούς τα τελευταία 10.000 χρόνια (Billiris et al. 1991).

Η περιοχή μελέτης όπως έχει οριοθετηθεί από τον υδροκρίτη της χαρακτηρίζεται από αλπικούς σχηματισμούς, αποτελούμενους από μάρμαρα και σχιστόλιθους καθώς και μεταλλικούς σχηματισμούς (εικόνα 2).



Εικόνα 2: Γεωλογικοί σχηματισμοί στην λεκανή απορροής της περιοχής μελέτης

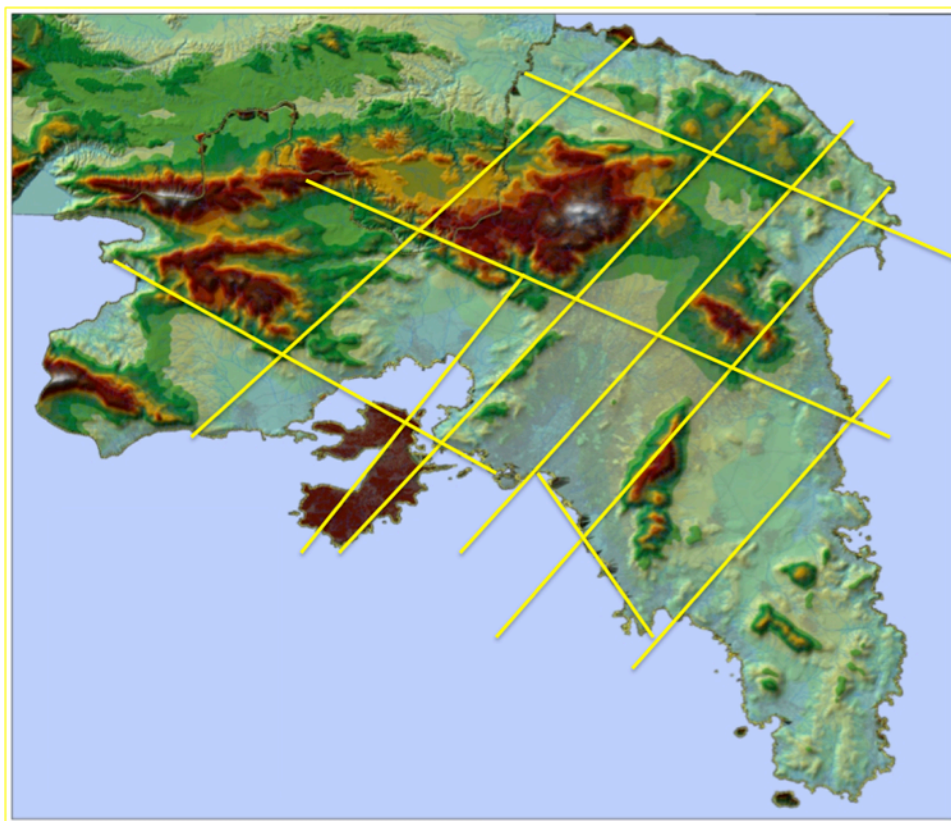
cq1=χερσαίες, λιμναίες αποθέσεις Πλειστοκαίνου και Ολοκαίνου

O = κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι – Ανωκρητιδικής ηλικίας

mr = μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι [Κατώτερο Μάρμαρο]-Κατώτερο Μεσοζωϊκό (από τον Γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ φύλλο ΑΘΗΝΑΙ-ΠΕΙΡΑΙΕΥΣ)

2.3. Γεωμορφολογία και υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης

Η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής της Αττικής και κατ' επέκταση και το υδρογραφικό δίκτυο, είναι το αποτέλεσμα κυρίως της πτυχωσιγενούς και ρηξιγενούς τεκτονικής της περιοχής (εικόνα 3).

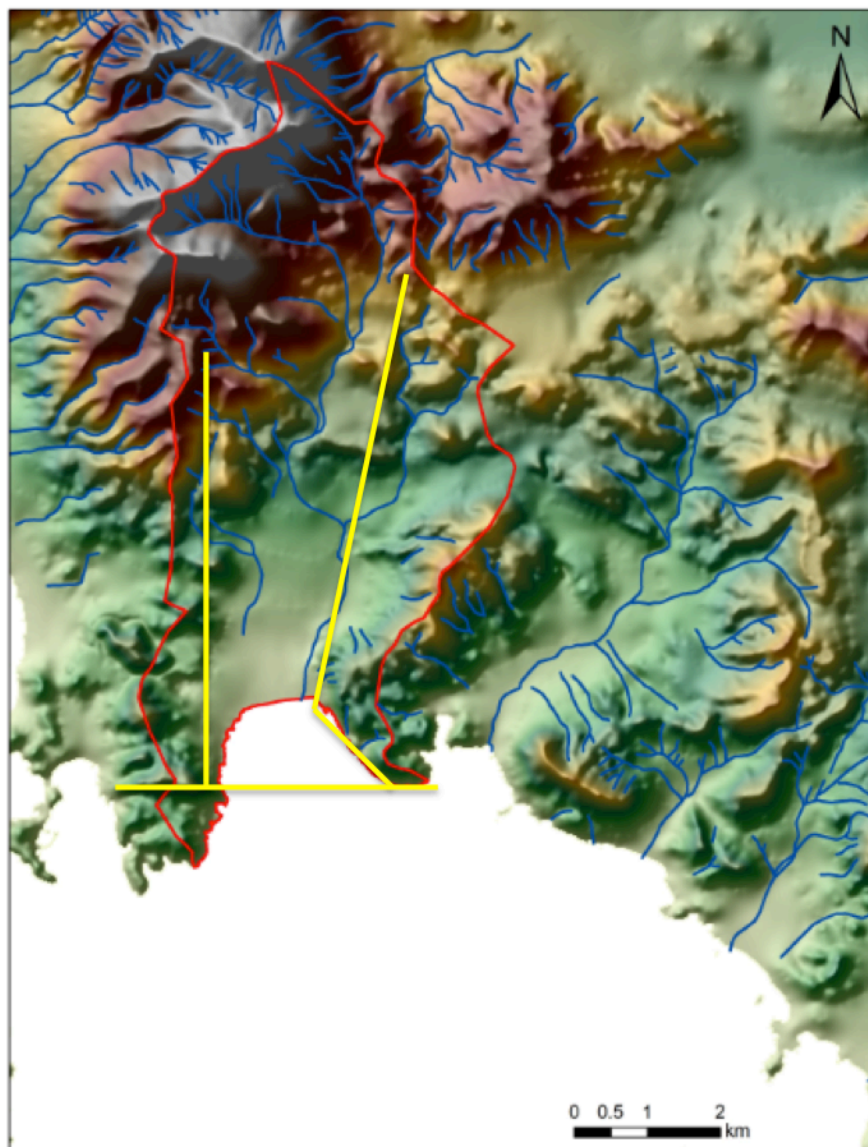


Εικόνα 3: Γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Αττικής, με χαρακτηριστικές γεωμορφολογικές δομές ΒΔ-ΝΑ και ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση. Οι γραμμές δείχνουν κύριες ρηγματώσεις της ευρύτερης περιοχής

Στην κεντρική Αττική, όπου επικρατεί η τεκτονική με ΒΔ-ΝΑ και ΝΔ-ΒΑ κύριες κατευθύνσεις, παρατηρείται ένας αντίστοιχος προσανατολισμός των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών. Αποτέλεσμα αυτού του ρηγματογόνου συστήματος με ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, είναι ο κύριος προσανατολισμός των ακτών της ΝΑ Αττικής. Το εγκάρσιο προς αυτή τη κατεύθυνση ρηγματογόνο σύστημα (ΒΑ-ΝΔ) έχει δώσει τον σχηματισμό βυθισμάτων και εξάρσεων, ορμίσκων, εσοχών αλλά και χερσονήσων (εικόνα 3).

Ο όρμος της Βάρκιζας αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα (Σκυλοδομήδου, 2002). Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης οριοθετούν το τεκτονικό βύθισμα του όρμου της Βάρκιζας και έχουν συντελέσει στη δημιουργία του προσχωσιγενούς παράκτιου πεδίου και του υποθαλάσσιου χώρου (εικόνα 4).

Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής είναι περιορισμένο, λόγω της μικρής έκτασης της λεκάνης απορροής αλλά και των χαμηλών βροχομετρικών δεικτών της περιοχής (~400 χιλιοστά/έτος).



Εικόνα 4: Γεωμορφολογία και υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης απορροής της περιοχής μελέτης

3. Μεθοδολογία

3.1. Βαθυμετρία του κόλπου

Η βαθυμετρία είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες για κατανόηση του ευρύτερου αναγλύφου της περιοχής. Για τον λόγο αυτό σχεδιάστηκε μια αναλυτική αποτύπωση στην περιοχή, μέχρι τα 30 μέτρα βάθος. Η βαθυμετρία έγινε με απλό βυθόμετρο ακρίβειας $\pm 5\text{cm}$ και με παράλληλη σύνδεση RTK GPS για τον καθορισμό της θέσης. Χρησιμοποιήθηκε φουσκωτό σκάφος του Ελ.Κε.Θ.Ε., μήκους 3.2 μέτρα με εξωλέμβια μηχανή, ικανοποιητικό για την ολοκλήρωση της βαθυμετρίας. Έγινε συναρμολόγηση των μηχανημάτων για να γίνει η αποτύπωση. Η διαδρομή που σχεδιάστηκε αποτελείτο από κάθετες τομές προς την παραλία. Τα δεδομένα επεξεργαστήκαν με GIS και σε συνδυασμό με χάρτες της Υδρογραφικής Υπηρεσίας εκπονήθηκε νέος βαθυμετρικό χάρτης και τρισδιάστατη αποτύπωση του βυθού της συγκεκριμένης περιοχής.

3.2. Μέθοδοι τοπογραφικών αποτυπώσεων στην ακτή

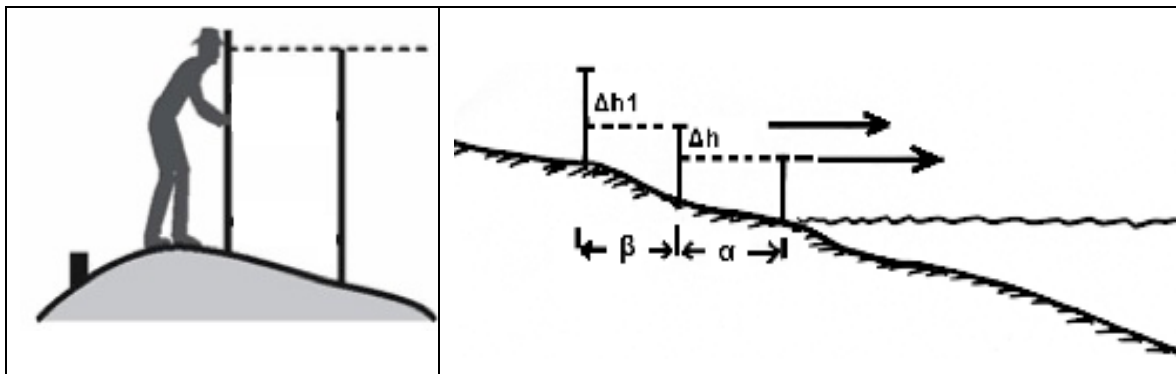
Για την μέτρηση σημείων στο χώρο, γνωστή ως τοπογραφική αποτύπωση, είναι απαραίτητη η χρήση μετρητών υψηλής ακριβείας. Είναι γεγονός ότι, η τεχνολογική ανάπτυξη και η εξέλιξη των τοπογραφικών οργάνων, καθώς και των προγραμμάτων επεξεργασίας μετρήσεων του πεδίου, έχει αυξήσει σε μεγάλο βαθμό την αξιοπιστία και ακρίβεια τόσο των μετρήσεων όσο και των αποτελεσμάτων.

Οι τοπογραφικές έρευνες διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή. Η τοπογραφική μέθοδος που επιλέγεται για συγκεκριμένη περιοχή, σχετίζεται με την κλίμακα, το μέγεθος, την προσβασιμότητα της περιοχής και τα αποτελέσματα σχετικών ερευνών. Για άμεση αποτύπωση αλλαγής της μορφής της παράκτιας ζώνης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν η μέθοδος του ορίζοντα, ο χωροβάτης, ο θεοδόλιχος και το Παγκόσμιο Σύστημα Θεσιθεσίας (GPS).

Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις είναι από τις πιο σημαντικές διαδικασίες για την διερεύνηση της εξέλιξης της ακτογραμμής, του όγκου της παραλίας και αλλαγών στο υποθαλάσσιο μέρος. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι κάτωθι μέθοδοι:

Τα βαθμονομημένα κοντάρια - Μέθοδος του ορίζοντα (Emery Rods): είναι ο πιο οικονομικός τρόπος για αποτύπωση της παραλίας (Krause 2004). Ο απαραίτητος εξοπλισμός είναι δυο κοντάρια ύψους 2m και μια μετροταινία 50m (εικόνα 5). Επάνω σε μια γραμμή που είχε οριστεί πραγματοποιούνται μετρήσεις κάθε λίγα μέτρα (ή σε αξιοσημείωτες υψομετρικές

αλλαγές) και καταγράφεται η διαφορά στο υψόμετρο. Κάνοντας χρήση του οριζοντα, της διακριτής γραμμής θάλασσα – αέρας, ως οριζοντιόμετρο.



Εικόνα 5: (WHOI, 2013)

Ο Χωροβάτης - rod level - (εικόνα 6) είναι ένα απλό, οικονομικό και αξιόπιστο όργανο για την αποτύπωση υψομετρικών διαφορών σε μια σχεδιασμένη τομή. Το μειονέκτημα είναι ότι οι μετρήσεις είναι χρονοβόρες, γιατί όλες οι αναπαραγωγές και καταγραφές των προφίλ γίνονται χειρωνακτικά. Ο απαραίτητος εξοπλισμός του χωροβάτη είναι μια βαθμονομημένα σταδία τουλάχιστον 5m και μετροταινία 50m. Το σφάλμα του χωροβάτη είναι πολύ μικρό.



Εικόνα 6: Χρήση του χωροβάτη, 2012 Χανιά

Το πλέον κοινό όργανο που χρησιμοποιείται στην τοπογραφία, τόσο για την αποτύπωση μεσαίας αλλά και μικρής κλίμακας αντικειμένων, είναι ο θεοδόλιχος ή ταχύμετρο (Total station theodolite).

Ο θεοδόλιχος μετρά με μεγάλη ακρίβεια την οριζόντια και κατακόρυφη γωνία, που σχηματίζεται από τη νοητή οπτική γραμμή που συνδέει ένα χαρακτηριστικό σημείο του

οργάνου (κέντρο σκόπευσης) και το σημείο λεπτομέρειας (σημείο σκόπευσης) επί του αντικειμένου που παρατηρείται μέσω του οπτικού συστήματος του. Έμμεσα, με χρήση εξισώσεων τριγωνομετρίας και μέτρησης των κατακόρυφων γωνιών, είναι εφικτή η μέτρηση κατακόρυφων αποστάσεων μεταξύ σημείων στον τρισδιάστατο χώρο. Με την επίλυση των θεμελιωδών θεωρημάτων της τοπογραφίας, οι μετρήσεις των γωνιών που γίνονται μέσω του θεοδόλιχου, μπορούν να οδηγήσουν σε υπολογισμό των τρισδιάστατων συντεταγμένων των παρατηρούμενων σημείων στο επίγειο καρτεσιανό τρισσορθογώνιο σύστημα.

Ο γεωδαιτικός σταθμός είναι όργανο μεγάλης ακρίβειας, και μπορεί να αποτυπώσει όχι μόνο υψομετρική διαφορά σε συγκεκριμένη τομή, αλλά και σε άλλα σημεία εκτός τομής. Απαραίτητος εξοπλισμός είναι ο γεωδαιτικός σταθμός και το κοντάρι σκόπευσης. Κατά την παρούσα εργασία, έγιναν παράλληλες μετρήσεις πολλαπλών γραμμών επειδή, για κάθε σημείο υπήρχε το x,y,z που εκαθορίζετο από το κοντάρι σκόπευσης. Ο χρόνος μέτρησης είναι αργός, αλλά προκύπτει μεγάλη ακρίβεια.

Μέθοδος RTK GPS

Το RTK GPS, που χρησιμοποιήθηκε, για τις τομές και την αποτύπωση της ακτογραμμής στην παρούσα μελέτη, είναι όργανο με μεγάλη ακρίβεια σε x,y,z , και επιτρέπει την αναπαράσταση της παραλίας και τα υποθαλάσσια σημεία της ηλεκτρονικά. Έχοντας τις τομές, είναι δυνατή η αναλυτική διαχρονική σύγκριση όγκων και η διαπίστωση αλλαγών. Το GPS είναι ένα παγκόσμιο δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης (συντεταγμένων), χρόνου και ταχύτητας, οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης, σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και ανεξάρτητα από καιρικές συνθήκες.

Η συλλογή των αποτελεσμάτων είναι πολύ γρήγορη και έτσι είναι εφικτή η κάλυψη μεγάλων περιοχών. Επίσης απαιτείται μόνο ένας χειριστής. Το κόστος των συσκευών αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα υψηλό, αλλά η επεξεργασία των αποτελεσμάτων εύκολη, με την δυνατότητα δημιουργίας τρισδιάστατης απεικόνισης της παραλίας με την χρήση του ArcGIS. Έτσι ήταν δυνατή και η παρατήρηση αλλαγών στην ακτογραμμή και στον όγκο των ιζημάτων της παραλίας.



Εικόνα 7 Τοπογραφική αποτύπωση με το σύστημα RTK GPS διακρίνεται ο δέκτης του συστήματος με τον χείριστή, Βαρκίζα 2013

Η τεχνολογία του GPS έχει εξελιχθεί ταχύτατα κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών. Το Κινηματικό GPS (Theuerkauf and Rodriguez 2012) παρέχει την ευκαιρία να συλλάβει τα δεδομένα, με μια κάθετη ακρίβεια περ. $\pm 2-3\text{cm}$ και οριζόντια τοποθέτηση περίπου στο διπλάσιο της ακρίβειας. Είναι η ιδανική μέθοδος για τοπογραφική αποτύπωση παραλίας. Απαιτούνται τουλάχιστον δύο δέκτες GPS, που συνδέονται με ραδιοεπικοινωνία. Ο ένας δέκτης ενεργεί σαν σταθμός βάσης (base), παρέχοντας διορθώσεις, και ο άλλος είναι ένας κινητός σταθμός που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων (rover). Ένας χειριστής μπορεί να λειτουργήσει το σύστημα, αν και αυτό δεν είναι συνιστώμενο, σε ένα επικίνδυνο περιβάλλον, όπως η ακτή. Δύο κινητά συστήματα που χρησιμοποιούνται μαζί μπορεί να έχουν σας αποτέλεσμα να διπλασιαστεί η ταχύτητα απόκτησης δεδομένων. Τα δύο αυτά κινητά συστήματα λειτουργούν από έναν ενιαίο σταθμό βάσης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται σήμερα, περιλαμβάνουν συλλογή δεδομένων του προφίλ και συνάμα συνεχείς μετρήσεις των σημείων ύψους.

Το κύριο πλεονέκτημα των GPS σε σχέση με τις άλλες τεχνικές είναι η ταχύτητα της συλλογής δεδομένων. Το Κινηματικό GPS είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για επαναλαμβανόμενες έρευνες, δεδομένου ότι μπορούν να ερευνηθούν αρκετά απέραντες ακτές από έναν ενιαίο σταθμό βάσης που έχει συσταθεί. Το σύστημα είναι κατάλληλο για συνθήκες χαμηλού φωτισμού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε απόλυτο σκοτάδι. Είναι κατάλληλο για μετρήσεις ευστάθειας πρανών, σε περιοχές με ασταθές έδαφος, δεδομένου ότι κανένας έλεγχος δεν απαιτείται στην ευρύτερη ασταθή ζώνη. Το ίδιο σύστημα μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με έρευνες βαθυμετρικής αποτύπωσης. Εμπειρίες από την

περιοχή μελέτης, έδειξαν ότι τα συστήματα GPS είναι πιο περιορισμένα, από την άποψη της κάλυψης κάτω από την στάθμη του νερού, σε σχέση με την μέθοδο ορίζοντα ή την μέθοδο του γεωδαιτικού σταθμού, δεδομένου ότι τα συστήματα περιέχουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα που δεν μπορούν να βυθιστούν. Τοπογραφικές έρευνες με GPS μπορεί να μην είναι κατάλληλες για κατακόρυφες τοποθεσίες ή κοντά σε βράχια. Αυτά τα προβλήματα μπορούν να υπερνικηθούν, με προσεκτικό χρονικό σχεδιασμό των ερευνών, σε σχέση με τη γεωμετρία των δορυφόρων. Το GPS είναι ευπαθές σε ηλεκτρομηχανολογικά προβλήματα, τα οποία είναι λιγότερο εύκολο να ξεπεραστούν από ό, τι αυτά των εναλλακτικών τεχνολογιών

Στην παρούσα διπλωματική, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και δοκιμάστηκαν όλες οι μέθοδοι, για εξοικονόμηση χρόνου και λόγω των καλύτερων ποιοτικά μετρήσεων, επελέγη η μέθοδος RTK GPS, και χρησιμοποιήθηκε ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Φυσικών Καταστροφών και Παράκτιας Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης. Εάν δεν υπήρχε το όργανο αυτό, θα χρησιμοποιείτο η μέθοδος του Χωροβάτη. Η μέθοδος του γεωδαιτικού σταθμού δεν ήταν επιλέξιμη, επειδή η ικανή ακρίβεια για την αποτύπωση της παραλίας δεν δικαιολογεί το υψηλό κόστος του οργάνου. Σαν τελευταία επιλογή, η μέθοδος του ορίζοντα, είναι μεν αξιόπιστη και πολύ οικονομική, αλλά κατάλληλη μόνο όταν το πλάτος της παραλίας είναι μικρό.



Εικόνα 8: Σχέδιο αποτύπωσης τοπογραφίας σε εγκάρσιες διατομές στην παράλια του όρμου Βάρκιζας

3.3. Ανάλυση ιστορικών αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων για αποτύπωση μεταβολών της ακτογραμμής

Οι αεροφωτογραφίες, είναι ένας ευθύς τρόπος ώστε να γίνουν αντιληπτές οι αλλαγές σε παράκτιες περιοχές που έχουν επιτελεστεί, σε βάθος δεκαετιών, εφόσον υπάρχουν σε ικανοποιητική κλίμακα. Επιτρέπουν την κατανόηση της εξέλιξης της ακτογραμμής, καθώς

και τις απότομες σταδιακές αλλαγές που προήλθαν από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στην εργασία αυτή, η ψηφιοποίηση και επεξεργασία έγιναν με ArcGIS, ένα κατάλληλο λογισμικό πρόγραμμα γεωαναφοράς, που δίνει την δυνατότητα της εκτίμησης της μακροχρόνιας εξέλιξης της ακτογραμμής. Με την χρήση του ArcGIS, ήταν δυνατή η ψηφιοποίηση των φωτογραφιών η εύρεση κοινών σταθερών σημείων μεταξύ τους και η γεωαναφορά. Οι φωτογραφίες χρειάστηκαν περαιτέρω επεξεργασία, επειδή ενδέχεται να ήταν από διαφορετικές γωνίες λήψης και από διαφορετικό φωτογραφικό εξοπλισμό. Μετά την διόρθωση, οι αεροφωτογραφίες συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Από το λογισμικό, υπολογίστηκε η ταχύτητα αλλαγής της μελετούμενης ακτογραμμής, σε βάθος χρόνου ογδόντα ετών.

Οι αεροφωτογραφίες, για την συγκεκριμένη μελέτη, προέρχονται από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στράτου (ΓΥΣ). Αρχικά εντοπίστηκε η περιοχή μελέτης όπου υπήρχε μέτριος ρυθμός διάβρωσης στην παράκτια ακτή. Οι αεροφωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από το 1939, 1945, 1960, 1969, 1979, 1988, 2002, και συνδυάστηκαν με δορυφορικές εικόνες από το 2004, 2008, 2011 (Google Earth). Οι αεροφωτογραφίες εισήχθησαν στο ArcGIS. Μέσω των ψηφιακών παρήχθησαν γεωγραφικά στοιχεία για το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής μας. Κατόπιν, μέσω των γεωγραφικών απεικονίσεων των αεροφωτογραφιών, ανά περίπου δέκα χρόνια φωτογράφισης, οι αποθέσεις της ακτογραμμής ψηφιοποιήθηκαν και καταγράφηκαν στο ArcGIS. Τα αρχικά δεδομένα αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν με την χρήση της ικανότητας του ArcGIS για πολλαπλά επίπεδα, με σκοπό να γίνει κατανοητή η δυναμική των ιζημάτων της περιοχής και να υπολογιστεί η αλλοίωση της συγκεκριμένης ακτογραμμής (Soukissian et al. 2010).

3.4. Μέθοδοι υπολογισμού και μέθοδοι μέτρησης των κυμάτων στην περιοχή μελέτης

3.4.1. Μέτρηση κυμάτων στην περιοχή μελέτης

Για την καταγραφή του κυματικού καθεστώτος χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικοί μετρητές του Ελ.Κε.Θ.Ε. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε radar με επεξεργαστή ανάλυσης κυματισμών, και έπειτα υποθαλάσσιο όργανο καταγραφής κυμάτων. Σκοπός ήταν η σύγκριση των δύο αυτών μεθόδων. Κατά την πορεία, υπήρξαν τεχνικά προβλήματα κατά την λειτουργία του radar, με αποτέλεσμα την μη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Το radar (εικόνα 9) με το λογισμικό wavex της εταιρείας miroso είναι γνωστή μέθοδος καταμέτρησης κυμάτων. Το συγκεκριμένο όργανο βρισκόταν στην ταράτσα του Ελ.Κε.Θ.Ε. στην Ανάβυσσο και διατέθηκε για την μελέτη. Για την μετεγκατάσταση στον Ναυτικό Όμιλο Βάρκιζας κατασκευάστηκε βάση στήριξης, πάνω σε ένα container, ακολουθώντας τις απαιτούμενες προδιαγραφές του κατασκευαστή. Η αδειοδότηση για την εγκατάσταση και λειτουργία του radar ήταν επίπονη, αλλά μετά από επικοινωνία με τον Δήμο, Λιμεναρχείο και Ναυτικό όμιλο Βάρη Βάρκιζας, επετράπη η εγκατάσταση και λειτουργία του radar.



Εικόνα 9 Radar όργανο μετρήσεις κυμάτων Βαρκιζα

Το υποθαλάσσιο όργανο καταγραφής κυμάτων ονομάζεται AWAC, της εταιρείας Nortek. Το όργανο δεν είχε ξαναχρησιμοποιηθεί από το Ελ.Κε.Θ.Ε. Κατασκευάστηκε βάση στήριξης του και ο τρόπος λειτουργίας του έπρεπε να επινοηθεί κατά την εξέλιξη της παρούσης εργασίας. Σχεδιάστηκε τριγωνική βάση από ανοξείδωτο ατσάλι, με κάθε πλευρά της 1.9m μήκος και ύψος 0.51m (εικόνα 10). Ο λόγος για μια τόσο πλατιά βάση ήταν για να επιτευχθεί σταθεροποίηση του οργάνου στον βυθό, σε μεγάλους κυματισμούς, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα λαθών στις μετρήσεις λόγω κλειδωνισμών.

Η μπαταρία που χρησιμοποιήθηκε είναι επαναφορτιζόμενη βαθιάς εκφόρτωσης, Σε συνεργασία με τον κ. Χ. Τσαμπάρη του Ελ.Κε.Θ.Ε., κατασκευάστηκε προστατευτική θήκη, ώστε να αντέχει σε μεγάλες πιέσεις. Για την τοποθέτηση του οργάνου, απαιτήθηκαν άδειες από το Λιμεναρχείο της περιοχής και προφορική άδεια από την κοινότητα των ψαράδων στην Βάρκιζα, περισσότερο για προσοχή και επιτήρηση του οργάνου.



Εικόνα 10 Βάση στήριξης υποθαλάσσιου οργάνου (σχέδιο Autocad)

Το AWAC έχει την δυνατότητα καταγραφής κυματικών προφίλ και μετρήσεων της ταχύτητας και κατεύθυνσης των κυμάτων. Επίσης έχει την δυνατότητα λήψης και τηλεμετρικής αποστολής των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο, σε επιθυμητές συσκευές και σημεία. Το όργανο βασίζεται στο φαινόμενο Doppler (1842) και λειτουργεί με τέσσερις (4) ακουστικές δέσμες οι οποίες λειτουργούν με ακουστική συχνότητα 400 MHz. Το όργανο έχει δυνατότητα μέτρησης ρευμάτων έως 50 m βάθος, και ρευμάτων μέχρι 80 m, με χωρική συχνότητα μέτρησης μέχρι ανά μέτρο στην στήλη ύδατος. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή, το όργανο ποντίζονταν σε βάθος περίπου 30 m, καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων.

Το εύρος μέτρησης ταχυτήτων των κυμάτων είναι 10 m/s οριζόντια και 5 m/s κατά μήκος των ακουστικών δεσμών, με ακρίβεια 1%. Το εύρος μέτρησης ύψους κύματος είναι από -20 m έως +20 m, επίσης με ακρίβεια έως 1%. Τέλος το εύρος μέτρησης των περιόδων των κυμάτων είναι από 0.5 sec έως 30 sec. Επιπροσθέτως, με το όργανο μετρήθηκε η θερμοκρασία στο σημείο πόντισης (δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας από -4 °C έως +40 °C, με ακρίβεια 0.1 °C) όπως και οι αλλαγές της πίεσης της στήλης του ύδατος (δυνατότητα μέτρησης της πίεσης σε εύρος 0 – 50 m, με ακρίβεια 0.5%) (Nortek, 2013). Η μπαταρία και η μνήμη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ικανές να υποστηρίξουν την διαρκή λειτουργία του οργάνου για 6 μήνες συνεχόμενων μετρήσεων.

Η διάρκεια των κυματικών μετρήσεων ήταν ένα έτος. Οι μετρήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη σημαντικών αποφάσεων για την προστασία των παράκτιων περιοχών, όπως του κόλπου της Βάρκιζας, από ακραίες κυματικές καταιγίδες, και επομένως από την κυματική διάβρωση. Επιπροσθέτως, θα βελτιωθεί η επιλογή βέλτιστων λύσεων για την εφαρμογή μεθόδων παράκτιας προστασίας. Ιδιαίτερα σημαντική κρίνεται η συλλογή κυματικών δεδομένων, στις περιπτώσεις που θα επιλεχθεί εμπλουτισμός της παραλίας της Βάρκιζας, η οποία παρουσιάζει συρρίκνωση, λόγω της παράκτιας διάβρωσης. Επιπλέον, η ύπαρξη στοιχείων για το κυματικό καθεστώς είναι απαραίτητη σε περιπτώσεις επέκτασης ή κατασκευής νέων λιμανιών ή παρέμβασης στο υπάρχοντα λιμένα (Synolakis et al., 2008).

Η συλλογή δεδομένων που αφορούν το κυματικό καθεστώς και το καθεστώς των ρευμάτων των ακτών του κόλπου της Βάρκιζας, πραγματοποιείται για πρώτη φορά. Το όργανο τοποθετήθηκε σε βάθος 25 μέτρων στο κέντρο του κόλπου (εικόνα 11).



Εικόνα 11: Σημείο τοποθετήσεως οργάνου

3.4.2. Αξιοποίηση υφισταμένης πληροφορίας για τον υπολογισμό των κυματισμών

Δεδομένα για τα κύματα, εκτός τις κυματομετρήσεις, συνελέγησαν και από την βάση δεδομένων του Ποσειδώνα Ελ.Κε.Θ.Ε., για σύγκριση των μετρήσεων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ο Άτλαντας κυματισμών του Ελ.Κε.Θ.Ε. που έχει εκτιμήσεις κυματισμών για την περιοχή της Βάρκιζας για την περίοδο (1995-2004). (Σουκισιάν, et al. 2007)

3.5 Ανεμολογικά στοιχεία της περιόδου μελέτης

Τα ανεμολογικά στοιχεία συνελέγησαν και από την βάση δεδομένων του Ποσειδώνα Ελ.Κε.Θ.Ε. και από την Ε.Μ.Υ. Τα δεδομένα του Ποσειδώνα είναι από ανεμολογικό σταθμό σε σημαδούρα ανοιχτά του Σαρωνικού (37.605°N , 23.567°E), ενώ της Ε.Μ.Υ. είναι από την Ν. Αττική - ο σταθμός βρίσκεται στην περιοχή του Ελληνικού. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν εκτιμήσεις από τον Άτλαντα. Σκοπός ήταν η ποιοτική συσχέτιση κυματισμών με ανέμους στην περιοχή.

3.6. Μεθοδολογία κοκκομετρικών αναλύσεων παράκτιων ιζημάτων

Οι κοκκομετρικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο των κοσκίνων (αδρομερή ιζήματα). Συλλέχθηκαν δείγματα βάρους $\sim 1\text{kg}$ σε διαστήματα επί των

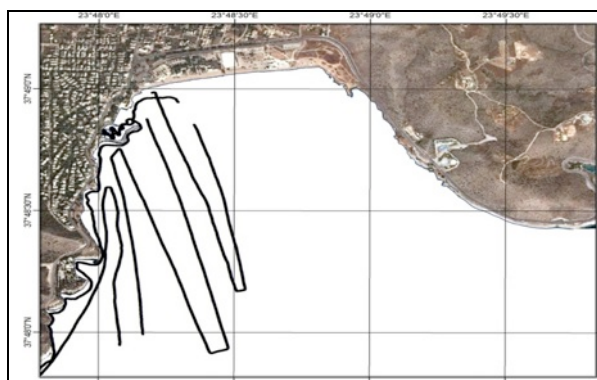
τοπογραφικών τομών της χερσαίας ζώνης και του υποθαλάσσιου της παραλίας. Ακολούθησε κοσκίνιση και υπολογίστηκε το ποσοστό της μέσης διαμέτρου d_{50} του δείγματος. Σκοπός ήταν η περισυλλογή δειγμάτων από της ίδιες τομές μετά από έντονο καιρικό φαινόμενο, ώστε να διερευνηθούν αλλαγές στο μέσο μέγεθος κόκκων d_{50} .

4. Αποτελέσματα

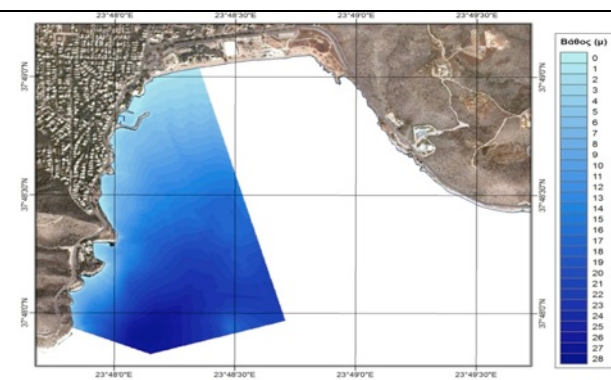
4.1. Βαθυμετρία του κόλπου

Στο όρμο της Βάρκιζας επιχειρήθηκε η βαθυμετρική αποτύπωση, προκειμένου να ενταχθεί η υποθαλάσσια τοπογραφία στην ερμηνεία της δυναμικής του κυματισμού στην ακτή (εύρος παραμόρφωσης και θραύσης των έντονων κυματισμών).

Η αποτύπωση της βαθυμετρίας και οι διαδρομές που έγιναν παρουσιάζονται στην Εικόνα 12. Για λόγους τεχνικούς, δεν ολοκληρώθηκε η αποτύπωσή της και συμπληρώθηκε με δεδομένα από τον αντίστοιχο χάρτη της Υδρογραφικής Υπηρεσίας .

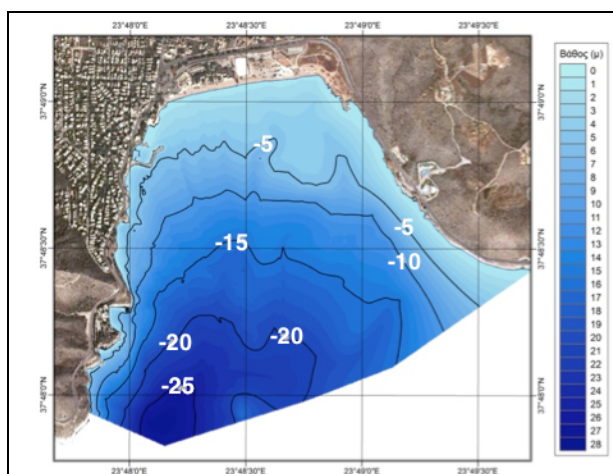


Εικόνα 12: Πορεία αποτύπωσης τις ακτογραμμής

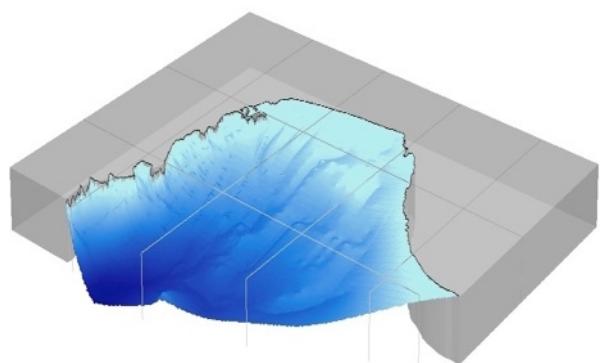


Εικόνα 13: Ισοβαθείς καμπύλες από την αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε σε αυτήν την μελέτη.

Με την χρήση του Arc GIS έγινε υπολογισμός ισοβαθών στη δυτική πλευρά του κόλπου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Ακολούθησε ψηφιοποίηση του αντίστοιχου χάρτη της υδρογραφικής υπηρεσίας και έτσι δημιουργήθηκε ο νέος βαθυμετρικός χάρτης που παρατίθεται στην Εικόνα 14, και στην Εικόνα 15, σε τρισδιάστατη μορφή.



Εικόνα 14: Ο νέος βαθυμετρικός χάρτης του κόλπου της Βάρκιζας



Εικόνα 15: Τρισδιάστατη αναπαράσταση της βαθυμετρίας του κόλπου της Βάρκιζας

Η βαθυμετρία της περιοχής έδειξε ότι ο υποθαλάσσιος χώρος παρουσιάζει ένα σχετικά ομαλό υποθαλάσσιο ανάγλυφο, που συντελεί στην προοδευτική μείωση της δράσης του κυματισμού, και κατά συνέπεια στη μείωση της ενέργειας που καταλήγει στην ακτή.

4.2. Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των ακτών με φερτές ύλες

Ο μηχανισμός τροφοδοσίας των ακτών με φερτές ύλες, συνοψίζεται στην φυσική διεργασία της παραγωγής, μεταφοράς και απόθεσης στις ακτές φερτών υλών. Οι φερτές ύλες παράγονται κυρίως στη χέρσο και είναι προϊόντα αποδόμησης των γεωλογικών σχηματισμών, μέσω μηχανικής και χημικής αποσάθρωσης.

Η περιοχή αποτελείται από μάρμαρα, δολομίτες, σχιστόλιθους ψαμμίτες και ιλυόλιθους. Τα πετρώματα αυτά είναι σχετικά ανθεκτικά τόσο στην μηχανική όσο και στην χημική αποσάθρωση, δίνουν όμως προϊόντα που συνίστανται από αργιλλικά συστατικά, αμμώδη συστατικά και γωνιώδη τεμάχια κυρίως μαρμάρων.

Τα προϊόντα της αποσάθρωσης οδηγούνται, μέσω της διάβρωσης και της μεταφοράς από τις απορροές, προς τα χαμηλότερα. Σημαντικό μέρος καταλήγει στην εκβολή ποταμών ή χειμάρρων, και «παραδίδεται» στην περαιτέρω δυναμική της κυματικής δράσης. Κατά την διάρκεια της μεταφοράς τα φερτά υλικά έχουν υποστεί επί πλέον μηχανική και χημική αποσάθρωση, και στην ακτή φτάνουν πλέον ως λεπτόκοκκη φάση (άργιλος και ιλύς), ως άμμος ποικίλων κοκκομετρικών διαβαθμίσεων, αλλά και σαν χάλικες υποστρογγυλοποιημένοι καθώς και σαν στρογγυλοποιημένες κροκάλες.

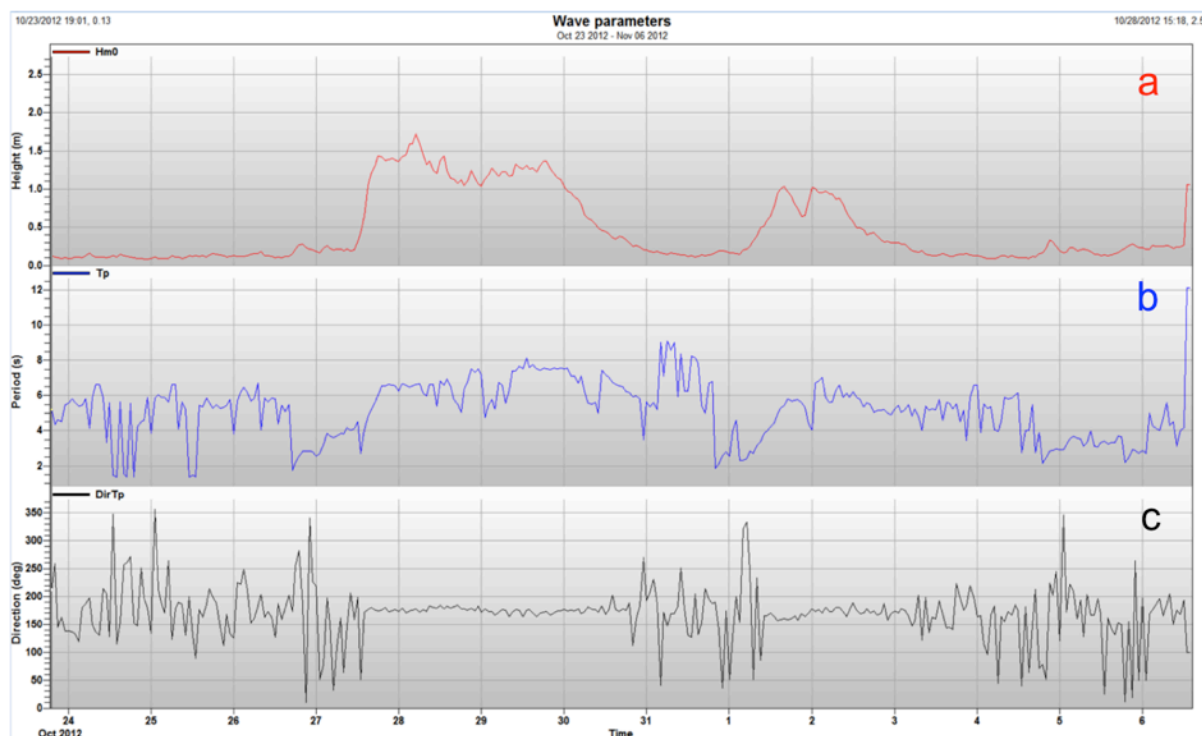
4.3. Ο μηχανισμός διευθέτησης των φερτών υλών στην ακτή

4.3.1. Οι μετρήσεις και τα πειραματικά δεδομένα της παρούσα εργασίας

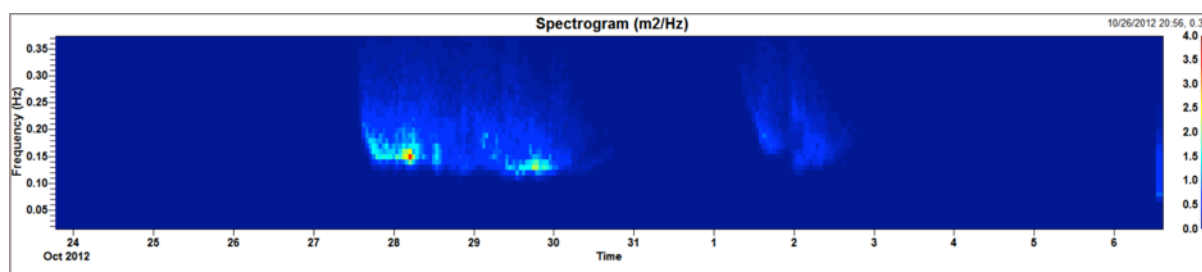
4.3.1.1. Μετρήσεις κυμάτων

Οι μετρήσεις κυμάτων έγιναν από τον Νοέμβριο 2012 έως τον Μάιο 2013. Το όργανο AWAC κατέγραψε έναν ολόκληρο κυματικό χειμώνα. Κατά την περίοδο αυτή ο καταμετρητής ποντίστηκε τέσσερις φορές, καταγράφοντας τέσσερα διαφορετικά χρονικά διαστήματα: 23 Οκτωβρίου 2012 – 6 Νοεμβρίου 2012, 09 Νοεμβρίου 2012 – 27 Δεκεμβρίου 2012, 28 Δεκεμβρίου 2012 – 23 Μαρτίου 2013 και 15 Απριλίου 2013 – 10 Μαΐου 2013. Σημαντικά γεγονότα παρατηρήθηκαν μόνο κατά το πρώτο, δεύτερο και τρίτο διάστημα.

Στο **πρώτο χρονικό διάστημα** διήρκεσε, από 23 Οκτωβρίου 2012 μέχρι 6 Νοέμβριου 2012 και οι μετρήσεις αποτυπώνονται στην Εικόνα 16. Στο τμήμα a της εικόνας (εικόνα 16) αποτυπώνονται (με κόκκινο χρώμα) το ύψος κύματος, στο τμήμα b (με μπλε χρώμα) η περίοδος του κύματος και στο τμήμα c (με μαύρο χρώμα) η κατεύθυνση του κύματος.



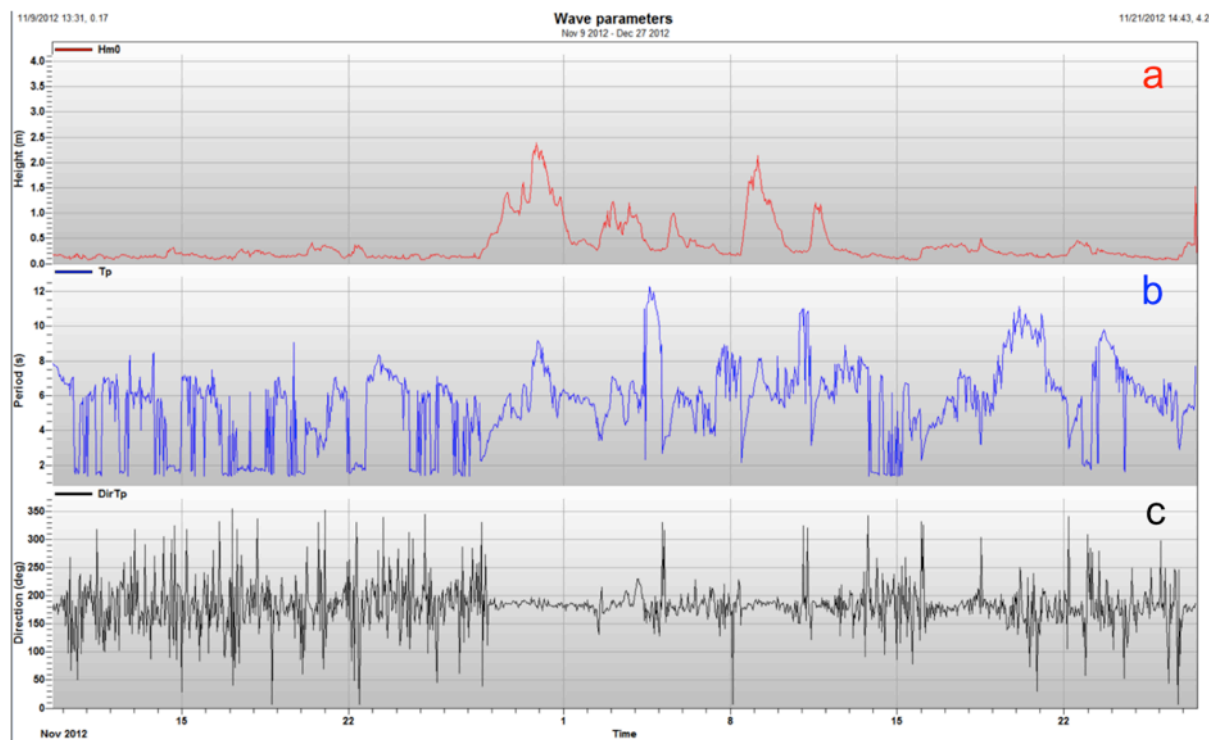
Εικόνα 16: Μετρήσεις κυμάτων 23 Οκτωβρίου 2012 – 6 Νοέμβριου 2012: a σημαντικό ύψος κύματος, b περίοδος κύματος, c κατεύθυνση κύματος



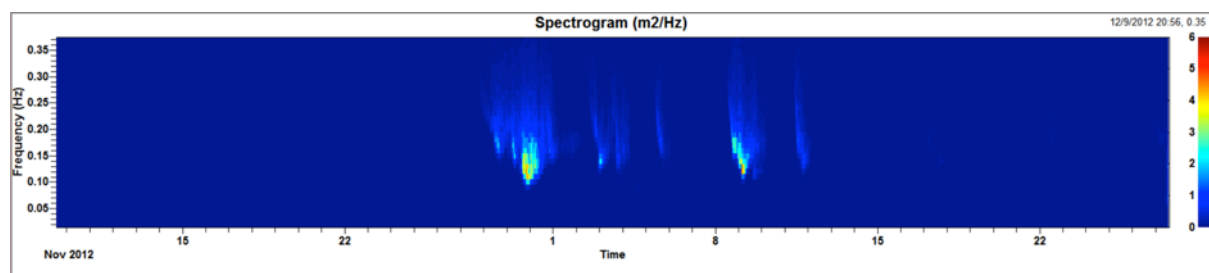
Εικόνα 17: Απεικόνιση ενέργεια m2/Hz 23 Οκτωβρίου 2012 – 6 Νοέμβριου 2012

Σε αυτό το χρονικό διάστημα παρατηρείται ένα **αξιοσημείωτο και μεγάλης χρονικής διάρκειας κυματικό γεγονός** από 27-30 Οκτωβρίου 2012, με σημαντικό ύψος κύματος 1.5m, περίοδο 8 sec και κατεύθυνση κύματος 180^0 μοίρες. Επίσης παρατηρείται ένα ακόμη γεγονός από 1-3 Νοέμβριου 2012, χαμηλότερης έντασης, με ύψος κύματος 1m, περίοδο 7 sec και κατεύθυνση επίσης 180^0 μοίρες. Η απεικόνιση στην εικόνα 16, που δείχνει πώς η ενέργεια διανέμεται και στην συχνότητα και στον χρόνο. Οι μονάδες μετρήσεις της φασματικής ενέργειας είναι m^2/Hz . Η διαχρονική εξέλιξη της φασματικής ενέργειας, αποτυπώνεται στην Εικόνα 17.

Το δεύτερο χρονικό διάστημα ήταν από 9 Νοεμβρίου 2012 μέχρι 27 Δεκεμβρίου 2012. Οι μετρήσεις αποτυπώνονται στην Εικόνα 18. Παρατηρούνται δυο σημαντικά γεγονότα, ήτοι, από 28 Νοεμβρίου 2012 μέχρι 1 Δεκεμβρίου 2012 με σημαντικό ύψος 2.5m και από 8-11 Δεκεμβρίου 2012 με σημαντικό ύψος 2m. Η κατεύθυνση και στα δύο γεγονότα είναι περίπου 180° και η σημαντική περίοδος κυμαίνεται από 7 - 8 sec.



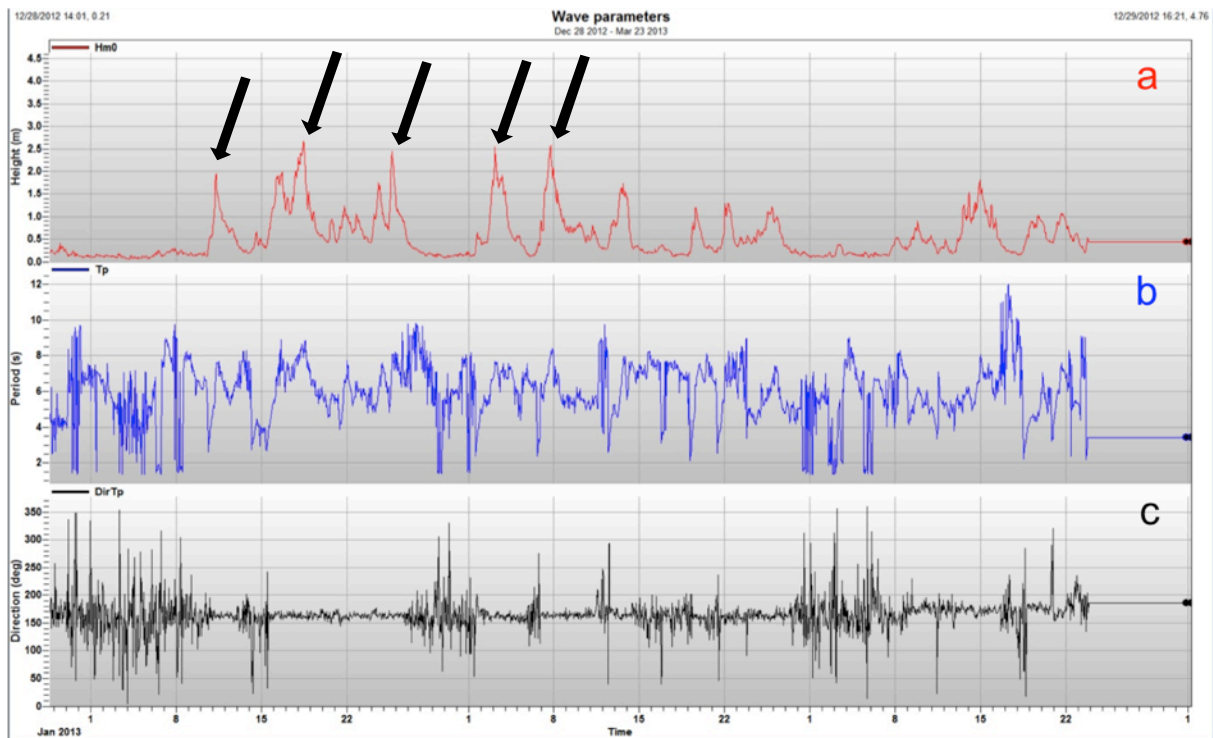
Εικόνα 18: Μετρήσεις κυμάτων 9 Νοέμβριου 2012 – 27 Δεκεμβρίου 2012: α σημαντικό ύψος κύματος, β περίοδος κύματος, γ κατεύθυνση κύματος



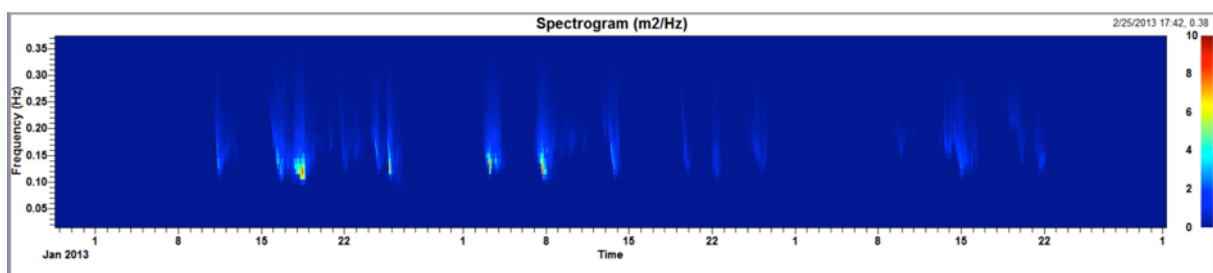
Εικόνα 19: Απεικόνιση ενέργεια m2/Hz 9 Νοέμβριου 2012 – 27 Δεκεμβρίου 2012

Επίσης από 2-4 Δεκεμβρίου 2012 και 12-14 Δεκεμβρίου 2012 σηματοδοτούνται γεγονότα χαμηλότερης έντασης με ύψος κύματος 1m και κατεύθυνση ΝΝΔ. Η Εικόνα 19 παρουσιάζει την εξέλιξη της ενέργειας του φάσματος.

Στο **τρίτο χρονικό διάστημα** από 28 Δεκεμβρίου 2012 μέχρι 23 Μαρτίου 2013 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 20 παρατηρούνται πέντε σημαντικά γεγονότα, (ήτοι, α) από 10-12 Ιανουαρίου 2013 με σημαντικό ύψος 2.0m, β) από 15-18 Ιανουαρίου 2013 με σημαντικό ύψος 2.7m, γ) από 23-25 Ιανουαρίου 2013 με σημαντικό ύψος 2.5m, δ) από 01-06 Φεβρουαρίου 2013 με σημαντικό ύψος 2.5m και ε) 08-10 Φεβρουαρίου 2013 με σημαντικό ύψος 2.5m. Η κατεύθυνση και στα πέντε γεγονότα είναι περίπου 180° και η σημαντική περίοδος κυμαίνεται από 7 - 8 sec. Η Εικόνα 21 παρουσιάζει την εξέλιξη της ενέργειας του φάσματος.

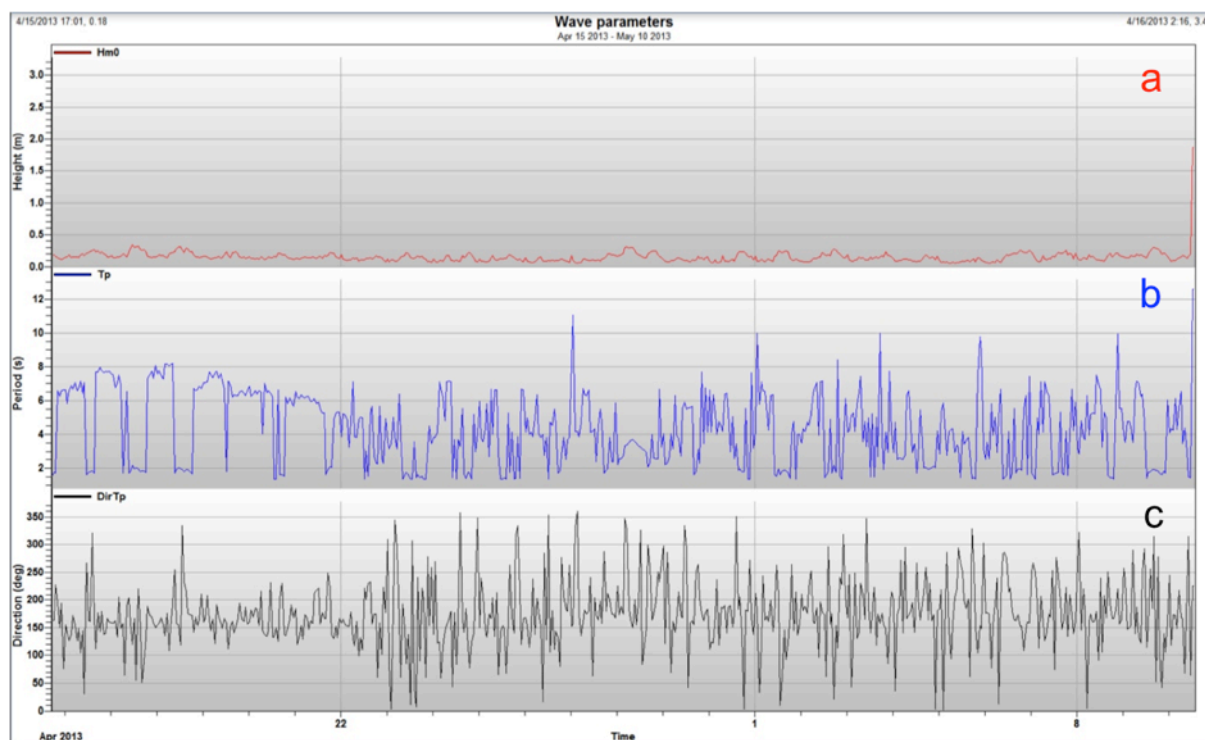


Εικόνα 20: Μετρήσεις κυμάτων 28 Δεκεμβρίου 2012 – 23 Μαρτίου 2013: α σημαντικό ύψος κύματος, β περίοδος κύματος, γ κατεύθυνση κύματος

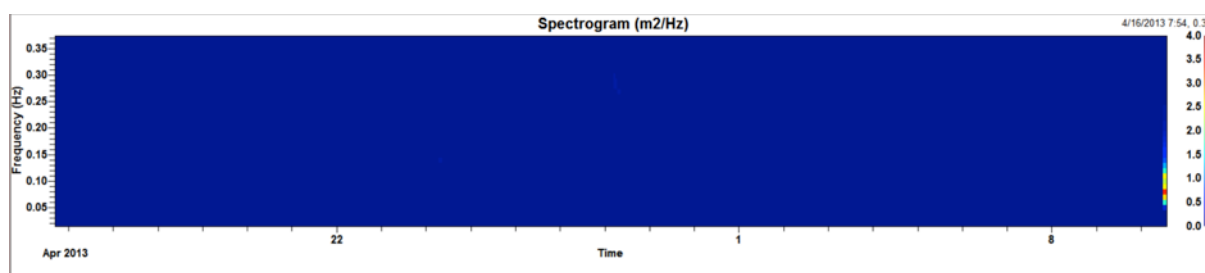


Εικόνα 21: Απεικόνιση ενέργεια m^2/Hz 28 Δεκεμβρίου 2012 – 23 Μαρτίου 2013

Στο τέταρτο χρονικό διάστημα από 15 Απριλίου 2013 μέχρι 10 Μαΐου 2013 που παρουσιάζεται στην Εικόνα 22 δεν παρατηρείται κανένα αξιοσημείωτο γεγονός.

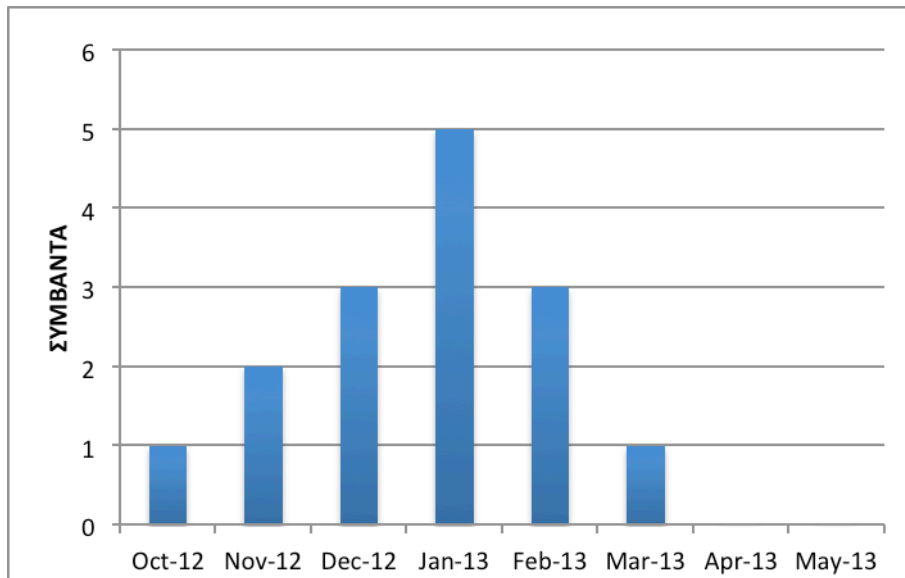


Εικόνα 22: Μετρήσεις κυμάτων 15 Απριλίου 2013 – 10 Μαΐου 2013: α σημαντικό ύψος κύματος, β περίοδος κύματος, γ κατεύθυνση κύματος



Εικόνα 23: Απεικόνιση ενέργεια m^2/Hz 15 Απριλίου 2013 – 10 Μαΐου 2013

Συνοπτικά οι μετρήσεις έδειξαν ότι ο όρμος της Βάρκιζας δέχεται την δράση εντόνων κυματισμών από το τέλος Οκτωβρίου μέχρι τα μέσα Μαρτίου, αν φυσικά η εν λόγω χρονική περίοδος είναι χαρακτηριστική. Η Εικόνα 24 απρουπώνει την μηνιαία εμφάνιση εντόνων κυματικών συμβάντων για την περίοδο εκτέλεσης των πειραματικών μετρήσεων που έγιναν στα πλαίσια της παρούσα εργασίας. Φαίνεται λοιπόν ότι ο Ιανουάριος 2013 διαφοροποιείται με πέντε έντονα κυματικά συμβάντα, που οφείλονται σε νότιους ανέμους. Ακολουθούν ο Δεκεμβρίου 2012 και Φεβρουάριος 2013 με τρία έντονα κυματικά συμβάντα. Στα συμβάντα του Ιανουαρίου 2013 το σημαντικό ύψος κύματος κυμαίνεται από 1.5 – 2.7m με περίοδο από 7-8sec και κατεύθυνση 180° .



Εικόνα 24: μηνιαία εμφάνιση των εντόνων κυματικών συμβάντων

Λαμβάνοντας υπόψη την μορφολογία του συγκεκριμένου όρμου ένας κυματισμός με σημαντικό ύψος κύματος 2.5m αρχίζει να παραμορφώνεται σε βάθος 7m και απόσταση από την ακτογραμμή 450m και θραύεται σε βάθος 2m και περίπου 100m απόσταση από την ακτογραμμή. Τέτοια έντονα κυματικά φαινόμενα σηματοδοτούνται επίσης και από μεγάλο εύρος αναρρίχησης του κύματος στο χερσαίο τμήμα της παραλία. Στην Εικόνα 25 φαίνεται το ίχνος να απέχει από την ακτογραμμή περί τα 40m.



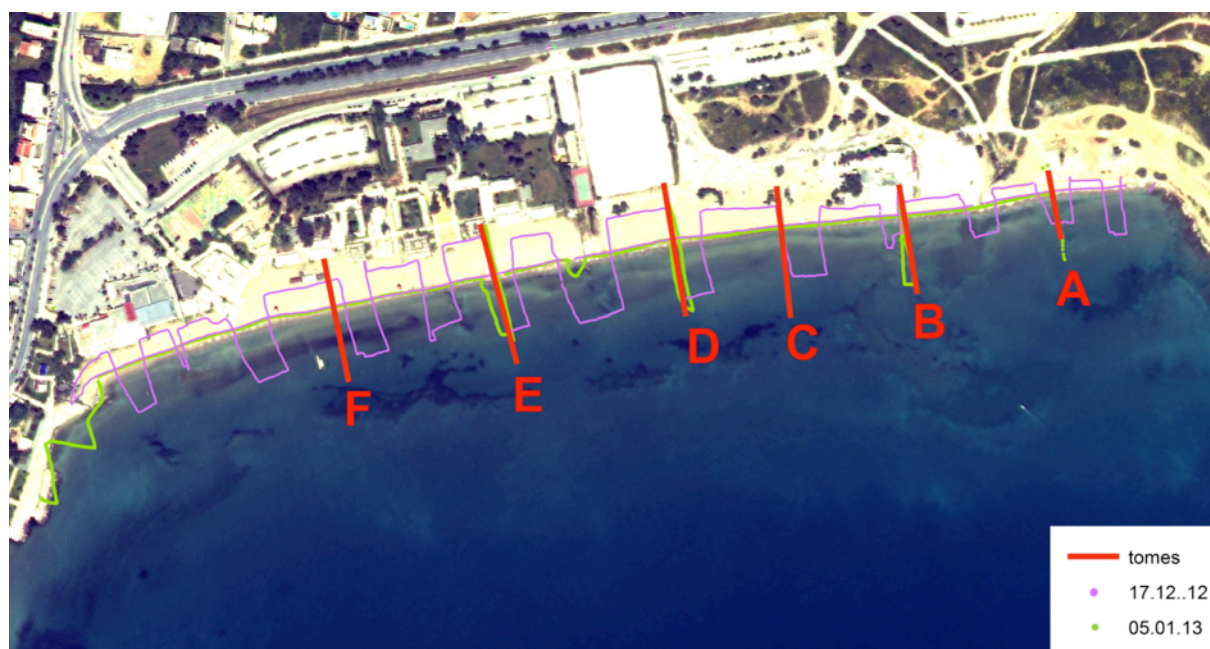
Εικόνα 25: Ίχνος μετά από κυματικό συμβάν (λήψη Χρ. Αναγνωστού 06.01.2012)

4.3.1.2 Τοπογραφικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα

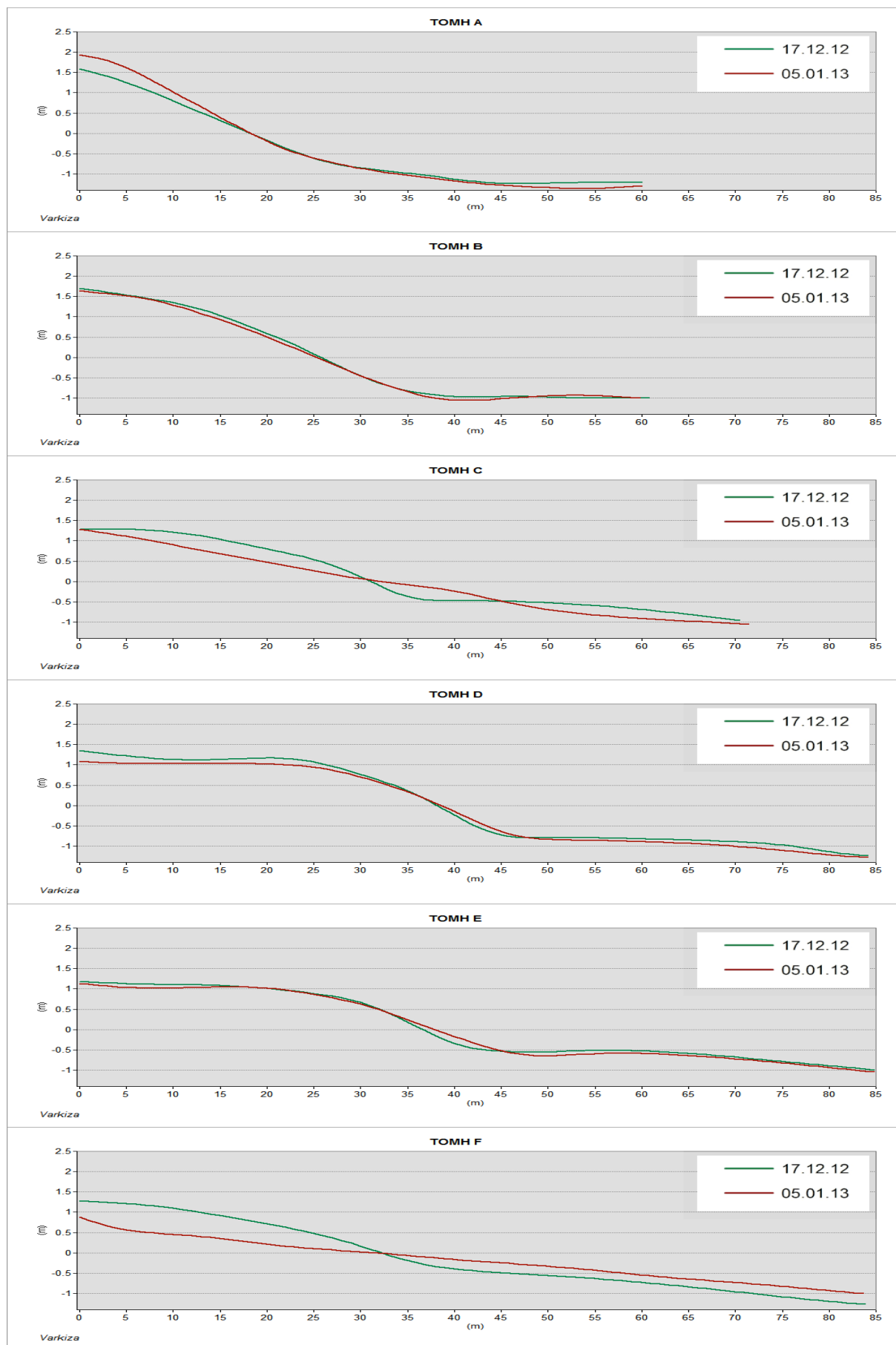
Για να αξιολογηθούν οι τοπογραφικές χερσαίες και υποθαλάσσιες μεταβολές επελέγησαν έξι εγκάρσιες τομές στην παραλία. Οι αποτυπώσεις πραγματοποιήθηκαν στις 21 Φεβρουαρίου 2012, 21 Απριλίου 12, 17 Δεκεμβρίου 2012, 05 Ιανουαρίου 2013, και 18 Φεβρουαρίου 2013.

Από τις παραπάνω αποτυπώσεις επιλέγησαν αυτές που επιτρέπουν συσχετισμούς με τα κυματικά συμβάντα αλλά και σύγκριση ενός ετήσιου κύκλου. Κυματικά δεδομένα υπήρξαν όπως αναφέρθηκε, από τις 23 Οκτωβρίου 2012 μέχρι 10 Μαΐου 2013. Έχουν επιλεγεί λοιπόν για σύγκριση η αρχική τοπογραφία της 21ης Φεβρουαρίου 2012, 17ης Δεκεμβρίου 2012, 05ης Ιανουαρίου 2013 και 18ης Φεβρουαρίου 2013. Η πρώτη σύγκριση αναφέρεται στα χρονικά διαστήματα από 17 Δεκεμβρίου 2012 μέχρι 05 Ιανουαρίου 2013. Η δεύτερη είναι από 05 Ιανουαρίου 13 μέχρι 18 Φεβρουαρίου 2013 και η τρίτη είναι η ετήσια σύγκριση από 21 Φεβρουαρίου 2012 μέχρι 18 Φεβρουαρίου 2013.

Η πρώτη σύγκριση αναφέρεται σε σύγκριση διατομών σε δυο χρονικές στιγμές 17 Δεκεμβρίου 2012 (με πράσινο χρώμα) και 5 Ιανουαρίου 2013 (με κόκκινο χρώμα) (εικόνα 25). Στην Εικόνα 26 έχουν αποτυπωθεί οι πορείες συγκέντρωσης βαθυμετρικών, υψομετρικών στοιχείων αλλά και η θέση των διατομών αναφοράς για την αποτύπωση των μικρο μορφολογικών μεταβολών της ακτής. Οι διατομές C και F δεν αποτυπώθηκαν στις 5 Ιανουαρίου 2013. Έτσι στην Εικόνα 27 έχει γίνει υπολογισμός με σύγκριση κοντινότερων σημείων. Αυτό είναι ένας παράγοντας αβεβαιότητας για την ορθή αξιοποίηση της τοπογραφίας για τις συγκεκριμένες διατομές C και F.



Εικόνα 26: Τοπογραφικών αποτυπώσεων 17 Δεκεμβρίου 2012 (μοβ διαδρομή) και 5 Ιανουαρίου 2013 (πράσινη διαδρομή) διακρίνεται η παράλειψη 5 Ιανουαρίου 2013 δεν έγινε αποτύπωση της τομής C και F. Αυτό στοιχειοθετεί ένα λόγο να μην δεχτούμε την σύγκριση αυτών των τομών.

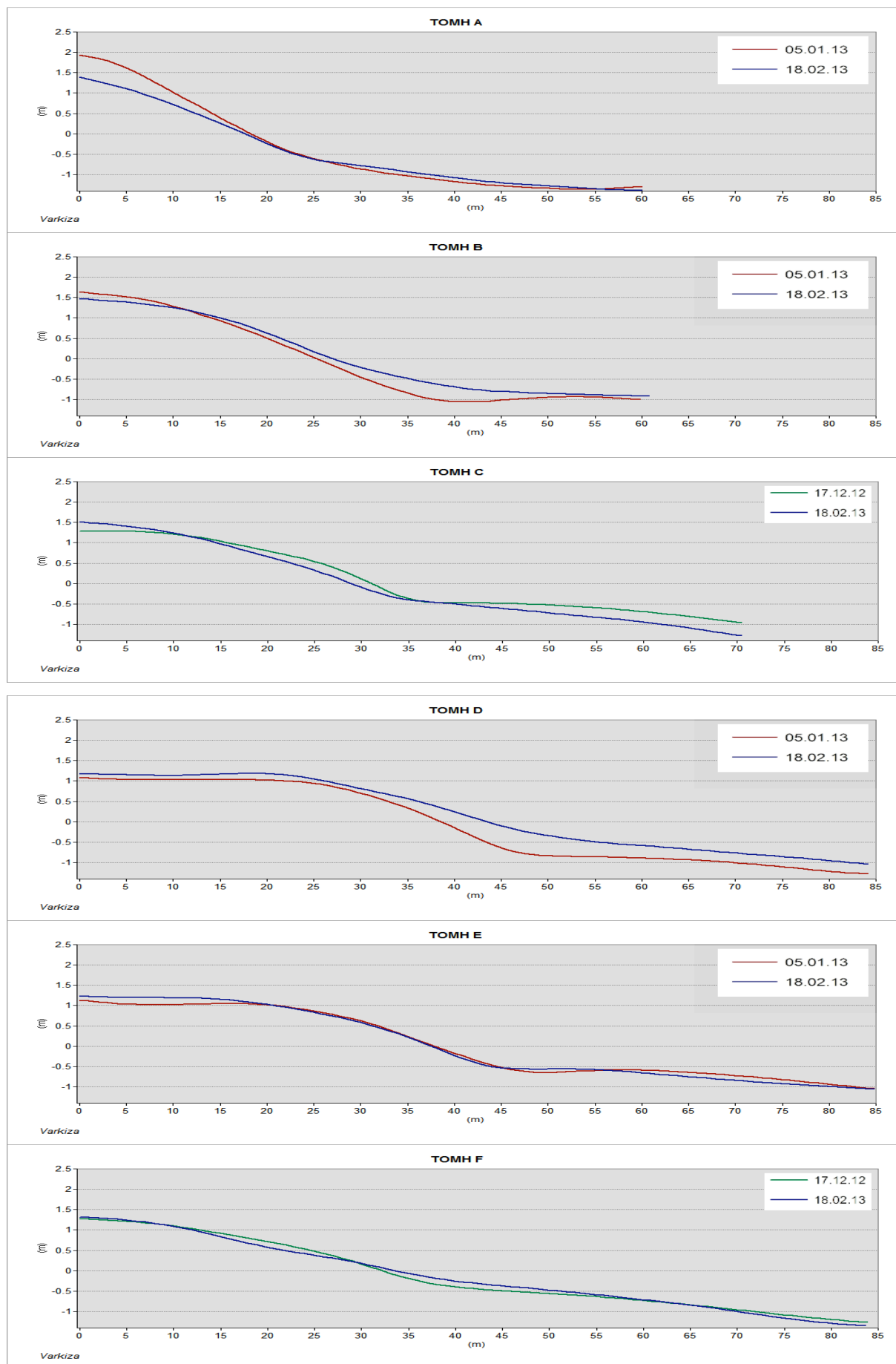


Εικόνα 27: 1η Σύγκριση Εγκάρσιων τομών 17.12.12 μέχρι 05.01.13 (για την θέση των τομών βλ. Εικόνα 26)

Στην **δεύτερη σύγκριση** συγκρίνονται, οι διατομές της 5^{ης} Ιανουαρίου 2013 και της 18^{ης} Φεβρουαρίου 2013. Για της τομές όμως C και F, χρησιμοποιήθηκε η παλαιότερη διατομή, της 17^{ης} Δεκεμβρίου 2012, αφού όπως η αποτύπωση της 5^{ης} Ιανουαρίου 2013 δεν υλοποιήθηκε. Στην Εικόνα 27 έχουν αποτυπωθεί οι πορείες συγκέντρωσης μικρο τοπογραφικών δεδομένων (x,y,z) της 5^{ης} Ιανουαρίου 2013 και της 18^{ης} Φεβρουαρίου 2013. Στην Εικόνα 29 έχουν αποτυπωθεί οι σύγκρισεις των τομών A,B,C,D,E,F. Ανατολικά της ακτής στην τομή A, στο χερσαίο τμήμα της έχουμε απομάκρυνση των υλικών, και είναι στο υποθαλάσσιο τμήμα η συσσώρευση υλικών. Στην Τομή B επίσης από το χερσαίο τμήμα έχουν απομακρυνθεί υλικά, που έχουν αποτεθεί στο υποθαλάσσιο τμήμα. Η αύξηση του όγκου στο υποθαλάσσιο τμήμα είναι τέτοια που σηματοδοτεί μια ιζηματομεταφορά από ανατολικά προς τα δυτικά. Στην τομή C υπάρχει μια μείωση του όγκου, ενώ στην D υπάρχει αύξηση του όγκου ανάλογης με την τομή C. Τομή E και F παραμένουν σταθερές. Το ίδιο δείχνουν και οι σύγκρισεις των ακτογραμμών των δυο αποτυπώσεων μεταβολής στην ακτογραμμή (εικόνα 28).



Εικόνα 28: Τοπογραφικών αποτυπώσεων 5 Ιανουαρίου 2013 (πράσινη διαδρομή) 18 Φεβρουαρίου 2013 (γαλάζια διαδρομή)



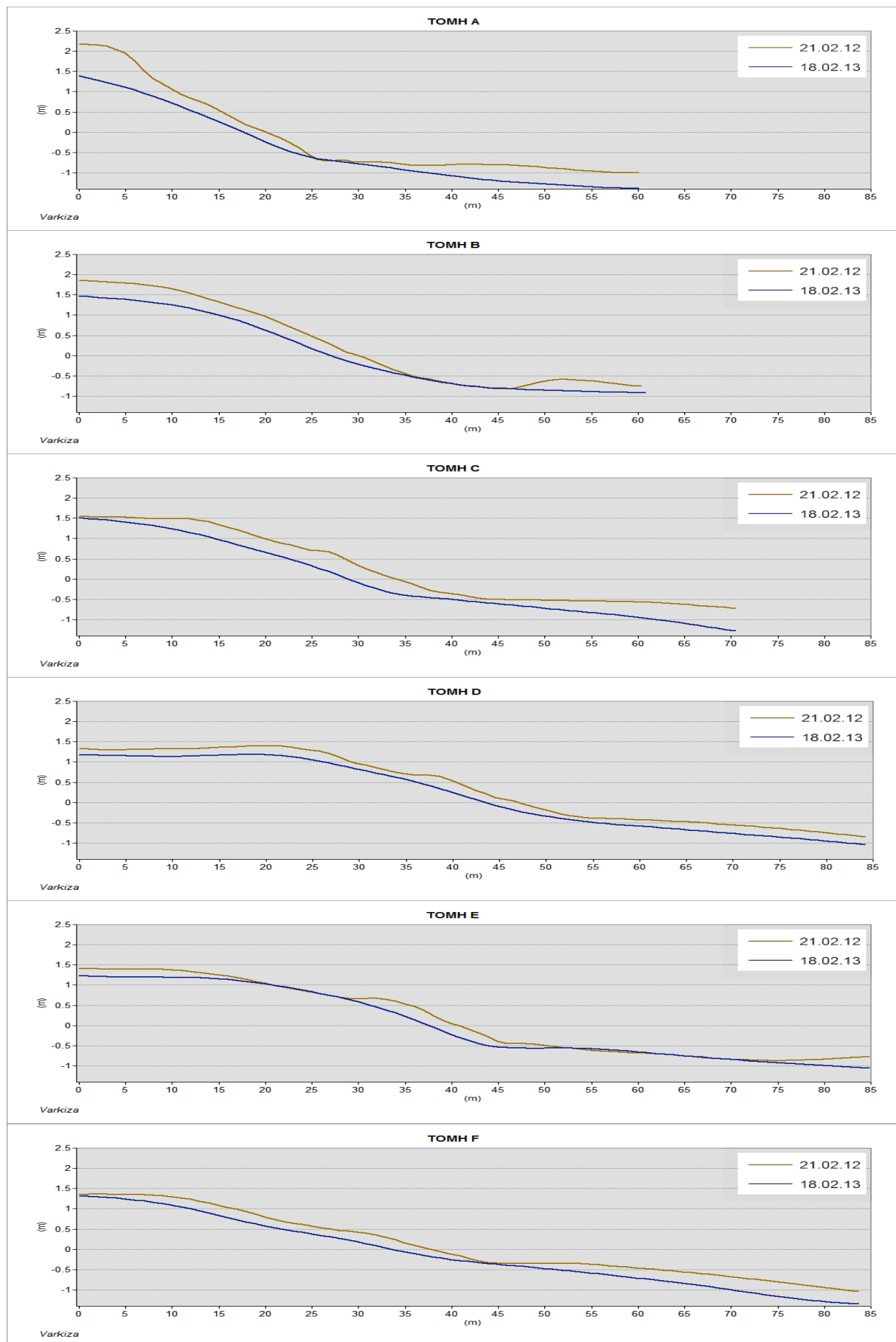
Εικόνα 29: 2η Σύγκριση Εγκάρσιων τομών 05.01.13 μέχρι 18.02.13 (για την θέση των τομών βλ. Εικόνα 28)

Τέλος η **τρίτη σύγκριση** είναι ετήσια και συγκεκριμένα συγκρίνονται οι τομές της 21.02.12 και της 18.02.13. Στην Εικόνα 30 φαίνονται οι πορείες συγκέντρωσης των μικρο τοπογραφικών στοιχείων για την 21 Φεβρουαρίου 2012 και για την 18 Φεβρουαρίου 2013. (Φαίνεται ένταση και η θέση των τομών A,B,C,D,E,F).



Εικόνα 30: Τοπογραφικών αποτυπώσεων 21 Φεβρουαρίου 2012 (πράσινη διαδρομή) 18 Φεβρουαρίου 2013 (γαλάζια διαδρομή). Ετήσια σύγκριση

Η σύγκριση των τομών δείχνει σταθερή μείωση στον όγκο της παραλίας και υποχώρηση της ακτογραμμής κατά περίπου 3 μέτρα. Αυτή η υποχώρηση της ακτής οφείλεται στην συγκεκριμένη χρονιά που έγιναν οι μετρήσεις. Από ανατολικά προς δυτικά στις τομές A,B,C (εικόνα 31) παρατηρείται μείωση του όγκου της παραλίας περίπου ομοιόμορφα. Μετά την τομή D η πτώση του όγκου είναι μικρότερη και στις τομές E,F, ο όγκος παραμένει σταθερός αλλά μεταβάλλεται η ακτογραμμή., γεγονός που ίσως υπονοεί ότι η ιζηματομεταφορά είναι από ανατολικά προς τα δυτικά.



Εικον 31: 3η Σύγκριση Εγκάρσιων τομών 21.02.12 μέχρι 18.02.13 (για την θέση των τομών βλ. Εικόνα 30)

4.3.1.3. Κοκκομετρικές μεταβολές μετά από έντονα κυματικά συμβάντα

Κοκκομετρικές αναλύσεις έγιναν από δείγματα που περισυλλέγησαν από συγκεκριμένες θέσεις των ιδίων τιμών στις οποίες έγινε και η μικρο-τοπογραφική αποτύπωση, δηλαδή των έξι τομών Α,Β,Σ,Δ,Ε,Ζ. Από κάθε τομή πάρθηκαν δυο δείγματα από την υποαέρια παραλία, ένα δείγμα από την ακτογραμμή και δυο υποθαλάσσια δείγματα.

Στις ίδιες θέσεις επαναλήφθηκαν οι δειγματοληψίες αμέσως μετά από έντονα κυματικά συμβάντα. (21 Φεβρουαρίου 2012, 17 Δεκεμβρίου 2012, 5 Ιανουαρίου 2013, 18 Φεβρουαρίου 2013). Έτσι λοιπόν αναλύθηκαν κοκκομετρικά πέντε δείγματα από κάθε τομή και για τέσσερα κυματικά συμβάντα, είκοσι δειγμάτα από κάθε τομή και συνολικά 120. Μετά την κοκκομετρική ανάλυση, υπολογίστηκε το μέσο μέγεθος των δειγμάτων που αναλύθηκαν. (d50). Τα δεδομένα απεικονίζονται στην Εικόνα 33.

Συγκρίνοντας όλα τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν τα ακόλουθα:

- α) Δεν υπάρχουν αξιοσημείωτες διαφορές στην κοκκομετρική σύσταση των ιζημάτων μετά από κάθε συμβάν, τόσο στα δείγματα της υποαέριας παραλίας όσο και στα δείγματα της ακτογραμμής, καθώς και στα υποθαλάσσια δείγματα.
- β) Υπάρχει αξιοσημείωτη διαβάθμιση του μέσου μεγέθους των κόκκων από την Τομή Α (στα ανατολικά του όρμου) μέχρι την Τομή Ζ (στα δυτικά του όρμου), με σταδιακή μείωση του μέσου μεγέθους των κόκκων από την Τομή Α μέχρι την Τομή Ζ, και στην υποαέρια παραλία καθώς και στην υποθαλάσσια.

Η μη διαφοροποίηση του μέσου μεγέθους του ιζήματος μεταξύ κυματικών συμβάντων υποδεικνύει ότι το ίζημα ίσως έχει φτάσει μια ωριμότητα ως προς τα υλικά του, και ότι κατά την κυματική δράση αφαιρούνται οι λεπτόκοκκες φάσεις και μεταφέρονται δυτικά.

Οι παρατηρήσεις πεδίου έδειξαν επίσης συμπτώματα έντονης διάβρωσης της ακτής στα ανατολικά τμήμα της (εικόνα 32), άλλα και συσσώρευση λεπτόκοκκων ιζημάτων στο δυτικότερο τμήμα της παραλίας.



Εικόνα 32: Ανατολικό τμήμα της Βάρκιζας έντονη διάβρωση

Μάλιστα αυτή η μεταφορά δρά προσχωματικά για το λιμανάκι της Βάρκιζας, και πράγματι ανά διαστήματα γίνονται βυθοκορήσεις για να εκβάθυνση της λιμενολεκάνης για την εξυπηρέτηση των σκαφών.

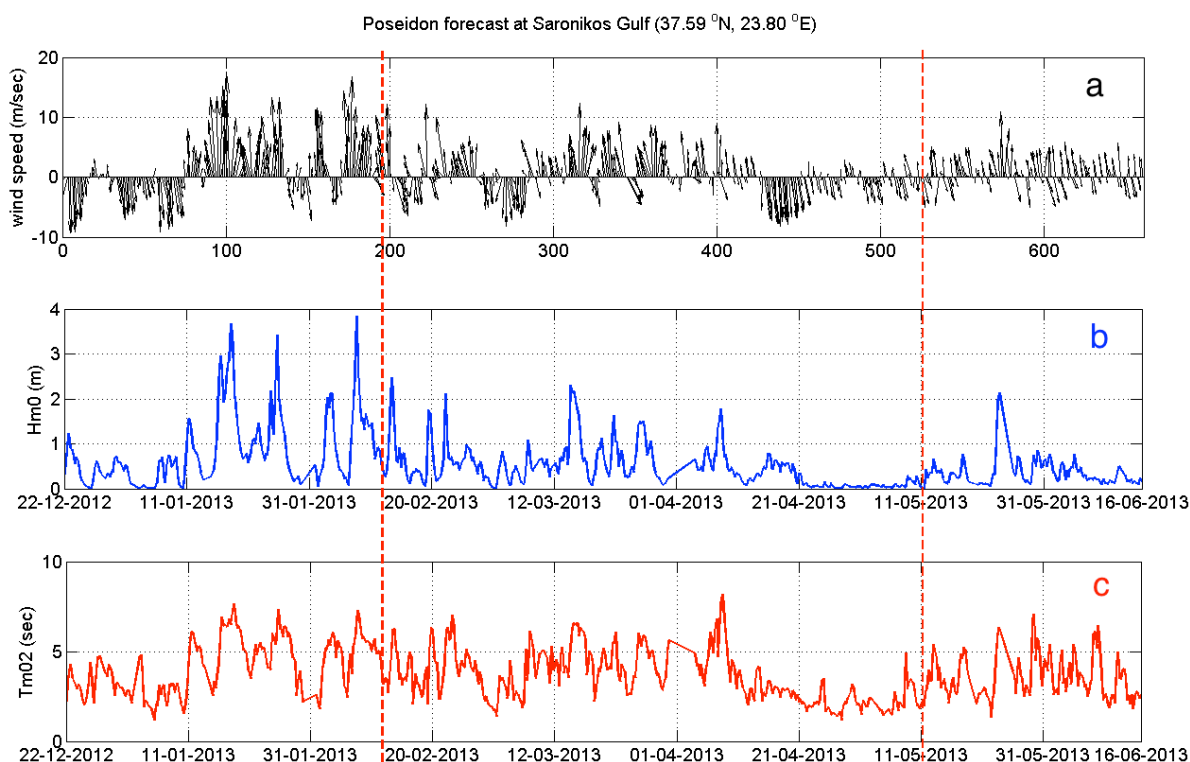


Εικόνα 33: κοκομετρική ανάλυση d50 για τις τομές A,B,C,D,E,F

4.3.2. Αποτύπωση ανεμολικού κυματικού καθεστώος ανοιχτά του όρμου της Βάρκιζας με βάση την μαθηματική προσομοίωση του Ποσειδώνα

Στην Εικόνα 34 παρουσιάζονται οι προβλέψεις του μοντέλου Ποσειδώνα από τις 22 Δεκεμβρίου 2012 μέχρι 16 Ιουνίου 2013. Στην Εικόνα 34 α φαίνεται η ταχύτητα ανέμου και η κατεύθυνση, ενώ στην εικόνα 34 b το σημαντικό ύψος κύματος και στην εικόνα 34 c η περίοδος. Τρία έντονα κυματικά γεγονότα από 11 μέχρι 25 Ιανουαρίου 2013 είναι προφανή ενώ από 1-6 Φεβρουαρίου 2013, 8 -10 Φεβρουαρίου 2013, και από 20 - 25 Μαΐου 2013 ένα έντονο κυματικό συμβάν ανά περίοδο. Η κατεύθυνση του ανέμου στα παραπάνω χρονικά διαστήματα είναι νότια και η ένταση είναι $10 = 20$ m/sec. Η περίοδος του κύματος είναι από 6-8 sec.

Συγκρίνοντας τα συμβάντα με τις παράκτιες μετρήσεις διαπιστώνεται καλή ανταπόκριση των στοιχείων της μαθηματικής προσομοίωσης



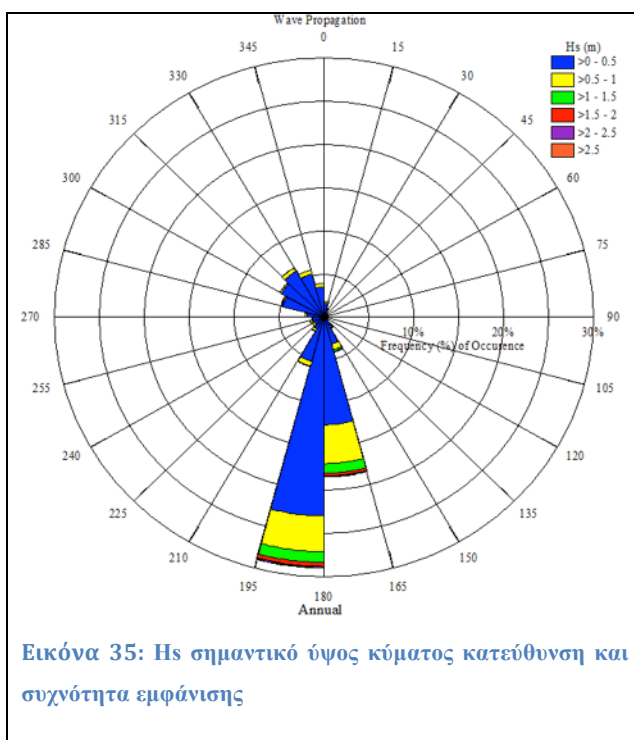
Εικόνα 34: Πρόβλεψη του μοντέλου Ποσειδώνα για χρονική περίοδο 22 Δεκεμβρίου 2012 με 16 Μαΐου 2013 ανοιχτά από τον όρμο της Βάρκιζας (37.59° N, 23.80° E)

4.3.3. Άνοιγμα του παράγοντα χρόνου πέραν του πλαισίου των πειραμάτων της παρούσας εργασίας

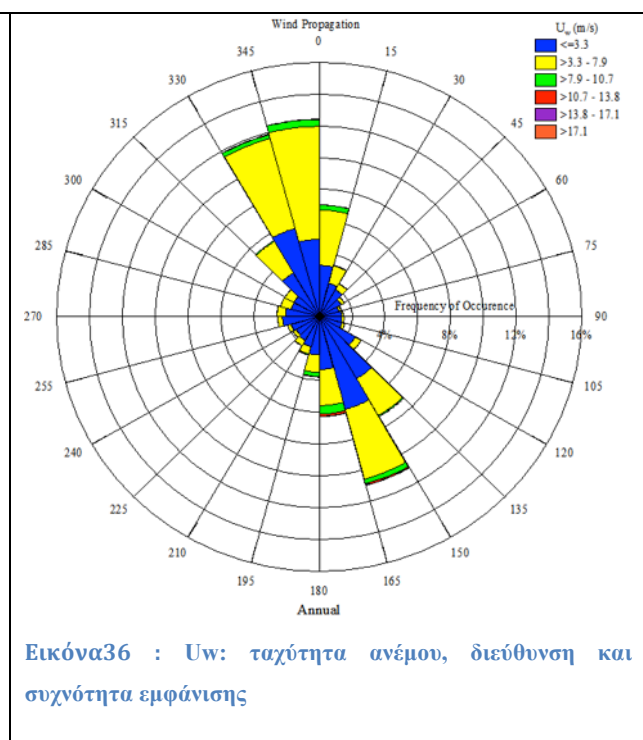
4.3.3.1. Αναφορά στο κυματικό καθεστώς με στοιχεία του Άτλαντα ανέμων και κυμάτων

Ο κυματικός Άτλαντας δίνει στοιχεία για χρονική περίοδο 10 ετών. Οι υπολογισμοί είναι από 1995 μέχρι το 2004.

Η Εικόνα 35 απεικονίζει το σημαντικό ύψος κύματος στα βαθιά νερά. Εκτός από το ύψος κύματος παρουσιάζεται η κατεύθυνση και συχνότητα εμφάνισής του. Από το ροδόγραμμα φαίνεται ότι τα κύματα είναι κυρίως από νότια. Στην Εικόνα 36 απεικονίζεται η ένταση του ανέμου, η κατεύθυνση και συχνότητα εμφάνισης. Οι μετρήσεις είναι από το ίδιο σημείο με το σημαντικό ύψος κύματος. Η συχνότητα εμφάνισης των Βόρειων ανέμων είναι μεγαλύτερη αλλά αυτό δεν επηρεάζει τις κυματικές διεργασίες στον όρμο της Βάρκιζας.



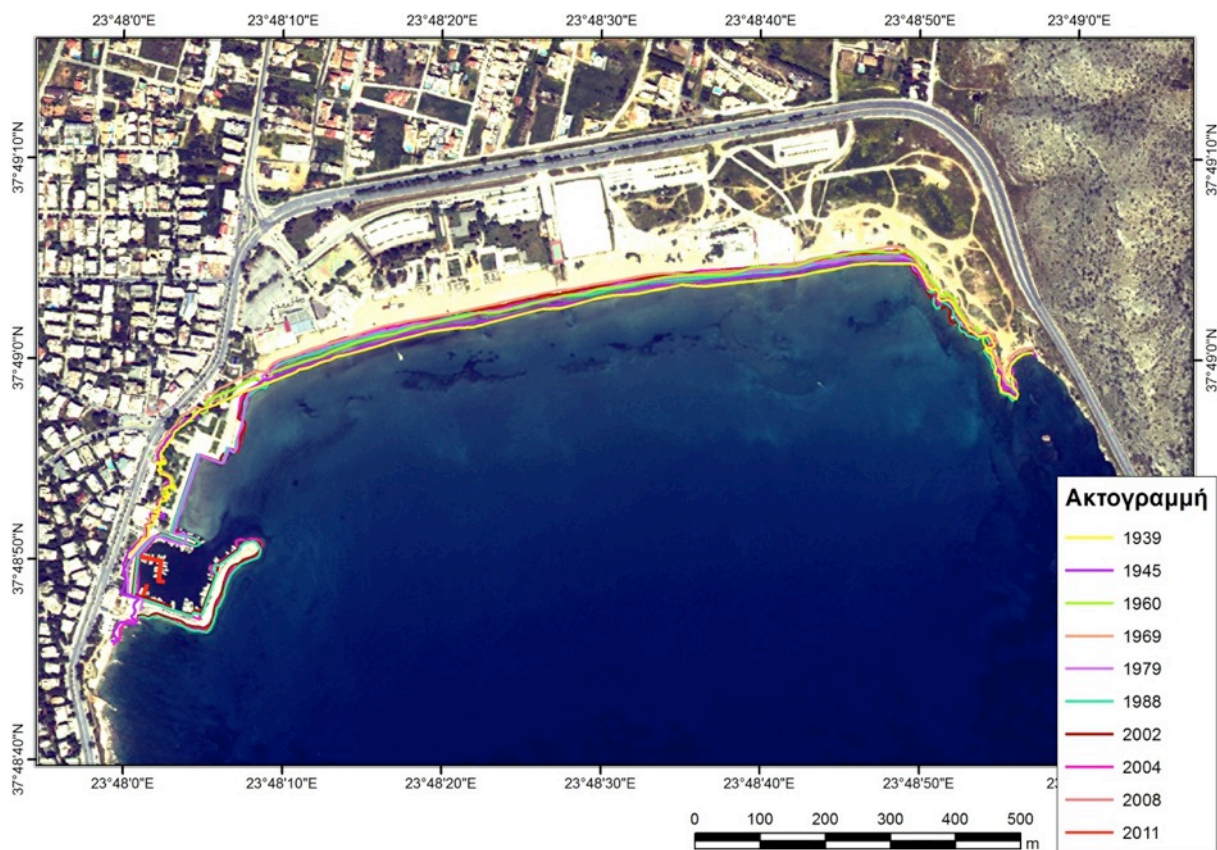
Εικόνα 35: Hs σημαντικό ύψος κύματος κατεύθυνση και συχνότητα εμφάνισης



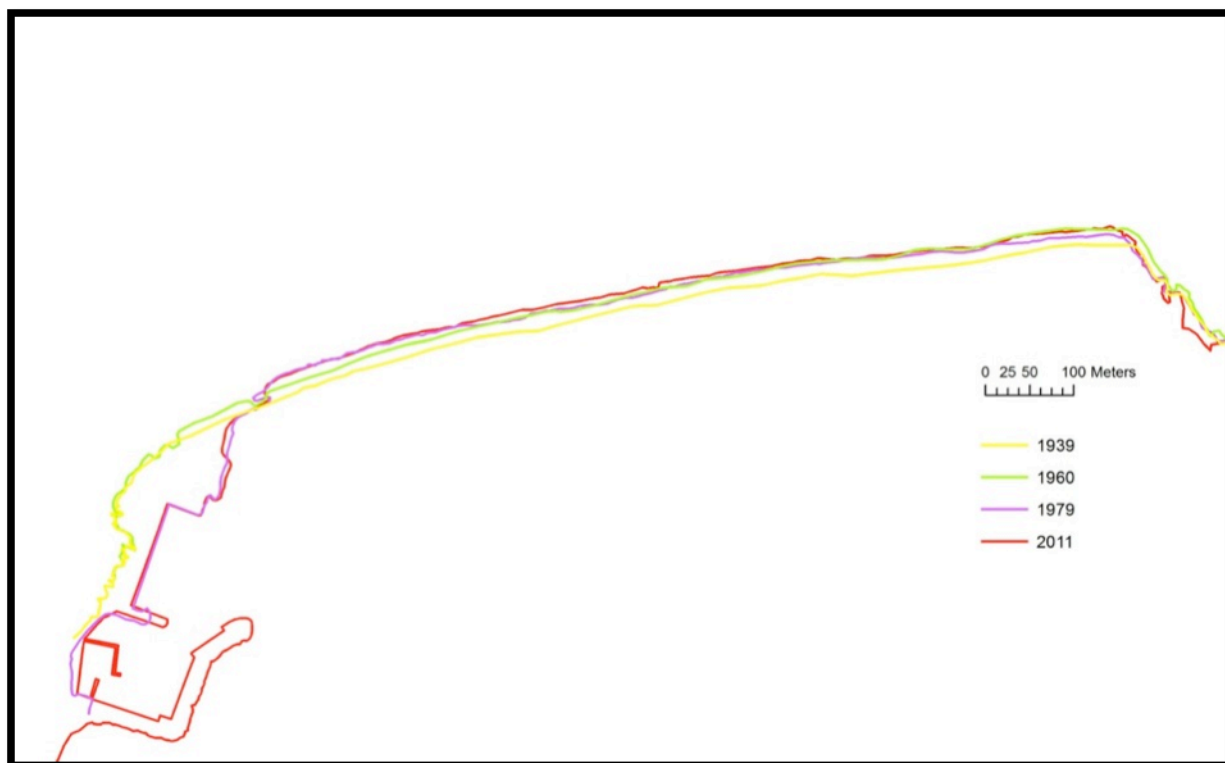
Εικόνα36 : Uw: ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση και συχνότητα εμφάνισης

4.3.3.2. Πρόσφατη εξέλιξη της ακτογραμμής με βάση την πληροφορία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων

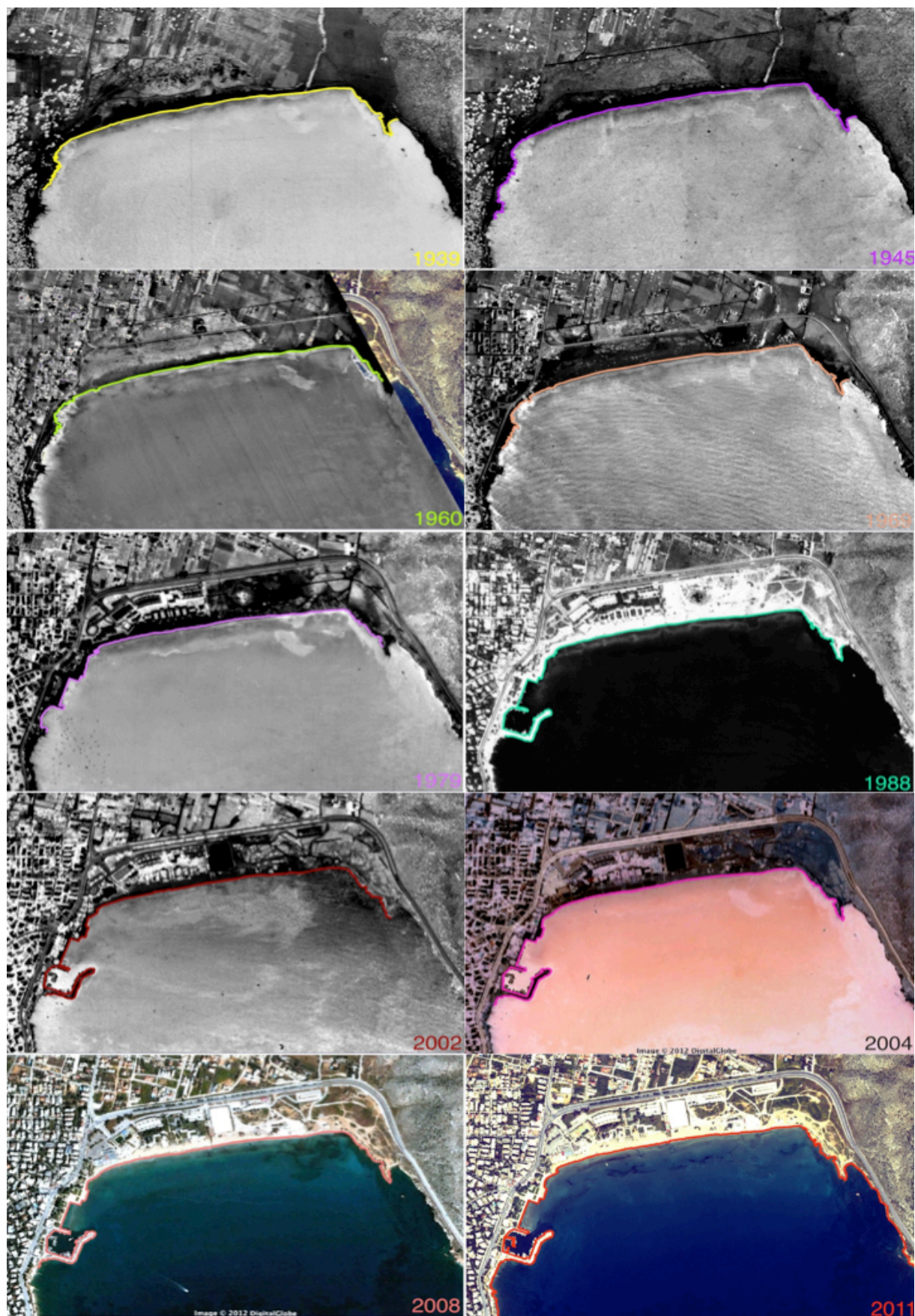
Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες για τον όρμο της Βάρκιζας υπάρχουν από το 1935 μέχρι και 2011. Στην Εικόνα 37 παρουσιάζονται οι ακτογραμμές από τις χρονιές (1935, 1945, 1960, 1969, 1979, 1988, 2002, 2011). Είναι προφανές ότι η ακτογραμμή με την πάροδο του χρόνου έχει μειωθεί. Από το 1935 μέχρι το 1960 έχει μειωθεί στο ανατολικό τμήμα 20m και 14μ στο δυτικό. Από το 1960 μέχρι 1969 έχει μειωθεί στο κεντρικό τμήμα και το δυτικό περίπου 13m, ενώ το ανατολικό παραμένει σταθερό. Από το 1969 μέχρι 1979 παρουσιάζεται αύξηση της ακτογραμμής στο κεντρικό τμήμα 13m και στο ανατολικό τμήμα 8m ενώ στο δυτικό τμήμα παραμένει σταθερό.



Εικόνα 37: Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής



Εικόνα 38: Διαχρονική εξέλιξη της ακτογραμμής 1939, 1960, 1979, 2011



Εικόνα 39: Αεροφωτογραφίες 1939, 1945, 1960, 1969, 1979, 1988, 2002, 2004, 2008, 2011

4.3.4. Ανθρωπογενείς παράγοντες που έχουν επηρεάσει την δυναμική της ακτής

Συγκρίνοντας τις αεροφωτογραφίες και τις δορυφορικές εικόνες (εικόνα 6) προκύπτουν οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

Το 1939 ο όρμος της Βάρκιζας ήταν ανεκμετάλλευτος και απείρακτος. Η κατασκευή της λεωφόρου Αθηνών-Σουνίου σε απόσταση περίπου 180m το 1960 ήταν η πρώτη μεγάλη παρέμβαση. Ακολουθεί έντονη οικιστική δόμηση και η κάλυψη της παράκτιας ζώνης με τουριστικά, οικιστικά και παραθεριστικά συγκροτήματα. Το 1979, το δυτικό μέρος της παραλίας της Βάρκιζας "διευθετήθηκε" για την διευκόλυνση ελλιμενισμού μικρών σκαφών.

Η διευθέτηση και η εκτροπή της κοίτης του ρέματος Κόρμπι, για την εξυπηρέτηση ανθρώπινων δραστηριοτήτων και την διευκόλυνση της οικοδόμησης της περιοχής, άρχισε να εμποδίζει στην τροφοδοτηση της ακτής από φερτές ύλες, με αποτέλεσμα να επιταχυνθεί ο ρυθμός διάβρωσης.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, η υποχώρηση της παραλίας κυμαίνεται από 20m στα ανατολικά της ακτής έως 18 m κοντά στο σημείο εκβολής του ρέματος.

5. Σύνθεση

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν οι μεταβολές στην γεωμορφολογία των ακτών αλλά και οι μεταβολές στη γεωμορφολογική σύσταση του όρμου της Βάρκιζας. Οι μετρήσεις, που έγιναν για πρώτη φορά με την χρήση κυματομετρητή Nortek Awac, παρήγαγαν σημαντικά δεδομένα για το κυματικό καθεστώς της περιοχής. Οι τοπογραφικές αποτυπώσεις που έγιναν στην παραλία, μετά από κάθε κυματικό φαινόμενο, αποτύπωσαν τις μεταβολές που ήρθαν λόγω κυματικού συμβάντος. Οι κοκκομετρικές μετρήσεις ανέδειξαν τις μεταβολές που υφίσταται το ίζημα της παραλία, μετά από κάθε συμβάν.

Η γενική τάση είναι ότι υπάρχει μια παράκτια μετακίνηση των λεπτόκοκκων ιζημάτων από ανατολικά προς την δύτικά. Το ανατολικό τμήμα, στην σημερινή του μορφή διαβρώνεται, και τα υλικά μετακινούνται, κυρίως δυτικά. Στο δυτικότερο σημείο παρατηρείται πρόσχωση με λεπτόκοκκο υλικό, που φαίνεται πως οδηγείται στο λιμάνι της περιοχής της Βάρκιζας με αποτέλεσμα την συχνή βυθοκόρηση του. Πέραν των μετρήσεων, επιχειρήθηκε ανάγνωση των στοιχείων που υπάρχουν στην μαθηματική προσομοίωση του Ποσειδώνα, και προέκυψε μια καλή ποιοτική σύγκριση μεταξύ στοιχείων ανοιχτής θάλασσας και του όρμου της Βάρκιζας.

Η διαχρονική μέσω αεροφωτογραφιών σύγκριση υπέδειξε την δυναμική εξέλιξη της παραλίας τα τελευταία 70 χρόνια. Αρνητικά έδρασαν οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες της αμμοληψίας από τις παραλίες κατά την δεκαετία του 70, όταν αναπτυσσόταν η περιοχή και έγινε διευθέτηση των ποταμών και επέκταση της παραλιακής λεωφόρου. Θετικά για το παράκτιο σύστημα έδρασαν οι τεχνητές τροφοδοσίες της παραλίας από τον Ελληνικό Οργανισμό Τουρισμού που αξιοποίησε το μεγαλύτερο κομμάτι της παραλίας.

6. Συμπεράσματα

Το τελικό συμπέρασμα αυτής της εργασίας είναι ότι ο συνδυασμός μετρήσεων κύματος με μικρο τοπογραφικές μεταβολές και μετρήσεις κοκκομετρικών μεταβολών παρέχει καλή εικόνα της δυναμικής μια προσχογενούς παραλίας. Τα αποτελέσματα της εργασίας θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και για την αξιολόγηση ήπιων παρεμβάσεων στην δυναμική των ακτών.

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

Billiris, H., Paradissis, D., Veis, G., England, P., Featherstone, W., Parsons, B., Cross, P., Rands, P., Rayson, M., Sellers, P., Ashkenazi, V., Davison, M., Jackson, J., & Ambraseys, N. (1991). Geodetic determination of tectonic deformation in central Greece from 1900 to 1988. *Nature*, 350:124-129.

Clement, B. (1983): Evolution geodynamique d' un secteur des Hellinides internes Q L' Attique-Beotie (Grece continentale). These Univ. des ciences et Techn. –De Lille.

Durr, S., Altherr, R., Keller, J., Okrusch, M. & Seidele, E. (1978). The median Aegean crystalline belt: Stratigraphy, Structure, Metamorphism, Magmatism. In: Alps, Apennines, Hellenides, Closs et al. (Eds). *Mediterranean Orogens*, 38, 455-477 pp. Stuttgart.

Katsikatsos, G. (1977, 1986): La structure tectonique de l' Attique et de l'ile de Eubee. *Bull. Soc. Geol. France*, 19:75-80.

Krause, G. (2004). The “Emery-Method” Revisited—Performance of an Inexpensive Method of Measuring Beach Profiles and Modifications. *Journal of Coastal Research*, 20(1):340 – 346.

Lekkas, S. & Lozios, S. (2000). Tectonic structure of Mt. Hymittos (Attica – Greece). *Ann. Geol. Pays Hell.*, 38/C:47-62.

Leleu, M. & Neuman, M. (1969). L age des formations cristallines de l Attique: du Paleozoique au Mesozoique. *Com. Red. Ac. Sc.*, 268D:1361-1363.

Lepsius, R. (1893). Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehne vom Metamorphismus der Gesteine. 196S, Berlin 1893 & μετάφραση Γ. Βουγιούκα, Βιβλιοθήκη Μαρασλή, 592^α. Αθήνα 1906.

Makropoulos, K. (2000). The Earthquake Phenomenon in Greece and Cyprus. Past, Present and Future. Presentation of Laboratory of Seismology and Geophysics, Univ. Of Athens. Athens.

Negris, P. (1915-19). Roches cristallophyliennes et tectonique de la Grece. Imprimerie P.D. Sakellarios, 307 p., Athenes.

Papadeas, G. (2000). Metallogenesis – Mineralization of Lavrion and stratigraphic correlations between Northern and Southern Attica. *3rd Congress of Mineral Wealth*, 163-173 pp, Technical Chamber of Greece, 22-24/11/2000. Athens.

Sindowski, K.H.(1951). Zur Geologie des Lykabettos – Turkowuni – Gebietes bei Athen. *Ann. Geol. Pays Hell.*, (3):11-21.

Soukissian, T.H., Ntoumas, M.C., Anagnostou, C. & Kiriakidou, C. (2010) Coastal Vulnerability of Eastern Saronikos Gulf to intense natural events. *Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference*, 1:863-870.

Synolakis, C., Kalligeris, N., Foteinis, S., & Voukouvalas, E. (2008). The Plight of the Beaches of Crete. *Solutions to Coastal Disasters*, 495-506.

Theuerkauf, E.J. & Rodriguez, A.B. (2012). Impacts of Transect Location and Variations in Along-Beach Morphology on Measuring Volume Change. *Journal of Coastal Research*, 28(3):707 – 718.

Trikkalinos, J. (1940). Über die attischen und wallachischen Orogen Bewegungen in Attika. *Prakt. Akad. Athinen*, 15:437-442.

Voulgaris, N., Kassaras, I., Papadimitriou, P., & Delibasis, N. (2000). Preliminary results of the Athens September 7, 1999 aftershock sequence. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 38/B:51-62.

U.S. Army Corps of Engineers. (2002). Coastal Engineering Manual. Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C. (in 6 volumes).

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γαϊτανάκης, Π. (1982). Φύλλο «ΑΘΗΝΑΙ-ΠΕΙΡΑΙΕΥΣ» - Γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 –ΙΓΜΕ - Αθήνα.

Κατσαβριάς, Ν. (1990). Υπολλείματα μιάς άγνωστης ισοπικής ζώνης των ανατολικών Ελληνίδων στη Λαυρεωτική. *Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών*, 65:96-106.

Κτενάς, Κ. (1930). Έκθεσις περί της λεπτομερούς γεωλογικής χαρτογραφήσεως των Ελληνικών χώρων κατά τα έτη 1917-1925. *Πρακτ. Ακαδημ. Αθηνών*, 2:329-336.

Λόζιος, Σ. (1993). Τεκτονική ανάλυση μεταμορφωμένων σχηματισμών Βορειοανατολικής Αττικής.

Μαρίνος, Γ., & PETRASCHEK, W. (1956). Γεωλογικός χάρτης της μεταλλοφόρου Λαυρεωτικής, κλίμακα 1:50.000. ΙΓΜΕ. Αθήνα.

Παπαδέας, Γ. (1987). Γεωλογική – Τεκτονική εξέλιξη στην Αττική και η Βαρύσκιος μεταλλοφορία μικτών θειούχων και άλλων ορυκτών στην Ελλάδα. *Πρακτ. Ακαδημ. Αθηνών*, 62:429-466.

Παπανικολάου, Δ. & Λόζιος, Σ. (1990). Συγκριτική νεοτεκτονική δομή έντονης (Κορινθία) και ασθενούς (Αττική – Κυκλάδες) δραστηριότητας. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας* 26:47-65

Σκυλοδήμου, Χ. (2002). Γεωμορφολογική και περιβαλλοντική μελέτη της παράκτιας ζώνης της νοτιοδυτικής Αττικής, Αθήνα.

Σουκισιάν, Τ., Χατζηνάκη, Μ., Κορρές, Γ., Παπαδόπουλος, Α., Κάλλος, Γ., Αναδρανιστάκης, Ε. (2007). Ατλαντας Ανέμου και Κύματος των Ελληνικών Θαλασσών, Εκδ. Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, 300 σελ

Φωτιάδη, Α & Καρράς, Ν. (2001). Contribution to the structural study of the Rhodiani ophiolites, voyrinos massif. *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, 34(1):103-109.

Χαραλαμπίκης, Σ. (1952). Συμβολή εις την γνώσιν του Νεογενούς της Αττικής. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 4:1-156.

http://www.channelcoast.org/southeast/survey_techniques/land_based_topographic_surveys/?link=survey_techniques.html

<http://www.scribd.com/doc/46249491/3/Τοπογραφικά-όργανα-και-μέθοδοι-μέτρησης-μηκών>

http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/648/kar_main.pdf?sequence=1

<http://www.nortek-as.com/lib/brochures/datasheet-awac>. Nortek (2010) AWAC brochure (online). Nortek AS, Vangkroken 2 1351 Rud, Norway