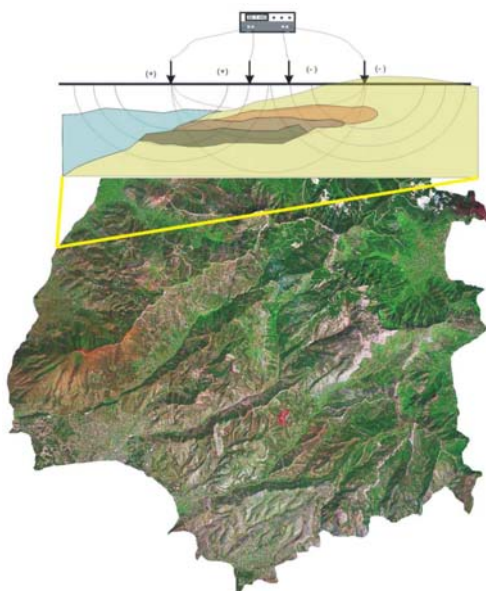




ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΨΩΜΙΑΔΗΣ ΔΑΥΙΔ
ΓΕΩΛΟΓΟΣ

ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ (BEACH ROCKS)
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΑΣΟΥ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΟΥΣ
ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ



ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2005

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής ειδίκευσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν στην εκπόνησή της.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο επιβλέποντα της διατριβής αυτής, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Κωνσταντίνο Αλμπανάκη** για την ανάθεση του θέματος της διατριβής, για την συνεχή και ουσιαστική του επίβλεψη και επιστημονική καθοδήγηση κατά την πραγμάτωση της διατριβής αυτής και για τα επιστημονικά εφόδια τα οποία που προσέφερε στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς :

Τον Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Παναγιώτη Τσούρλο**, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την πολύτιμη συμβολή του στην περάτωση και ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής, καθώς και για τις πολυποίικιλες γνώσεις που μου παρείχε.

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Αντώνιο Ψιλοβίκο**, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις πολύτιμες συμβουλές του, που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής.

Τον Λέκτορα του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Κωνσταντίνο Βουβαλιδη** για τις γνώσεις και τις εμπειρίες που μου προσέφερε, τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας και Διευθυντή του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας κατά της διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής **κ. Θεόδωρο Αστάρα** και τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Ελευθέριο Βαβλιάκη** για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής αυτής.

Τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας **κ. Βασίλειο Χρηστάρα** για τον δανεισμό της διατρητικής συσκευής του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας, με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι πυρηνοληψίες.

Τα μέλη της γραμματείας του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας **κ. Κωνσταντίνο Ματζούνη** και **κ. Κωνσταντίνο Νίτσιου** για την συνεργασία και τη βοήθειά τους.

Όλους τους συναδέλφους μου στον Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας για την σημαντική βοήθεια που μου προσέφεραν, ο καθένας με τον τρόπο του, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής ειδίκευσης.

Όλους όσους συνέβαλαν, φίλους και γνωστούς, στην ολοκλήρωση της διατριβής αυτής, η βοήθεια των οποίων ήταν επίσης σημαντική, τόσο σε ψυχολογικό επίπεδο, όσο και σε πρακτική βοήθεια κατά την εκτέλεση των εργασιών που απαιτούσε η διατριβή.

Τέλος, τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου τις αποστέλλω στην **οικογένειά μου** για τη συνεχή και υπομονετική ηθική και υλική στήριξή τους, χωρίς την οποία δεν θα ήταν δυνατή η αποπεράτωση της παρούσας διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
2	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ.....	10
2.1	ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ.....	10
2.2	ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	11
2.3	ΗΛΙΚΙΑ	11
2.4	ΡΥΘΜΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ.....	13
2.5	ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ	13
2.6	ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ	16
2.7	ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	17
2.7.1	ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	17
2.7.2	ΑΡΧΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΔΟΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗ ΖΩΝΗ	26
2.7.3	ΕΠΟΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ	26
2.8	ΣΥΣΤΑΣΗ - ΥΛΙΚΟ	27
2.9	ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	27
2.10	ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	29
2.11	ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ	31
2.12	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ.....	34
2.13	Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΣΤΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	35
2.13.1	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗ	35
2.13.2	ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ	36
2.13.3	ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ	37
2.14	ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΕΜΦΑΝΙΣΗ- ΗΛΙΚΙΑ).....	37
3	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	42
3.1	ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ	42
3.2	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ	43
3.3	ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	46
3.3.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ	46
3.3.2	ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ	50
3.3.3	ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	50
3.4	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	51
3.5	ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	52
3.5.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	52
3.5.2	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ.....	53
3.5.3	ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ	54
3.5.4	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	55
3.5.5	ΑΝΕΜΟΣ.....	57
3.5.6	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.....	59
3.5.7	ΣΧΕΣΗ DE MARTONNE’S	59
3.6	ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΣΤΗ ΘΑΣΟ.....	61
4	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	64
4.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	64
4.2	ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	64

4.3	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ.....	65
4.4	ΒΥΘΟΜΕΤΡΗΣΗ	66
4.5	ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑ.....	67
5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	68
5.1	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	68
5.2	ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	69
5.3	ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΟΥΣ ΑΙΓΙΑΛΟΥ	72
5.4	ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ	75
5.5	ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥΣ.....	78
5.6	ΒΥΘΟΜΕΤΡΗΣΗ	81
5.7	ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑ.....	83
6	ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ	87
6.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	87
6.2	ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	91
6.3	ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	93
6.4	ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	95
6.5	ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ	96
6.6	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	98
7	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΕΤΗΣΙΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΟΝ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΧΩΡΟ	102
7.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	102
7.2	ΕΠΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	103
7.2.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	103
7.2.2	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ	105
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	109
9	ΣΥΝΟΨΗ.....	112
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	114
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	118
	ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ.....	118
	ΨΕΥΔΟΤΟΜΕΣ	132
	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....	134

Ευρετήριο σχημάτων

Σχήμα 2.1 Ο κύκλος ζωής και η μορφολογική εξέλιξη ενός ψηφιδωπαγούς Αιγιαλού.....	30
Σχήμα 3.1 Θέση της περιοχής μελέτης.....	43
Σχήμα 3.2 Δασικές πυρκαγιές στη Θάσο την περίοδο 1984-1989 (Weingartner, 1994).....	44
Σχήμα 3.3 Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης (Μουντράκης, 1985).....	46
Σχήμα 3.4 Αλληλουχία των μελών του μεταμορφωσιγενούς της Θάσου και των ιζηματογενών σχηματισμών (Βορεάδης, 1953).....	48
Σχήμα 3.5 Γεωλογικός χάρτης.....	49
Σχήμα 3.6 Η διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στη διάρκεια του 24ώρου στην δυτική και την ανατολική Θάσο (Echtinger, 1995).....	54
Σχήμα 3.7 Ετήσια πορεία της (α) μέσης νέφωσης (1932-1993), (β) μέσης βροχόπτωσης (1932-1975) και (γ) μέσης βροχόπτωσης (1932-1993) στη Θάσο.....	55
Σχήμα 3.8 Μηνιαία και ετήσια βροχόπτωση σε δύο θέσεις της Θάσου (Echtinger, 1995).....	56
Σχήμα 3.9 Διάγραμμα συσχέτισης μηνιαίας βροχόπτωσης και μηνιαίας θερμοκρασίας και χαρακτηρισμός του κλίματος ανά μήνα.....	57
Σχήμα 3.10 Διευθύνσεις ανέμων στο Σταθμό της Καβάλας και στο Σταθμό του Λιμένα Θάσου.....	58
Σχήμα 3.11 Θέσεις εμφάνισης beachrock στη νήσο Θάσο (κατά Weingartner, 1994).....	61
Σχήμα 3.12 Εμφανίσεις beachrock στη Θάσο. Πάνω αριστερά : Λιμενάρια. Πάνω δεξιά : Κλείσμα. Κάτω : Σκάλα Καλλιράχης.....	62
Σχήμα 4.1 Κατασκευή των προφίλ της ακτής με τη μέθοδο των δοκών «Emery» (Komar, 1998).....	66
Σχήμα 5.1 Τρισδιάστατη απεικόνιση των υδρολογικών λεκανών και του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής.....	68
Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση των υδρολογικών λεκανών που καταλήγουν στην υπό μελέτη παραλία και των γεωλογικών σχηματισμών που περιλαμβάνουν	69

Σχήμα 5.3 Θέση τεμαχισμού του beachrock και απομάκρυνσής του από την αρχική του θέση.....	70
Σχήμα 5.4 Δόμηση στη περιοχή άνωθεν της παραλίας.....	71
Σχήμα 5.5 Τεχνητός μόλος.....	71
Σχήμα 5.6 Μέτωπο του beachrock προς τη θάλασσα.	72
Σχήμα 5.7 Θέση με εμφανή υποσκαφή του σχηματισμού και κατάπτωση τεμάχους.....	73
Σχήμα 5.8 Κατάπτωση τεμάχους του beachrock.....	73
Σχήμα 5.9 Γλυφές (αριστερά) και ρωγμή (δεξιά) του beachrock.....	74
Σχήμα 5.10 Η θέση απομάκρυνσης του beachrock. Διακρίνεται η διάβρωση που υπέστη η ακτή με την απουσία του σχηματισμού.....	75
Σχήμα 5.11 Θέσεις δειγματοληψίας.....	76
Σχήμα 5.12 Θέσεις των μορφολογικών προφίλ.....	78
Σχήμα 5.13 Θέση της περιοχής βυθομέτρησης στον ευρύτερο χώρο (LANDSAT7, 2000).....	81
Σχήμα 5.14 Ισοβαθείς καμπύλες.....	82
Σχήμα 5.15 Τρισδιάστατη απεικόνιση του πυθμένα (δεξιά) βάσει του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DEM) (αριστερά).....	83
Σχήμα 5.16 Θέσεις πυρηνοληψίας.....	84
Σχήμα 5.17 Οι 10 πυρήνες σε σειρά λήψης.....	85
Σχήμα 6.1 Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.....	87
Σχήμα 6.2 (α) Αρχικό μοντέλο αντίστασης, (β) εικόνα ψευδοτομής δεδομένων δισδιάστατης διασκόπησης που προέκυψαν από το μοντέλο του σχήματος (α).....	89
Σχήμα 6.3. Σχηματοποιημένη διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής.....	90
Σχήμα 6.4 Όργανο λήψης ηλεκτρικών μετρήσεων SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS (επάνω). Ο εξοπλισμός με τη συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης (κάτω).	92
Σχήμα 6.5 Θέσεις πραγματοποίησης των 5 τομογραφιών.....	94
Σχήμα 6.6 Διάταξη των σημείων δεδομένων στην ψευδοτομή για τη διάταξη a) Wenner και b) Wenner-Schlumberger.....	95
Σχήμα 6.7 Τοποθέτηση του καλωδίου στην επιφάνεια της θάλασσας και στην ακτή.	96

Σχήμα 6.8 Ομαδοποίηση των αποχρώσεων και των αντιστάσεων.....	97
Σχήμα 6.9 Τελικά αποτελέσματα των αντιστροφών.....	98
Σχήμα 6.10 Τομογραφίες TH_PRT05 και 03.....	99
Σχήμα 6.11 Τομογραφία TH_PRT02. Απεικόνιση στην τομογραφία της ασυνέχειας του beachrock.....	100
Σχήμα 6.12 Τομογραφία TH_PRT01. Απουσία του beachrock.....	100
Σχήμα 6.13 Τομογραφία TH_PRT04. Κατακερματισμένο beachrock.....	101
Σχήμα 7.1 Χάρτης των τάσεων μεταβολής της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας της Μεσογείου (γραμμική μεταβολή με το χρόνο) από τον Torrex Poseidon για τα έτη 1993-1998.....	102
Σχήμα 7.2 Προσδιορισμός των τιμών του αναπτύγματος πνοής ανέμου (fetch) προς τα δυτικά και προς τα βορειοδυτικά.....	105
Σχήμα 7.3 Πιθανή εξέλιξη της υπό μελέτης ακτής.....	107

Ευρετήριο πινάκων

Πίνακας 2.1 Ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί της Ελλάδας.....	38
Πίνακας 3.1(α) : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρος του μετεωρολογικού σταθμού της Θάσου για την περίοδο 1932-1975.....	53
Πίνακας 3.1(β) : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρος του μετεωρολογικού σταθμού της Θάσου για την περίοδο 1975-1996.....	53
Πίνακας 3.2 : Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας (%) της Θάσου για τις περιόδους 1932-1975 και 1975-1996.....	54
Πίνακας 3.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στη Θάσο σε mm (περίοδος 1932-1975).....	56
Πίνακας 3.4 : Μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (περίοδος 1932-1975).....	58
Πίνακας 3.5 : Χαρακτηριστικά του ανέμου στη Θάσο.....	58
Πίνακας 3.6 : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας της Καβάλας για την χρονική περίοδο 1965-72, (σε °C).....	59
Πίνακας 3.7 Χαρακτηρισμός του κλίματος.....	59
Πίνακας 3.8 Χαρακτηρισμός του κλίματος της περιοχής.....	60
Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα Ιζηματολογικών αναλύσεων.....	77

1 Εισαγωγή

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας της ειδίκευσης «Γεωγραφία και Περιβάλλον», του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εξετάζει το θέμα των ψηφιδοπαγών αιγιαλών (beach rocks) για τα οποία έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη πολυμορφίας στην διεθνή βιβλιογραφία σχετικά με τον τρόπο σχηματισμού τους και την ανάπτυξή τους. Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε με σκοπό αφού συγκεντρώσει και ταξινομήσει τις διεθνείς και ελληνικές αναφορές, να μελετήσει την εμφάνιση ενός ψηφιδοπαγούς αιγιαλού στη νήσο Θάσο και να γίνει προσπάθεια χαρτογράφησης αυτού του σχηματισμού σε τρεις διαστάσεις με εφαρμογή ηλεκτρικής τομογραφίας. Από την μέχρι στιγμής διεθνή βιβλιογραφία, η συγκεκριμένη γεωφυσική μέθοδος εφαρμόζεται για πρώτη φορά στην χαρτογράφηση των ψηφιδοπαγών αιγιαλών.

Οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί είναι ευρέως διαδεδομένοι σχηματισμοί σε παράκτιες περιοχές και σήμερα εμφανίζονται ως συμπαγή επιμήκη στρώματα μικρού πάχους κατά μήκος παραλιών, τα οποία εξαπλώνονται από την αρχή της ακτής ως κάποιο βάθος μέσα στον παράκτιο χώρο. Σε πολλές περιπτώσεις είναι εκτεθειμένα σε ολόκληρη την επιφάνεια του αβαθούς πυθμένα με αποτέλεσμα στις ζώνες αυτές να είναι δύσκολη η προσέγγιση των κολυμβητών.

Σήμερα γίνεται ολοένα και πιο κατανοητό ότι οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί κάθε άλλο παρά αδιάφοροι θα πρέπει να είναι ως προς το ανθρώπινες δραστηριότητες, σε παράκτιες περιοχές με τουριστική ανάπτυξη στην χώρα μας. Στην Ελλάδα τις τελευταίες δεκαετίες έχει ενταθεί η μελέτη των συγκεκριμένων σχηματισμών, γεγονός που ανέδειξε την ευρεία εξάπλωσή τους σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο και μάλιστα σε πολλές περιοχές με πολύ μεγάλη τουριστική και οικιστική ανάπτυξη.

Σε μελέτες ανάπλασης παραλιών έχει τεθεί το θέμα, αν είναι δυνατή με μηχανικά μέσα η καταστροφή και απομάκρυνσή τους ώστε η γίνει δυνατή η ανάπλαση της παραλίας και απόδοσή της σε τουριστική χρήση. Πριν προηγηθεί μελέτη για τις επιπτώσεις από την απομάκρυνση είναι απαραίτητο να γίνουν γνωστά τα στοιχεία του σχηματισμού όσον αφορά τις διαστάσεις και την κατανομή στον χώρο.

Επομένως, η χρήση μιας νέας μεθόδου για την χαρτογράφηση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών, τόσο του τμήματος αυτών που είναι εκτεθειμένο, όσο και του τμήματος που δεν έχει αποκαλυφθεί, θα μπορούσε να διευκολύνει σε αρκετές περιπτώσεις την μελέτη των σχηματισμών αυτών, την οριοθέτησή τους και κατόπιν να διευκολυνθεί τελικά η λήψη αποφάσεων ως προς την διαχείριση αυτών καθώς και γενικά του παράκτιου συστήματος στο οποίο ανήκουν.

Τα χαρακτηριστικά των ψηφιδωπαγών αιγιαλών, η μελέτη τους παγκοσμίως με αναφορές από διεθνή βιβλιογραφία, οι επιδράσεις τους στο παράκτιο σύστημα και στο ανθρώπινο στοιχείο περιγράφονται σε αυτή την εργασία. Επίσης, αναλύονται οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της συγκεκριμένης παραλίας όπου εμφανίζεται ο ψηφιδωπαγείς αιγιαλός αλλά και του ίδιου του σχηματισμού καθώς και η εφαρμογή της γεωφυσικής μεθόδου χαρτογράφησης του και τα αποτελέσματά της.

2 Ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ

Οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί είναι ψαμμιτικοί σχηματισμοί ποικίλης προελεύσεως και κυμαινόμενης αντοχής. Διεθνώς έχει επικρατήσει η ονομασία beach rocks. Ο όρος αυτός μεταφράζεται στα ελληνικά σαν παραλιακό πέτρωμα. Η ερμηνεία όμως αυτή δεν αποδίδει αυτό που ο όρος αντιπροσωπεύει, γιατί λέγοντας παραλιακό πέτρωμα μπορούμε να χαρακτηρίσουμε όλους τους πετρολογικούς σχηματισμούς που για διάφορους λόγους αναπτύσσονται στις παράκτιες ζώνες (Μουστάκα, 1997). Άλλες ονομασίες που κατά καιρούς έχουν δοθεί στους σχηματισμούς αυτούς εκτός από ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί, είναι: σύγχρονοι παραλιακοί ψαμμίτες (Ρουμπάνης, 1971), κροκαλολατυποπαγείς σχηματισμοί, ακτόλιθοι (Λεοντάρης, 1992).

Διάφοροι επιστήμονες έχουν δώσει ορισμούς για να προσδιορίσουν σε μερικές γραμμές την έννοια των ψηφιδοπαγών αιγιαλών (beachrocks). Οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί ορίζονται από τους Scoffin και Stoddart (1983) ως «συνεκτικοποιημένες αποθέσεις που προκύπτουν από την διαγένεση-λιθοποίηση των παράκτιων ιζημάτων από ασβεστίτικο ή/και αραγωνιτικό συγκολλητικό υλικό στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη κυρίως των τροπικών ακτών». Κατά τους Rey, Rubio, Bernabeu, Vilas (2004) η ταχεία συνεκτικοποίηση των ιζημάτων στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη σε παραλίες τροπικών, υποτροπικών ή και εύκρατων περιοχών οδηγεί στο σχηματισμό χαρακτηριστικών συναποθετικών λιθοποιημένων δομών που ονομάζονται διεθνώς beachrocks.

Συνοψίζοντας τους όρους από διάφορες επιστημονικές πηγές, μπορούμε να πούμε ότι τα beachrocks προέρχονται από την συνεκτικοποίηση παράκτιων χαλαρών ιζημάτων (αμμο-χάλικων) στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, από ασβεστίτικο (calcitic) ή/και αραγωνιτικό (aragonitic) συγκολλητικό υλικό (cement), το οποίο προέρχεται από χημικές διεργασίες που σχετίζονται με το θαλάσσιο ή/και μετεωρικό (γλυκό) νερό. Η διεργασία λαμβάνει χώρα είτε επιφανειακά ή/και κάτω από ένα λεπτό στρώμα ιζημάτων στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και συμπεριλαμβάνει ιζήματα ποικίλων διαμέτρων και κλαστικής ή/και βιογενούς προέλευσης (Βουσδούκας, 2005, από Bathurst, 1975, Hopley, 1986, Cooper, 1991, El-Sated and Abou Auf, 1995, Neumeier, 1999, Kneale, 2000). Λόγω της ιδιότητας τους να δημιουργούνται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, αποτελούν άριστους δείκτες θαλάσσιας στάθμης και έτσι,

έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές σχετικές μελέτες (π.χ. Yaltirak, 2002, Tatum, 2003, Bezerra, 2003) (Βουσδούκας, 2005).

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη επίσημη αναφορά παρουσίας ψηφιδωπαγών αιγιαλών έγινε το 1817 από τον Sir Francis Beauford (the Admiralty Hydrographer) και στην συνέχεια από τον Δαρβίνο στο Pernambuco της Βραζιλίας το 1841 (Βουσδούκας, 2005). Από τότε έχουν αναφερθεί εμφανίσεις σε πολλές ακτές του κόσμου συμπεριλαμβανομένων αυτών της Μεσογείου και της Ελλάδας (Russell, 1962, 1993, Alexandersson, 1972, El-Sayed, 1988, Strasser et al., 1989, Chronis and Anagnostou, 1997, Plomaritis, 1999, Tatum, 2003, Spurgeon, 2003). Μέχρι την δεκαετία του 70 επικρατούσε η άποψη ότι ο σχηματισμός ψηφιδωπαγών αιγιαλών αποτελούσε χαρακτηριστικό φαινόμενο τροπικών και υποτροπικών ακτών (Βουσδούκας, 2005, από Ginsburg, 1953, Russell, 1963, full reference Sea-level Research). Παρόλα αυτά πιο πρόσφατες παρατηρήσεις έδειξαν ότι υπάρχει σχηματισμός ψηφιδωπαγών αιγιαλών και σε μεγαλύτερα πλάτη (στην εύκρατη ζώνη).

2.3 ΗΛΙΚΙΑ

Το θέμα της ηλικίας των ψηφιδωπαγών αιγιαλών παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες και στις περισσότερες των περιπτώσεων η εκτίμηση γίνεται με έμμεσους τρόπους. Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, όλες όμως συγκλίνουν στο γεγονός ότι πρόκειται για πρόσφατους σχηματισμούς, πιθανότατα με κατώτερο όριο ηλικίας το Ολόκαινο, διαπίστωση που εξάλλου ενισχύεται και από τη θέση στην οποία σχηματίζονται, δηλαδή την παλιρροιακή ζώνη, δεδομένου ότι το επίπεδο της θάλασσας δεν έχει υποστεί μεγάλες μεταβολές κατά τις τελευταίες χιλιετίδες.

Η εκτίμηση της ηλικίας τους επιτυγχάνεται συχνά με ραδιοχρονολόγηση των διαφόρων εγκλεισμάτων τους ή από διάφορα αρχαιολογικά ευρήματα, που βρίσκονται σε κάποια σχέση με τους σχηματισμούς αυτούς. Πράγματι συχνά περικλείονται μέσα στους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς θραύσματα αγγείων, ή διακρίνονται πάνω σε αυτούς τεχνικά έργα του παρελθόντος ή ενίοτε οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί καλύπτουν ιστορικά μνημεία. Επίσης σε εγκλείσματα οστράκων που βρίσκονται μέσα στα beach rocks γίνονται ραδιοχρονολογήσεις του C14 του ανθρακικού ασβεστίου αυτών για τον προσδιορισμό της ηλικίας των οστράκων, των οποίων η έγκληση προφανώς προηγείται της σύμπτυξης και

διαγένεσης των πετρωμάτων. Επίσης έχει γίνει προσπάθεια χρονολόγησης των ψηφιδωπαγών αιγιαλών με τη μέθοδο της θερμοφωταύγειας (Δερμιτζάκης Μ. et al., 1993). Θεωρείται ότι οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί (Ρουμπάνης, 1971) πρέπει να άρχισαν να σχηματίζονται αφότου η θάλασσα έλαβε την τελευταία φάση ηρεμίας της, όπως αυτό είναι παραδεκτό και για όλα τα άλλα χαρακτηριστικά μορφολογικά στοιχεία των παραλιακών περιοχών, όπως είναι οι μακριές και ευθείες παραλίες, οι λιμνοθάλασσες, οι εκβολές των ποταμών κ.α. Έπειτα από έρευνες της εταιρίας Oil and Refining Co, που στηρίχθηκαν σε χρονολογήσεις με C14 και σε μελέτες των φυσικών αναχωμάτων της κάτω κοιλάδας του Μισισιπή, αναφέρθηκε ενδεικτικά ο αριθμός των 4.500 ετών ως μέγιστο όριο κατά το οποίο η θαλάσσια στάθμη έχει διατηρήσει το σημερινό της περίπου επίπεδο.

Γενικά ο χρόνος σχηματισμού των ψηφιδωπαγών αιγιαλών θεωρείται πρόσφατος, σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις έχει υποστηριχθεί ότι δεν ξεπερνά τις μερικές δεκαετίες. Ο Russell (1962) χαρακτηριστικά αναφέρει για τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς της δυτικής ακτής του Puerto Rico ότι η ηλικία τους δεν ξεπερνά σε κάποιες περιπτώσεις τις μερικές δεκαετίες. Από άλλους επίσης μελετητές υποστηρίχθηκε ότι beach rocks σχηματίζονται και σήμερα στις παραλίες, γιατί βρίσκονται μέσα στη συγκολλημένη άμμο πώματα μπουκαλιών, φυσίγγια και άλλα σύγχρονα αντικείμενα. Αυτό όμως σύμφωνα με τους Μαρίνο Γ.& Συμεωνίδη Ν. (1972) απέχει από την τυπική περίπτωση της διάπλασης των ψαμμιτικών στρωμάτων, όπως αυτά εμφανίζονται στα beach rocks, πρόκειται δηλαδή για τοπικές περιπτώσεις συγκόλλησης με ασβέστιο των αντικειμένων στις ακτές. Γενικά σε κάποιες περιπτώσεις εύρεσης σύγχρονων αντικειμένων μέσα στους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς δεν πρέπει να παραγνωρίζεται η πιθανότητα δευτερογενούς συγκόλλησης τους όπως στη περίπτωση του νότιου κόλπου του Λαδικού στη Ν.Α. παραλία της Ρόδου, όπου έχουν συγκολληθεί δευτερογενώς απολιθώματα των γενών *Cardium*, *Chlamys*, *Conus*, *Nassa*, προερχόμενα από τους υπερκείμενους πλειο-πλειστοκαινικούς ορίζοντες.

Μέχρι σήμερα έχουν αναγνωριστεί αρκετοί σχηματισμοί beachrock του Πλειστοκαίνου ή και παλαιότεροι. Παρόλα αυτά, η δυναμική φύση των αμμωδών ακτών και η διακύμανση της στάθμης της θάλασσας καθιστούν ως πιθανότερο ενδεχόμενο οι περισσότερες εμφανίσεις beachrock να είναι νεότερες των 2000 ετών. Αυτή η άποψη επιβεβαιώνεται από την ανακάλυψη αντικειμένων κατασκευασμένα από ανθρώπινο χέρι μέσα σε σχηματισμούς beachrock και όχι από

ραδιοχρονολογήσεις με τη μέθοδο του ^{14}C , αφού ο ψηφιδωπαγής αιγιαλός δεν είναι κατάλληλος για χρονολόγηση με τη μέθοδο του ^{14}C .

2.4 ΡΥΘΜΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ

Οι ρυθμοί σχηματισμού του beachrock είναι ποικίλοι αλλά γενικά πιστεύεται ότι είναι αρκετά γρήγοροι, της κλίμακας δηλαδή ακόμα και μηνών έως ετών (Βουσδούκας, 2005, από Frankel, 1968).

Η συνεχής άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες δραστηριότητες που επιταχύνουν την παράκτια διάβρωση οδηγούν σε όλο και περισσότερες και εκτενέστερες αποκαλύψεις beachrock σε πολλά μέρη του πλανήτη.

2.5 ΘΕΣΗ ΣΤΗΝ ΑΚΤΗ

Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί σχηματίζονται κάτω από ένα παχύ στρώμα ιζημάτων και συνήθως υπέρκεινται μη συνεκτικοποιημένης άμμου, αν και μπορεί να βρίσκονται πάνω από οποιονδήποτε τύπο πετρώματος. Οι μέγιστοι ρυθμοί της υπο-επιφανειακής συνεκτικοποίησης του beachrock λαμβάνουν χώρα στην ζώνη της παραλίας που υφίσταται την περισσότερη ύγρανση και ξήρανση (wetting and drying), δηλαδή στην περιοχή της έκθεσης του υδροφόρου ορίζοντα μεταξύ του χαμηλότερου σημείου της άμπωτης και του υψηλότερου της πλημμυρίδας (Amieux et al, 1989).

Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί παρατηρούνται κατά μήκος των ακτών και συνήθως λίγο πιο μπροστά από αυτές (προς τη θάλασσα). Εμφανίζονται σαν κομμένες ταινιοπλάκες με παράλληλη διάταξη σε σχέση με την ακτογραμμή και με μικρή κλίση προς τη θάλασσα ($5^\circ - 15^\circ$).

Το μήκος τους κυμαίνεται από μερικά μέτρα μέχρι χιλιόμετρα, ενώ το πάχος τους εξαρτάται κάθε φορά από το παλιρροϊκό εύρος, που για μεν τη Μεσόγειο είναι της τάξης των 15 - 20 cm, για δε τον υπόλοιπο κόσμο μπορεί να φτάσει σε αρκετά μέτρα, πάντως συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των ορίων 0,40 - 0,50 μ. Για την Ελλάδα η πλέον χαρακτηριστική παλίρροια συμβαίνει στον Εύριπο, με ανώτατο όριο 0,86 μ. Το ύψος των beachrocks φτάνει μέχρι την επιφάνεια της θάλασσας και λίγο πιο πάνω από αυτή, με έντονο όμως κυματισμό καλύπτονται από το νερό.

Η θέση στην οποία λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός των ψηφιδωπαγών αιγιαλών είναι στη ενδοπαλιρροιακή ζώνη και πάντοτε κάτω από την επιφάνεια της παραλιακής άμμου.

Η παραδοχή ότι η συγκόλληση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών πραγματοποιείται κάτω από ένα ίζημα ορισμένου πάχους ενισχύεται και από το γεγονός ότι οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί παρουσιάζουν επίπεδη μορφή επιφανειών παρόλο που στις θέσεις σχηματισμού η ενέργεια προκαλεί μια σχεδόν συνεχή μετακίνηση των κόκκων. (Schmalz, 1971). Εξάλλου και η παρουσία ξυλωδών τμημάτων και ριζολιθικών σωλήνων (Βουσδούκας, 2005, από Klappa, 1980) μέσα στις πλάκες των beachrocks μαρτυρά ότι η συγκόλληση τους γίνεται κάτω από την επιφάνεια της χέρσου. Το βάθος στο οποίο αρχίζει να σχηματίζεται, συμπίπτει πάντοτε με το ύψος της οριζόντιας γραμμής η οποία αποτελεί την προς την ακτή προέκταση της κατώτερης επιφάνειας της θάλασσας. Το ανώτερο όριο του σχηματισμού βρίσκεται συνήθως στο ύψος της πλημμυρίδας ή λίγο ψηλότερα. Προς τα κάτω το πέτρωμα αναπτύσσεται συνήθως μέχρι στάθμη που βρίσκεται λίγο χαμηλότερα της κατώτερης άμπωτης.

Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί εμφανίζονται συνήθως σε χαμηλές προσχωσιγενείς ακτές και σπανιότερα σε απόκρημνες, όπως αυτή μεταξύ Καλαμακίου και Αλίμου (Ρουμπάνης, 1971) και αυτή του ακρωτηρίου Περιστεράς στη Ν.Α. Κρήτη (Δερμιτζάκης Μ. & Θεοδωρόπουλος Δ., 1974). Σπάνια συναντώνται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί πίσω από την ακτογραμμή και πάντοτε σε πολύ μικρή απόσταση από αυτή. Σε αυτές τις περιπτώσεις έχουν πολύ μικρό ύψος (συνήθως < 1μ.) και αποτελούν μικρά beachrocks ή απομεινάρια αυτών (Ρουμπάνης, 1971). Όπου έχουμε ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς μέσα στη θάλασσα συχνά σχηματίζεται πίσω από αυτούς υδάτινη λωρίδα ή σπανιότερα υφάλμυρη και σε κάποιες περιπτώσεις πίσω από αυτούς και σε μικρή απόσταση συναντάται μικρή τελματώδης έκταση (π.χ. ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί Κινέτας).

Η αποκάλυψη των ψηφιδωπαγών αιγιαλών συνδέεται βέβαια άμεσα με την υποχώρηση της παραλίας. Είναι πολύ πιθανό το πέτρωμα να υπάρχει σε σημεία στα οποία ποτέ δεν παρατηρήθηκε, είτε λόγω της κάλυψής του από υλικό της παραλίας είτε λόγω σχετικής στασιμότητας της παραλιακής γραμμής. Έτσι η αποκάλυψη των σχηματισμών είναι δυνατό να προκληθεί λόγω απότομης εισχωρήσεως της θάλασσας στην περιοχή είτε λόγω μιας απότομης καταιγίδας, ή σε βραδύτερο ρυθμό λόγω βαθμιαίας επίκλησης της θάλασσας ή καθίζησης της περιοχής. Συχνά τα πετρώματα μετά την αποκάλυψή τους καλύπτονται εκ νέου με άμμο.

Τα όρια εσωτερικά και εξωτερικά μια λωρίδας beachrocks ακολουθούν κατά την αρχική φάση σχηματισμού τους συνήθως ευθεία και κανονική γραμμή. Τα όρια αυτά υλοποιούν κατά κάποιο τρόπο τα σύνορα κατά μήκος της εσωτερικής επιφάνειας μεταξύ αλμυρού και υφάλμυρου νερού (Ρουμπάνης, 1971). Τα εσωτερικά όρια του σχηματισμού εμφανίζονται συχνά με τέτοια κανονικότητα που δίνουν την εντύπωση τεχνικών έργων.

Οι διαστάσεις των ψηφιδωπαγών αιγιαλών παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση (μήκος από μερικά μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα, εύρος από λιγότερο από ένα μέτρο έως 300-400 μέτρα και πάχος από 0.3 έως 3 μέτρα). Η συνεκτικοποίησή τους λαμβάνει χώρα στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη αλλά μπορεί να συνεχίζεται προς τα ενδότερα της παραλίας κάτω από τα χαλαρά ιζήματα (Russell and McIntire, 1965, El Sayed, 1988, Plomaritis, 1999). Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί παρουσιάζουν επίπεδες στρώσεις που κλίνουν προς την θάλασσα είτε με την γενική (Moore, 1973) είτε με μεγαλύτερη κλίση ($5-15^\circ$) από αυτή της υπόλοιπης παραλίας (Russell, 1962, Russell and McIntire, 1965, Plomaritis, 1999). Οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από ζωνοποίηση, με τις παλαιότερες (εξωτερικές) ζώνες ευρισκόμενες προς την θάλασσα και τις νεώτερες (εσωτερικές) προς την χέρσο (Russell, 1962, Strasser et al., 1989). Οι νεώτερες ζώνες των ψηφιδωπαγών αιγιαλών υπό ανάπτυξη βρίσκονται στα αρχικά στάδια διαγένεσης με συγκολλητικό υλικό μόνο κοντά στις επαφές των κόκκων (πορώδες 42 έως 55%) ενώ οι παλαιότερες ζώνες είναι σκληρότερες και τραχύτερες, σε πιο προχωρημένο στάδιο διαγένεσης, με τους πόρους μεταξύ των κόκκων να έχουν γεμίσει με συγκολλητικό υλικό (πορώδες 15-35%) και με χαρακτηριστικά μηχανικής, βιολογικής και χημικής διάβρωσης (ρωγμές, κοιλότητες, δίαυλους κα.) (Ginsburg, 1953, Alexandersson, 1972, Milliman, 1974, Plomaritis, 1999). Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί δημιουργούν περιβάλλοντα κατάλληλα για αποίκηση από αλλόχθονους οργανισμούς (habitats). Οι διάφορες ζώνες τους υποστηρίζουν διαφορετικά είδη, με τις εσωτερικές ζώνες αποικούμενες κυρίως από κυανόφυτα ενώ οι εξωτερικές από ροδόφυτα, γαστερόποδα, μαλάκια κλπ. (Russell, 1962, Plomaritis, 1999).

Οι σχηματισμοί beachrock αποτελούνται τυπικά από πολλαπλά τεμάχια, που αντιπροσωπεύουν πολλαπλά επεισόδια σχηματισμού και αποκάλυψης. Το beachrock που σχηματίζεται κάτω από την ζώνη παλινδρόμησης (foreshore) έχει κλίση στην άνω επιφάνειά του παρόμοια με αυτή της βύθισης της ακτής προς τη θάλασσα ($4-10^\circ$). Τα

beachrocks είναι ασυνεχή πλευρικά και συνήθως εκτίθενται με μικρά μόνο μήκη πριν εξαφανιστούν πάλι κάτω από τη χαλαρή άμμο ή διακοπούν εντελώς. Είναι γενικά αποδεκτό ότι ο σχηματισμός και η διατήρηση του beachrock σε ένα τμήμα της ακτής αποσβένει την κυματική ενέργεια και αποτρέπει την υποχώρηση της ακτής λόγω παράκτιας διάβρωσης (Γκιώνης & Πούλος, 2004).

Οι διακυμάνσεις στο βαθμό συνεκτικοποίησης εσωτερικά του beachrock οφείλονται στη μεταβλητότητα του πορώδους, της διαπερατότητας και της σύνθεσης διαφόρων στρωμάτων άμμου (Βουσδούκας, 2005, από Molenaar και Venmans, 1993). Γενικά, η συνεκτικοποίηση είναι ταχύτερη στο ανώτερο τμήμα του beachrock. Επομένως, νέοι σχηματισμοί beachrock είναι σκληρότεροι και ανθεκτικότεροι στο άνω τμήμα τους και εμφανώς λιγότερο σκληροί προς τη βάση τους. Αυτό το χαρακτηριστικό τους κάνει περισσότερο ευάλωτους στην αποσάθρωση στη βάση τους κατά την έκθεση και συνήθως οδηγεί σε υποσκαφή και ακολούθως σε ανατροπή/ολίσθηση των τεμαχίων. Αυτή η υποσκαφή είναι υπεύθυνη για την δημιουργία των σχεδόν κατακόρυφων πλευρών των beachrock προς την παραλία. Σε περιοχές όπου το έλλειμμα σε παροχή άμμου ή οι διαβρωτικές συνθήκες έχουν οδηγήσει σε αποκάλυψη της πλευράς του beachrock προς τη θάλασσα, έχει παρατηρηθεί ότι είναι και αυτή αρκετά απότομη επίσης.

2.6 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗ

Σχηματισμοί beachrock είναι ευρέως διαδεδομένοι στις περιοχές γεωγραφικού πλάτους μικρότερου από 25°, όπου οι συνθήκες για το σχηματισμό τους είναι ιδιαίτερα ευνοϊκές (Russell, 1963). Beachrock, όμως, σχηματίζονται και σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη. Οι εμφανίσεις beachrock είναι κοινές στη Μεσόγειο αλλά και στη Μαύρη Θάλασσα, τη Βόρεια Θάλασσα, τη Νέα Ζηλανδία, την Αυστραλία, τη Νότια Αφρική και τον Κόλπο του Μεξικού.

Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν περιγραφεί σε υγρά και θερμά κλίματα (Ginsburg, 1953), σε ξηρά και ημίξηρα θερμά κλίματα (Taylor και Illing, 1969, Holail και Rashed, 1992, Neumeier, 1998), σε εύκρατες περιοχές (Friedman και Gavish, 1971, Sellwood, 1994, Calvet et al., 2003) και σπανιότερα σε ψυχρά κλίματα ή σε λίμνες (Jones et al., 1997).

Από τη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί εμφανίζονται προς Βορρά μέχρι τη Ν. Αγγλία, ενώ προς νότο μέχρι τη δυτική αυστραλιανή ακτή.

Το ότι οι σχηματισμοί beachrock συναντώνται κυρίως σε θερμές περιοχές αποδίδεται στην απαραίτητη συνθήκη, ότι η θερμοκρασία του διάμεσου ύδατος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση των 20°C για τουλάχιστον το μισό έτος, έτσι ώστε να μπορούν να συνεκτικοποιηθούν τα παράκτια ιζήματα. Τα beachrocks μπορεί να ήταν πολύ περισσότερο διαδεδομένα σε παλαιότερες θερμότερες περιόδους, είναι όμως δύσκολο να αναγνωριστούν μέσα σε παλιά πετρώματα (Strasser et al., 1989).

2.7 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

2.7.1 ΘΕΩΡΙΕΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Υπάρχουν αρκετές θεωρίες που περιγράφουν την διαδικασία της συνεκτικοποίησης της παράκτιας άμμου. Διαφορετικοί μηχανισμοί συνεκτικοποίησης φαίνεται πως αντιστοιχούν και σε διαφορετικές περιοχές. Αναφορικά, οι κυριότεροι μηχανισμοί που προτείνονται για τη δημιουργία του beachrock είναι :

- 1) φυσικοχημική κατακρήμνιση Mg-ασβεστίτη και αραγωνίτη από το θαλάσσιο νερό σαν αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών, του υπερκορεσμού CaCO_3 και της εξάτμισης (Ginsburg, 1953, Stoddart & Cann, 1965).
- 2) φυσικοχημική κατακρήμνιση Mg-ασβεστίτη και αραγωνίτη από την ανάμιξη του μετεωρικού και υπόγειου φρέσκου ύδατος με το θαλάσσιο νερό (Schmalz, 1971).
- 3) φυσικοχημική κατακρήμνιση Mg-ασβεστίτη και αραγωνίτη κατά την απομάκρυνση του CO_2 από το νερό των πόρων των παράκτιων ιζημάτων (Hanor, 1978)
- 4) κατακρήμνιση μικριτικού ανθρακικού ασβεστίου ως προϊόν της μικροβιολογικής δράσης (Taylor και Illing, 1969, Strasser et al, 1989).

Γενικά, μπορεί να ειπωθεί ότι έχουν αναπτυχθεί δυο κύριες ομάδες θεωριών για την ερμηνεία της γένεσης των ψηφιδωπαγών αιγιαλών (Δερμιτζάκης Μ. και Θεοδωρόπουλος Δ., 1974), όλες όμως έχουν κοινό γνώρισμα ότι προϋποθέτουν υψηλές θερμοκρασίες:

1. Κατά την πρώτη ομάδα η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου οφείλεται καθαρά σε φυσικοχημικά αίτια (αύξηση θερμοκρασίας, εξάτμιση, αερισμός).
2. Σύμφωνα με τη δεύτερη ομάδα η καθίζηση οφείλεται σε βιοχημικά αίτια από τη δράση φυκιών και βακτηριδίων.

Στην πρώτη ομάδα ανήκουν οι εξής υποθεωρίες:

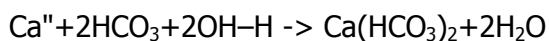
- a) Αυτές που δέχονται ότι η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου προκαλείται από το θαλάσσιο νερό.
- b) Εκείνες που δέχονται ότι η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου γίνεται κοντά στο μέτωπο επαφής γλυκού ή υφάλμυρου νερού με το θαλάσσιο νερό.
- c) Εκείνες που υποστηρίζουν ότι η καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου προκαλείται από την ανάβλυση του γλυκού υπόγειου νερού προς τη μάζα του θαλάσσιου νερού με τη βοήθεια τριχοειδών φαινομένων.

Αναλυτικότερα:

1a) Συγγραφείς υπέρ της άποψης ότι η συγκόλληση προκαλείται από τη φυσικοχημική καθίζηση από το θαλάσσιο νερό είναι οι Ginsburg (1953), Kuenen (1933, 1950), Cloud (1959) κ.ά. (Βουσδούκας, 2005). Κατά τον Ginsburg οι πλέον ευνοϊκές συνθήκες για το σχηματισμό ψηφιδωπαγών αιγιαλών υπάρχουν όταν έχουμε υψηλές θερμοκρασίες και η αποστράγγιση κατά την άμπωτη επιτυγχάνεται πλήρως, προκαλώντας καθίζηση των ανθρακικών αλάτων του νερού που κυκλοφορεί γύρω από τους κόκκους. Γρήγορη και πλήρης αποστράγγιση συμβαίνει όταν έχουμε απότομες κλίσεις, χονδρόκοκκο υλικό και υδροπερατό υπόβαθρο.

1b) Η εκδοχή ότι η συγκόλληση είναι το αποτέλεσμα της καθίζησης πλησίον του μετώπου γλυκού / θαλάσσιου νερού έχει υποστηριχθεί από τους Boekschoten (1962, 1963), Trichet (1965) (Βουσδούκας, 2005).

Σύμφωνα με τους παραπάνω οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί είναι δυνατόν να σχηματιστούν μόνο εκεί που το γλυκό υπόγειο νερό είναι κορεσμένο σε ανθρακικά και δισανθρακικά. Το θαλασσινό νερό είναι πλούσιο σε ιόντα ασβεστίου, αλλά σχετικά πτωχό σε ιόντα CO_3^{2-} και HCO_3^- . Όπου λοιπόν τα δυο ύδατα συναντώνται λαμβάνει χώρα καθίζηση του ανθρακικού ασβεστίου σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Σύμφωνα με αυτή την εκδοχή οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί δεν είναι δυνατόν να εκτείνονται σε μεγάλη απόσταση ούτε προς το μέρος της ξηράς, ούτε προς το μέρος της θάλασσας. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία στην παραλία Μύρτου στη Ν.Α. Κρήτη θα έπρεπε να παρουσιάζονται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί, αφού πρόκειται για αμμόδη παραλία στην οποία εκβάλλουν υπόγεια μεγάλες ποσότητες γλυκού νερού (πόσιμο,

ολικής σκληρότητας 23,2 γερμανικών Βαθμών). Αντίθετα στην περιοχή αυτή παρατηρήθηκε παντελής απουσία αυτών (Δερμιτζάκης Μ. & Θεοδωρόπουλος Δ., 1974).

1c) Η θεωρία σχηματισμού των ψηφιδωπαγών αιγιαλών με καθίζηση των ανθρακικών από το γλυκό νερό υποστηρίχθηκε από τον Russell (1962, 1963), ο οποίος παρατήρησε μερικώς αποσκληρυμμένους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς, τους οποίους ονόμασε αρχικούς. Δέχεται, επίσης, ότι ο σχηματισμός τους οφείλεται στην τριχοειδή δράση πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα. Πρέπει όμως το υπόγειο νερό γλυκό ή υφάλμυρο να περιέχει σε μεγάλο ποσοστό CaCO_3 . Έτσι παράκτιες περιοχές που συνιστώνται από ασβεστολιθικά πετρώματα είναι ευνοϊκές, χωρίς όμως αυτό να είναι μοναδική και απαραίτητη προϋπόθεση. Ο Russell (1963) αναφέρει ότι στην νήσο Ικαρία παρουσιάζονται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί μόνο κατά μήκος των ακτών που αποτελούνται από ασβεστόλιθους και μάρμαρα, ενώ απουσιάζουν από τις γρανιτικές ακτές. Εντούτοις στη Ν. Μαυριτίου και σε άλλες ηφαιστειακές τροπικές ακτές που αποτελούνται εξ' ολοκλήρου από ηφαιστειακά πετρώματα, παρατηρούνται συχνά εμφανίσεις beachrocks. Σε αυτές τις περιπτώσεις το υλικό των ακτών είναι ασβεστολιθικό έτσι ώστε το υπόγειο νερό που κατεισδύει να περιέχει σε μεγάλα ποσοστά ανθρακικό ασβέστιο. Τέτοιου είδους ακτές είναι συχνά οι τροπικές και κυρίως αυτές που πλαισιώνονται από κοραλλιογενείς υφάλους.

Σύμφωνα με τους Russell και McIntire (1965) η συγκόλληση των κόκκων είναι δυνατή μόνο όταν η θερμοκρασία του υπόγειου ύδατος υπερβαίνει τους 20°C για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 6 μηνών και μέχρι βάθους 75 cm.

Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του υπόγειου νερού, που αντιστοιχούν στη νοτιότερη εμφάνιση των beachrocks, δηλαδή στην δυτική αυστραλιανή ακτή βρέθηκαν κατά προσέγγιση 22.2°C κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και $17,5^\circ\text{C}$ κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Η θερμοκρασία του υπόγειου νερού κατά μήκος της ανατολικής αυστραλιανής ακτής την περιοχή του Mackah είναι κατά μέσο όρο 20°C (Russell – McIntire, 1965). Η περίοδος μετά την αποκάλυψη των beachrocks, λόγω της κίνησης των υπερκείμενων υλικών της ακτής με τη δράση των υδάτων, είναι κρίσιμη για τη συνέχιση της ύπαρξης τους. Οι χαλαρά συγκολλημένοι κόκκοι είναι δυνατόν να υποστούν θραύση από τα κύματα και να επανέλθουν στην αρχική χαλαρή τους κατάσταση. Είναι όμως επίσης δυνατόν οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί να διατηρηθούν και να δημιουργήσουν πλάκα, η οποία γίνεται αρκετά σκληρή από τη συνεχιζόμενη συγκόλληση λόγω της επίδρασης του αέρα, της βροχής και των

κυμάτων. Η δεύτερη αυτή φάση συγκόλλησης περιλαμβάνει την πλήρωση των ενδιάμεσων μικρών διαστημάτων με κρυσταλλικό ανθρακικό ασβέστιο.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί εμφανίζονται μόνο σε ακτές που υποχωρούν. Έχει διατυπωθεί η άποψη (Russell, 1962) ότι σε παραλίες που βρίσκονται πίσω από εμφάνιση ψηφιδωπαγούς αιγιαλού υπάρχει πάντοτε θαμμένο beachrock στην αρχική φάση σχηματισμού του στο ύψος περίπου του θαλάσσιου υδροφόρου ορίζοντα. Με μελέτες σε παραλίες της Αττικής (Ρουμπάνης, 1971) πράγματι με εκσκαφές στην παραλιακή άμμο, παρατηρήθηκε μεταβολή στην κατάσταση της συνοχής της άμμου σε μικρό βάθος δηλώνοντας κάποια συγκόλληση. Όμως σε δύο από τις μελετούμενες περιοχές (Αγ. Κοσμάς, 13 χλμ. και Βούλα 24 χλμ.) δεν παρατηρήθηκε ανάλογη παρουσία beach rocks στην αρχική φάση σχηματισμού του. Κοινό γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό για τις δύο παραλίες είναι η κυκλική μορφή της ακτογραμμής η οποία σχηματίζει κολπίσκο, το στόμιο του οποίου φράσσεται από τους αναδυόμενους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς. Προφανώς ο σχηματισμός των ψηφιδωπαγών αιγιαλών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες: γεωμορφολογικούς, γεωγραφικούς, δράση υπόγειου ύδατος, θαλάσσιου ύδατος και σχέση αυτών με τις γεωμορφολογικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Επίσης έπειτα από παρατηρήσεις του Ρουμπάνη σε ακτές της Αμερικής (Monterey - Karmet 150χλμ. νότια του San Francisco, Santa Barbara, Santa Monica, Laguna Beach), παρά το γεγονός της άφθονης παρουσίας παραλιακής άμμου και των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών (σε σύγκριση με τις δικές μας) δεν παρατηρήθηκαν εμφανίσεις beach rocks. Σύμφωνα με τον Ρουμπάνη (1971) αυτό πιθανώς να συνηγορεί στο γεγονός ότι οι ωκεανογραφικοί παράγοντες δεν ευνοούν το σχηματισμό. Πιθανόν, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας του Ειρηνικού στις περιοχές αυτές, η οποία προφανώς επηρεάζει την ισορροπία και άλλων φυσικών παραμέτρων του νερού όπως το ανθρακικό ασβέστιο, τα χλωριούχα άλατα, το pH κ.ά., δεν ευνοείται ο σχηματισμός beachrock. Επίσης, πιθανόν το μεγάλο ύψος των κυμάτων στις περιοχές αυτές, που έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την συνεχή και γρήγορη εκσκαφή και μεταφορά της παραλιακής άμμου, δρα ανασταλτικά στον σχηματισμό των ψηφιδωπαγών αιγιαλών.

Εκτός από τους Russell και McIntire και άλλοι ερευνητές υπήρξαν υποστηρικτές αυτής της άποψης. Ήδη ο Field από το 1919 δέχθηκε ότι η συγκόλληση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών του Loggerhead Key της Ν. Φλόριδας προκλήθηκε από ανθρακικό ασβέστιο, το οποίο προήλθε από τη διάλυση των ασβεστολιθικών στρωμάτων της ακτής από το ρέον γλυκό υπόγειο νερό, όταν η

στάθμη του υπόγειου νερού βρισκόταν στο χαμηλότερο επίπεδο. Ο Mabesoone (1964) κατά τη διάρκεια των μελετών του πάνω στους ψηφιδοπαγείς αιγιαλούς του Pernambuco αποφάνθηκε ότι ο σχηματισμός τους οφείλεται στη εξάτμιση γλυκού νερού πλούσιου σε CaCO_3 κοντά στην επιφάνεια (Μουστάκα, 1997).

Η ερμηνεία ότι η συγκόλληση είναι αποτέλεσμα καθίζησης ανθρακικού ασβεστίου από γλυκό ή υφάλμυρο νερό απορρίπτεται για τους ψηφιδοπαγείς αιγιαλούς της Ερυθράς θάλασσας από τους Nesteroff (1956) και Guilcher (1961), αφού εκεί κάτω από τις επικρατούσες ξηρές συνθήκες δεν υπάρχει νερό γλυκό ή ακόμη και υφάλμυρο (Βουσδούκας, 2005).

Υπάρχει όμως και αντίρρηση στις θεωρίες που αποδίδουν το σχηματισμό των beachrocks σε καθαρά φυσικοχημική δράση, η οποία προκαλεί την καθίζηση των ανθρακικών αλάτων. Η αντίρρηση βασίζεται στο γεγονός ότι επέρχεται σημαντικότερη ελάττωση της εξάτμισης με το βάθος. Οι Emery & Foster (1948) όπως αναφέρει ο Ginsburg (1953) παρατήρησαν ότι η εξάτμιση στις ακτές της Νότιας Καλιφόρνιας είναι ασήμαντη σε βάθος ενός ποδιού. Ο Ginsburg όμως υποστηρίζει ότι εφόσον η πλειονότητα των ψηφιδοπαγών αιγιαλών δημιουργείται σε τροπικά κλίματα, η εξάτμιση σε μικρότερα πλάτη ελάμβανε χώρα σε βαθύτερα επίπεδα.

Γενικά οι περισσότεροι ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί εμφανίζονται κυρίως σε ακτές που υποχωρούν, όπως εξάλλου ενισχύεται και από την εμφάνιση beach rocks κυρίως πίσω από την ακτογραμμή, μέσα στη θάλασσα, παρά μπροστά από αυτή. Ο Tsagaris (1980) βασιζόμενος στη διαφορά σκληρότητας των προς τη θάλασσα και προς την ξηρά πλευρών των ψηφιδοπαγών αιγιαλών της Θάσου συμπέρανε ότι η προς τη θάλασσα πλευρά των beach rocks είναι παλαιότερη της προς την ξηρά πλευράς. Αν αυτό γενικευτεί μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η γένεση των ψηφιδοπαγών αιγιαλών γίνεται ταυτόχρονα με μια ευστατική βύθιση της στεριάς, ώστε το ήδη σχηματισμένο πέτρωμα βυθίζεται δίνοντας τη θέση του στη ζώνη σχηματισμού, στο ασύνδετο υλικό που με τη σειρά του συγκολλείται δημιουργώντας νεώτερο πέτρωμα κ.ο.κ.. Δηλαδή ότι σε σταθερά υποχωρούσες ακτές δημιουργείται συνήθως μια σειρά πλακών από ψηφιδοπαγείς αιγιαλούς, στις οποίες το εξωτερικό άκρο είναι παλιότερο και το εσωτερικό νεώτερο.

Αντίθετα ο Wagle B.G. (1990) υποστηρίζει ότι η διατήρηση των beachrocks συνδέεται με περιόδους σταθερότητας των ακτών ή με απόσυρση της θάλασσας, ενώ επίκλυση της θάλασσας μάλλον δρα ανασταλτικά στη συντήρηση των σχηματισμών αυτών.

2) Μικρός αριθμός από τους ερευνητές που ασχολήθηκαν με τη δημιουργία των ψηφιδωπαγών αιγιαλών δέχεται ότι τα θαλάσσια φύκη και οι μικροοργανισμοί διαδραματίζουν σπουδαίο ρόλο στο σχηματισμό τους.

Έτσι ο Cloud (1952), (Μουστάκα, 1997) σε εργασία του σχετική με τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς της απόλλης Onatoa των Gilbert Islands, παρατήρησε ότι τα φύκη χρώματος κυανού και πράσινου βοηθούν στη συγκόλληση των υλικών της ακτής. Αυτά καθώς αναπτύσσονται κατά μήκος της ακτής συγκρατούν τους κόκκους μεταξύ τους ενώ λαμβάνει χώρα καθίζηση ανθρακικών από το θαλασσινό νερό. Όμως ο συγγραφέας θεωρεί αυτή τη συγκόλληση ως τοπικό φαινόμενο, γιατί σε άλλη εργασία του (1954) για σχηματισμούς της περιοχής Sairan αποδίδει τη στερεοποίηση στη καθίζηση ανθρακικών από το θαλασσινό νερό.

Ο Maxwell (1962), (Μουστάκα, 1997) υποστηρίζει ότι ο σχηματισμός των ψηφιδωπαγών αιγιαλών στη N. Heron γίνεται κυρίως υπό μορφή στρωματοειδών επικαλύψεων, οι οποίες δημιουργούνται από τα φύκη.

Σε μικροσκοπικές τομές παρατήρησε ότι οι κόκκοι προσβάλλονται από προσωρινές βελόνες καθαρού αραγωνίτη, τη δημιουργία των οποίων αποδίδει στα φύκη.

Κατά τη διάρκεια των μελετών του Russell (1963) στην Καραϊβική μετέβησαν εκεί οι Krauss - Galloway σε μια προσπάθεια διερευνήσεως του ρόλου των φυκών στο σχηματισμό των ψηφιδωπαγών αιγιαλών. Από τα αποτελέσματα των μελετών τους που δημοσιεύτηκαν σε εργασία το 1960, συμπεραίνεται ότι δεν μπόρεσαν να πιστοποιήσουν καμία σχέση. Οι υποθέσεις τους βασίζονταν στην παραδοχή ότι αν τα beachrocks δημιουργούνται λόγω της παρουσίας και άρα της ενέργειας των φυκών τότε θα έπρεπε να βρεθούν σχετικά υψηλότερες ποσότητες των συστατικών τους πάνω στους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς από ότι στα χαλαρά υλικά της ακτής.

Ο Kaye (1959), (Μουστάκα, 1997) τόνισε ότι αν η συγκόλληση των beach rocks οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών, τότε ο σχηματισμός και η παρουσία τους απαιτούν ιδιαίτερες οικολογικές συνθήκες για την ανάπτυξη οργανισμών, οι οποίοι θα παράγουν τέτοιου είδους ανθρακικά.

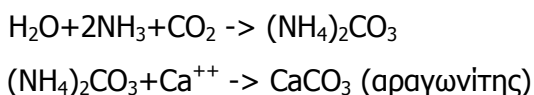
Οι συνθήκες αυτές μπορούν να συνοψιστούν στις παρακάτω:

- Υφάλμυρο νερό
- Υψηλή περιεκτικότητα ανθρακικού ασβεστίου
- Κυμαινόμενος ορίζοντας υπόγειου νερού, που να ακολουθεί τις παλιρροιακές κινήσεις, οι οποίες εκθέτουν το υλικό της ακτής σε συχνούς αερισμούς.

- Ελάχιστη θερμοκρασία 25°C ή 68°F.
- Μεγάλες ποσότητες οργανικής ύλης, οι οποίες θα προμηθεύουν στους μικροοργανισμούς θρεπτικά υλικά.

Σύμφωνα με τον Kaye οι συνθήκες αυτές δεν παρουσιάζουν πολύ περιορισμένο περιβάλλον για τα βακτηρίδια. Αν τοπικά ένας από τους παράγοντες δεν πληρείται, τότε δεν σχηματίζονται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί. Αυτό μπορεί να ερμηνεύσει την κατά τόπους εμφάνιση των ταινιοπλακών.

Ο Daly (1924), (Μουστάκα, 1997) υπέθεσε ότι η συγκόλληση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών επιτυγχάνεται σε δύο στάδια. Κατά τη διάρκεια του αρχικού σταδίου παράγεται αραγωνίτης με απελευθέρωση αμμωνίας από τα βακτηρίδια στο αποσυντιθέμενο οργανικό υλικό, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



Κατόπιν τα μόρια αυτά του αραγωνίτη αποτελούν τους πυρήνες για την φυσικοχημική καθίζηση των ανθρακικών από το θαλάσσιο νερό κατά τη δεύτερη φάση της συγκόλλησης. Με βάση αυτή τη θεωρία συμπεραίνεται ότι ακτές πλούσιες σε οργανικά θα ήταν ευνοϊκές για το σχηματισμό των ψηφιδωπαγών αιγιαλών. Εντούτοις στη Χαβάη έχουν παρατηρηθεί ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί σε ακτές με μικρή περιεκτικότητα σε οργανικά, κυμαινόμενα από 0,09 - 0,22% (Μουστάκα, 1997, από Emery & Cox, 1956).

Ο Ramson (1955), (Μουστάκα, 1997) επίσης συνηγορεί υπέρ της άποψης ότι οι μικροοργανισμοί διαδραματίζουν κάποιο ρόλο στη συγκόλληση των τροπικών ασβεστολιθικών αποθέσεων και άμμων της ακτής. Σύμφωνα με αυτόν σχηματίζεται μια λιθόκολλα από κρυστάλλους ασβεστίτη μικρών διαστάσεων. Οι μικρο-οργανισμοί χρησιμοποιούν την οργανική ύλη από τα σκελετικά υπολείμματα των αποθέσεων. Η άποψη αυτή του Ramson βασίστηκε σε παρατηρήσεις του στον κόλπο Gauda του Βιετνάμ, σχετικά με την ανάπτυξη και τη συγκόλληση των ανθρακικών κόκκων των σπόγγων. Η λιθοποίηση των σπόγγων άρχιζε σε όσα τμήματα είχαν πεθάνει. Το φαινόμενο όμως αυτό λάμβανε χώρα σε βάθος 2 - 5 μ. κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και επομένως δεν μπορεί να αποτελέσει εξήγηση για τη δημιουργία όλων των beachrocks. Ο Nesteroff (1956), (Μουστάκα, 1997) είναι ο μόνος ερευνητής που επιβεβαίωσε πειραματικά το ρόλο των μικροοργανισμών στο ρόλο της συγκόλλησης των υλικών των ακτών. Με έρευνές του κατέληξε στο συμπέρασμα ότι κατά τη

διάρκεια του αρχικού σταδίου της συγκόλλησης οι μικροοργανισμοί παράγουν επικαλύψεις από άμορφο CaCO_3 γύρω από τους κόκκους της άμμου. Στα επόμενα στάδια το άμορφο CaCO_3 μετατρέπεται σε αραγωνίτη και στη συνέχεια σε ασβεστίτη, ενώ συνεχίζεται ταυτόχρονα η παραγωγή του άμορφου CaCO_3 .

Συμπερασματικά θα μπορούσε κανείς να ισχυριστεί ότι και οι δύο ομάδες των θεωριών έχουν αρκετά πειστικά επιχειρήματα. Πιθανόν η αλήθεια να είναι κάπου στη μέση, δηλαδή η δημιουργία των ψηφιδωπαγών αιγιαλών να οφείλεται στη συμβολή και των φυσικοχημικών και των βιολογικών παραγόντων, τα εκάστοτε ποσοστά επίδρασης των οποίων να κυμαίνονται κατά περίπτωση.

Αν και η μορφολογία των περισσότερων beachrock δείχνει μια μη οργανική προέλευση, οι φυσικοχημικοί μηχανισμοί δεν είναι ικανοί από μόνοι τους να εξηγήσουν το σχηματισμό ασυνεχών τεμαχίων ψηφιδωπαγών αιγιαλών. Όπως τέθηκε από τον Kaye (1973), το πρόβλημα έγκειται περισσότερο στην αναζήτηση εξήγησης για την απουσία του beachrock από πολλές παραλίες παρά για την παρουσία. Η ασυνεχής εμφάνιση μορφών beachrock, σε συνδυασμό με την πολύπλοκη διαφορετική δομή γειτονικών δειγμάτων beachrock οδήγησαν τους Taylor και Illing (1969) στο συμπέρασμα ότι το μικρο-περιβάλλον ασκεί μεγαλύτερη επιρροή στη διαδικασία της συνεκτικοποίησης παρά το μακρο-περιβάλλον.

Γενικά οι σχηματισμοί των ψαμμιτών οφείλονται σε διαγένεση την οποία έχει υποστεί το υλικό από το οποίο αποτελούνται. Αποτέλεσμα της διαγένεσης αυτής, καθώς και της μεγάλης ηλικίας των σχηματισμών είναι η εξαιρετικά μεγάλη συνεκτικότητα που παρουσιάζουν. Γενικά οι κύριοι παράγοντες για να έχουμε διαγένεση είναι υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία εξαιτίας της πίεσης αυτής. Στην περίπτωση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών οι συνθήκες είναι εντελώς διαφορετικές. Πράγματι λαμβάνοντας υπόψη τη θέση στην οποία λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός τους, συμπεραίνουμε ότι οι παράγοντες υψηλή πίεση και υψηλή θερμοκρασία λόγω της πίεσης εκλείπουν εντελώς. Είναι προφανές ότι η πίεση που ασκείται πάνω στο σχηματιζόμενο ψηφιδωπαγή αιγιαλό δεν είναι μεγαλύτερη από την πίεση που ασκεί ένα λεπτό στρώμα άμμου, πάχους 0,30 - 1,00 μ. Άρα και η θερμοκρασία που προφανώς επικρατεί σε αυτό το βάθος μπορεί μάλλον να χαρακτηριστεί ως θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εξάλλου και η νεαρή σχετικά ηλικία των beach rocks σε σχέση με τους κοινούς ψαμμίτες, συνηγορεί στο γεγονός ότι πρόκειται για περίπτωση σύντομης συγκόλλησης. Για να έχουμε όμως σύντομη συγκόλληση θα πρέπει να ικανοποιούνται οι εξής συνθήκες (Καμπουρόγλου, 1989):

- Ακίνητοποίηση των κόκκων και ανάπτυξη συγκολλητικού υλικού στην επιφάνεια ή στις επαφές τους. (Αυτή η ακίνητοποίηση μπορεί να συμβεί είτε λόγω της αδράνειας των κόκκων π.χ. περίπτωση κροκαλών, είτε λόγω παγίδευσης του υλικού στο ριζικό σύστημα της παράκτιας βλάστησης, είτε λόγω κάλυψής του από συσσωρευμένο υλικό π.χ. άμμο).
- Συνεχής ανάμιξη και ανανέωση των διαλυμάτων που διαβρέχουν ολοκληρωτικά ή επιμέρους τους πόρους μεταξύ των κόκκων. (Αυτό προϋποθέτει πολύ έντονη κυκλοφορία των υγρών, που μπορεί να αναπτυχθεί μόνο σε πολύ πορώδη ιζήματα).

Ο σχηματισμός του beachrock είναι σχεδόν ταυτόχρονος με την απόθεση των ιζημάτων (Taylor και Illing, 1969, Strasser et al., 1989). Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί διακρίνονται σε (Βουσδούκας, 2005 από Bathurst, 1975): (i) σχηματισμούς που βρίσκονται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη και (ii) σχηματισμούς στην υπερπαλιρροιακή ζώνη. Οι πρώτοι (beach sandstones) αποτελούνται από συνεκτικοποιημένα ιζήματα λόγω χημικών αντιδράσεων που σχετίζονται με το θαλασσινό νερό, ενώ οι τελευταίοι (clay sandstones), που σχηματίζονται πάνω από την ψηλότερη στάθμη της θάλασσας, προκύπτουν από κατακρήμνιση συγκολλητικού υλικού από μετεωρικό (γλυκό) νερό. Οι παραπάνω διαφορετικοί τύποι συνεκτικοποίησης μπορεί να λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα σε πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ τους και για αυτό τον λόγο δεν αναφέρονται ξεχωριστά στην βιβλιογραφία.

Η συνεκτικοποίηση του ιζήματος εξαρτάται ισχυρά από την διαπερατότητα του, τον μηχανισμό παροχής συγκολλητικού υλικού (Μουστάκα, 1997 από Marshall and Davies, 1981) και την υδροδυναμική ενέργεια που παρέχεται στο σύστημα. Ισχυρά διαπερατά ιζήματα είναι πιο επιρρεπή, με τον ρυθμό συνεκτικοποίησης να εξαρτάται από τον βαθμό υπερκορεσμού σε CaCO_3 . Επίσης παρόλο που η συνεκτικοποίηση λαμβάνει χώρα σε υψηλής ενέργειας περιβάλλοντα, η παρουσία υψηλής κυματικής ενέργειας περιορίζει την διεργασία διαγένεσης, μια και η έντονη ανατάραξη του ιζήματος εμποδίζει την συνεκτικοποίηση του (Μουστάκα, 1997 από Harris, 1978, Dravis, 1979). Επίσης σημαντικό είναι ότι έχουν παρατηρηθεί αλλαγές στην χημεία του θαλασσινού νερού στους πόρους των ιζημάτων πριν από την συνεκτικοποίηση, όπως εμπλουτισμός σε Ca^{++} και ελάττωση των ιόντων HCO_3^- , K^+ , Na^{2+} (Μουστάκα, 1997 από Bourrouilh-Le Jan, 1997).

2.7.2 ΑΡΧΙΚΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΗΝ ΕΝΔΟΠΑΛΙΡΡΟΙΑΚΗ ΖΩΝΗ

Οι αμμώδεις αποθέσεις της παραλίας δρουν σαν ρεζερβουάρ εμπλουτισμένου με CaCO_3 γλυκού νερού. Οι βροχές (σχετικά μεγάλης έντασης) κατά τη διάρκεια του χειμώνα επανατροφοδοτούν τις αποθέσεις σε μετεωρικό νερό υποκορεσμένο σε CaCO_3 . Το μετεωρικό νερό, το οποίο είναι ελαφρώς όξινο και υποκορεσμένο σε ανθρακικά άλατα, διαλύει τους βιοκλάστες στις αποθέσεις, απομακρύνοντας τα Ca^{2+} και CO_3^{2-} . Η άντληση των υπόγειων υδάτων, ως αποτέλεσμα των κυμάτων και της παλίρροιας κατά μήκος της ακτής, προκαλεί την ανάμιξη των θαλάσσιων και των μετεωρικών υδάτων, επιφέροντας την κατακρήμνιση των ανθρακικών αλάτων στα κενά ανάμεσα στους κόκκους. Αυτή η διαδικασία δεν μπορεί να θεωρηθεί ομοιογενής για όλη την ακτή επειδή η διαφορές στο ύψος των κυμάτων κατά μήκος της παραλίας έχουν ως αποτέλεσμα διαφορές στην πίεση που προκαλεί την άντληση των υδάτων. Έτσι, τα υπόγεια ύδατα συγκεντρώνονται σε συγκεκριμένες ζώνες της ακτής και ευνοούν την συνεκτικοποίηση σε αυτές τις θέσεις. Σε αυτή τη διαδικασία βοηθά και η εξαέρωση του CO_3^{2-} από τα πλούσια σε ανθρακικά άλατα ηπειρωτικά υπόγεια ύδατα στο όριο της ζώνης vadose και του υδροφόρου ορίζοντα, που ευνοεί την κατακρήμνιση του ανθρακικού ασβεστίου. *Ζώνη Vadose είναι η ζώνη στην οποία το νερό διηθείται μέσα στο υπέδαφος, χωρίς να αποτελεί τμήμα υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.* Αυτές οι διαδικασίες είναι συναποθετικές και απαιτούν σχετικά αργούς ρυθμούς απόθεσης.

2.7.3 ΕΠΟΙΚΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ

Αφού αποκαλυφθεί το beachrock εποικίζεται από μικροοργανισμούς και άλγη, τα οποία του δίνουν ένα χαρακτηριστικό πρασινωπό χρώμα. Όσο πιο πράσινο είναι, τόσο περισσότερος χρόνος έχει περάσει από την αποκάλυψή του. Αυτή η διαδικασία ευνοεί μια νέα φάση κατακρήμνισης. Η έκθεση και η απευθείας κυματική δράση για μια χρονική περίοδο λίγων ετών έχει ως αποτέλεσμα την κατακρήμνιση CaCO_3 από την απευθείας εξάτμιση του θαλάσσιου ύδατος και από την εξαέρωση του CO_3^{2-} . Αυτές οι δύο διαδικασίες σχηματίζουν ένα προστατευτικό κάλυμμα, το οποίο τείνει να συνεκτικοποιήσει περαιτέρω το σχηματισμό, κάνοντάς τον πιο ανθεκτικό και στερεό. Η διάρκεια αυτής της φάσης μπορεί να είναι από λίγους μήνες έως δεκαετίες.

2.8 ΣΥΣΤΑΣΗ - ΥΛΙΚΟ

Οι ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί όπως προαναφέρθηκε αποτελούνται από τα υλικά της παραλίας στην οποία σχηματίζονται, δηλαδή από κλαστικά υλικά, που στις περισσότερες των περιπτώσεων είναι άμμοι και σπανιότερα αδρομερέστερα, όπως ψηφίδες, χάλικες ή κροκάλες. Τα υλικά αυτά διαφέρουν πετρολογικά κατά περίπτωση, εξαρτώμενα πάντα από την τοπική τροφοδοσία της παραλίας από τα γύρω από αυτή πετρώματα. Έτσι μπορεί να είναι παραδείγματος χάρη χαλαζιακά, ασβεστολιθικά ή ακόμη και θραύσματα απολιθωμάτων. Έχουν αναφερθεί περιπτώσεις (Russell, 1963) κατά τις οποίες μεγάλες ποσότητες ιλμενίτη, μαγνητίτη ή πυρόξενου έχουν μετατραπεί κατόπιν συγκολλησεως σε σύγχρονο ψηφιδωπαγή αιγιαλό.

2.9 ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ

Από τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι συγκολλητική ύλη στους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς είναι πάντοτε το ανθρακικό ασβέστιο με τη μορφή ασβεσίτη, Mg -ασβεσίτη αραγωνίτη και σπανιότερα δολομίτη. Έχει αναφερθεί μια περίπτωση (Δερμιτζάκης & Θεοδωρόπουλος, 1974) όπου παρατηρήθηκαν εναλλαγές ασβεσίτη και οξειδίων Fe γύρω από κόκκο χαλκηδόνιου. Το γεγονός ότι το συγκολλητικό υλικό είναι πάντοτε το ανθρακικό ασβέστιο είναι χαρακτηριστικό στοιχείο για τη διάκριση των beach rocks από άλλους κλασσικής μορφής ψαμμίτες των οποίων η συγκολλητική ύλη είναι συνήθως χαλαζιακή (πυριτική).

Ο τρόπος της συγκόλλησης των κλαστικών υλικών για τη δημιουργία του beach rock αποτέλεσε θέμα διαφόρων συζητήσεων και μελετών. Είναι αντικειμενικά παραδεκτό ότι το συγκολλητικό υλικό τους είναι πάντοτε το CaCO_3 . Το βασικό ερώτημα είναι πώς και από πού προέρχεται. Η παρουσία αραγωνιτικού ή ασβεστιτικού τσιμέντου μας δίνει πληροφορίες για την προέλευση των beachrocks, μιας και το ασβεστιτικό τσιμέντο συνήθως κατακρημνίζεται από γλυκό νερό, ενώ το αραγωνιτικό από θαλάσσιο. (Stoddart and Cann, 1965).

Πολύ συχνή είναι η παρουσία κατιόντος Mg, που μπορεί να μεταβάλει σημαντικά την διαλυτότητα του συγκολλητικού υλικού, ευνοώντας την κατακρήμνιση από το θαλάσσιο νερό (Alexandersson, 1969). Παρόλα αυτά, αν η περιεκτικότητα του ασβεστιτικού υλικού σε MgCO_3 είναι υψηλή (πάνω από 10-15 mole%), τότε η

διαλυτότητα στο θαλασσινό νερό αυξάνει αισθητά σε σχέση με αυτή του αραγωνιτικού, με αποτέλεσμα την μη κατακρήμνιση στο αλμυρό νερό, ασβεστιτικού με υψηλό περιεχόμενο Mg (Βουσδούκας, 2005 από Milliman, 1974).

Επίσης ο τύπος του συγκολλητικού υλικού καθορίζει και τον τρόπο που γεμίζουν οι πόροι του ιζήματος. Στο ασβεστιτικό σχηματίζονται διαδοχικές λεπτές στρώσεις γύρω από τους κόκκους (Russell, 1962), ενώ στο αραγωνιτικό σχηματίζονται βελονοειδείς κρύσταλλοι, κάθετοι στην επιφάνεια των κόκκων (Ginsburg, 1953, Beier, 1985).

Η συγκολλητική ύλη εμφανίζεται γύρω από τους κόκκους με τη μορφή συγκεντρωτικών δακτυλίων ή άλλων μορφών, αναλόγων πάντοτε με το σχήμα των κόκκων. Η διάκριση του ασβεστίτη από τον αραγωνίτη και του ασβεστίτη από Mg - ασβεστίτη μπορεί να γίνει με τη μέθοδο των ακτίνων Χ.

Η μορφή και η διάταξη των κρυστάλλων του συγκολλητικού υλικού, που είναι συνάρτηση του περιβάλλοντος λιθοποίησης του σχηματισμού, μπορεί να αποτελέσει χαρακτηριστικό για τη διάκριση διαφόρων τύπων beachrock ως προς το συγκολλητικό.

Στις περιπτώσεις που το συγκολλητικό υλικό είναι ινώδες ή μικριτικό έχουμε τύπο που δημιουργείται σε θαλάσσιες ακτές και σε ενδοπαλιρροιακές επιφάνειες, στις οποίες η συγκόλληση γίνεται συνήθως από αραιό μαγνησιούχο ασβεστίτη και αραγωνίτη (Μουστάκα, 1997 από Purser 1969, 1980, Hanor 1978, Montaggioni 1978).

Αντίθετα σύμφωνα με τους Bogoch & Cook (1974), (Μουστάκα, 1997) όταν το συγκολλητικό υλικό είναι καθαρά ανθρακικό και όχι μαγνησιούχο τότε ο σχηματισμός δεν σχετίζεται με το θαλάσσιο περιβάλλον.

Το μικριτικό συγκολλητικό υλικό μαγνησιούχου ασβεστίτη ενωμένου με θυσάνους ινώδη αραγωνίτη είναι χαρακτηριστικό των περισσότερων ανθρακικών νηριτικών πετρωμάτων. Ο αποτιθέμενος μαγνησιούχος ασβεστίτης των beach rocks περιέχει 10-18 mole% $MgCO_3$ (Alexaderson 1972). Ο τύπος αυτός σύμφωνα με τους Ginsburg (1953), Taylor & Illing (1969), απαντάται σε περιβάλλον υποπαλιρροιακό και μεσοπαλιρροιακό.

Η μορφολογία του συγκολλητικού υλικού στη ζώνη Vadose αντικατοπτρίζει την κατανομή του ύδατος στους πόρους (με ακτινογραφική ανάλυση). Έτσι

διακρίνονται τουλάχιστον δύο τύποι συγκολλητικού στα πετρώματα που χαρακτηρίζουν τη ζώνη αυτή (Καμπουρόγλου, 1989):

- Ένας δισυμμετρικός ή μικροσταλλακτικός τύπος (Taylor & Illing 1969), βαρυτικός (Muller 1971), ή κρεμαστός (Longman 1980), (Μουστάκα, 1997), που σχηματίζεται όταν το νερό βρίσκεται σε σταγονίδια στην κάτω επιφάνεια των κόκκων.
- Ένας μνησικός τύπος (Dunham 1971) (Μουστάκα, 1997), που σχηματίζεται όταν τριχοειδές νερό βρίσκεται πολύ κοντά ή πάνω σε επαφές κόκκων.

Το συγκολλητικό υλικό επειδή τείνει να συγκεντρώνεται περισσότερο σε μερικά μέρη του ιζήματος δεν είναι ισοπαχές και αυξάνει τη στρογγυλότητα των κόκκων.

Έχει διαπιστωθεί ότι τα beach rocks που σχηματίζονται στη ζώνη Vadose είναι πολύ επιρρεπή στη διάβρωση, εφόσον βρίσκονται πάνω από το επίπεδο της θάλασσας και η διατήρησή τους συνδέεται με θαλάσσια επίκλυση, που ακολούθησε το σχηματισμό τους. Κατά τους J. Coudray & L. Montaggioni (1986), (Μουστάκα, 1997), το πρώιμο διαγενετικό συγκολλητικό υλικό, που σχηματίζεται κυρίως σε ρηχές τροπικές θάλασσες αποτελείται από δύο πολύμορφα ανθρακικά: το μαγνησιούχο ασβεστίτη και τον αραγωνίτη με περιεκτικότητα σε $MgCO_3 > 5 \text{ mole\%}$. Αυτό ενώ είναι σχετικά σταθερό στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι ασταθές κάτω από την επίδραση μετεωρικών υδάτων, που είναι ψυχρότερα και φτωχότερα σε ιόντα μαγνησίου.

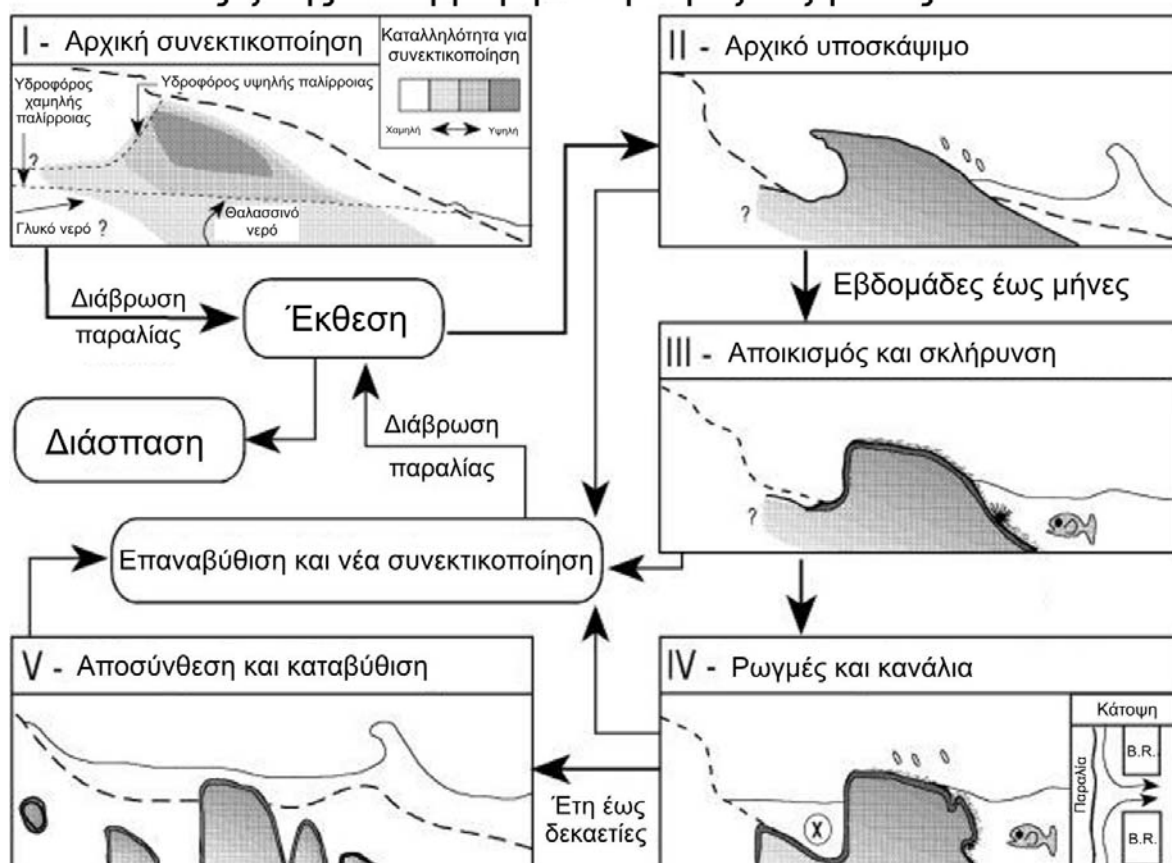
2.10 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ

Γενικά αναγνωρίζονται πέντε διακριτά στάδια του κύκλου ζωής και της μορφολογικής εξέλιξης ενός beachrock. Το πρώτο στάδιο (στάδιο I) είναι η φάση συνεκτικοποίησης πριν την έκθεση, η οποία λαμβάνει χώρα στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη. Ο απαραίτητος χρόνος σταθερότητας της παραλίας ώστε το beachrock να είναι ικανό να ανθίσταται στην διάβρωση κυμαίνεται από λίγους μήνες έως δεκαετίες και σχετίζεται με την θερμοκρασία του θαλάσσιου νερού. Κατά την αρχική έκθεση, όσο πιο ασθενώς συνεκτικοποιημένο είναι το beachrock τόσο εντονότερα διαβρώνεται, κυρίως στην πλευρά προς την ακτή και τελικά καθορίζεται το όριο του beachrock με την παραλία (στάδιο δεύτερο, II). Μετά από μερικές εβδομάδες έκθεσης του

beachrock, η εξωτερική του επιφάνεια σκληραίνει και εποικίζεται από φύκια και μικροοργανισμούς (στάδιο τρίτο, III). Η παρατεταμένη έκθεση και διάβρωση ενός beachrock για μια περίοδο μηνών έως δεκαετιών επιφέρει μια σταδιακή αύξηση της κλίσης των πλευρών του beachrock προς την παραλία και προς τη θάλασσα καθώς επίσης την ανάπτυξη δικτύου καναλιών παράλληλων προς την ακτογραμμή και ρωγμών κάθετων προς αυτή (στάδιο τέταρτο, IV). Η έκθεση για αρκετές δεκαετίες χωρίς σημαντική νέα συνεκτικοποίηση έχει ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση του beachrock σε πλάκες και μεγάλα μπλοκ, τα οποία μετατοπίζονται και θάβονται κάτω από μη συνεκτικοποιημένα ιζήματα (στάδιο πέμπτο, V) (Turner, 2000) (σχήμα 2.1).

Η έκθεση του beachrock είναι σημάδι μιας αλλαγής στις συνθήκες ισορροπίας της παραλίας, που φανερώνεται μέσα από μια ανώμαλη διαβρωτική διαδικασία. Η συνεχόμενη αποκάλυψη σχηματισμών beachrock στην ακτή μπορεί να θεωρηθεί ως σημάδι μεταβολής των παράκτιων ιζηματολογικών συνθηκών.

Ο κύκλος ζωής και η μορφολογική εξέλιξη ενός Beachrock



Σχήμα 2.1 Ο κύκλος ζωής και η μορφολογική εξέλιξη ενός ψηφιδωπαγούς αιγιαλού (Turner, 2000)

Καθώς το beachrock εξελίσσεται από το πρώτο έως το πέμπτο στάδιο της διάβρωσής του, η επιρροή του στις παράκτιες διαδικασίες αυξάνει. Η χαρακτηριστική απότομη πλευρά του beachrock στο τέταρτο στάδιο ανακλά την περισσότερη κυματική ενέργεια και επομένως περιορίζει την μεταφορά ιζημάτων στην ακτή. Οι σχηματισμοί beachrock των σταδίων II, III και IV, οι οποίοι προκαλούν μείωση της κυματικής ενέργειας που φτάνει στην ακτή, παρέχουν μια μορφή προστασίας για το εσωτερικό. Οι ακτές με αυτούς του σχηματισμούς έχουν ασυνήθιστα στενό σχήμα και παρουσιάζουν έλλειμμα ιζημάτων. Τα τμήματα της παραλίας με σχηματισμό beachrock του τέταρτου σταδίου παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα και διάρκεια έκθεσης, τους μικρότερους όγκους ενσωματωμένης άμμου και τους μικρότερους ρυθμούς ανάκαμψης από τη διάβρωση.

2.11 ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

Ο Turner (1999) έδειξε ότι το beachrock επηρεάζει τις παράκτιες διαδικασίες με βάση την έκτασή του και την μορφολογία του, τα οποία μεταβάλλονται με τον χρόνο. Η αθροιστική έκθεση και διάβρωση ενός σχηματισμού beachrock κατά τη διάρκεια ετών έως και δεκαετιών μπορεί να επιφέρει μια βαθμιαία δημιουργία και εμφάνιση διαφόρων μορφών στο σχηματισμό, όπως παράλληλες προς την ακτή γλυφές ή κάθετες προς την ακτή ρωγμές. Η πιθανή απότομη πλευρά προς την θάλασσα ενός εξελιγμένου beachrock μειώνει την κυματική ενέργεια που φθάνει στην ακτή και εξασθενίζει την μεταφορά ιζημάτων σε αυτήν. Επίσης, η πιθανή απότομη πλευρά προς την ακτή ενός beachrock δρα σαν τείχος που εμποδίζει την επιστροφή του νερού των κυμάτων προς τη θάλασσα (backwash), εγκλωβίζει θαλάσσιο νερό στην ακτή και αναγκάζει την άμμο να ρέει πλευρικά παράλληλα στην ακτογραμμή και να αποτίθεται σε χαμηλά σημεία (low spots) ή σε ρωγμές του beachrock. Οι ρωγμές και οι γλυφές του beachrock διαβρώνονται και μεγαλώνουν με την πάροδο του χρόνου.

Μια παραλία με σχηματισμό beachrock με απότομες πλευρές είναι πολύ πιθανό να παρουσιάζει έλλειμμα στο ιζηματολογικό ισοζύγιο και να είναι εκτός συγχρονισμού με το κυματικό καθεστώς. Αυτό θέτει την ακτή πίσω από το beachrock σε κίνδυνο μιας καταστροφικής υποχώρησης σε περίπτωση ανάπτυξης μεγάλων ρωγμών στο beachrock ή σε ένα γεγονός υψηλής κυματικής ενέργειας (καταιγίδα ή υψηλή παλίρροια).

Μετά τη έκθεση του, λοιπόν, στις συνθήκες περιβάλλοντος το πέτρωμα αλλοιώνεται με αποτέλεσμα να δημιουργούνται στην επιφάνειά του χαρακτηριστικές μορφές λόγω μηχανικών ή βιολογικών επιδράσεων:

1. Λόγω μηχανικών επιδράσεων δημιουργούνται πάνω στις πλάκες σχηματισμοί ποικίλης μορφής που εξαρτώνται από τη φορά κίνησης του νερού και ρυθμίζονται από την τοπική μικρομορφολογία της επιφάνειας των πλακών. Χαρακτηριστικές μορφές είναι:

.Οι οπές: σχηματίζονται από τοπική περιδίνηση του νερού στο σχηματισμό και διατρυπούν το πέτρωμα μέχρι βάθους 20 - 30 εκατοστά.

.Οι αύλακες: δημιουργούνται με ευθύγραμμη παλινδρόμηση του νερού πάνω στις πλάκες, που με την πάροδο του χρόνου διευρύνονται μεταπίπτοντας έτσι σε μικρές, επιμήκεις κοίτες.

Αν το πέτρωμα εμφανίζεται με τη μορφή σκοπέλου μέσα στη θάλασσα είναι δυνατό οι αρχικώς σχηματισθείσες οπές και αύλακες να διευρυνθούν βαθμιαία και τελικά να διαιρέσουν τον όλο σχηματισμό σε διάφορα ακανόνιστης μορφής σχήματα. (θέση Αγίου Κοσμά).

.Διακλάσεις: συχνά εμφανίζονται δύο συστήματα περίπου κάθετα μεταξύ τους, σε διάφορες θέσεις πάνω στα beachrocks, με διευθύνσεις παράλληλες και κάθετες προς την ακτογραμμή.

Συχνά εξαιτίας των ρωγμών αυτών μικρά τμήματα των ψηφιδωπαγών αιγιαλών αποκολλούνται και κλίνουν απότομα προς τη θάλασσα, ή τμήματα μεταξύ δύο ρωγμών παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό κλίσης από αυτόν του σχηματισμού. Άλλες φορές πάλι είναι δυνατό τμήματα να έχουν αποκολληθεί εντελώς και να βρίσκονται βυθισμένα στη θάλασσα, π.χ. στο σχηματισμό της Κινέτας (Μηστάρδης 1962).

Σχετικά με τη δημιουργία των διακλάσεων αυτών έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι οι εξής:

- * Η παρουσία τους οφείλεται σε τεκτονικά αίτια
- * Οφείλονται σε παράγοντες που έδρασαν κατά τη φάση της διαγένεσής τους
- * Η ύπαρξη τους αποδίδεται στη βαρύτητα
- * Η εμφάνισή τους οφείλεται στη μηχανική δράση των κυμάτων

Εξετάζοντας τις θεωρίες αυτές αποκλείονται οι δυο πρώτες γιατί σε ότι αφορά την τεκτονική δεν παρουσιάζονται ορισμένα γνωστά χαρακτηριστικά των διακλάσεων, όπως είναι οι ευθύγραμμες και λείες επιφάνειες, ενώ για τη δεύτερη θεωρία αν ίσχυε θα έπρεπε οι διακλάσεις να είχαν τυχαίες διευθύνσεις, πράγμα που δεν συμβαίνει αφού οι διακλάσεις των ψηφιδοπαγών αιγιαλών εμφανίζονται σε όλες τις περιπτώσεις με διευθύνσεις παράλληλες ή κάθετες ως προς την ακτογραμμή. Η τέταρτη θεωρία είναι γενικά αποδεκτή, αφού στις καταστάσεις θαλασσοταραχών τα κύματα κτυπούν με μεγάλη ένταση τα beachrocks, των οποίων η θραύση διευκολύνεται και από το γεγονός ότι επικάθονται αυτοί σε αμμώδες υπόβαθρο. Για την τρίτη θεωρία οι απόψεις διχάζονται. Σύμφωνα με τους Δερμιτζάκη Μ. & Θεοδωρόπουλο Δ. (1974) η θεωρία αυτή αποκλείεται αφού οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί επικάθονται πάνω σε επίπεδες επιφάνειες και άρα δεν δικαιολογείται η θραύση τους λόγω βαρύτητας. Αντίθετα σύμφωνα με τον Λεοντάρη (1992) η θεωρία είναι αποδεκτή με το σκεπτικό ότι οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί έχουν μεγάλο βάρος και άρα δικαιολογείται η καθίζηση τεμαχών λόγω της βαρύτητας.

2. Παρατηρούμενες αλλοιώσεις στα beachrocks είναι δυνατό να οφείλονται και σε βιολογική δράση από τα φύκη και τους θαλάσσιους οργανισμούς. Συχνά το πέτρωμα καλύπτεται από διάφορα είδη φυκών παρουσιάζοντας έτσι διάφορους χρωματισμούς. Τα φύκη κόκκινου και καστανού χρώματος π.χ. προσδίδουν έντονη χροιά. Τα ερυθρά φύκη αποθέτουν ανθρακικό ασβέστιο. Αντίθετα κάποια άλλα είδη φυκών, όπως τα πράσινα φύκια τρέφονται από ανθρακικό ασβέστιο προκαλώντας έτσι κατά κάποιο τρόπο χημική αποσάθρωση του σχηματισμού. Κάποιοι λιθοφάγοι οργανισμοί επίσης διαβρώνουν το πέτρωμα, διατρυπώντας το. Αντίθετα ορισμένοι τύποι φυκών, κοραλλιών, γαστερόποδων και σκωλήκων εκκρίνουν προστατευτικό στρώμα επικάλυψης. Μερικοί οργανισμοί όπως τα οστρακοφόρα Chitons, οι αντιπρόσωποι του γένους Balanus και κάποια είδη σπόγγων ασκούν επίσης προστατευτική επίδραση μόνο με την παρουσία τους προφυλάσσοντας το πέτρωμα από διαβρωτικές ενέργειες. Κάποιες φορές πάνω στα πετρώματα αναπτύσσεται λεπτή στρώση λευκού ως υποκίτρινου στρώματος που οφείλεται σε θαλάσσια φύκη (Algae), που καλείται από τους αμερικάνους Algae rocks. (Θέση Αγ. Κοσμά). Ο Russell (1962) αναφέρει για τις εμφανίσεις των ψηφιδοπαγών αιγιαλών της Καραϊβικής ότι η αλλαγή του χρώματος σε σκοτεινότερο και η αύξηση της σκληρότητας του μετά την έκθεση του σε συνθήκες περιβάλλοντος πιθανώς να μην οφείλονται αποκλειστικά σε οργανική

επίδραση, αλλά πιθανόν θα πρέπει να διερευνηθούν οι χημικές μεταβολές που μπορεί να λαμβάνουν χώρα στο συνδετικό υλικό.

2.12 ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ

Αν και όπως αναφέρεται το beachrock σχηματίζεται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, δεν παραμένει πάντοτε εκεί. Σε προωθούμενες (prograding) ακτές, σειρές από beachrock μπορεί να σχηματίζονται σε βάθος, αφήνοντας παλαιότερα τεμάχια αρκετά πίσω από την ενεργή παράκτια ζώνη. Σε ακτές που υποχωρούν, προεξοχές από beachrock μπορεί να εμφανιστούν μέσα στη θάλασσα σε απόσταση από την ακτή. Εάν η θέση της ακτής αλλάζει με το πέρασμα του χρόνου, τότε η θέση των τεμαχίων του beachrock θα αντικατοπτρίζει την αλλαγή αυτή.

Γνωρίζοντας ότι το beachrock σχηματίζεται στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη, πολλοί επιστήμονες έχουν συσχετίσει την έκθεση σχηματισμών beachrock με τις αλλαγές της στάθμης της θάλασσας. Οι Semeniuk και Searle (1987), (Βουσδούκας, 2005) παρατήρησαν ότι ο σχηματισμός beachrock μπορεί να συνεχιστεί υπό συνεχή και αργή υποχώρηση της ακτής, δίνοντας ένα πλατύ και συνεχές beachrock, αλλά οι απότομες υποχωρήσεις των ακτών (περίοδοι έντονης κυματικής δράσης ή αστάθειας της αιγιαλίτιδας ζώνης) αφήνουν κενά (μη συνεκτικοποιημένα ιζήματα) σε μια σειρά beachrock. Υποθέτοντας ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι σχεδόν σταθερή, αυτά τα κενά μπορεί να δείχνουν ότι το beachrock μπορεί προσωρινά να σταθεροποιήσει τη θέση της ακτής κάτω από διαβρωτικές συνθήκες, μέχρι η στάθμη της θάλασσας να ανέβει τόσο ώστε να προκαλέσει την απότομη οπισθοχώρηση της ακτής (Cooper, 1991).

Οι επιπτώσεις ενός beachrock στην εξέλιξη της ακτής μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε 3 ομάδες (Cooper, 1991) : (α) Μείωση της παράκτιας στερεομεταφοράς, (β) αλλαγή της παράκτιας μορφολογίας και (γ) αλλαγή στο δυναμικό διατήρησης του μετώπου της ακτής (shoreline face).

Η συνεκτικοποίηση των κόκκων άμμου σε beachrock εμποδίζει την περαιτέρω μεταφορά τους στην παράκτια ζώνη. Η επανα-εισαγωγή τους στον ιζηματολογικό κύκλο μπορεί μόνο να συμβεί μετά από διάβρωση ή/και αποσάθρωση του beachrock (από κύματα, άνεμο, μικροοργανισμούς).

Η πρόωρη συνεκτικοποίηση των παράκτιων ιζημάτων ενισχύει το δυναμικό διατήρησης της ακτής. Η ακτή μετατρέπεται σε σταθεροποιημένη και αλλαγές στην

στάθμη της επιφάνειας της θάλασσας είτε θα αφήσουν την ακτή πάνω από αυτή ή θα τη διατηρήσουν βυθισμένη στην υφαλοκρηπίδα. Και στις δύο περιπτώσεις η διατήρηση της ακτής θα έχει ενισχυθεί σε σχέση με μια ακτή μη συνεκτικοποιημένων ιζημάτων (Cooper, 1991).

Η παρουσία του beachrock όχι μόνο μειώνει τον όγκο των διαθέσιμων ιζημάτων στην παράκτια στερεομεταφορά, τόσο σε βραχύχρονη όσο και σε μακρόχρονη βάση, αλλά μπορεί να αλλάξει εν μέρει ή εξ ολοκλήρου και τη φύση της ακτής από αμμώδη σε βραχώδη. Η μείωση του όγκου των διαθέσιμων ιζημάτων επιφέρει αύξηση των ρυθμών διάβρωσης αλλά παραδόξως η διάβρωση ταυτόχρονα μειώνεται λόγω της ανθεκτικότητας του beachrock σε σχέση με τη χαλαρή άμμο.

Σε έντονη άνοδο της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας, το beachrock μπορεί να υπερκαλυφθεί από το θαλάσσιο νερό και να βυθιστεί. Η άμμος που κάλυπτε το beachrock απομακρύνεται πολύ γρήγορα και η παράκτια ζώνη πίσω από το beachrock υποχωρεί βίαια προτού σταθεροποιηθεί ξανά. Σε αργή άνοδο της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας με περιορισμένη παροχή ιζημάτων, η μερική διάβρωση του beachrock μπορεί να οδηγήσει σε μια ακτή με κροκάλες και βότσαλα. Με πτώση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας, εμφανίζονται προοδευτικά παλιές ακτογραμμές που διατηρούνται από το υπάρχον beachrock. Σε κάθε περίπτωση, ο σχηματισμός του beachrock επηρεάζει τη διατήρηση των ακτογραμμών και τη διαθεσιμότητα των ιζημάτων στην παράκτια ζώνη. Μπορεί να καταγράψει με ακρίβεια σχετικές αλλαγές της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας και να παρέχει αξιόπιστες πληροφορίες για το ρυθμό αυτών των αλλαγών.

2.13 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΣΤΟ ΠΑΡΑΚΤΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

2.13.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗ

Οι ακτές είναι πολύ δυναμικά περιβάλλοντα. Η εγκάρσια και διαμήκης μεταφορά ιζήματος, ελέγχει σε μεγάλο βαθμό τη μεταβολή της παράκτιας μορφολογίας (Komar, 1998) και κάθε τι που αλλοιώνει τις σχετικές με αυτές διεργασίες, μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παράκτια δυναμική

(α) Ο σχηματισμός των ψηφιδοπαγών αιγιαλών ξεκινάει με ιζήματα που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια και δεν συμμετέχουν στην παράκτια κίνηση. Στην συνέχεια όμως καθώς το φαινόμενο εξαπλώνεται προς τα πάνω ακινητοποιούνται ιζήματα που

κανονικά υπόκεινται σε αυτήν, με αποτέλεσμα τη μείωση του όγκου του ιζήματος και τη μετακίνηση προς την στεριά της μέσης θέσης της ακτογραμμής.

(β) Η δημιουργία των beachrocks, όχι μόνο εμποδίζει την μεταφορά του υλικού της ακτής, αλλά το στερεί από αυτήν ακινητοποιώντας το (Cooper, 1991).

(γ) Σε ευθύγραμμες, μακρές ακτές οι εμφανίσεις beachrock μπορεί να εμποδίζουν την μεταφορά ιζήματος κατά τα παράκτια στερεομεταφορά, (Cooper, 1991).

(δ) Οι σχηματισμοί αυτοί, "κλειδώνοντας" μέρος του παραλιακού προφίλ σε μία συγκεκριμένη θέση, δεν επιτρέπουν την ελεύθερη διαμόρφωση του παραλιακού προφίλ ανάλογα με τις εποχιακές υδροδυναμικές συνθήκες (Βουσδούκας, 2005) που είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την διατήρηση της παραλιακής ισορροπίας (Βουσδούκας, 2005 από Dean, 1991, Bodge, 1992, Nairn and Southgate, 1993, Komar, 1998).

(ε) Η παρουσία των ψηφιδωπαγών αιγιαλών δημιουργεί περιοχές με διαφορετική κλίση από την υπόλοιπη παραλία με αποτέλεσμα να αλλάζει η υδροδυναμική/μορφοδυναμική συμπεριφορά σε όλο το μήκος της παραλίας (Βουσδούκας, 2005 από Komar, 1979, McDougal and Hudspeth, 1989) με απρόβλεπτο τρόπο, χωρίς δηλαδή να μπορεί να προβλεφθεί από τα υπάρχοντα μορφοδυναμικά αναλυτικά ή/και αριθμητικά μοντέλα (Βουσδούκας, 2005 από Larson and Kraus, 1989, Hanson and Kraus, 1989, Cooper, 1991, Van Rijn, 1993, Hedegaard et al, 1992).

2.13.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΛΟΓΙΑ

Σημαντικές μπορεί να είναι και οι επιπτώσεις των beachrocks στην οικολογία των παράκτιων περιοχών, καθώς η αρχική χλωρίδα και πανίδα που συναντάμε σε αμμώδη περιβάλλοντα μπορεί να αντικατασταθεί από αυτή που σχετίζεται με βραχώδεις ακτές. Στις περιπτώσεις των Ελληνικών νήσων, με τις περιορισμένες παραλίες, τα αποτελέσματα μπορεί να ιδιαίτερα σημαντικά, αφού η αποίκηση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών από αλλόχθονους οργανισμούς αυξάνει τις πιέσεις στις, ήδη εύθραυστες, αυτόχθονες βιοκοινωνίες των παραλίων με χαλαρά ιζήματα.

2.13.3 ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Τέλος, οι επιπτώσεις στην κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη των παρακτίων περιοχών μπορεί να είναι καταστροφικές, ιδιαίτερα στην περίπτωση των Ελληνικών νήσων των οποίων η οικονομία εξαρτάται από τον θερινό τουρισμό. Τα Ελληνικά νησιά χαρακτηρίζονται (συνήθως) από παραλίες με μικρό μήκος και εύρος (rocket beaches), που είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην δημιουργία/ανάπτυξη των ψηφιδωπαγών αιγιαλών, που μπορεί, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, να μετατραπούν μερικώς, ή και ολικώς σε βραχώδεις ακτές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα:

- Την αισθητική υποβάθμιση τους.
- Λειτουργικά προβλήματα όπως το γεγονός ότι η αποίκηση των ψαμμιτών από διάφορα είδη οργανισμών (και ιδιαίτερα από τα κυανοφύκη) κάνει ιδιαίτερα επικίνδυνη την διάβαση τους από τους λουόμενους, αυξάνοντας την πιθανότητα τραυματισμών.
- Την αναγκαιότητα κατασκευής πισινών ακόμα και από πολύ μικρές ξενοδοχειακές μονάδες και ξενώνες (10-20 κλινών) με μεγάλο οικονομικό, αισθητικό και περιβαλλοντικό κόστος.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι η εμφάνιση/εξάπλωση των ψηφιδωπαγών αιγιαλών μπορεί να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα στην τουριστική ανάπτυξη, δηλαδή στον μεγαλύτερο οικονομικό πόρο των νησιών, αλλά και ολόκληρης της χώρας, που δεν είναι άλλος από την αξιοποίηση των ακτών (Βουσδούκας, 2005).

Επιτόπια έρευνα στην Σίφνο (Βουσδούκας, 2005) έδειξε ότι πάνω από το 50% των περιστατικών που αναφέρθηκαν στον Σταθμό Υγείας της Απολλωνίας (πρωτεύουσα της Σίφνου) το θέρος του 2001 σχετίζονταν με ατυχήματα σε παραλίες με beachrocks. Μερικά από τα περιστατικά ήταν πολύ σοβαρά (π.χ. κατάγματα άκρων και λεκάνης, κρανιακές κακώσεις κλπ.).

2.14 ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΕΙΣ ΑΙΓΙΑΛΟΙ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ (ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΗΛΙΚΙΑ)

Η Ελλάδα είναι χώρα που το μεγαλύτερο τμήμα της περιμέτρου της βρέχεται από θάλασσα και που περιλαμβάνει πλήθος νησιών. Με το πολύ μεγάλο λοιπόν μήκος

ακτών της είναι επόμενο να παρουσιάζει σε πολλές θέσεις ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς. Αυτό εξάλλου ενισχύεται από το ενδιαμέσο γεωγραφικό πλάτος στο οποίο Βρίσκεται, καθώς και από την πολύ μεγάλη παρουσία σε αυτή ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Από την πληθώρα όμως των beach rocks του ελληνικού χώρου έχει μελετηθεί ένα μικρό μόνο τμήμα.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι ερευνητές που έχουν ασχοληθεί μέχρι σήμερα με τα beach rocks του ελληνικού χώρου.

Πίνακας 2.1 Ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί της Ελλάδας (Μουστάκα, 1997)

ΜΗΣΤΑΡΔΗΣ (1952, 1956, 1963, 1972)	Ακτές Αττικής - Κορινθιακός κόλπος - Σαρωνικός κόλπος: Ακτές Σαρωνικού μεταξύ Κινέτας - Καλαμακίου (Κρομμυωνίας), μεταξύ Διώρυγας Κορίνθου και Λουτρακίου και Ευβοϊκής ακτής μεταξύ Ερέτριας και Αλιβερίου.
RUSSELL (1963)	Ικαρία
ΡΟΥΜΠΑΝΗΣ (1971)	Ακτές Αττικής: Καλαμάκι, Άγιος Κοσμάς (13ο χλμ.), Αερολιμένας (15 χλμ.), Κάτω Βούλα - Αλυκή (20ο χλμ.), Βούλα (24ο χλμ.), Αγία Μαρίνα (35ο χλμ.). προς Σούνιο (37ο χλμ), Λυκουρέζα 39ο χλμ.).
ΜΑΡΙΝΟΣ - ΣΥΜΕΩΝΙΔΗΣ (1972)	Τήλος
ALEXANDERSON (1969, 1972)	Ρόδος, Κάρπαθος
BOEKSHOTEN (1962, 1963)	Κρήτη
HIGGINS (1969),	Νότιο Αιγαίο

ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗΣ & ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ (1974)	Παράλια νοτιοανατολικής Κρήτης: παραλία Φέρμα, παραλία Στενάκι - Παπλινού, παραλία Γυαλί, ακτή δίπλα στο ακρωτήριο Περιστεράς, παραλία Λιβιάδων - Αγίου Ανδρέα, παραλία Ιεράπετρας, παραλία Σαρακήνας -Αλμυρού, παραλία Αγίου πνεύματος - Ποταμών, παραλία Γρα Λυγιά -Στομίου, παραλία Αμμουδάρες, παραλία Μύρτου - Βάτου, Νήσος Μετώπης: νοτιοανατολική παραλία Νήσος Ρόδος: νότιος κόλπος χερσονήσου Λαδικού, παραλία Γενναδίου
ΣΩΤΗΡΙΑΔΗΣ & ΨΙΛΟΒΙΚΟΣ (1976)	Ποσειδί Χαλκιδικής: ΒΔ & ΝΑ ακτή ακρωτηρίου
ΤΣΑΓΚΑΡΗΣ (1980)	Θάσος: 3χλμ. δυτικά της παραλίας Λιμενάρια
ΚΑΜΠΟΥΡΟΓΛΟΥ (1989)	Ερέτρια Ευβοίας
ΛΕΟΝΤΑΡΗΣ (1983)	Ακτές Αττικής, Βοιωτίας, Εύβοιας: Ανθηδώνα, Βραώνα

Με την ηλικία των ψηφιδωπαγών αιγιαλών της Ελλάδας έχουν ασχοληθεί κατά καιρούς διάφοροι ερευνητές:

Ο HIGGINS (1969) ραδιοχρονολογώντας με C14 τα ελασματοβράγχια του γένους *Ostrea* από τον ελληνικά χώρο υπολόγισε ότι οι σχηματισμοί των beachrocks έγιναν περίπου 2.000 χρόνια π.Χ.

Ο Boekschoten (1962) στηριζόμενος στην ανεύρεση διαφόρων αντικειμένων μέσα στα beachrocks της χερσονήσου ανατολικά του Ηρακλείου Κρήτης θεώρησε ότι η ηλικία τους φτάνει τα 2.000 χρόνια.

Ο Leontaris (1983) έπειτα από μελέτες του στις ακτές της Αττικής, της Βοιωτίας και της νότιας Εύβοιας διαπίστωσε την ύπαρξη ερυθρόχρωμων κροκαλοπαγών, που βυθίζονται κάτω από τη θάλασσα σε σχετικά μεγάλη απόσταση από την ακτή, ηλικίας παλαιότερης του Ολοκαίνου, πιθανόν ανωπλειστοκαινικής. Πάνω στους σχηματισμούς αυτούς σε πολλές θέσεις αναπαύονται ψαμμιτικά στρώματα πιθανής ηλικίας κατώτερου Ολοκαίνου. Τέλος πάνω σε αυτά αναπτύσσονται ψηφιδωπαγείς αιγιαλοί. Συνεπάγεται από τα παραπάνω ότι η ηλικία των beachrocks σε ορισμένους χώρους, ιδιαίτερα της Μεσογείου θα πρέπει να είναι Ολοκαινική και νεώτερη, δηλαδή όχι μεγαλύτερη των 6.000 ετών. Ο ίδιος ερευνητής για τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς της Ανθηδώνας (Β. Ευβοϊκός), που ήταν

παραθαλάσσια πόλη της Μυκηναϊκής εποχής (1.600 - 1150 π.Χ.) θεώρησε ότι η ηλικία τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.500 ετών, αφού κομμάτια από αυτούς τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς, με τη μορφή ογκόλιθων, προστάτευαν το λιμάνι της πόλης. Για τα beachrocks της Βραώνας ο ίδιος επίσης ερευνητής ισχυρίστηκε ότι ηλικία τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 3.000 ετών, αφού χρησιμοποιήθηκαν ως δομικά υλικά, και η ηλικία των αρχαιοτήτων της Βραώνας έχει τοποθετηθεί αρχαιολογικά στο 1.000 π.Χ.

Οι Δερμιτζάκης Μ. & Θεοδωρόπουλος Δ. (1974) μετά από μελέτες τους στους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς των παράλιων της Ν.Α. Κρήτης συμπέραναν: για τη μεν παραλία της Γρα - Λυγιάς ότι η ηλικία τους είναι νεώτερη του 2.500 - 1.800 π.Χ., αφού μέσα σε αυτούς βρέθηκαν ανθρώπινοι σκελετοί (φυλάσσονται στο μουσείο της Ιεράπετρας) και ένα πιθάρι της προαναφερόμενης ηλικίας σύμφωνα με τον αρχαιολόγο Α. Ζώη. Για τη δε παραλία της Περιστεράς αποφάνθηκαν ότι η ηλικία τους πρέπει να είναι νεότερη αφού μέσα σε αυτή βρέθηκαν μεταλλικά αντικείμενα, κομμάτια αξίνας και αλυσίδας ποδηλάτου, καθώς και ένα νόμισμα του 1926. Για τη δε ακτή του νότιου κόλπου του Λαδικού, στη Ν.Α. παραλία της Ρόδου βρέθηκαν εγκλεισμένα μέσα στα beachrocks τεμάχια αγγείων ηλικίας, σύμφωνα με τον αρχαιολόγο Α. Ζώη, παλαιότερης των Βυζαντινών χρόνων και νεώτερης των ελληνοιστικών. Άρα η ηλικία των beachrocks πρέπει να είναι νεώτερη.

Οι Μαρίνος Γ. & Συμεωνίδης Ν. (1972) μετά από ερευνά τους στα beachrocks που βρίσκονται στη νοτιοανατολική γωνία του μεγάλου Όρμου του Αγίου Αντωνίου στη Β.Δ. πλευρά της νήσου Τήλου, εντόπισαν οστά ανθρώπινων σκελετών και τεμάχια πήλινων αγγείων εγκλεισμένα μέσα στους σχηματισμούς. Βρέθηκε επίσης από την αρχαιολόγο Ζερβουδάκη συγκολλημένο ένα μικρό χάλκινο νόμισμα, πλήρως οξειδωμένο. Πρόκειται μάλλον για ομαδικούς τάφους που είχαν διανοιχτεί στην άμμο της τότε παραλίας και τώρα βρίσκονται μέσα στα beachrocks. Πράγματι τα τοιχώματα των τάφων αυτών αποτελούνται από σειρές μεγάλων και ασύνδετων κροκάλων. Κάποια από τα ανθρωπολογικά ευρήματα αποσπάσθηκαν μελετήθηκαν και έγινε ραδιοχρονολογική ανάλυση στην απομείνουσα ζελατίνη αυτών με C14. Βρέθηκε λοιπόν η ηλικία 2.475 ± 195 έτη πριν από σήμερα. Η δημιουργία λοιπόν των ψηφιδωπαγών αιγιαλών σε αυτή τη θέση είναι σίγουρα νεώτερη από την προαναφερθείσα ηλικία.

Ο Μηστάρδης (1952) αναφέρει ότι κομμάτια από τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς είχαν χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή προϊστορικών τάφων στην περιοχή του Αγίου Κοσμά. Αρχαιολογική χρονολόγηση των τάφων αυτών τους

τοποθετεί στο 1.800 π.Χ., άρα οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί είναι οπωσδήποτε μεγαλύτερης ηλικίας. Σύμφωνα με τον ίδιο επίσης ερευνητή πολλοί ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί της Ν.Α. Ελλάδας επίκεινται ερυθρόχρωμων κροκαλοπαγών ηλικίας παλαιότερης του Ολοκαίνου, πιθανώς Ανωπλειστοκαινικής. Άρα οι ψηφιδοπαγείς αιγιαλοί των εκεί περιοχών πρέπει να είναι ηλικίας 5 - 10χιλ. ετών. Οι Dermitzakis et al (1993) χρονολόγησαν τα beachrocks της Αναβύσσου με τη μέθοδο της θερμοφωταύγειας. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εκμετάλλευση της φυσικής ραδιενέργειας της ύλης, αφενός δηλαδή στη φυσική ραδιενέργεια που υπάρχει στους κόκκους που συνθέτουν τα beachrocks και αφετέρου στην κοσμική ακτινοβολία. Ουσιαστικά οι κόκκοι οι οποίοι έχουν ακτινοβοληθεί αρκετά από τον ήλιο έχουν μηδενική θερμοφωταύγεια. Όταν σταματήσει όμως η έκθεση τους στον ήλιο αρχίζει και η θερμοφωταύγιά τους να αυξάνεται. Οι κόκκοι που μελετήθηκαν στην αναφερόμενη εργασία (χαλαζία, ασβεστίτη) λειτουργούν σαν δοσίμετρα που μετρούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία, της οποίας η ένταση είναι σταθερή στο χρόνο για τουλάχιστο τα τελευταία 10.000 χρόνια. Βρέθηκε λοιπόν ηλικία για τα αναφερόμενα beach rocks 8.070 ± 1.800 χρόνια.

Από τα παραπάνω φαίνεται καθαρά ότι υπάρχουν διαφορετικές ηλικίες των ψηφιδοπαγών αιγιαλών για τις διάφορες θέσεις του ελληνικού χώρου, που μελετήθηκαν.

3 Στοιχεία της ευρύτερης περιοχής μελέτης

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

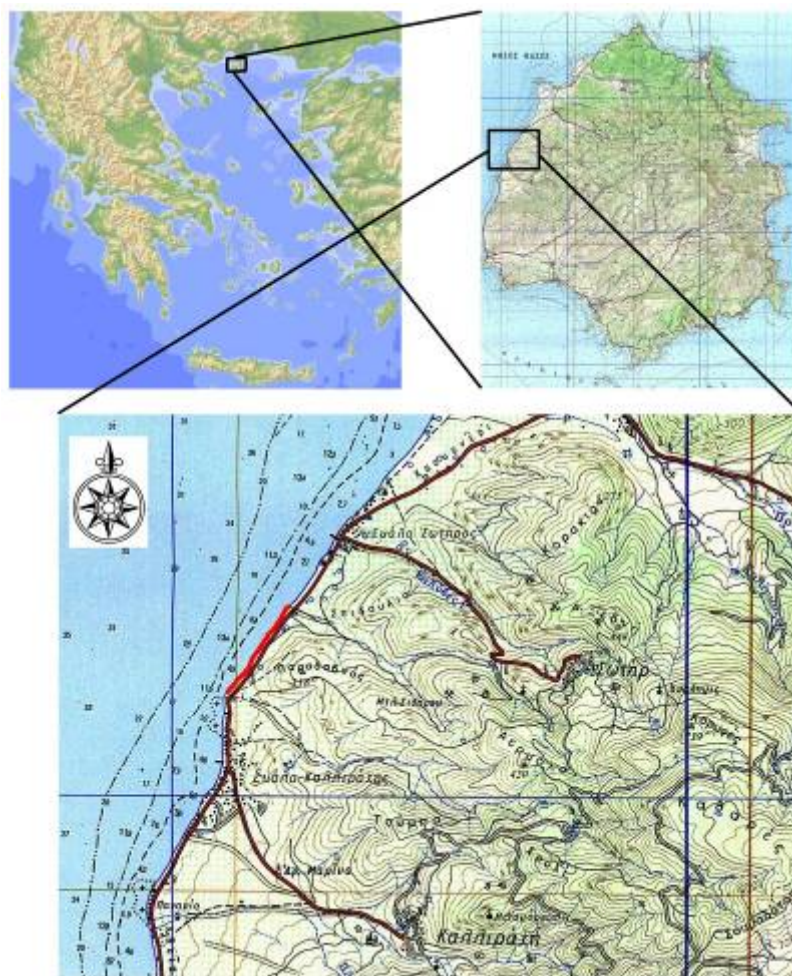
Η Θάσος βρίσκεται στο χώρο του Βόρειου Αιγαίου. Είναι το βορειότερο νησί της Ελλάδας και ανήκει διοικητικά στο Νομό Καβάλας. Ολόκληρο το νησί αποτελεί ένα δημοτικό διαμέρισμα με έδρα το Λιμένα. Ο πληθυσμός του νησιού είναι περίπου 14.500 κάτοικοι. Η παραλία έρευνας βρίσκεται στη δυτική πλευρά του νησιού, μεταξύ των χωριών Σκάλα Σωτήρα και Σκάλα Καλλιράχης. Συγκεκριμένα, απέχει περίπου 1300 μέτρα νότια από τη Σκάλα Σωτήρα και περίπου 600 μέτρα βόρεια από τη Σκάλα Καλλιράχης.

Οι ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες που οριοθετούν την παραλία είναι :

$\varphi = 40^{\circ} 43' 18''$ έως $40^{\circ} 43' 03''$ Βόρειο Γεωγραφικό Πλάτος

$\lambda = 24^{\circ} 32' 24''$ έως $24^{\circ} 32' 10''$ Ανατολικό Γεωγραφικό Μήκος

Σύστημα Γεωγραφικών Συντεταγμένων : UTM Zone 35, ED50



Σχήμα 3.1 Θέση της περιοχής μελέτης

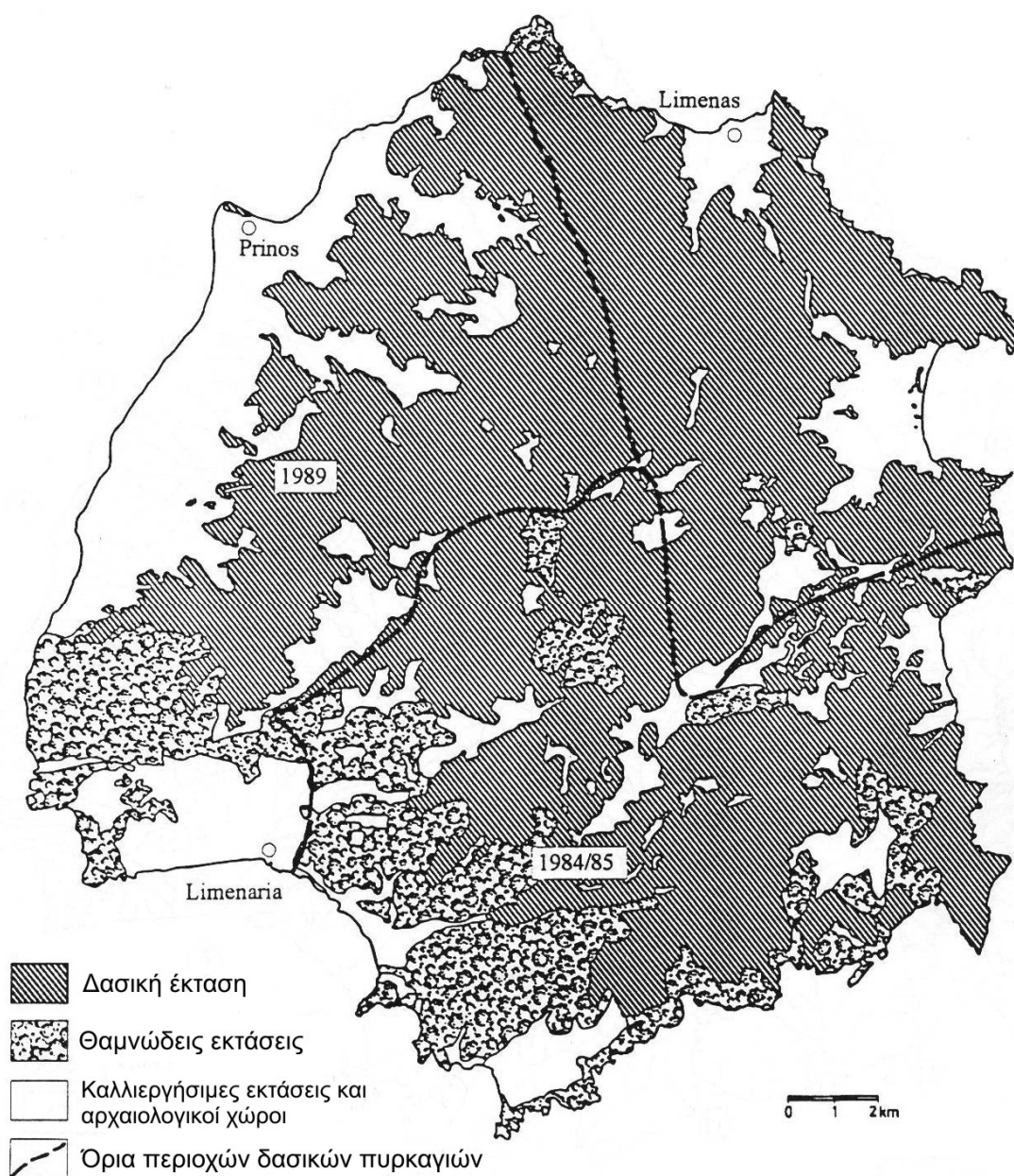
Η δυτική – βορειοδυτική πλευρά του νησιού έχει συνδεθεί με την άντληση πετρελαίου από τη θαλάσσια περιοχή, με το λιμάνι του Πρίνου, από όπου συνδέεται το νησί ακτοπλοϊκά με την Καβάλα αλλά και με τις πυρκαγιές που έλαβαν χώρα παλαιότερα. Η τουριστική ανάπτυξη στην συγκεκριμένη ζώνη δεν είναι ιδιαίτερα έντονη συγκριτικά με το υπόλοιπο νησί, όμως άλλες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (αλιεία, γεωργία, δόμηση κ.ά.) επηρεάζουν όλη την δυτική ακτή του νησιού.

3.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ

Η έντονη και πολλαπλή ανθρώπινη παρέμβαση στη Θάσο είχε ποικίλες οικολογικές επιπτώσεις κυρίως στη βλάστηση και προκάλεσε σημαντικές απώλειες εδάφους, εξαιτίας της εδαφικής διάβρωσης (Riedl & Weingartner, 1998). Η καταστροφή της βλάστησης, που σε ορισμένες περιπτώσεις ήταν ολοκληρωτική, εξαιτίας τόσο των πολυάριθμων πυρκαγιών όσο και του εντατικού ρυθμού της

ανεξέλεγκτης βόσκησης, είχε ως αποτέλεσμα την μεταβολή των μικροκλιματικών και εδαφολογικών παραγόντων, προκαλώντας έτσι την έναρξη μιας έντονης διαβρωτικής διεργασίας με εκτενείς συνέπειες.

Οι κύριες αιτίες καταστροφής της βλάστησης των προηγούμενων δεκαετιών είναι οι πυρκαγιές που σημειώθηκαν τα έτη 1985, 1989 και 1993 (σχήμα 3.2). Εξαιτίας αυτών 210km² δασικής και θαμνώδους έκτασης, δηλαδή το 55,3% της συνολικής επιφάνειας του νησιού ή το 89% της συνολικά καταγεγραμμένης δασικής έκτασης το 1981, καταστράφηκαν. Και στις τέσσερις περιπτώσεις οι φωτιές προκλήθηκαν από εμπρησμό.



Σχήμα 3.2 Δασικές πυρκαγιές στη Θάσο την περίοδο 1984-1989 (Weingartner, 1994).

Επίσης, η ανεξέλεγκτη βοσκή των περίπου 40000 ζώων του νησιού σε σχεδόν ολόκληρη την επιφάνειά του προκαλεί με τη σειρά της αρκετά μεγάλης έκτασης καταστροφή. Ο αριθμός των ζώων αυξήθηκε κατά 43% την περίοδο 1981 έως 1994, με αποτέλεσμα η εκτροφή τους να είναι 3-8 φορές μεγαλύτερη από το επιτρεπόμενο οικολογικό όριο (Weingartner, 1994). Εκτός από την καταστροφή την χλωρίδας από τη βοσκή, εμφανίστηκαν επιπλέον στην επιφάνεια του εδάφους και μηχανικές κατεργασίες, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη διαβρωτική τάση.

Ακριβείς παρατηρήσεις του μικροκλίματος και του εδαφικού κλίματος επαλήθευσαν την σημαντική επίδραση του δάσους ή ενός πυκνού καλύμματος βλάστησης. Η καταστροφή του στρώματος βλάστησης προκάλεσε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους και παράλληλα των υπόγειων υδάτων μέσα σε αυτό. Ιδιαίτερα σε περιοχές που καταστράφηκαν από πυρκαγιές μετρήθηκαν σε βάθη 10μ. θερμοκρασίες έως και 120% υψηλότερες συγκριτικά με εκείνες των περιοχών που δεν κάηκαν (Weingartner, 1994).

Η δραστική επέμβαση του ανθρώπου στο οικοσύστημα της περιοχής οδήγησε κυρίως σε αύξηση της επιφανειακής απορροής του ύδατος, που αποδεικνύεται από τη δραστική μείωση των νερών των πηγών, με μοιραία συνέπεια την καταστροφή του εδάφους και της βλάστησης.

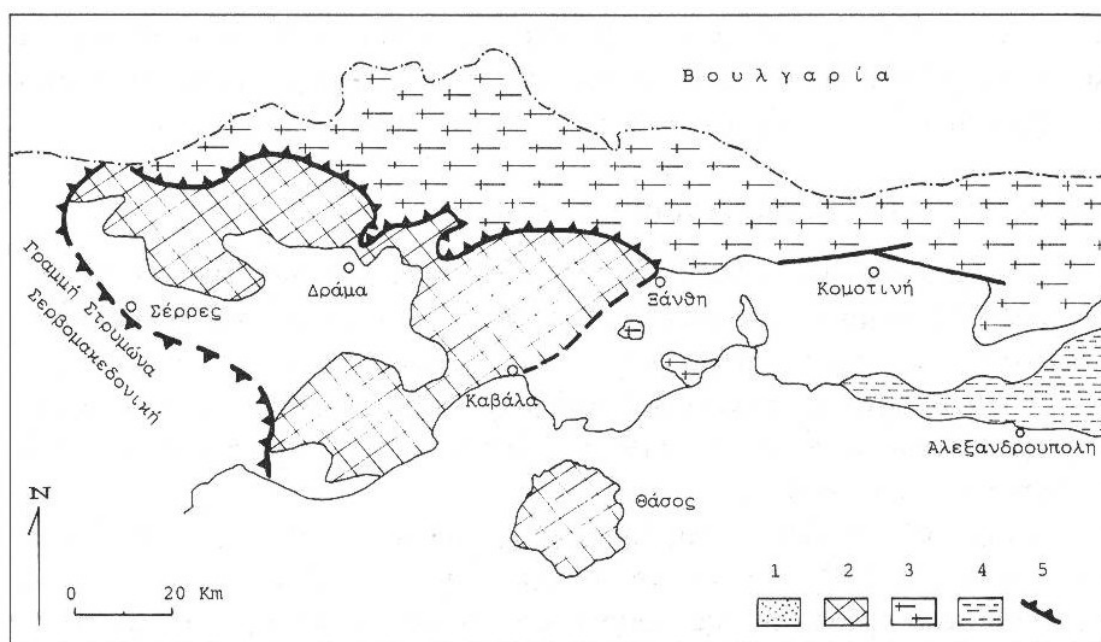
3.3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ - ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

3.3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η Θάσος ανήκει γεωτεκτονικά στη μάζα της Ροδόπης και πιο συγκεκριμένα στην ενότητα Παγγαίου (Μουντράκης, 1985).

Η μάζα της Ροδόπης κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα. Ο Βορεάδης (1954) διαχωρίζει στη Θάσο έναν κατώτερο γνευσιακό πυρήνα, ένα ενδιάμεσο μάρμαρο, έναν ενδιάμεσο ορίζοντα γνευσίων και το ανώτερο μάρμαρο. Τα δύο παλιότερα πετρώματα τοποθετούνται σύμφωνα με τον Osswald στο Αλγώγκιο ενώ τα δύο νεώτερα στο Κάτω Κάμβριο. Η μεταμόρφωση των ιζημάτων είχε ήδη λήξει το Λιθανθρακοφόρο.

Πιο πρόσφατες έρευνες διαχωρίζουν τη μάζα της Ελληνικής Ροδόπης σε δυο τεκτονικές μονάδες (σχήμα 3.3) : Την ανώτερη «ενότητα του Σιδηρόνερου» στα βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την κατώτερη «ενότητα του Παγγαίου» που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη (Papanikolaou & Panagourios 1981).



Σχήμα 3.3 Τεκτονικό σκαρίφημα της μάζας της Ροδόπης (Μουντράκης, 1985).

1. Μεταλικά ιζήματα
2. ενότητα Παγγαίου
3. ενότητα Σιδηρόνερου
4. σχηματισμοί της Περιροδοπικής ζώνης
5. γραμμή επώθησης

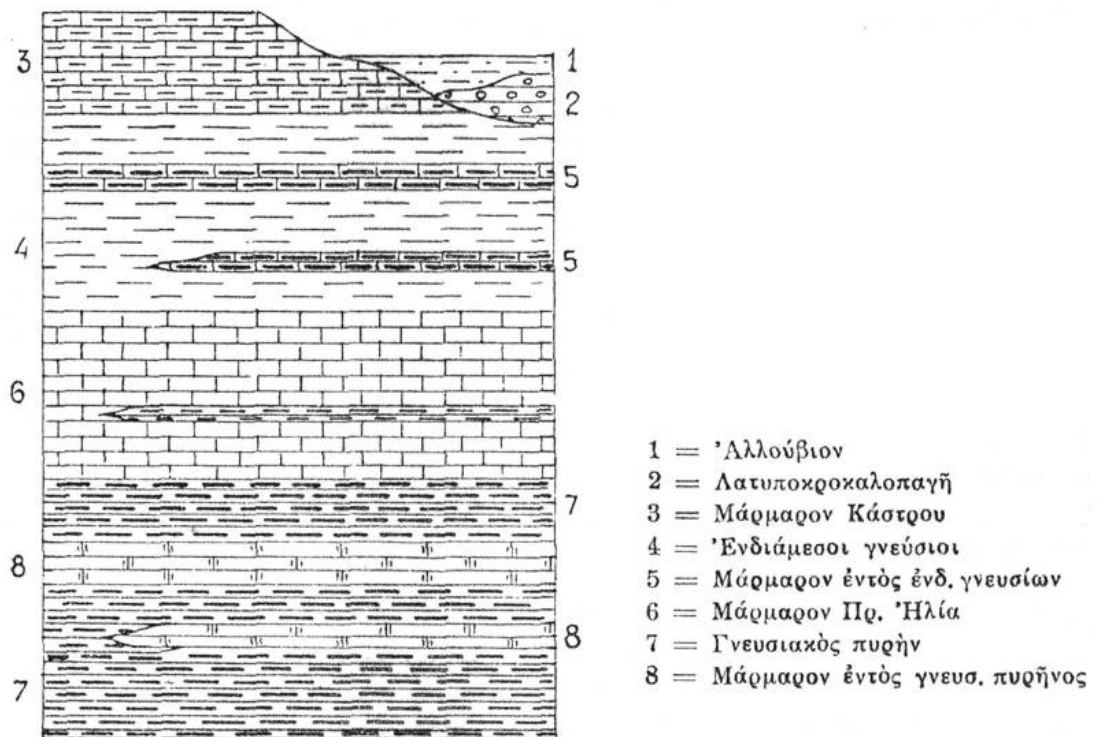
Η ενότητα Σιδηρόνερου επιππεύει την ενότητα Παγγαίου από Βορρά προς Νότο κατά μήκος μιας μεγάλου μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής διεύθυνσης ΒΔ – ΝΑ (περίπου 110°).

Η ενότητα Παγγαίου συγκροτείται από έναν κατώτερο ορίζοντα με ορθογνευσίους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες, ένα μεσαίο ορίζοντα μαρμάρων μεγάλου πάχους και ένα ανώτερο ορίζοντα με εναλλαγές σχιστολίθων και μαρμάρων.

Η Θάσος αποτελείται από πετρώματα μεταμορφωσιγενή, τα οποία καταλαμβάνουν όλο σχεδόν το νησί. Ως ιζηματογενή αναφέρονται μόνο τα λατυποκροκαλοπαγή των νοτιοδυτικών της ακτών καθώς και τα αλλουβιακά της αποθέματα των πεδινών περιοχών. Επίσης εμφανίζονται σπανίως εκρηξιγενείς σχηματισμοί.

Το μεταμορφωσιγενές της Θάσου αποτελείται από σειρές γνευσίων και μαρμάρων σε αλληπάλληλες σύμφωνες στρώσεις. Από το ανώτερο προς το κατώτερο στρώμα συναντάμε το μάρμαρο του Κάστρου, τους ενδιάμεσους γνευσίους, το μάρμαρο του Προφήτη Ηλία και τον γνευσιακό πυρήνα.

Ως αλλουβιακά εμφανίζονται στη Θάσο τα αποθέματα αργίλων και φυτικής γης των πεδινών τμημάτων του νησιού και των κοιλάδων καθώς και τα πλευρικά κορήματα, τα οποία αναπτύσσονται στις κλιτύς των υψημάτων του. Το μεγαλύτερο πεδινό τμήμα της Θάσου είναι η πεδιάδα του Καζαβιτίου, η οποία εκτείνεται από τη Σκάλα Σωτήρος μέχρι τη Σκάλα Ραχωνίου. Σημαντικά επίσης είναι και τα παράκτια πεδινά τμήματα του Λιμένος, της Καλλιράχης, των Λιμεναρίων και του Ποτού. Τα αλλουβιακά αποθέματα αυτών των πεδινών τμημάτων του νησιού συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα αργίλων και άμμου. Περιέχουν και λατύπες, σπανιότερα και κροκάλες, από τα πετρώματα των εκάστοτε περιοχών.



Σχήμα 3.4 Αλληλουχία των μελών του μεταμορφωσιγενούς της Θάσου και των ιζηματογενών σχηματισμών (Βορέαδης, 1953).

Οι υδρολογικές λεκάνες που καταλήγουν στην υπό μελέτη παραλία περιλαμβάνουν τους παρακάτω σχηματισμούς :

ΟΛΟΚΑΙΝΟ

- **Σύγχρονες προσχώσεις** : Άργιλοι, άμμοι, χαλίκια

ΑΝΩΤΕΡΟ ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ

- **Μάρμαρο Κάστρου** : Λευκό έως ελαφρά τεφρό, στρωματώδες, συμπαγές ή λατυποκροκαλοπαγές, ποικίλης κοκκομετρικής διαβάθμισης.

Η χαρακτηριστική εμφάνιση αυτού του μαρμάρου ως ανώτερου στρωματογραφικού ορίζοντα παρατηρείται στο κεντρικό τμήμα του νησιού, στην περιοχή του Κάστρου (472 μέτρα). Τα Μάρμαρο Κάστρου, το οποίο εκτείνεται προς Βορρά μέχρι την τοποθεσία Βάτος, επικάθεται επί των ενδιάμεσων μεταξύ αυτού και του μαρμάρου του Προφ. Ηλία γνευσίων. Παρά την επιφανειακή αποσάθρωση την οποία υπέστη το Μάρμαρο Κάστρου λόγω της ανώτατης θέσης του, παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη προς τη δυτική παράκτια ζώνη του νησιού. Αυτό οφείλεται στις μεταπτώσεις, οι οποίες ενήργησαν στο τμήμα αυτό του

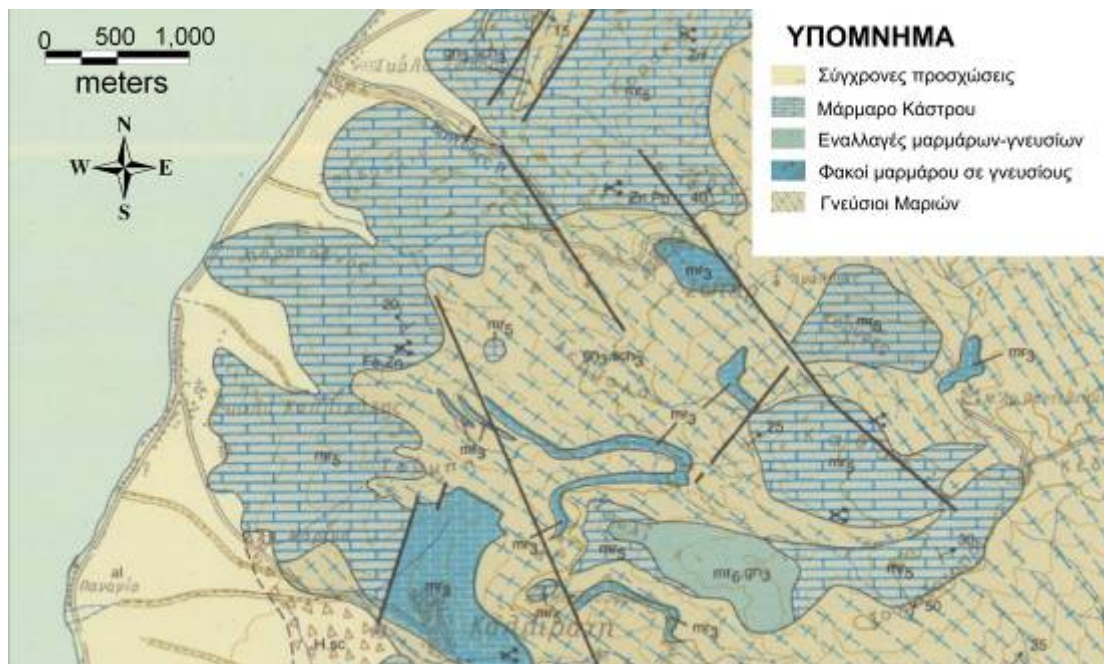
νησιού με συνέπεια το Μάρμαρο Κάστρου να κατέλθει σε χαμηλότερα επίπεδα και να αποκαλυφθούν στρώματα των ενδιάμεσων γνευσίων. Το πάχος του Μαρμάρου Κάστρου κυμαίνεται από 60 έως 150 μέτρα, αλλά σε ορισμένες θέσεις μπορεί να φτάσει και τα 300 μέτρα.

- Εναλλαγές μαρμάρων με βιοτιτικούς γνευσίους

- Ενστρώσεις και φακοί μαρμάρου στους γνευσίους των Μαριών: Μεσόκοκκα έως αδρόκοκκα μάρμαρα, συχνά δολομιτωμένα και έντονα αγκεριτωμένα.

- Γνεύσιοι Μαριών : Η βάση αποτελείται από βιοτιτικούς και αμφιβολιτικούς γνευσίους έως αμφιβολίτες. Προς τα πάνω, εναλλαγές μοσχοβιτικών, βιοτιτικών, αμφιβολιτικών γνευσίων και σχιστολίθων και βιοτιτικών οφθαλμογνευσίων.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΟΥ ΒΔ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΑΣΟΥ



Σχήμα 3.5 Γεωλογικός χάρτης

Πηγή : Ι.Γ.Μ.Ε. , Γεωλογικός χάρτης, Φύλλο Θάσος, κλίμακα 1:50.000, Χαρτογράφηση 1977-78, Έκδοση 1982.

3.3.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η Θάσος δεν παρουσιάζει πολύπλοκη τεκτονική κατασκευή. Το μεταμορφωσιγενές εμφανίζεται σε αλληπάλληλες και σύμφωνες στρώσεις γνευσίων και μαρμάρων όπως προαναφέρθηκε, και τα πλειοκαινικά λατυποκροκαλοπαγή επικάθονται επί του μεταμορφωσιγενούς.

Το μεταμορφωσιγενές της Θάσου σχηματίζει το δυτικό σκέλος αντικλίνου, του οποίου ο άξονας συμπίπτει περίπου με την κορυφογραμμή του Υψαρίου. Το ανατολικό σκέλος του αντικλίνου εξαφανίστηκε με τη μεγάλη μετάπτωση της Ποταμιάς.

Το νησί δεν αποτελεί πλέον ενιαίο τεκτονικό τέμαχος. Μετά την πτύχωση των στρωμάτων του μεταμορφωσιγενούς ακολούθησαν στη Θάσο κατακόρυφες κινήσεις, οι οποίες προκάλεσαν την πολυμερή κατάτμηση του νησιού. Τα επιμέρους τεμάχη δεν ακολουθούν όπως είναι λογικό τον τεκτονικό προσανατολισμό του κεντρικού τμήματος.

Η απόθεση των λατυποκροκαλοπαγών όχι μόνο έγινε μετά τις παραπάνω κινήσεις, αλλά είναι και άμεση συνέπεια των μορφολογικών συνθηκών που αυτές δημιούργησαν.

Αργότερα η Θάσος έλαβε μέρος στις μεγάλες καταβυθίσεις οι οποίες συνέβησαν στο τέλος του Διλούβιου και προκάλεσαν την απόσπαση του νησιού από την ανατολική Μακεδονία κατά την οριστική διαμόρφωση της λεκάνης του Αιγαίου.

3.3.3 ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Σημαντικά είναι τα κοιτάσματα καλαμίνας στην τοποθεσία Μαρλού στην περιοχή της Καλλιράχης. Στην ίδια περιοχή πλην των κοιτασμάτων Μαρλούς ανήκουν και οι εμφανίσεις Παναγίας και Αγ. Αναργύρων.

Επίσης στην θέση Μακρηράχη κοντά στην Καλλιράχη εντοπίζονται εμφανίσεις λειμωνίτη.

Αργυρούχα μεταλλεύματα αναφέρει ο Speidel στην τοποθεσία Μαρλού της Καλλιράχης χωρίς όμως να έχει επιχειρηθεί η εκμετάλλευσή τους.

3.4 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού (από τη Σκάλα Καλλιράχης μέχρι το ακρωτήριο Παχύς) κυριαρχούν στη μορφολογία της περιοχής μικρά απότομα ρέματα, τα οποία έχουν τροφοδοτήσει κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος με αλλουβιακές αποθέσεις τη λεκάνη Καβάλα – Πρίνος (Weingartner, 1994). Τα ρέματα αυτά σήμερα είναι εποχιακού χαρακτήρα και ενεργοποιούνται μόνο υπό συνθήκες έντονων βροχοπτώσεων. Πάντως, το υπάρχον δίκτυο έχει εξομαλύνει την περιοχή, η οποία ξεχωρίζει μορφολογικά από τα νοτιότερα τμήματα, όπου κυριαρχούν κώνοι κορημάτων.

Το ολόκαινο της Θάσου αρχίζει με μια έντονη φάση διάβρωσης με πιθανόν υγρές κλιματικές συνθήκες μαζί με την απόθεση αλλουβιακών και κολλουβιακών αποθέσεων.

Η νεότερη φάση απογύμνωσης ακολουθεί χρονικά την αρχαιότητα αφού αρχαίες πόλεις της κλασικής περιόδου έχουν προσχωθεί από 2 έως 4 μέτρα κολλουβιακών προσχώσεων.

Τα τελευταία 100 χρόνια εμφανίζεται (εξαιτίας των μεγάλων αποτεφρωμένων εκτάσεων) μια πολύ έντονη διάβρωση εδαφών καθώς επίσης και μια εντονότερη κατάτμηση στη ζώνη όπου απαντούν ακόμα μεγάλου πάχους υπολείμματα χημικής αποσάθρωσης (Weingartner, 1994).

Στη Θάσο απαντώνται τεταρτογενείς αποθέσεις σε χαμηλές πλαγιές, σε κοιλάδες ρεμάτων και σε παράκτιες περιοχές. Υπέρκεινται ασυνεχώς των μεταμορφωμένων πετρωμάτων καθώς και των νεογενών αποθέσεων του νησιού. Οι τεταρτογενείς αυτές αποθέσεις σχηματίστηκαν σε παράκτιες ζώνες, στα μικρά δέλτα των ρεμάτων που κατέληγαν στην ακτή (Ψιλοβίκος, 1989). Οι αποθέσεις αυτές, μαζί με παράκτια ιζήματα (κροκάλες και άμμο) παρουσιάζουν σήμερα μια συνεκτικοποιημένη εικόνα, που θυμίζει τη μορφή των ψηφιδοπαγών αιγιαλών. Τα ιδιαίτερα μορφολογικά και κοκκομετρικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών καθιστούν αρκετά σαφή τον διαχωρισμό τους.

Στη νότια Θάσο εντοπίστηκε μια σειρά από 5 συστήματα επιφανειών επιπέδωσης, οι οποίες με βάση κλιματομορφολογικές μαρτυρίες καθώς επίσης και με βάση του εντοπισθέντες μεγάλου πάχους ορίζοντες χημικής αποσάθρωσης χαρακτηρίστηκαν ως Peneplain. Τα συστήματα επιφανειών επιπέδωσης εκτείνονται από την κεντρική μάζα του Υψαρίου (1206m) μέχρι τη θάλασσα. Στο ΒΔ και ΒΑ τμήμα της Θάσου διαπιστώθηκε και ποσοτική σημαντική σχέση μεταξύ των

τεκτονικών γραμμών και του αναγλύφου, όπου τα παλαιότερα επίπεδα των επιφανειών επιπέδωσης έχουν βυθιστεί η καταστραφεί. Επειδή στη νότια Θάσο το χαμηλότερο τμήμα της επιφάνειας επιπέδωσης έχει προσχωθεί με πλειο-πλειστοκαινικά ιζήματα, ο χρόνος σχηματισμού των επιφανειών επιπέδωσης προσδιορίζεται μεταξύ Μέσου Μειοκαίνου και Ανώτερου Μειοκαίνου-Κατώτερου Πλειοκαίνου.

Η πλειο-πλειστοκαινική επίκλυση σημαίνει για τη Θάσο όχι μόνο μια αλλαγή των συνθηκών ιζηματογένεσης αλλά προπάντων τον τερματισμό του σχηματισμού των επιφανειών επιπέδωσης. Στο κατώτερο Πλειστόκαινο επικρατούσαν έντονα φαινόμενα κατά βάθος διάβρωσης και απογύμνωσης.

Κατά την έξαρση της περιόδου του Würm έλαβε χώρα στη Θάσο ο σχηματισμός παγετωδών παλαιοεδαφών σε υψόμετρο 500m εξαιτίας της εποχικής επίδρασης του παγετού και των οποίων το βάθος μπορεί να φθάσει και τα 3 μέτρα. Τα προϊόντα παραγωγής των κρυογενετικών φαινομένων έχουν αποτεθεί υπό μορφή εκτεταμένων πλευρικών κορημάτων (Weingartner, 1994).

3.5 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το μετεωρολογικά στοιχεία προέρχονται από τεύχος της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), που δημοσιεύτηκαν το 1978 και περιέχουν στοιχεία της περιόδου 1932-1975, και από αρχεία της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1975-1996. Ο μετεωρολογικός σταθμός της Θάσου έχει συντεταγμένες $\varphi = 40^{\circ} 47'$, $\lambda = 24^{\circ} 43'$ και $h = 2\text{m}$. Ως περίοδοι λειτουργίας αναφέρονται οι 1932-1937 και 1951-1975 για το πρώτο μέρος και η 1975-1996 με μια διακοπή 15 μηνών (11/1982 – 03/1984) για το δεύτερο χρονικό διάστημα.

Η περιοχή της Θάσου παρουσιάζει κλιματικό τύπο θαλάσσιο μεταβατικό με έντονα ηπειρωτικά χαρακτηριστικά (υψηλές θερινές θερμοκρασίες, βροχές με μορφή καταιγίδας) λόγω της επίδρασης που δέχεται από την ηπειρωτική Βαλκανική μάζα που βρίσκεται προς βορρά της (Αρσένη-Παπαδημητρίου, 1998),. Κατά τον Μπαλαφούτη (1987) η Θάσος ανήκει στην ομάδα σταθμών, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από τη δράση των θερινών καταιγίδων και ονομάζεται ηπειρωτικός τύπος της Ανατολικής Μεσογείου.

3.5.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ

Στον πίνακα 3.1 παρατίθενται οι τιμές της θερμοκρασίας του αέρα για τις δύο περιόδους λειτουργίας. Η θερμοκρασία του αέρα του σταθμού της Θάσου παρουσιάζει μέγιστο τον Ιούλιο (26.3°C) και ελάχιστο τον Ιανουάριο (6.2°C).

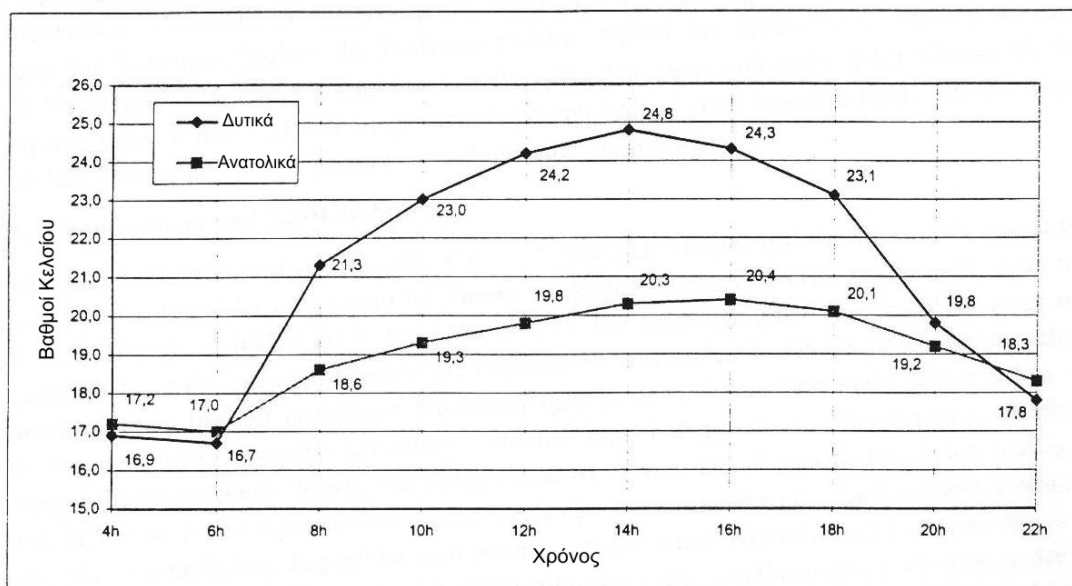
Πίνακας 3.1(α) : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρος του μετεωρολογικού σταθμού της Θάσου για την περίοδο 1932-1975

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
Μ.Ο.	6,2	6,9	9,1	14,1	19,1	23,6	26,3	26,2	21,8	16,6	12,4	8,7	15,9
T_{i+1}	0,7	2,2	5,0	5,0	4,5	2,7	-0,1	-4,4	-5,2	-4,2	-3,7	-2,5	
T_i	18,6	21,2	23,0	27,0	32,4	35,2	40,0	39,4	34,1	33,4	23,6	22,6	
Max	-	-	-9,0	-2,4	5,2	9,8	10,8	10,8	5,6	2,0	-4,8	-8,2	
min	10,6	10,0	32,0	29,4	27,2	25,4	29,2	28,6	29,5	31,4	28,4	30,8	
$\Delta(M-m)$	29,2	31,2											

Πίνακας 3.1(β) : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρος του μετεωρολογικού σταθμού της Θάσου για την περίοδο 1975-1996

	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
Μ.Ο.	6,1	6,8	9,5	13,9	18,9	23,5	25,8	25,2	21,4	16,3	11,2	7,7	15,5
T_{i+1}	0,7	2,7	4,4	5,0	4,6	2,3	-0,6	-3,8	-5,1	-5,1	-3,5	-1,6	
T_i	19,8	21,4	22,4	26,4	32,8	36,0	39,4	39,0	34,0	30,4	25,0	19,8	
Max	-	-	-6,0	-0,8	4,0	7,2	8,8	10,0	2,6	-0,8	-4,8	-8,0	
min	14,0	10,4	28,4	27,2	28,8	28,8	30,6	29,0	31,4	31,2	29,8	27,0	
$\Delta(M-m)$	33,8	31,8											

Στο σχήμα 3.6 φαίνονται οι μηνιαίες θερμοκρασίες στο δυτικό και στο ανατολικό τμήμα της Θάσου. Από το διάγραμμα μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι η δυτική Θάσος είναι αρκετά πιο θερμή από την ανατολική.



Σχήμα 3.6 Η διακύμανση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στη διάρκεια του 24ώρου στην δυτική και την ανατολική Θάσο (Echtinger, 1995)

3.5.3 ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

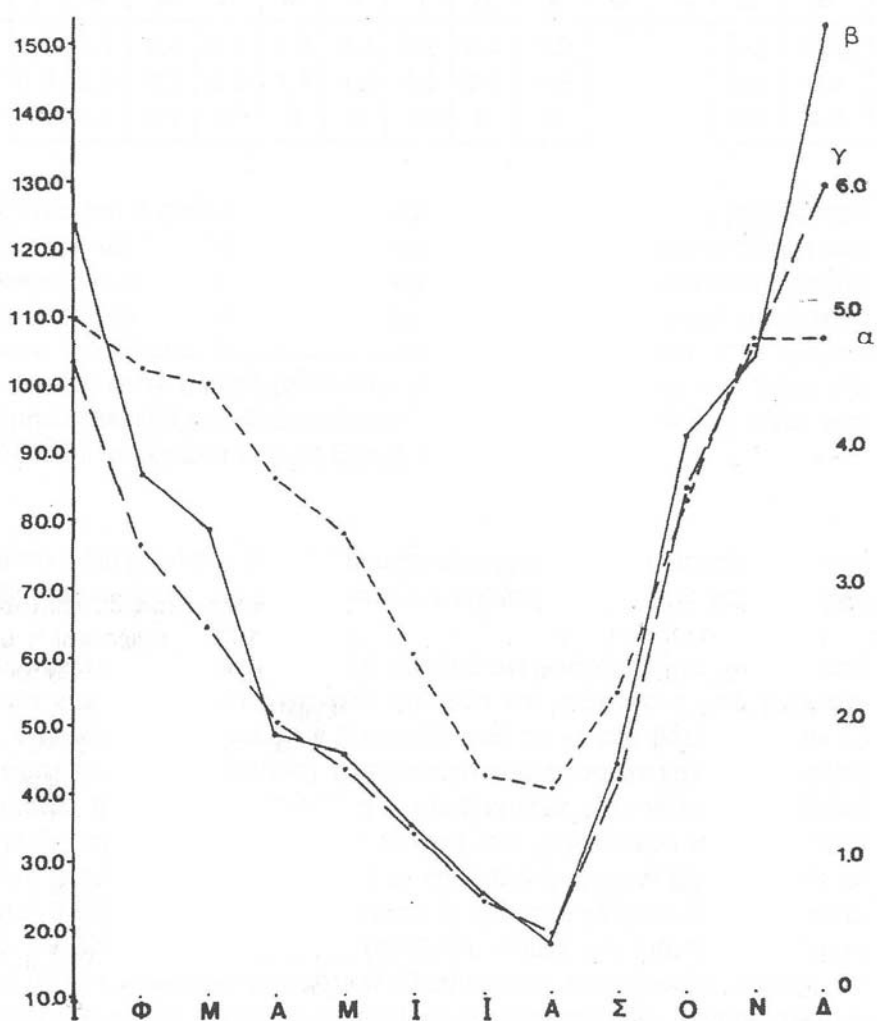
Από τον Πίνακα 3.2 όπου παρατίθενται οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας της Θάσου, για τις δύο περιόδους, παρατηρούμε ότι λόγω της θέσης της περιοχής η σχετική υγρασία βρίσκεται σε υψηλά γενικώς επίπεδα. Οι τιμές της σχετικής υγρασίας εμφανίζονται λίγο μειωμένες κατά τη θερινή περίοδο, αλλά και πάλι παραμένουν σε υψηλά επίπεδα λόγω της θάλασσας που εφοδιάζει της ατμόσφαιρα του νησιού με υδρατμούς. Οι τιμές των δύο χρονικών περιόδων συγκρινόμενες μεταξύ τους διαφέρουν, με εκείνες της πρόσφατης περιόδου να υπερéχουν κατά 7% περίπου από εκείνες της πρώτης. Το γεγονός αποδίδεται στα σύγχρονα αυτογραφικά όργανα που λειτουργούν στους σταθμούς της ΕΜΥ και στην καλύτερη ποιότητα των παρατηρήσεων.

Πίνακας 3.2 : Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας (%) της Θάσου για τις περιόδους 1932-1975 και 1975-1996

	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ	E
1932-1975	76	74	71	70	69	65	60	59	67	72	77	77	70
1975-1996	81	79	78	76	73	69	64	67	72	77	82	83	75

3.5.4 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ

Στο σχήμα 3.7 και στον πίνακα 3.3 δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για την περίοδο 1932-1975 και για την περίοδο 1975-1993, καθώς και η μέση νέφωση της πρώτης περιόδου. Διαπιστώνεται ότι οι τρεις καμπύλες παρουσιάζουν παρόμοια πορεία, με ελάχιστο τον Αύγουστο και μέγιστο το Δεκέμβριο, ο οποίος είναι και ο βροχερότερος κατά κανόνα μήνας. Ο σταθμός της Θάσου εμφανίζει το χαρακτηριστικό γνώρισμα του μεσογειακού κλίματος, δηλαδή τη θερινή ξηρασία, με τη διαφορά ότι εδώ η ξηρασία δεν είναι απόλυτη, όπως συμβαίνει στα περισσότερα νησιά του κεντρικού και νότιου Αιγαίου.



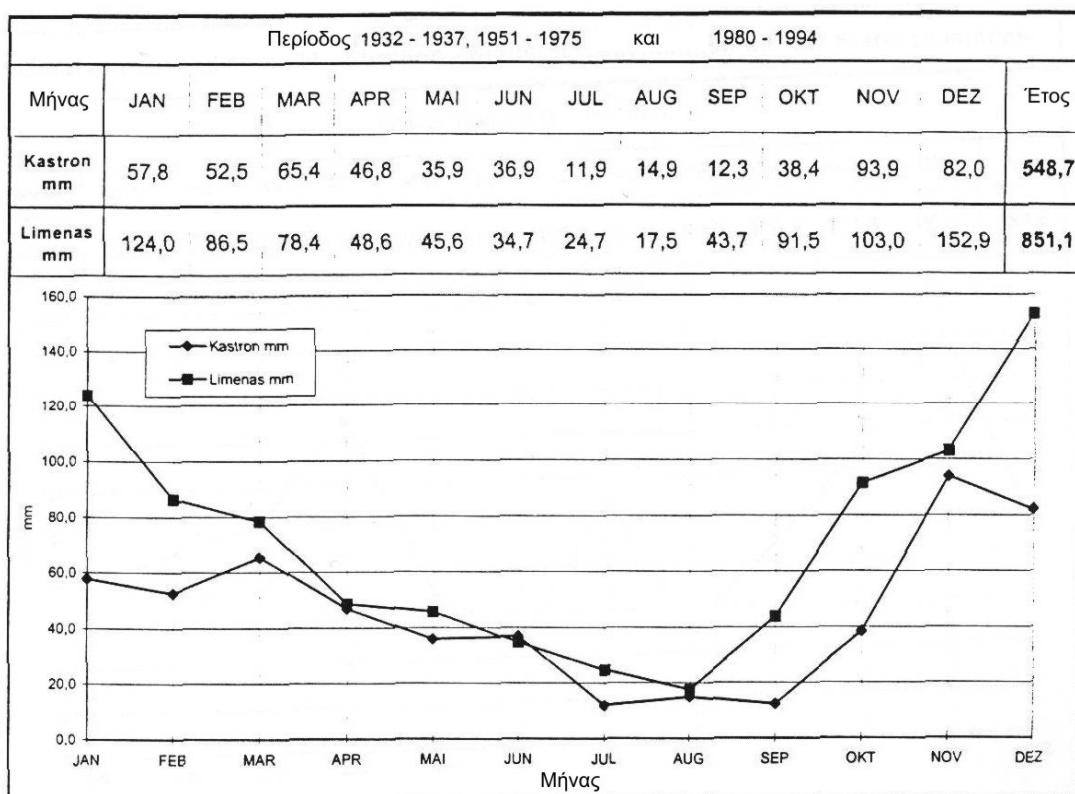
Σχήμα 3.7 Ετήσια πορεία της (α) μέσης νέφωσης (1932-1993), (β) μέσης βροχόπτωσης (1932-1975) και (γ) μέσης βροχόπτωσης (1932-1993) στη Θάσο

Πίνακας 3.3 : Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης στη Θάσο σε mm

	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
1932-1975	124,0	86,5	78,4	48,6	45,6	34,7	24,7	17,5	43,7	91,5	103,0	152,9	851,1
1975-1993	104,9	76,1	64,2	49,9	42,9	33,6	24,2	18,8	41,5	84,3	105,3	128,6	690,8

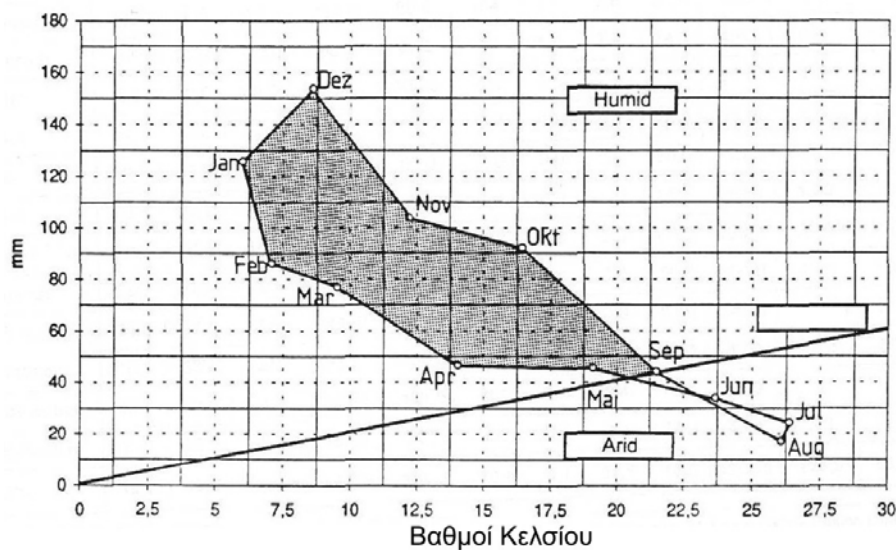
Από τα δεδομένα των δύο περιόδων λειτουργίας του σταθμού η μέση ετήσια βροχόπτωση της πρώτης φτάνει τα 851mm, ενώ της δεύτερης τα 691mm.

Στο σχήμα 3.8 φαίνεται επίσης η διαφορά στο ύψος της βροχής που δέχονται δύο διαφορετικές περιοχές του νησιού, ο Λιμένας στο βόρειο τμήμα και το Κάστρο στο δυτικό. Είναι εμφανής ο υγρότερος χαρακτήρας του βόρειου μέρους της Θάσου σε σχέση με το δυτικό.



Σχήμα 3.8 Μηνιαία και ετήσια βροχόπτωση σε δύο θέσεις της Θάσου (Echtinger, 1995)

Τέλος, παρατίθεται το σχήμα 3.9, στο οποίο γίνεται χαρακτηρισμός του κλίματος της Θάσου με βάση τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και μέσης θερμοκρασίας (Echtinger, 1995).

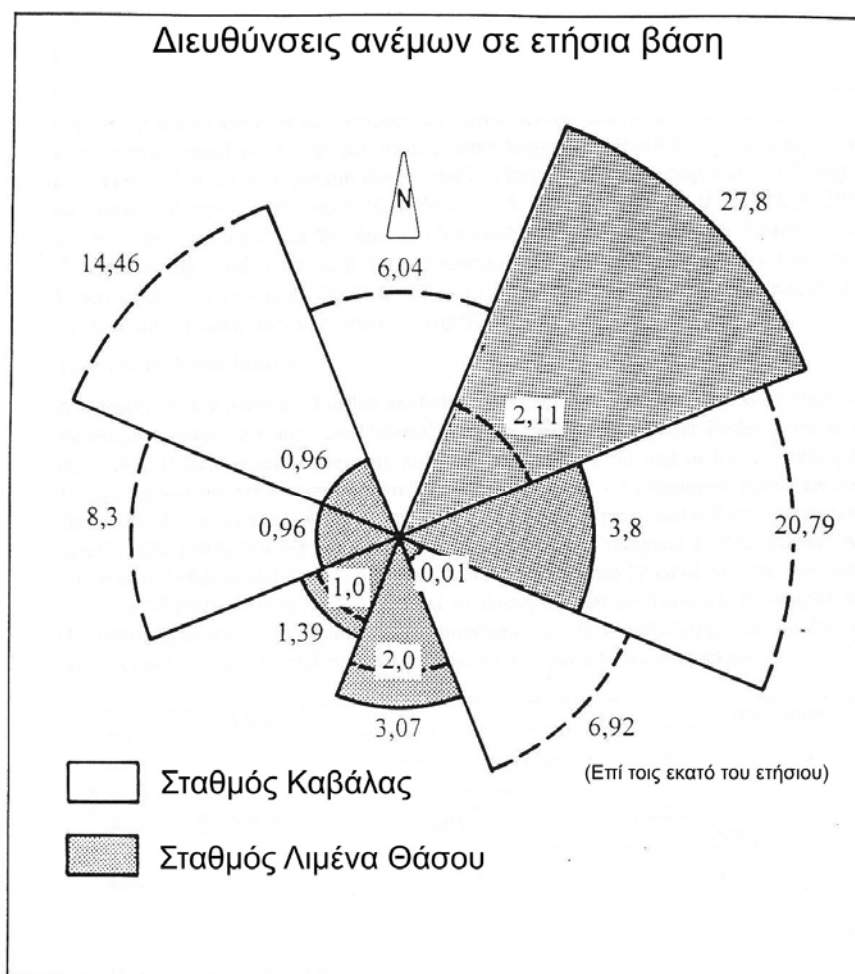


Σχήμα 3.9 Διάγραμμα συσχέτισης μηνιαίας βροχόπτωσης και μηνιαίας θερμοκρασίας και χαρακτηρισμός του κλίματος ανά μήνα

3.5.5 ΑΝΕΜΟΣ

Η Θάσος θα μπορούσε να θεωρηθεί σχετικά ανεμώδης (Αρσένη-Παπαδημητρίου, 1998), καθώς το ποσοστό των απνοιών της βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και κυμαίνεται από 22% (Ιανουάριος, Φεβρουάριος) μέχρι 34% (Ιούλιος), ενώ σε ετήσια βάση φτάνουν το 28%. Οι άνεμοι στο μεγαλύτερο ποσοστό τους (35.2%) είναι μέτριοι (3-5 Beaufort), ενώ οι επικίνδυνοι ισχυροί φτάνουν στο μικρότερο ποσοστό 0.8% κατ'έτος. Αναλυτικότερα το 52% των ανέμων όλων των εντάσεων (1-9B) είναι βορειοανατολικού τομέα, το επόμενο ποσοστό (11.7%) είναι εκείνο των νότιων διευθύνσεων.

Από το σχήμα 3.10 γίνεται φανερό ότι η επικρατέστερη διεύθυνση όλους τους χαρακτηριστικούς μήνες είναι η βόρεια και η βορειοανατολική με ποσοστά 60%, 41%, 46% και 54% αντίστοιχα, για τους μήνες Ιανουάριο, Απρίλιο, Ιούλιο και Οκτώβριο.



Σχήμα 3.10 Διευθύνσεις ανέμων στο Σταθμό της Καβάλας και στο Σταθμό του Λιμένα Θάσου

Πίνακας 3.4 : Μέσος μηνιαίος αριθμός ημερών με τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (περίοδος 1932-1975)

	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
X1	2,0	1,7	1,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,8	1,3	1,1	1,5	12,2
X2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	1,9

X1 : Ταχύτητα ανέμου > 6 Beaufort

X2 : Ταχύτητα ανέμου > 8 Beaufort

Πίνακας 3.5 : Χαρακτηριστικά του ανέμου στη Θάσο (περίοδος 1932-1975)

	I	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
X3	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA	BA
X4	1,1	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	1,0	0,8	0,9

X3 : Επικρατούσα διεύθυνση

X4 : Μέση ταχύτητα (Beaufort)

3.5.6 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Όσον αφορά στις θερμοκρασίες της θαλάσσιας επιφάνειας, ελλείπει μετρήσεων στη Θάσο, λήφθηκαν υπόψη εκείνες της περιοχής της Καβάλας. Οι μετρήσεις έγιναν από την Υδρογραφική Υπηρεσία της Ελλάδος και βασίστηκαν σε κάποιες έρευνες στο χρονικό διάστημα 1965-72.

Θα είχαμε να παρατηρήσουμε ότι (Πίνακας 3.6) κατά τον ψυχρότερο μήνα η θερμοκρασία της θάλασσας είναι περίπου στους 10.0°C (Φεβρουάριος), ενώ κατά τον θερμότερο στους 25.0°C (Αύγουστος).

Πίνακας 3.6 : Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες επιφάνειας της θάλασσας της Καβάλας για την χρονική περίοδο 1965-72, (σε °C)

Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Ε
10,1	9,9	10,3	14,2	18,8	21,9	24,3	24,9	22,1	18,7	15,5	12,0	16,9

3.5.7 ΣΧΕΣΗ DE MARTONNE'S

Από τα κλιματικά στοιχεία που παρατίθενται στους παραπάνω πίνακες (μέση μηνιαία βροχόπτωση και μέση μηνιαία θερμοκρασία) για τις περιόδους 1932-1975 και 1975-1996, έγινε χαρακτηρισμός του κλίματος της περιοχής με βάση τη σχέση του De Martonne's (Κούλας, 2004, από Καραμούζη, 2000) :

$$I = \frac{12P}{t + 10}$$

όπου I = δείκτης που χαρακτηρίζει το κλίμα της περιοχής (πίνακας 3.7), P = η μέση μηνιαία βροχόπτωση και t = η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Πίνακας 3.7 Χαρακτηρισμός του κλίματος

ΟΡΙΑ ΤΙΜΩΝ I	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ
I < 5	Πολύ ξηρό
5 < I < 15	Ξηρό
15 < I < 20	Ημίξηρο
20 < I < 30	Ύψυγρο
30 < I < 60	Υγρό
I > 60	Πολύ υγρό

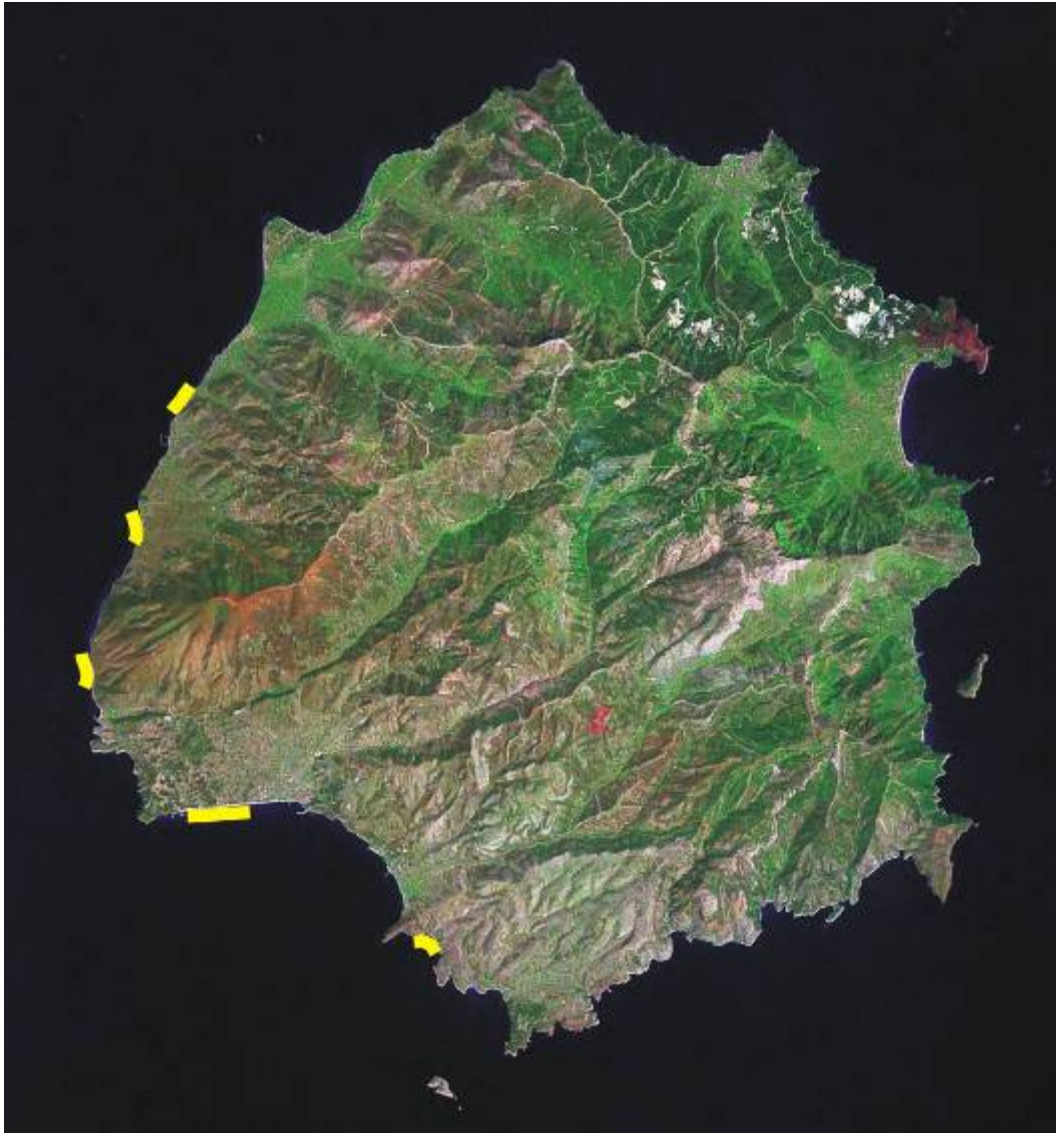
Πίνακας 3.8 Χαρακτηρισμός του κλίματος της περιοχής

ΜΗΝΑΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm)	ΔΕΙΚΤΗΣ I	ΚΛΙΜΑ
Ιανουάριος	6.2	114.45	84.77	Πολύ υγρό
Φεβρουάριος	6.9	81.3	57.72	Υγρό
Μάρτιος	9.3	71.3	44.33	Υγρό
Απρίλιος	14	49.25	24.62	Ύφυγρο
Μάιος	19	44.25	18.31	Ημίξηρο
Ιούνιος	23.6	34.15	12.19	Ξηρό
Ιούλιος	26.1	24.45	8.12	Ξηρό
Αύγουστος	25.7	18.15	6.1	Ξηρό
Σεπτέμβριος	21.6	42.6	16.17	Ημίξηρο
Οκτώβριος	16.5	87.9	39.8	Υγρό
Νοέμβριος	11.8	104.15	57.33	Υγρό
Δεκέμβριος	8.2	140.75	92.8	Πολύ υγρό
Μέσο ετήσιο	15.7	67.72	31.62	Υγρό

Στον πίνακα 3.8 παρατίθεται ο χαρακτηρισμός του κλίματος της περιοχής με βάση τον δείκτη I του De Martonnes's. Από τα στοιχεία προκύπτει ότι το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως υγρό από τον Οκτώβριο έως τον Μάρτιο και μάλιστα τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο το κλίμα είναι πολύ υγρό. Τους τρεις καλοκαιρινούς μήνες το κλίμα είναι ξηρό, ενώ του μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο είναι ημίξηρο. Τέλος, τον μήνα Απρίλιο, το κλίμα έχει μεταβατικό χαρακτήρα και χαρακτηρίζεται ως ύφυγρο.

3.6 ΕΞΑΠΛΩΣΗ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΩΝ ΑΙΓΙΑΛΩΝ ΣΤΗ ΘΑΣΟ

Κατά μήκος της ακτογραμμής της Θάσου, απαντάται σε διάφορες θέσεις σχηματισμός ψηφιδοπαγών αιγιαλών (Weingartner, 1994) (σχήμα 3.11). Χαρακτηριστικές εμφανίσεις είναι στην ακτή των Λιμεναρίων, στη θέση Κλείσμα και στην ακτή μεταξύ Σκάλας Σωτήρα και Σκάλας Καλλιράχης (σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.11 Θέσεις εμφάνισης beachrock στη νήσο Θάσο (κατά Weingartner, 1994)



Σχήμα 3.12 Εμφανίσεις beachrock στη Θάσο. Πάνω αριστερά : Λιμενάρια. Πάνω δεξιά : Κλείσμα. Κάτω : Σκάλα Καλλιράχης

Οι εμφανίσεις έχουν παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς και παρόμοια θέση ως προς την ακτογραμμή. Τα beachrock βρίσκονται σε μια ζώνη της ακτογραμμής από ΒΔ έως ΝΔ, κυρίως κατά μήκος ακτών που τροφοδοτούνται με υλικά από ανθρακικά πετρώματα. Είναι χαρακτηριστικό ότι στην ανατολική πλευρά του νησιού η πετρολογία είναι εντελώς διαφορετική σε σχέση με τη δυτική πλευρά.

Επίσης, οι κυματικές συνθήκες διαφέρουν σε ανατολική και δυτική Θάσο, με το κυματικό καθεστώς ανατολικά να είναι αρκετά πιο έντονο σε σχέση με τη δυτική ακτογραμμή. Τα χαρακτηριστικά αυτά συντελούν στο να δημιουργηθεί κατάλληλο περιβάλλον σχηματισμού beachrock στην δυτική νήσο, ενώ στην ανατολική πλευρά δεν έχουμε κατάλληλες συνθήκες για σχηματισμού

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε μία από τις παραπάνω θέσεις εμφάνισης beachrock και στη συνέχεια έγινε απόπειρα εντοπισμού και χαρτογράφησης του σχηματισμού με γεωφυσική μέθοδο. Η θέση που επιλέχτηκε ήταν η παραλία μεταξύ Σκάλας Σωτήρα και Σκάλας Καλλιράχης, διότι η συγκεκριμένη παραλία έχει μειωμένη προσέλευση λουομένων, γεγονός που διευκόλυνε την εκτέλεση των εργασιών.

4 Μεθοδολογία

4.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η γεωμορφολογική ανάλυση της περιοχής έγινε με χρήση λογισμικού G.I.S. (MapInfo 6.5, vertical mapper 2.0). Με βάση τον τοπογραφικό χάρτη (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, Φύλλο Θάσος, κλίμακα 1:50.000, 1970) χαρτογραφήθηκε σε ψηφιακή μορφή το υδρογραφικό δίκτυο των υδρολογικών λεκανών των δύο ρεμάτων που καταλήγουν στην υπό μελέτη παραλία. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε δορυφορική εικόνα (LANDSAT 7, έτος 2000) για την τελική απεικόνιση του υδρογραφικού δικτύου. Τα αποτελέσματα περιγράφονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο παρακάτω.

4.2 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε τον Μάιο του 2005. Τα δείγματα μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Ιζηματολογικών Αναλύσεων του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας του Α.Π.Θ.. Ξηράθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου και αφαιρέθηκαν από αυτά τα ξένα σώματα (όστρακα, φύκια, ξύλα κτλ.). Στη συνέχεια τα δείγματα αναλύθηκαν με τη μέθοδο του κοσκινίσματος και χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με τον Ψιλοβίκο (1985). Τέλος, υπολογίστηκαν ο μέσος όρος (M), η ταξινόμηση (σ), η λοξότητα (Sk), η κύρτωση (Ku) καθώς και η μέση διάμετρος (D₅₀) και κατασκευάστηκαν οι λογαριθμικές κοκκομετρικές καμπύλες.

Ο *Μέσος όρος* (M) είναι ο αντίστοιχος του μαθηματικού μέσου όρου και υπολογίζεται σε μια πληθυσμιακή κατανομή δηλαδή στο σύνολο των κόκκων του δείγματος.

$$M = \Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84} / 3$$

Η *Ταξινόμηση* (σ) μετράει την ταξινόμηση των κόκκων σε ένα δείγμα και είναι δείκτης της ομοιογένειας του υλικού.

$$\sigma = \Phi_{84} - \Phi_{16} / 4 + \Phi_{95} - \Phi_5 / 6.6$$

Η *Λοξότητα* (S_k) δείχνει την ασυμμετρία της κατανομής των κόκκων σε μια καμπύλη συχνότητας. Όταν οι περισσότεροι κόκκοι συγκεντρώνονται γύρω από το μέσο όρο τότε η καμπύλη είναι συμμετρική και η Λοξότητα έχει τιμή 0. Η Λοξότητα παίρνει θετικές και αρνητικές τιμές.

$$S_k = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_{50})}$$

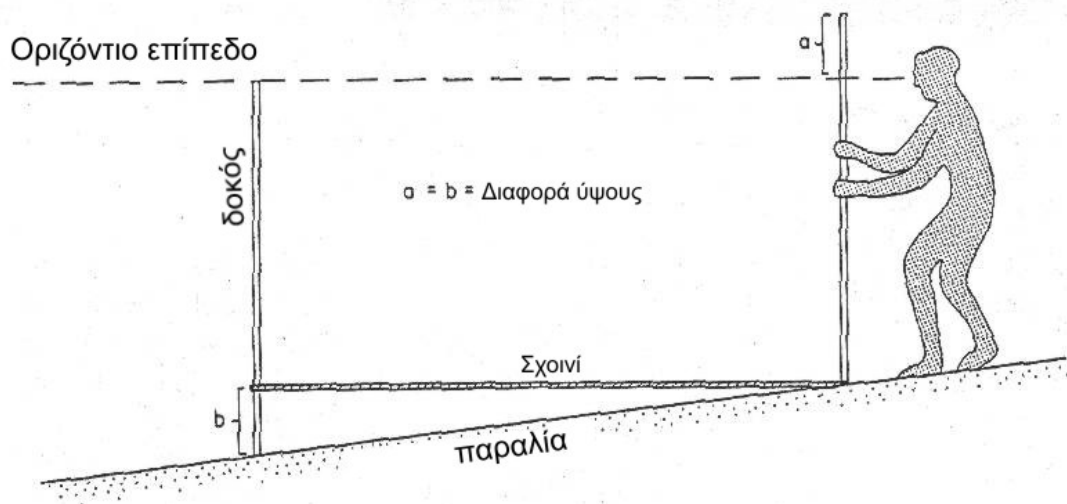
Η *Κύρτωση* (K_u) περιγράφει επίσης την ασυμμετρία κατανομής των κόκκων αλλά μόνο στο κορυφαίο τμήμα της καμπύλης συχνότητας. Λεπτή κορυφή σημαίνει λεπτόκυρτη καμπύλη, πλατειά κορυφή σημαίνει πλατύκυρτη καμπύλη.

$$K_u = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Η *Μέση διάμετρος* (D_{50}) είναι ο μέσος όρος των τιμών των διαμέτρων των κόκκων κάθε δείγματος που αντιστοιχούν στο Φ_{50} και εκφράζεται σε mm.

4.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των μορφολογικών προφίλ της ακτής, προτεινόμενη από τον Komar (1998), βασίζεται στη χρήση των επονομαζόμενων «δοκών Emery» (Emery boards) (Emery, 1961). Η κατασκευή αποτελείται από δύο δοκούς συνδεδεμένες με ένα σχοινί μήκους δύο μέτρων, το οποίο και καθορίζει το βήμα μέτρησης κατά μήκος του μετρούμενου προφίλ. Κάθε δοκός είναι βαθμονομημένη (με κοινό μέτρο), έχοντας ως αφετηρία μέτρησης την κορυφή. Όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1, το διάστημα a , που είναι ίσο με το διάστημα b , αντιστοιχεί στο διάστημα κατά το οποίο το επίπεδο της παραλίας ανεβαίνει ή κατεβαίνει κατά μήκος του προφίλ και για οριζόντια απόσταση δύο μέτρων (βήμα μέτρησης). Η μέθοδος μπορεί να φαίνεται εξ αρχής πρόχειρη, αλλά αντιθέτως παρέχει αρκετά ακριβείς μετρήσεις. Με πλεονεκτήματα την ταχύτητα των μετρήσεων καθώς και το χαμηλό κόστος και την ευκολία μεταφοράς του εξοπλισμού, η μέθοδος των δοκών Emery αποτελεί κατά τον Komar την καταλληλότερη για μετρήσεις σε περιορισμένης έκτασης παραλίες.



Σχήμα 4.1 Κατασκευή των προφίλ της ακτής με τη μέθοδο των δοκών «Emery» (Komar, 1998)

4.4 ΒΥΘΟΜΕΤΡΗΣΗ

Για την πληρέστερη εικόνα της παράκτιας ζώνης, εκτός από την μελέτη των λεκανών απορροής που καταλήγουν στην παραλία μελέτης αλλά και της ίδιας της ακτής, πραγματοποιήθηκε βυθομέτρηση του πυθμένα στην εμπρόσθια της ακτογραμμής ζώνη. Η περιοχή που καλύφθηκε καταλαμβάνει συνολικό μήκος περίπου 1350m (500m στη ζώνη μπροστά από την υπό μελέτη παραλία και 850m περιμετρικά από την ακτή), ενώ οι μετρήσεις έφτασαν σε κάθετη οριζόντια απόσταση 300m από την ακτή και το μέγιστο βάθος του πυθμένα που μετρήθηκε ήταν περίπου 15,9m.

Η βυθομέτρηση πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό εξοπλισμό του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας (Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.). Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν είναι :

- Garmin GPS MAP 276C
- Sonar NAVMAN D22100

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η φουσκωτή βάρκα του Τομέα Φυσικής και Περιβαλλοντικής Γεωγραφίας τύπου ZODIAC μήκους 3,5 μέτρων (ΓΛΑΥΚΗ, ΣΘ791) με μηχανή Johnson 10Hp. Η διαδικασία λήψης των μετρήσεων περιελάμβανε σάρωμα της περιοχής μελέτης και συνεχή λήψη μετρήσεων του βάθους του πυθμένα.

Συνολικά λήφθηκαν 1704 μετρήσεις. Στη συνέχεια τα δεδομένα μεταφέρθηκαν σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, όπου μετά από κατάλληλη επεξεργασία σε λογισμικό G.I.S. (MapInfo 6.5, Vertical Mapper 2) έδωσαν το τελικό οπτικό αποτέλεσμα, τόσο σε δισδιάστατη όσο και σε τρισδιάστατη μορφή. Η επεξεργασία περιελάμβανε μεταξύ άλλων μεταφορά των δεδομένων από το GPS σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, μετατροπή τους σε κατάλληλη μορφή για επεξεργασία, δημιουργία από τα δεδομένα του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου (DEM) και παραγωγή πολλαπλών χαρτών, από τους οποίους επιλέχθηκαν οι καταλληλότεροι για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

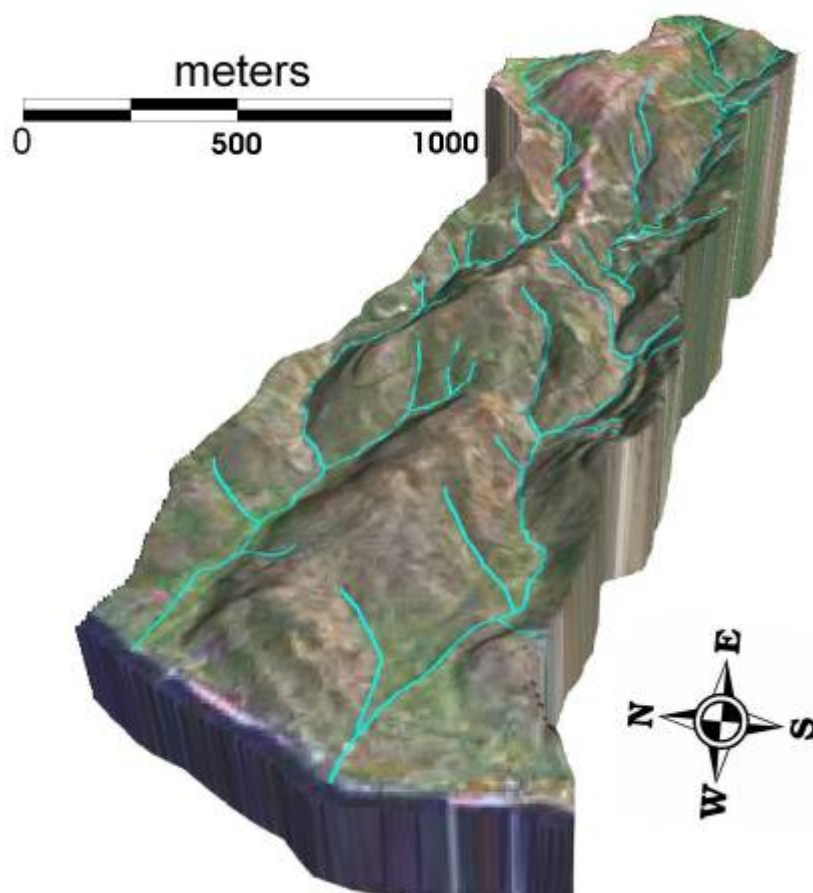
4.5 ΠΥΡΗΝΟΛΗΣΙΑ

Για μια όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη αντίληψη της μορφολογίας, της σύστασης και τις διαβάθμισης των υλικών εντός του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού, πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία σε 10 θέσεις του σχηματισμού. Χρησιμοποιήθηκε περιστροφική διατρητική συσκευή Cifarelli Viger, η οποία ανήκει στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ.. Στην συσκευή προστέθηκε ειδική διάταξη για την συνεχή παροχή νερού στο σημείο κοπής του πετρώματος. Οι πυρήνες που εξήχθησαν είχαν μήκος έως 22 εκατοστά και η διάμετρός τους ήταν 2,5 εκατοστά. Το μήκος κάθε πυρήνα είχε να κάνει με την ικανότητα του γεωτρυπάνου να διεισδύσει στο σχηματισμό χωρίς να τον θρυμματίσει. Έτσι, ανάλογα με τη διάμετρο των κόκκων του υλικού του beachrock, σε ορισμένες περιπτώσεις δεν ήταν δυνατή η εις βάθος διείσδυση πάνω από 10cm.

5 Αποτελέσματα

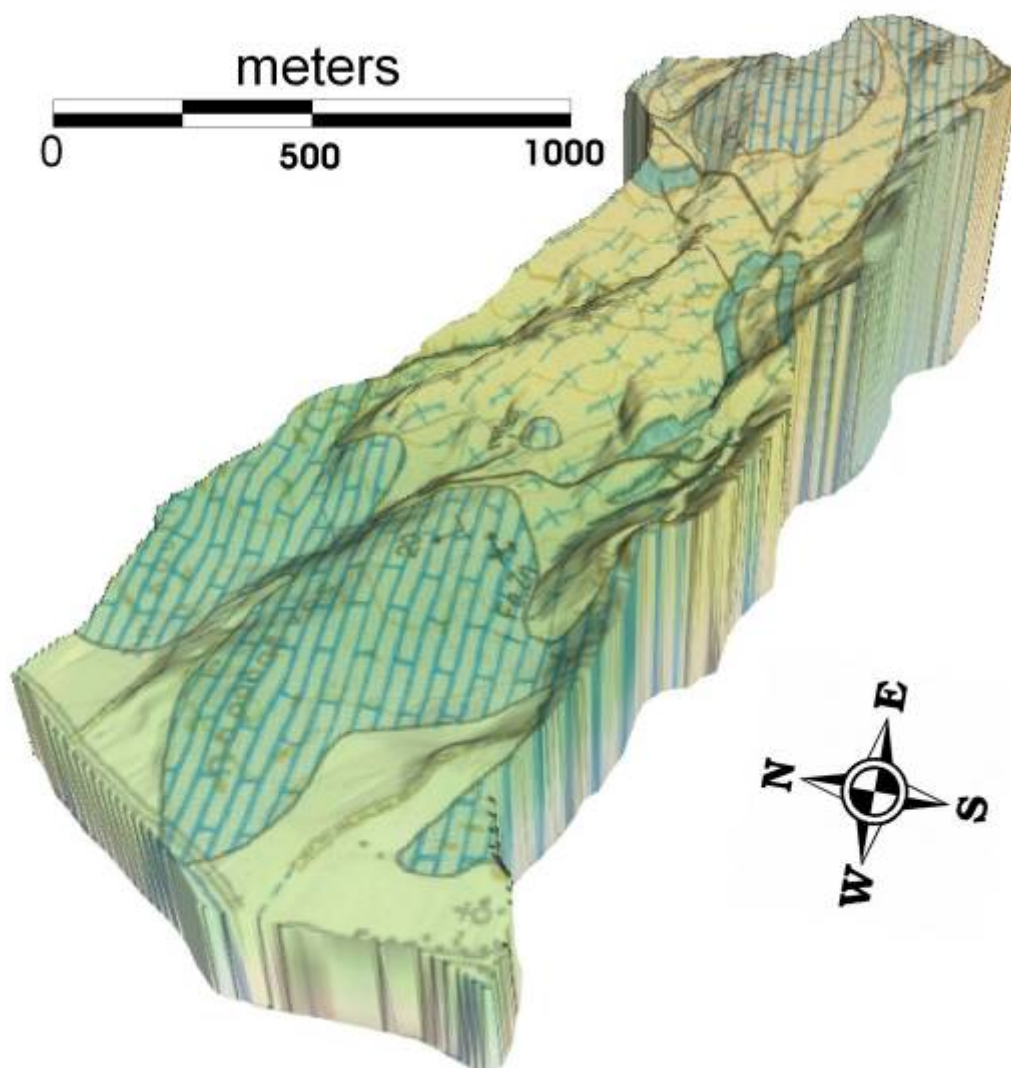
5.1 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα δύο ρέματα που καταλήγουν στην παραλία είναι εποχιακού χαρακτήρα και την τροφοδοτούν με υλικά από τις λεκάνες απορροής τους, συνολικής επιφάνειας 8,854 km² (σχήμα 5.1). Τα ρέματα είναι 3^{ης} τάξης κατά Strahler με περιορισμένη ανάπτυξη και, όπως προαναφέρθηκε, με εποχιακή ροή υδάτων. Το συνολικό μήκος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου είναι 26,478km (16,16km και 10,318km).



*Σχήμα 5.1
Τρισδιάστατη
απεικόνιση των
υδρολογικών
λεκανών και του
υδρογραφικού
δικτύου της
περιοχής.*

Παρατηρώντας των γεωλογικό χάρτη της περιοχής, διαπιστώνεται ότι τα ρέματα αυτά διασχίζουν ανθρακικά πετρώματα (Μάρμαρο Κάστρου, ενστρώσεις και φακοί μαρμάρων) και επομένως μεταφέρουν ιζήματα με αυξημένη περιεκτικότητα σε ανθρακικά υλικά προς την παράκτια ζώνη. Με τη χρήση του προαναφερθέντος λογισμικού, κατασκευάστηκε τρισδιάστατη απεικόνιση της γεωλογίας των δύο υδρολογικών λεκανών (Σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2 Τρισδιάστατη απεικόνιση των υδρολογικών λεκανών που καταλήγουν στην υπό μελέτη παραλία και των γεωλογικών σχηματισμών που περιλαμβάνουν (Υπόμνημα βλ. Γεωλογικός Χάρτης, Σχήμα 3.5)

5.2 ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΗΣ ΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή γύρω από την παραλία είναι πολύ αραιά κατοικημένη, με την παρουσία μερικών μονοκατοικιών καθώς και 2 ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους. Ακόμη το σκηνικό συμπληρώνουν ένα πρατήριο υγρών καυσίμων και 2 ανεγειρόμενες μονοκατοικίες (σχήμα 5.4). Σε πολύ μικρή απόσταση βρίσκονται τα χωριά Σκάλα Σωτήρα και Σκάλα Καλλιράχης εκατέρωθεν την παραλίας. Η οδική αρτηρία περνάει σε απόσταση περίπου 30m από τη θάλασσα παράλληλα προς την ακτογραμμή και αποτελεί το τεχνητό πλέον όριο της παραλίας. Χαρακτηριστική είναι η απουσία καναλιού που να επιτρέπει τα ρέοντα ύδατα από την υδρολογικές λεκάνες

να φτάνουν στην ακτή. Επίσης, η παρουσία ενός μικρού τεχνητού μόλου διακόπτει την συνεχή ανάπτυξη της παραλίας (σχήμα 5.5). Η προσπάθεια για απομάκρυνση με μηχανικά μέσα ενός τμήματος του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού δίπλα από τον μόλο προ δεκαετίας είχε επιτυχή κατάληξη (σχήμα 5.3), όμως σήμερα είναι εμφανής η διάβρωση που υπέστη η ακτή στο τμήμα που έχει αφαιρεθεί ο σχηματισμός σε σχέση με τα διπλανά άθικτα τμήματα. Μεγάλα μπλοκ από το σπασμένο beachrock τοποθετήθηκαν στην παραλία σε μικρή απόσταση από την ακτή, ή τοποθετήθηκαν σε τυχαίες θέσεις μέσα στη θάλασσα, στον μόλο, ή πάνω στο εναπομείναν beachrock κ.α..



Σχήμα 5.3 Θέση τεμαχισμού του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού και απομάκρυνσής του από την αρχική του θέση. Αριστερά : Ο συμπαγής σχηματισμός στην αρχική του θέση. Δεξιά : Απουσία του λόγω της τεχνητής απομάκρυνσής του.



Σχήμα 5.4 Δόμηση στη περιοχή άνωθεν της παραλίας



Σχήμα 5.5 Τεχνητός μόλος

5.3 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΟΠΑΓΟΥΣ ΑΙΓΙΑΛΟΥ

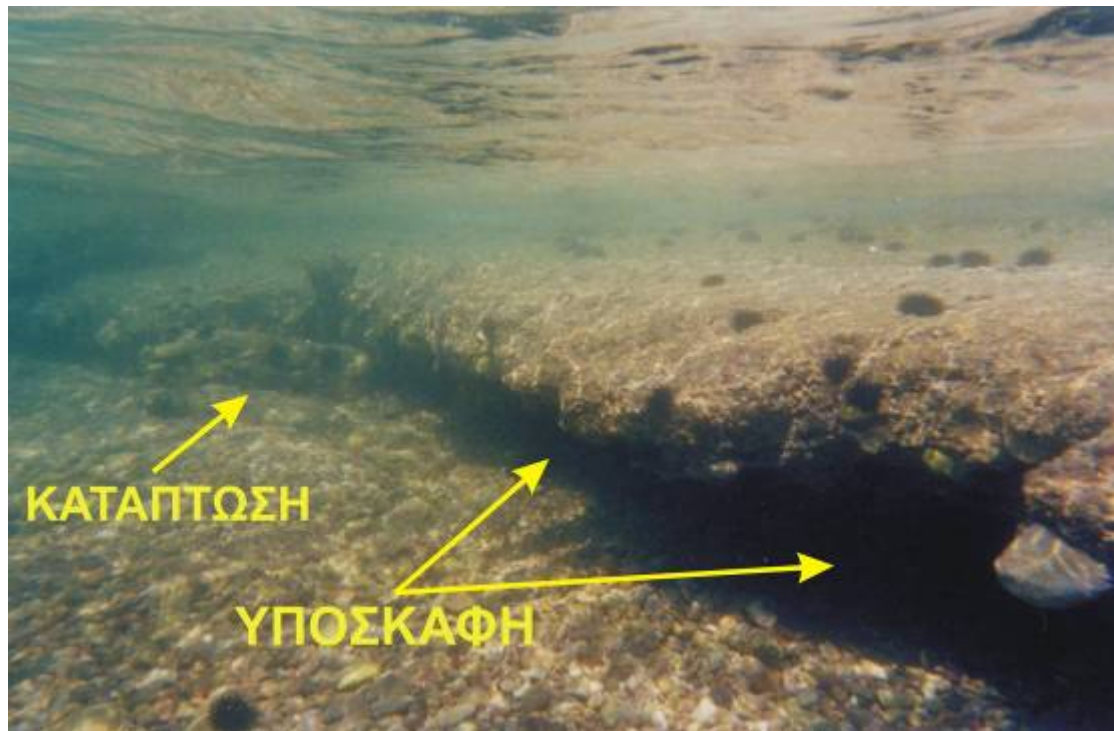
Η μελέτη και καταγραφή των μορφολογικών χαρακτηριστικών του υπό μελέτη ψηφιδοπαγούς αιγιαλού έγινε είτε με κατάδυση και χρήση υποβρύχιας φωτογραφικής μηχανής, είτε με επίγεια παρατήρηση του σχηματισμού και φωτογράφησή του.

Το σώμα του beachrock που εμφανίζεται στην υπό μελέτη παραλία έχει συνολικό μήκος περίπου 700 μέτρα και κυμαινόμενο πλάτος έκθεσης από 2 έως 10 μέτρα. Το ύψος του beachrock που μετρήθηκε υποθαλάσσια στο μέτωπο του σχηματισμού είναι περίπου 70 εκατοστά (σχήμα 5.6)

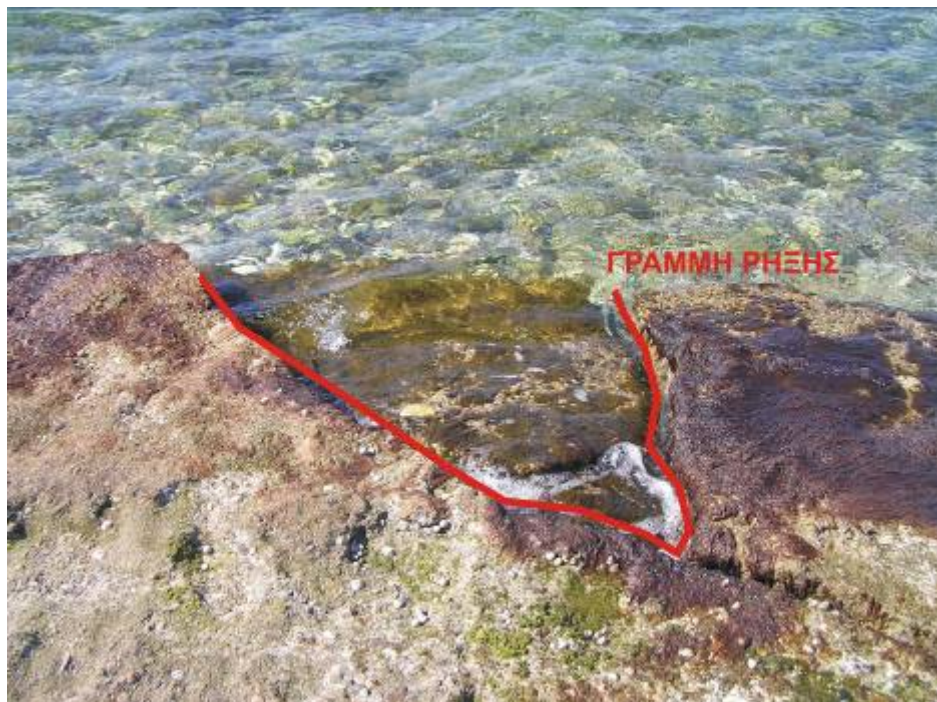


Σχήμα 5.6 Μέτωπο του beachrock προς τη θάλασσα. Η εικονιζόμενη κλίμακα έχει μήκος 30cm

Το μέτωπο του beachrock προς τη θάλασσα είναι απότομο και έχει εμφανή υποσκαφή σε πολλές θέσεις (σχήμα 5.7), η οποία έχει προκαλέσει και κατάρπτωση του σχηματισμού (σχήμα 5.8), ή ακόμα και μετακίνηση τεμαχών.



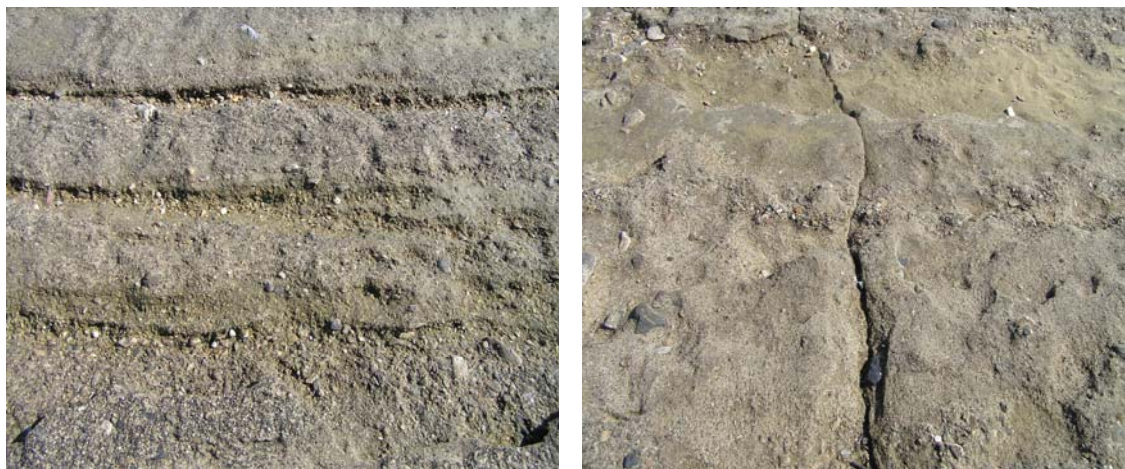
Σχήμα 5.7 Θέση με εμφανή υποσκαφή του σχηματισμού και κατάπτωση τεμάχους.



Σχήμα 5.8 Κατάπτωση τεμάχους του beachrock

Άλλα μορφολογικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη σχηματισμού, τα οποία αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία περιγραφής των beachrocks, είναι οι ρωγμές

και οι γλυφές. Οι γλυφές είναι παράλληλες προς την ακτή ενώ οι ρωγμές κάθετες. Στο σχήμα 5.9 παρατίθενται θέσεις εμφάνισης των εν λόγω χαρακτηριστικών.



Σχήμα 5.9 Γλυφές (αριστερά) και ρωγμή (δεξιά) του beachrock.

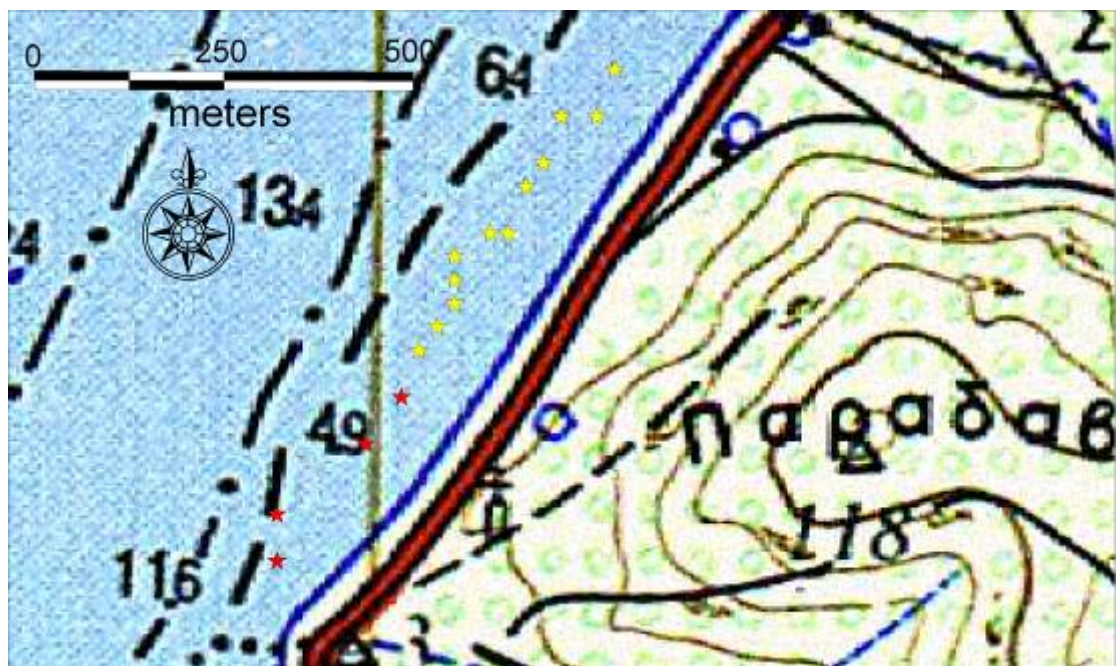
Ένα ιδιαίτερα ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της υπό μελέτης περιοχής είναι η θέση απομάκρυνσης του beachrock από ανθρώπινη παρέμβαση. Όπως προαναφέρθηκε, νότια του τεχνητού μόλου στην παραλία, απομακρύνθηκε τεχνητά το εκτεθειμένο τμήμα του beachrock προ δεκαετίας. Αυτό που αντικρίζει ο σύγχρονος παρατηρητής είναι η εμφανής διάβρωση της ακτής στη θέση αυτή, όταν στο υπόλοιπο τμήμα της παραλίας δεν παρατηρούνται αντίστοιχοι ρυθμοί διάβρωσης (σχήμα 5.10). Γίνεται κατανοητό, ότι το beachrock αποτελούσε και αποτελεί παράγοντα προφύλαξης και διατήρησης της υπάρχουσας ακτογραμμής και συμμετέχει στη δυναμική ισορροπία της παραλίας. Υπό τις υπάρχουσες συνθήκες, η ακτή παραμένει σταθερή πίσω από τον σχηματισμό, ενώ υποχωρεί στη θέση όπου αυτός απουσιάζει. Για την περαιτέρω μελέτη της ποσοτικοποίησης του δυναμικού ιζηματολογικού ισοζυγίου της παραλίας απαιτούνται συγκεκριμένοι υπολογισμοί και εφαρμογή μαθηματικών τύπων, που θα οδηγούσαν σε πιο συγκεκριμένα και ασφαλή συμπεράσματα για το καθεστώς που επικρατεί.



Σχήμα 5.10 Η θέση απομάκρυνσης του beachrock. Διακρίνεται η διάβρωση που υπέστη η ακτή με την απουσία του σχηματισμού.

5.4 ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΥΘΜΕΝΑ

Για τον προσδιορισμό των ιζηματολογικών παραμέτρων και χαρακτηριστικών του πυθμένα, συλλέχθηκαν 12 δείγματα ιζήματος μπροστά από την υπό μελέτη παραλία, παράλληλα προς την ακτογραμμή και από βάθη περίπου 2-3 μέτρων (σχήμα 5.11). Επίσης, συλλέχθηκαν 4 δείγματα ιζήματος πυθμένα περιφερειακά της παραλίας, ώστε να συγκριθούν οι ιζηματολογικές παράμετροι αυτών και των 12 προαναφερθέντων δειγμάτων.



Σχήμα 5.11 Θέσεις δειγματοληψίας. Πάνω : Τοπογραφικός χάρτης. Κάτω : Δορυφορική εικόνα. Κίτρινη απόχρωση : δείγματα μπροστά από την υπό μελέτη παραλία. Κόκκινη απόχρωση : δείγματα περιφερειακά της ακτής.

Πίνακας 5.1 Αποτελέσματα Ιζηματολογικών αναλύσεων

Δείγμα	Μέσος όρος	Ταξινόμηση	Λοξότητα	Κύρτωση	D50
1	2.187	0.742	0.073	1.074	0.220
2	2.383	0.834	-0.140	1.058	0.182
3	2.702	0.676	-0.096	1.093	0.149
4	2.084	1.056	-0.079	0.974	0.223
5	2.754	0.714	-0.167	1.124	0.140
6	2.574	0.730	-0.116	1.018	0.161
7	2.741	0.725	-0.129	1.011	0.143
8	2.781	0.718	-0.146	1.071	0.138
9	2.463	0.915	-0.100	1.120	0.176
10	2.613	0.710	-0.083	1.092	0.159
11	2.229	0.818	-0.165	0.982	0.201
12	2.444	0.573	-0.013	1.042	0.182
Μ.Τ.	2.524	0.770	-0.112	1.053	0.169
Χαρακτηρισμός	<i>Μεσόκοκκη- Λεπτόκοκκη άμμος</i>	<i>Μέτρια</i>	<i>Αρνητική</i>	<i>Μεσόκυρτη</i>	
13	2.22	0.929	-0.177	1.166	
14	2.696	0.799	-0.203	1.262	
15	1.173	0.661	0.142	1.396	
16	1.168	0.607	0.105	1.237	
Μ.Τ.	1.814	0.749	-0.033	1.265	
Χαρακτηρισμός	<i>Χονδρόκοκκη- Μεσόκοκκη άμμος</i>	<i>Μέτρια</i>	<i>Συμμετρική</i>	<i>Λεπτόκυρτη</i>	

Από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον πίνακα 5.1 φαίνεται ότι το υλικό του πυθμένα στη ζώνη μπροστά από την υπό μελέτη παραλία είναι μεσόκοκκη προς λεπτόκοκκη άμμος (+2 έως +3 Φ). Επίσης, η τιμή της ταξινόμησης (0.77) δείχνει ότι αυτή είναι μέτρια, δηλαδή επικρατεί σχετικά σταθερό υδροδυναμικό καθεστώς με σπάνια προσέλευση αλλόχθονων ιζημάτων. Άλλωστε, η μόνη τιμή της ταξινόμησης που είναι στη βαθμίδα της κακής ταξινόμησης (Δείγμα 4, $\sigma_2 = 1.056$) σχετίζεται με μεικτό υλικό (ψηφίδες και άμμο).

5.5 ΘΕΣΕΙΣ ΤΩΝ ΠΡΟΦΙΛ ΚΑΙ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΟΥΣ

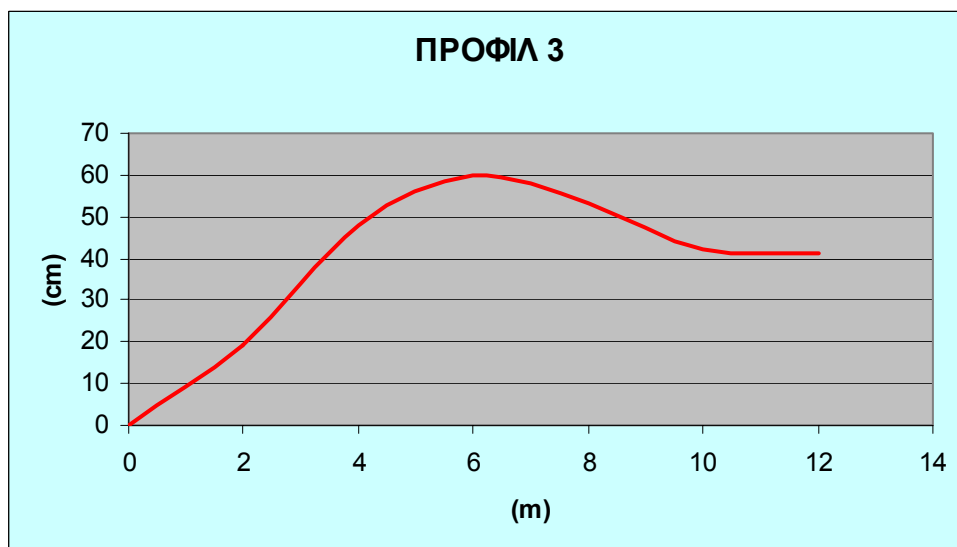
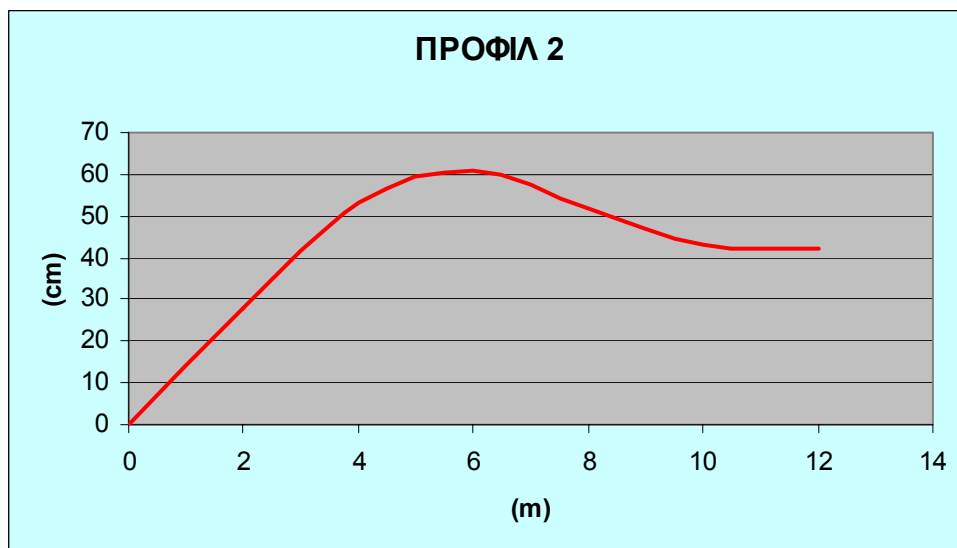
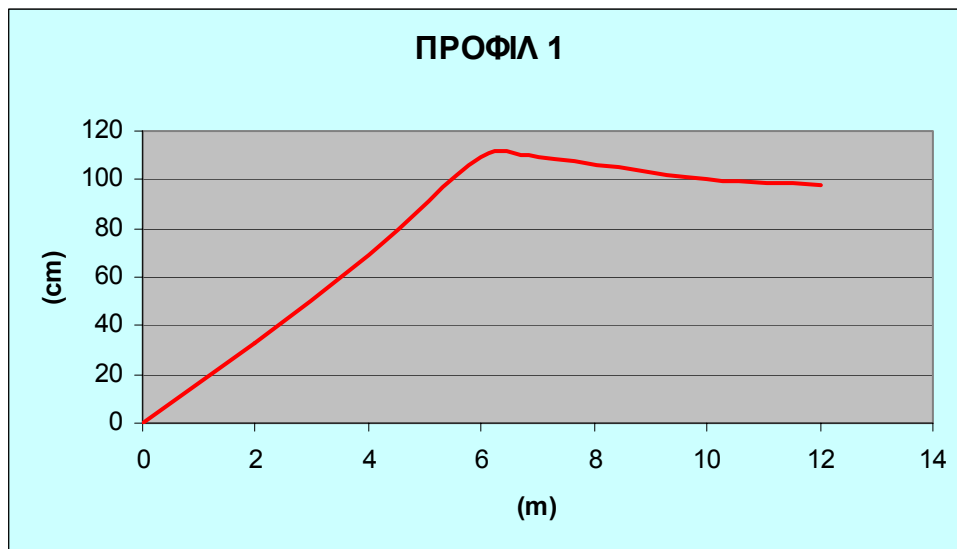
Οι θέσεις των μορφολογικών προφίλ στην υπό μελέτη ακτή φαίνονται στο σχήμα 5.12.

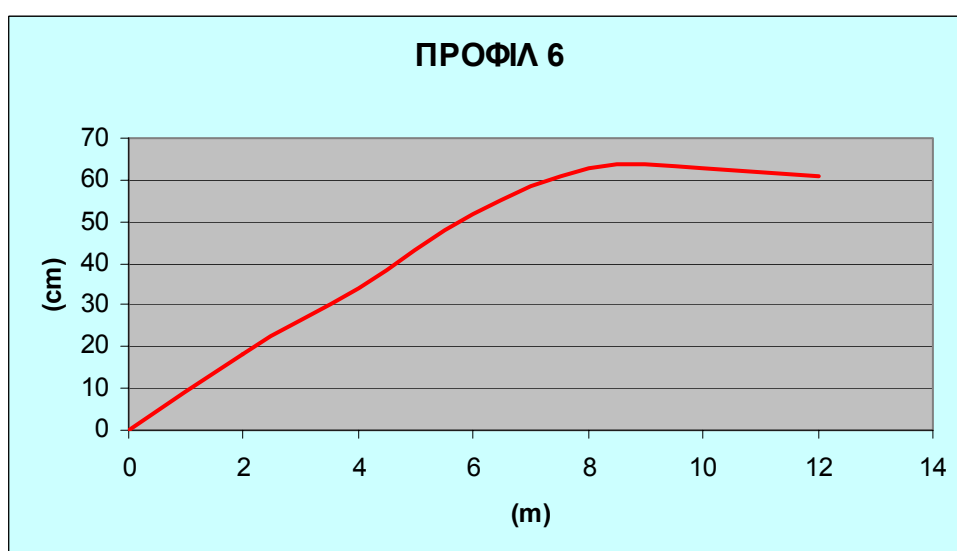
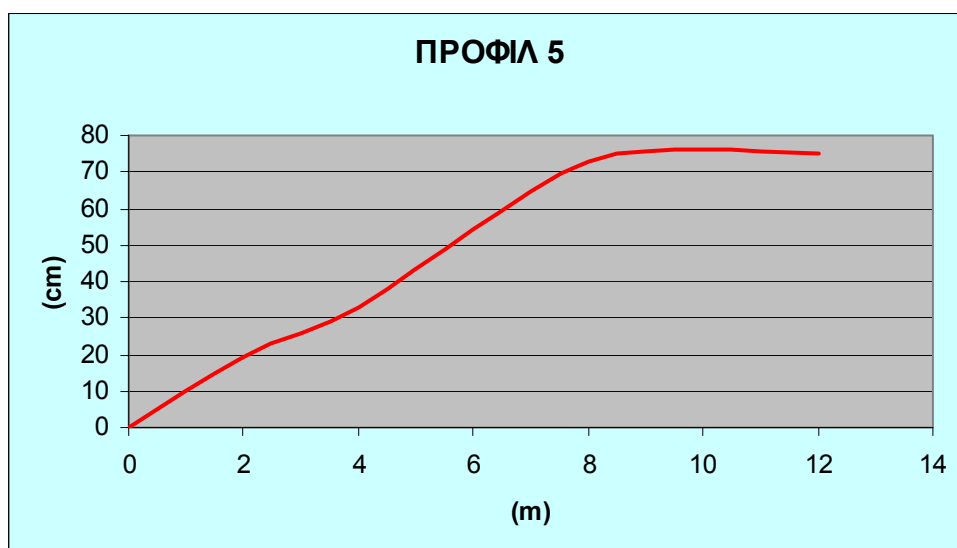
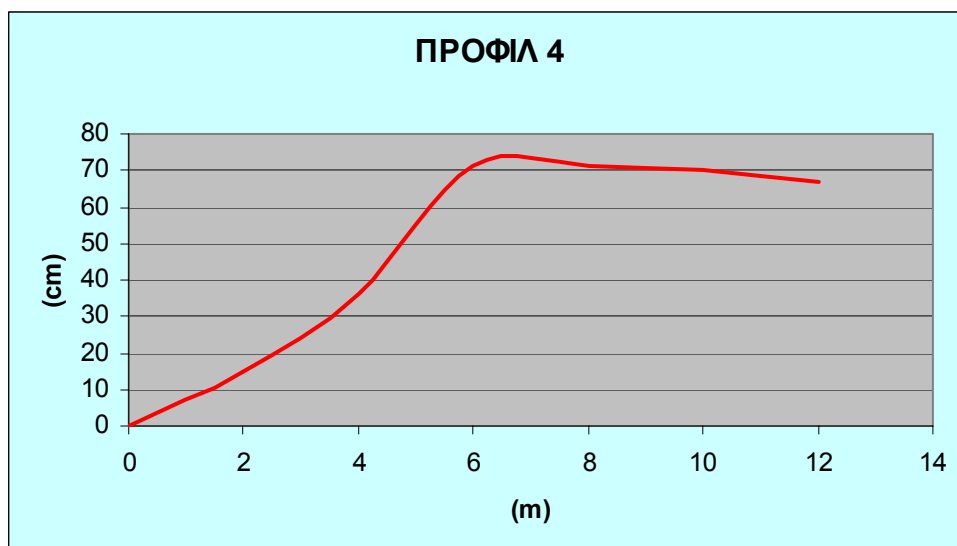


Σχήμα 5.12 Θέσεις των μορφολογικών προφίλ

Το σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε είναι το UTM ED50.

Η γραφική απεικόνιση των προφίλ έδωσε τα παρακάτω σχήματα :



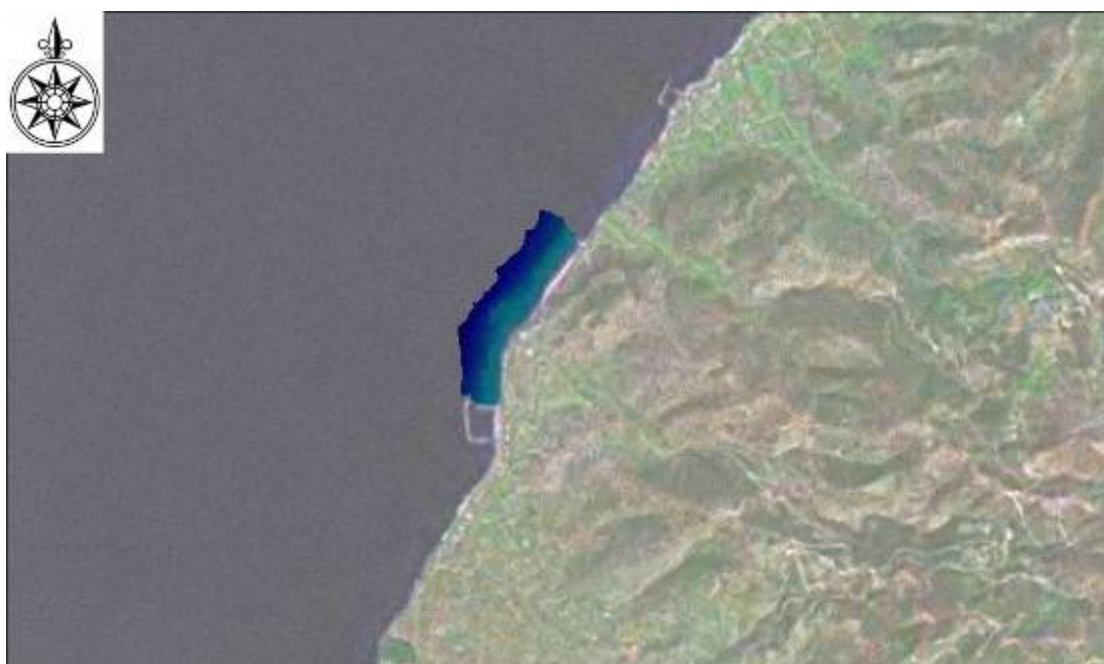


Τα προφίλ έχουν ως σημείο έναρξης την ακτογραμμή.

Παρατηρώντας τα μορφολογικά προφίλ που προέκυψαν, μπορεί να σχολιαστεί η εμφάνιση μεγαλύτερων κλίσεων της παραλίας στις πρώτες τομές και μια σταδιακή ομαλοποίηση στις τελευταίες. Βιβλιογραφικά δεδομένα καθιστούν πολύ πιθανό ο χώρος που εστιάζεται κάτω από το ανώτερο όριο της ζώνης παλινδρόμησης (berm), σε μια απόσταση περίπου 6 μέτρων από την ακτογραμμή, να αποτελεί τη θέση σύγχρονου σχηματισμού beachrock, με σταδιακή συνεκτικοποίηση των ιζημάτων. Η επιβεβαίωση αυτού του ενδεχομένου μπορεί να γίνει μόνο με ανασκαφή σε βάθη πάνω από 150 εκατοστά. Η ηλεκτρική τομογραφία (περιγραφή στο αντίστοιχο κεφάλαιο) έδωσε μια γενική εικόνα του χώρου αυτού, όμως λόγω σύγχυσης των αποχρώσεων σε αυτή τη ζώνη (όριο χερσαίων ιζημάτων) δεν είναι δυνατό να εξαχθεί βέβαιο συμπέρασμα.

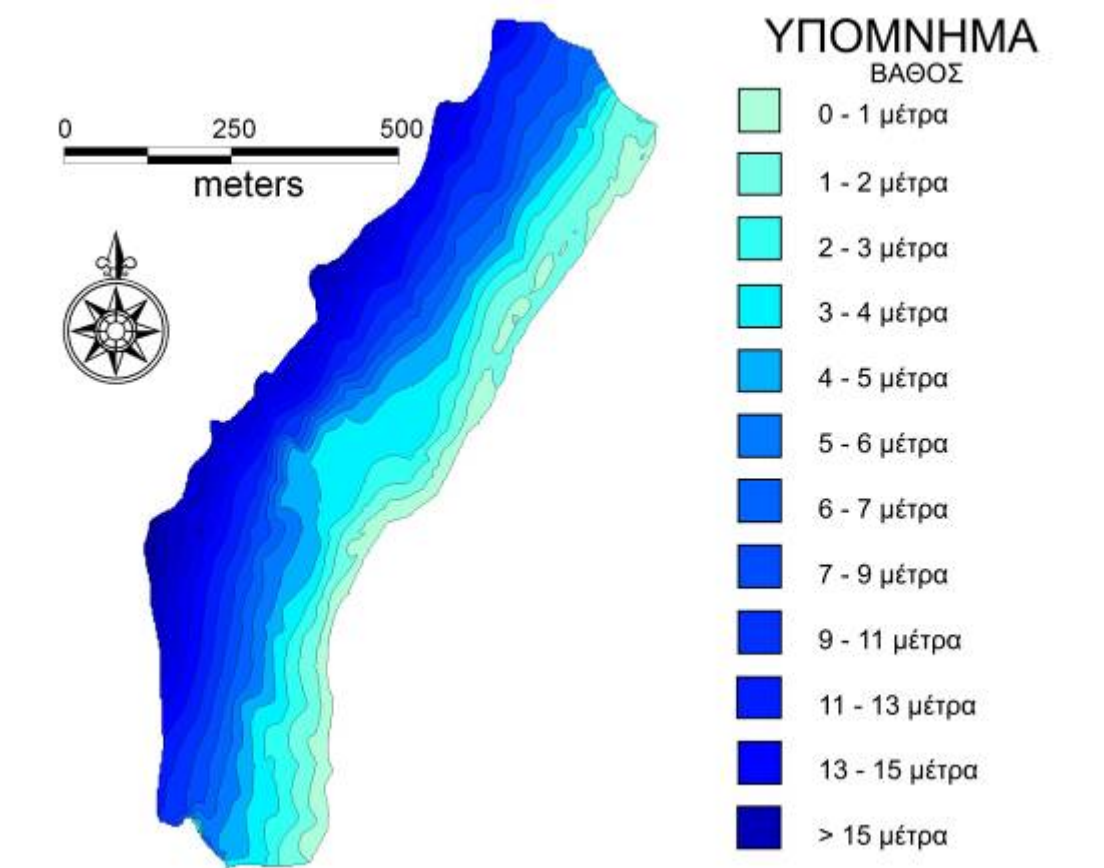
5.6 ΒΥΘΟΜΕΤΡΗΣΗ

Η θέση της περιοχής βυθομέτρησης απεικονίζεται στο σχήμα 5.13.



Σχήμα 5.13 Θέση της περιοχής βυθομέτρησης στον ευρύτερο χώρο (LANDSAT7, 2000)

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων, προέκυψαν ο χάρτης ισοβαθών καμπυλών (σχήμα 5.14) και το τρισδιάστατο μοντέλο αναγλύφου του πυθμένα (σχήμα 5.15).



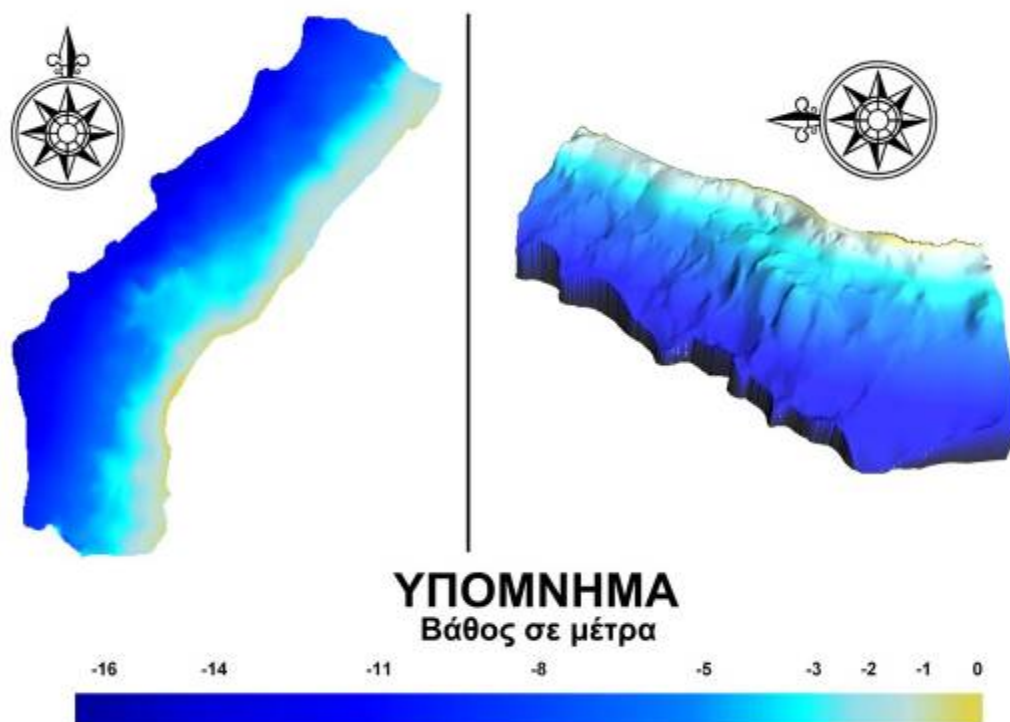
Σχήμα 5.14 Ισοβαθείς καμπύλες

Παρατηρώντας τις ισοβαθείς καμπύλες μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα για τη μορφολογία του πυθμένα.

- Στη ζώνη βάθους 0 – 2 μέτρα εμφανίζονται ορισμένες εξάρσεις, βασικά στον χώρο μπροστά από την υπό μελέτη ακτή. Οι εξάρσεις αυτές αποδεικνύεται, μετά και από επί τόπου παρατήρηση, ότι δεν είναι τίποτε άλλο από αποκολλημένα blocks του beachrock, τα οποία είτε από φυσικές διεργασίες είτε από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις αποκόπηκαν από το κύριο σώμα του beachrock και τοποθετήθηκαν στις σημερινές τους θέσεις.
- Η περιοχή βάθους μέχρι 1 μέτρο στον χώρο ανάπτυξης του beachrock αντιπροσωπεύει την ζώνη του βυθισμένου beachrock κατά τους θερινούς-φθινοπωρινούς μήνες και η περιοχή απουσίας αυτής της ζώνης αντιστοιχεί σε

σημεία όπου ο σχηματισμός είναι σπασμένος και διαβρωμένος, με απότομα τοιχώματα προς την θάλασσα.

Κατά την τρισδιάστατη απεικόνιση χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μοντέλα, από τα οποία επιλέχθηκαν αυτά που οδηγούν σε ορισμένα συμπεράσματα όσον αφορά τη μορφολογία του πυθμένα αλλά και τον ίδιο τον σχηματισμό του beachrock.



Σχήμα 5.15 Τρισδιάστατη απεικόνιση του πυθμένα (δεξιά) βάσει του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DEM) (αριστερά).

Η απεικόνιση του πυθμένα στα παραπάνω σχήματα παρουσιάζει με διακριτό τρόπο τη μορφολογία του. Με την κίτρινη απόχρωση διακρίνονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής βυθομέτρησης οι εξάρσεις που αντιστοιχούν σε blocks του beachrock στον πυθμένα.

5.7 ΠΥΡΗΝΟΛΗΨΙΑ

Στο σχήμα 5.16 απεικονίζονται οι θέσεις της πυρηνοληψίας, σε μια διάταξη παράλληλη προς την ακτογραμμή και στην ζώνη οριακής κάλυψής του από τη

θάλασσα. Στο σχήμα 5.17 παρατίθενται οι δέκα πυρήνες που ελήφθησαν κατά μήκος του beachrock.



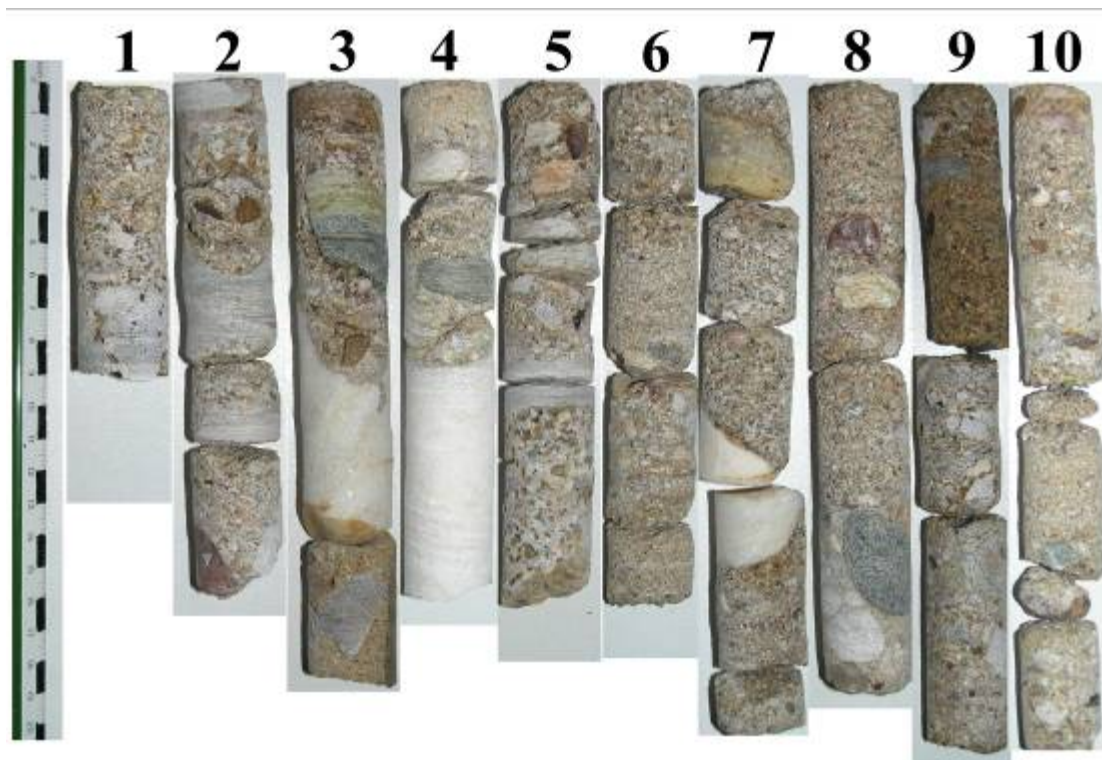


Σχήμα 5.16 Θέσεις πυρηνοληψίας. Επάνω : Τοπογραφικός χάρτης 1:50000, σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων ED50. Κάτω : Δορυφορική εικόνα LANDSAT 7, σύστημα γεωγραφικών συντεταγμένων WGS84.

Αν και η διείσδυση δεν είναι αντιπροσωπευτική του πάχους του beachrock, μπορούν να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα που αφορούν στη σύσταση του σχηματισμού.

Κατ'αρχήν, είναι ευδιάκριτο το αρκετά μικρότερο πορώδες του beachrock στο εσωτερικό του σε σχέση με την επιφάνειά του. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται βιβλιογραφικά με το αυξημένο ποσοστό συγκολλητικού υλικού που παρατηρείται στα παλαιότερα τμήματα του σχηματισμού, τα οποία και είναι στο εσωτερικό του.

Επίσης, παρατηρείται παρουσία αρκετά μεγάλων κροκαλών στις πρώτες θέσεις πυρηνοληψίας. Αυτό έχει να κάνει με τα ιζήματα που αποτέλεσαν την πρώτη ύλη κατά το σχηματισμό του beachrock. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται πλησιέστερα στο άκρο της παραλίας και ταυτόχρονα κοντύτερα στις εκβολές ενός χειμάρρου. Τα δύο αυτά δεδομένα δικαιολογούν απόλυτα της παρουσία μεγάλων κροκαλών στη ζώνη αυτή σε σχέση με τις άλλες θέσεις, όπου κυριαρχεί η μεσόκοκκη άμμος. Εξάλλου, οι παρόμοιες σημερινές δυναμικές συνθήκες στη ζώνη αυτή της παραλίας συντελούν σε παρόμοια ιζηματολογική εικόνα σήμερα.



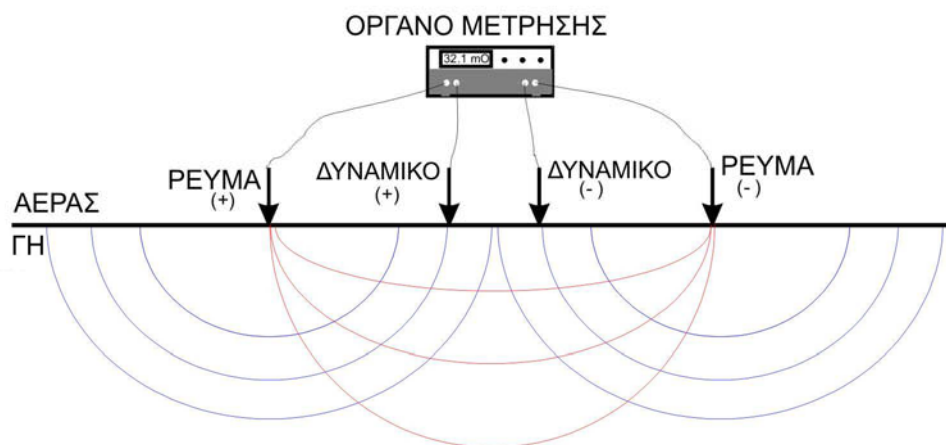
Σχήμα 5.17 Οι 10 πυρήνες σε σειρά λήψης.

Πάντως, παρά τα αξιόλογα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν από την πυρηνοληψία, με βάση πάντα και βιβλιογραφικά δεδομένα, μια ολοκληρωμένη μελέτη ενός ψηφιδωπαγούς αιγιαλού εις βάθος, μπορεί να γίνει μόνο με πυρηνοληψία που θα καλύπτει όλον το σχηματισμό, μέχρι το κατώτερο σημείο του. Με τον τρόπο αυτό, μπορεί να περιγραφεί το beachrock εκτεταμένα, και να εξαχθούν σενάρια για την χρονική και την χωρική εξέλιξή του.

6 Ηλεκτρική Τομογραφία

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με την εφαρμογή ηλεκτρικών μεθόδων επιδιώκεται ο καθορισμός της κατανομής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Οι μέθοδοι που εφαρμόζονται ανήκουν στην κατηγορία του τεχνητά παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο διαβιβάζεται στο έδαφος δια μέσου ενός ζεύγους ηλεκτροδίων (σχήμα 6.1). Σε ένα δεύτερο ζεύγος ηλεκτροδίων μετράται η πτώση τάσης που προκαλείται. Η ωμική αντίσταση που υπολογίζεται σαν το πηλίκο των δύο αυτών μεγεθών χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης η οποία με τη σειρά της μας επιτρέπει τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στην παρούσα έρευνα αξιοποιούνται οι διατάξεις τομογραφίας που μας επιτρέπουν τη μελέτη της κατανομής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δύο διαστάσεις (οριζόντια και κατακόρυφη).



Σχήμα 6.1 Η βασική διάταξη γεωηλεκτρικών μετρήσεων.

Ο όρος ηλεκτρική τομογραφία (ΗΤ) περιγράφει γενικά έναν τύπο μετρήσεων της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους. Μπορεί να θεωρηθεί ως συνδυασμός δύο "παραδοσιακών" τεχνικών μέτρησης: της όδευσης και της βυθοσκοπήσης. Ειδικότερα, η ηλεκτρική τομογραφία μπορεί να περιγραφεί ως μία σειρά από συνεχόμενες ηλεκτρικές βυθοσκοπήσεις κατά μήκος της γραμμής έρευνας ή ως μία σειρά από οδεύσεις πάνω από την ίδια περιοχή με διαδοχικά αυξανόμενες αποστάσεις ηλεκτροδίων. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λήψη πληροφορίας

τόσο για την κατακόρυφη όσο και για την οριζόντια μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή μελέτης και έτσι λαμβάνεται μία πληρέστερη “εικόνα” του υπεδάφους.

Πρόδρομος της HT είναι η μέθοδος της “ψευδοτομής” που έχει χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στην χαρτογράφηση μεταλλευμάτων (Edwards 1977) αλλά και σε διάφορες άλλες εφαρμογές (π.χ. υδρογεωλογικές, Griffiths et al. 1990). Στην διαδικασία της “ψευδοτομής” μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες διατάξεις ηλεκτροδίων (διπόλου-διπόλου, Wenner, πόλου-διπόλου). Η HT όμως είναι πιο γενικευμένος όρος που περιλαμβάνει και μετρήσεις με μη συμβατικές διατάξεις καθώς επίσης και μετρήσεις που λαμβάνονται με ηλεκτρόδια σε γεωτρήσεις (π.χ. Shima 1992).

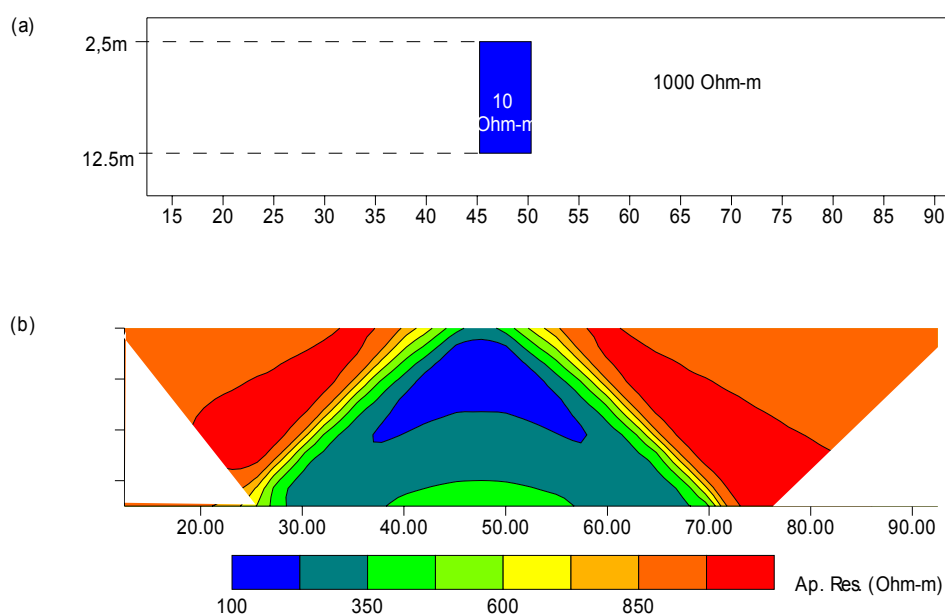
Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της HT είναι ότι σε σύγκριση με τις άλλες τεχνικές λαμβάνεται ένας αρκετά μεγάλος αριθμός μετρήσεων (άρα και χρήσιμης πληροφορίας). Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η διακριτική ικανότητα και ανάλυση της γεωηλεκτρικής μεθόδου. Παράλληλα όμως, λόγω του μεγάλου αριθμού τους, οι μετρήσεις είναι δύσκολο να ληφθούν με χειροκίνητη αλλαγή των ηλεκτροδίων, και γι’ αυτό χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματοποιημένων πολυπλεκτών. Πολλά τέτοια εμπορικά συστήματα (τουλάχιστον έξι) έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορούν στην αγορά από το 1990 και μετά, γεγονός ενδεικτικό της ανάπτυξης της HT. Βέβαια πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση αυτών των οργάνων αυξάνει αναπόφευκτα το κόστος εφαρμογής της μεθόδου.

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΨΕΥΔΟΤΟΜΗ

Η ερμηνεία των μετρήσεων σε πρώτο στάδιο γίνεται με τη μέθοδο της ψευδοτομής, δηλαδή τομή των φαινόμενων αντιστάσεων. Η ερμηνεία όμως με τη μέθοδο της ψευδοτομής είναι ιδιαίτερα δύσκολη και επισφαλής γιατί η εικόνα της κατανομής της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι μια παραμορφωμένη εικόνα της πραγματικής κατανομής της ηλεκτρικής αντίστασης στην περιοχή έρευνας. Ένα παράδειγμα της πολυπλοκότητας της εικόνας που προκύπτει με τη μέθοδο της ψευδοτομής παρουσιάζεται στο σχήμα 6.2.

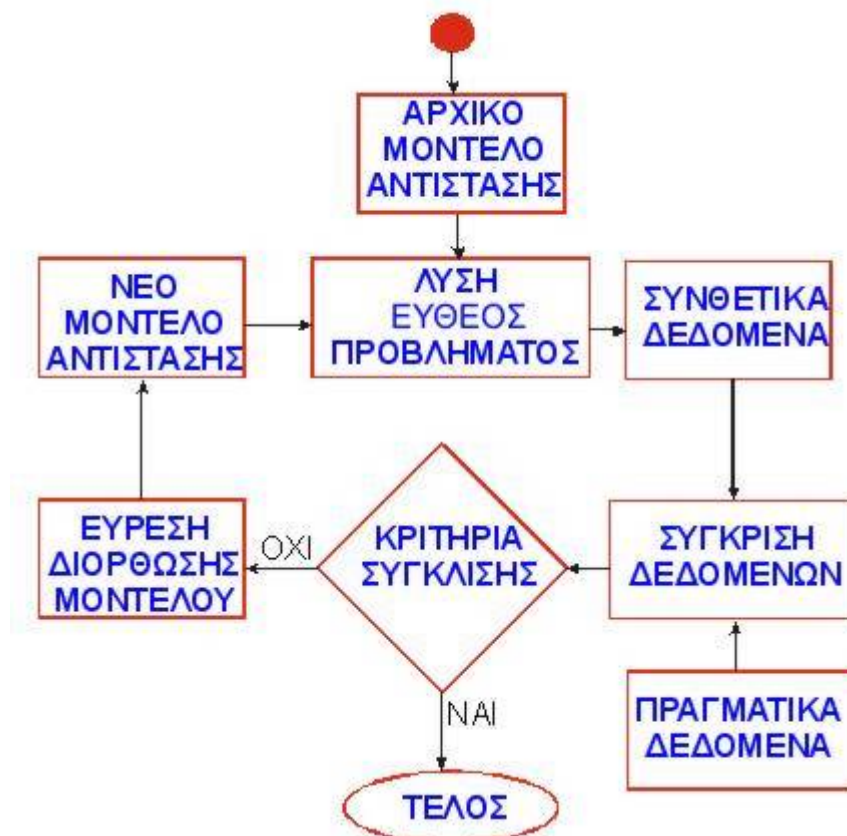
ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ

Για αυτόν τον λόγο νέες τεχνικές ερμηνείας και επεξεργασίας έχουν προταθεί. Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την επίλυση του αντίστροφου γεωηλεκτρικού προβλήματος είτε με χρήση προσεγγιστικών μεθόδων, π.χ. μέθοδος Zhody-Barker, (Barker 1992), μέθοδος οπισθοπροβολής (Tsourlos et al. 1993), είτε με τη χρήση υπαρχόντων μη γραμμικών τεχνικών αντιστροφής (π.χ. Tripp et al. 1984) που προσαρμόζονται στο πρόβλημα της HT (Shima 1990, Tsourlos et al. 1995).



Σχήμα 6.2 (α) Αρχικό μοντέλο αντίστασης, (β) εικόνα ψευδοτομής δεδομένων δισδιάστατης διασκόπησης που προέκυψαν από το μοντέλο του σχήματος (α)

Η πλέον δημοφιλής τεχνική για την αποκατάσταση της πραγματικής εικόνας της γεωηλεκτρικής αντίστασης του υπεδάφους είναι αυτή της αντιστροφής. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο αντίστασης που να δίνει μετρήσεις που είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στις πραγματικές. Προϋπόθεση η ύπαρξη μεθόδου επίλυσης του ευθέως προβλήματος, δηλαδή, να βρεθούν οι μετρήσεις δοθείσης της κατανομής της αντίστασης.



Σχήμα 6.3. Σχηματοποιημένη διαδικασία μη γραμμικής αντιστροφής

Στην γεωηλεκτρική μέθοδο λόγω της μη-γραμμικής φύσης του αντιστρόφου προβλήματος, οι αλγόριθμοι αντιστροφής είναι μια αυτοματοποιημένη επαναληπτική διαδικασία (σχήμα 6.3). Αρχικά, η περιοχή ενδιαφέροντος διακριτοποιείται σε ένα δίκτυο από παραμέτρους στις οποίες και αποδίδεται μια αρχική τιμή ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

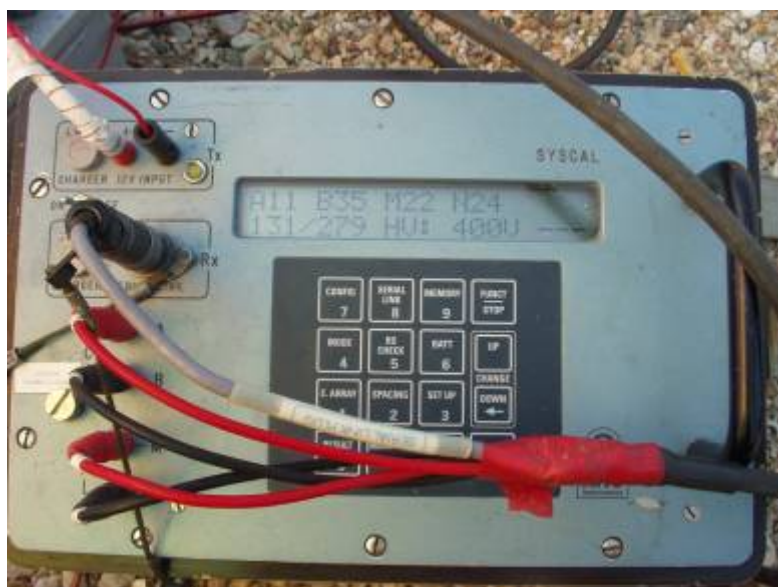
Βάσει αυτού του μοντέλου υπολογίζονται τα αντίστοιχα συνθετικά δεδομένα, τα οποία και συγκρίνονται με τα πραγματικά δεδομένα. Λαμβάνεται έτσι μια εκτίμηση του λάθους $\Delta y = (\text{πραγματικά δεδομένα} - \text{συνθετικά δεδομένα})$. Στη συνέχεια με μια διαδικασία αντιστροφής πινάκων γίνεται διόρθωση του αρχικού μοντέλου αντίστασης και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου το λάθος Δy μεταξύ των πραγματικών και συνθετικών δεδομένων ελαχιστοποιηθεί. Το τελικό μοντέλο αντίστασης θεωρείται ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική κατανομή των γεωηλεκτρικών αντιστάσεων.

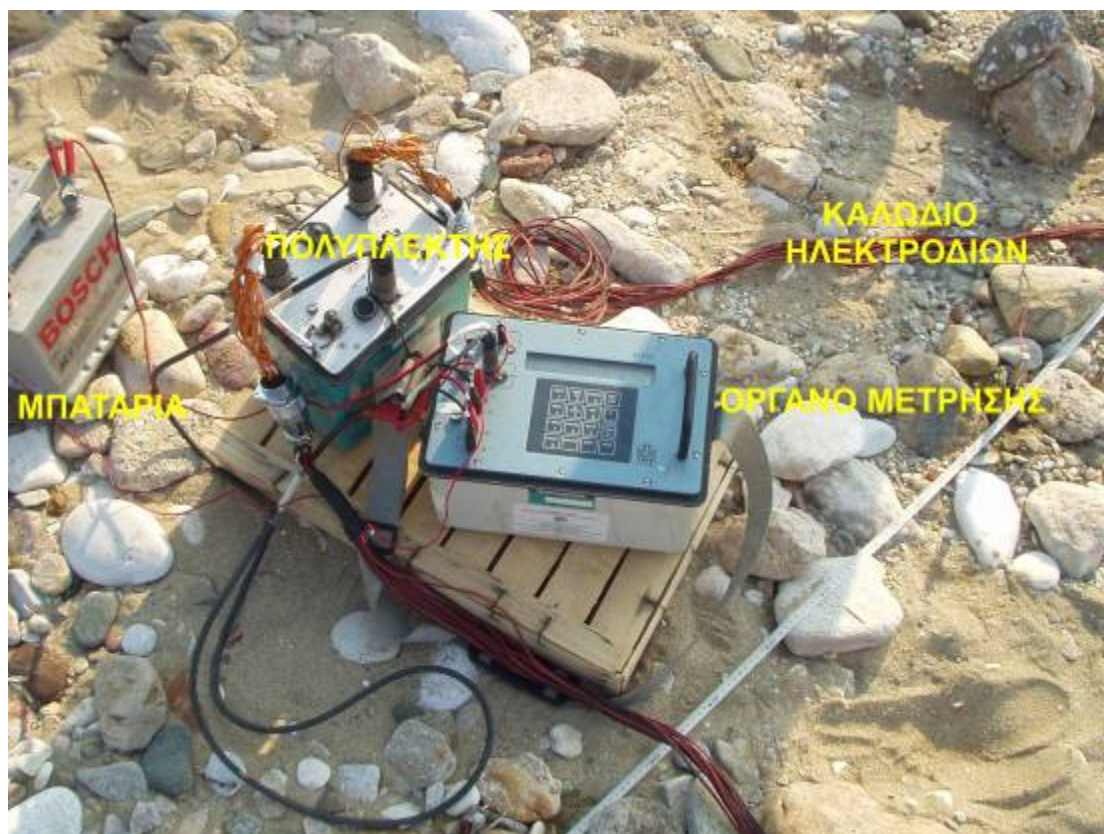
Η αντιστροφή είναι ένα δύσκολο μη γραμμικό πρόβλημα. Χρησιμοποιούνται ειδικές τεχνικές για την αποφυγή ασταθών λύσεων. Μια από τις πιο σύγχρονες τεχνικές είναι η εξομαλυσμένη αντιστροφή (Occam's) (Constable, 1987). Ορίζονται

σχέσεις εξομάλυνσης μεταξύ των παραμέτρων και ζητείται η ελαχιστοποίηση του λάθους σε συνδυασμό με μέγιστη εξομάλυνση.

6.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Για την εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου χρησιμοποιήθηκε το όργανο SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS. Πρόκειται για πλήρως αυτοματοποιημένο όργανο μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σχεδιασμένο για έρευνα με μεθόδους συνεχούς ρεύματος. Χαρακτηριστικά όπως ο αυτοματοποιημένος έλεγχος της αντιστάθμισης του φυσικού δυναμικού, η ψηφιακή υπέρθεση για την ενίσχυση του σήματος και η προβολή του σφάλματος κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων που προσφέρονται από το συγκεκριμένο όργανο εξασφαλίζουν μετρήσεις υψηλής ακρίβειας. Το συγκεκριμένο όργανο έχει μέγιστη ισχύ εξόδου 100 VA και επιτυγχάνει τη δημιουργία ρεύματος με ένταση που τυπικά φτάνει τα 500 mA, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις επιτρέπει και σημαντικά μεγαλύτερες εντάσεις ηλεκτρικού ρεύματος (έως 1200mA). Το όργανο μέτρησης χρησιμοποιεί τόσο εσωτερικές όσο και εξωτερικές μπαταρίες και παρουσιάζεται στο σχήμα 6.4. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.





Σχήμα 6.4 Όργανο λήψης ηλεκτρικών μετρήσεων SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS (επάνω). Ο εξοπλισμός με τη συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της μέτρησης (κάτω)

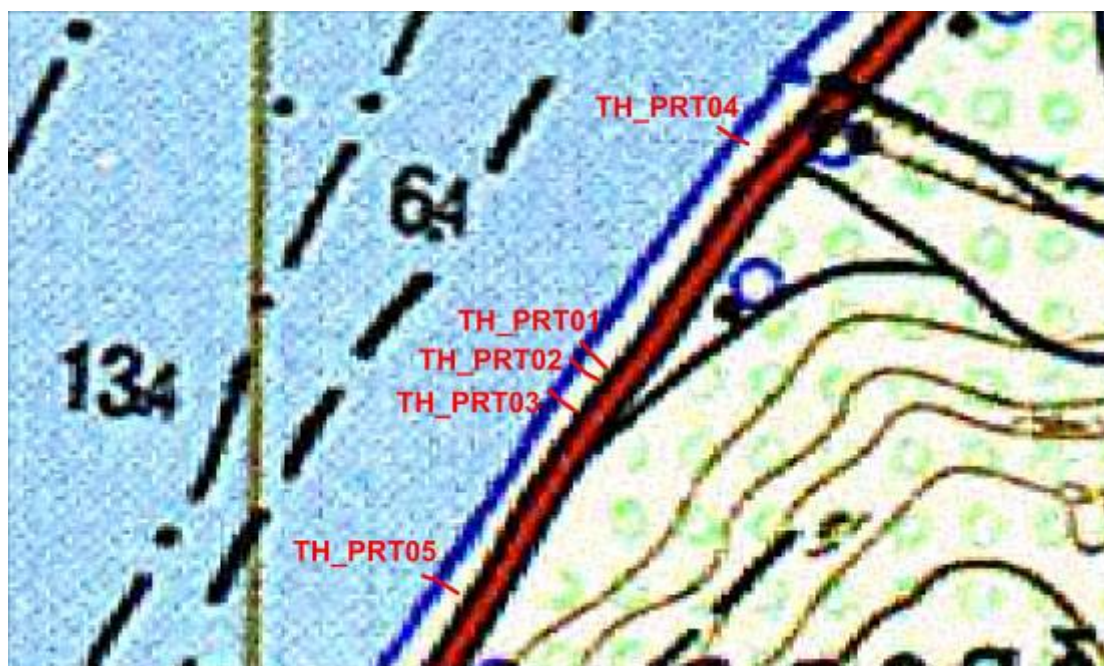
Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνου SYSCAL (V11.4++) της εταιρείας IRIS INSTRUMENTS

ΠΟΜΠΟΣ	
Maximum output voltage	400 V
Maximum output current	1200mA
Maximum output power	100W
Current waveform (Rho mode)	ON+, ON-
Current Resolution	10μA
Current Accuracy	0.3% typical 1% maximum over the whole operating temperature range
ΔΕΚΤΗΣ	
Input impedance	10Mohm
Input voltage range	-5V to +5V
Rejection filter 50Hz and 60Hz	
Voltage	
Resolution during the measurement	10μV
after stacking	1μV
Accuracy	0.3% Typical 1% max

Για τη λήψη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα πολυκαναλικά καλώδια 48 θέσεων τα οποία κατασκευάστηκαν από χαλκό για τις ειδικές ανάγκες του έργου, καθώς και ειδικά ηλεκτρόδια χαλκού-ατσαλιού (υψηλής μηχανικής αντοχής και υψηλής αγωγιμότητας), ενώ για τις μετρήσεις τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε κατάλληλος αυτόματος πολυπλέκτης 48 θέσεων της ίδιας εταιρείας, που επέτρεψε τη γρήγορη λήψη μεγάλου αριθμού μετρήσεων σε κάθε τομογραφία (περίπου 350).

6.3 ΛΗΨΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

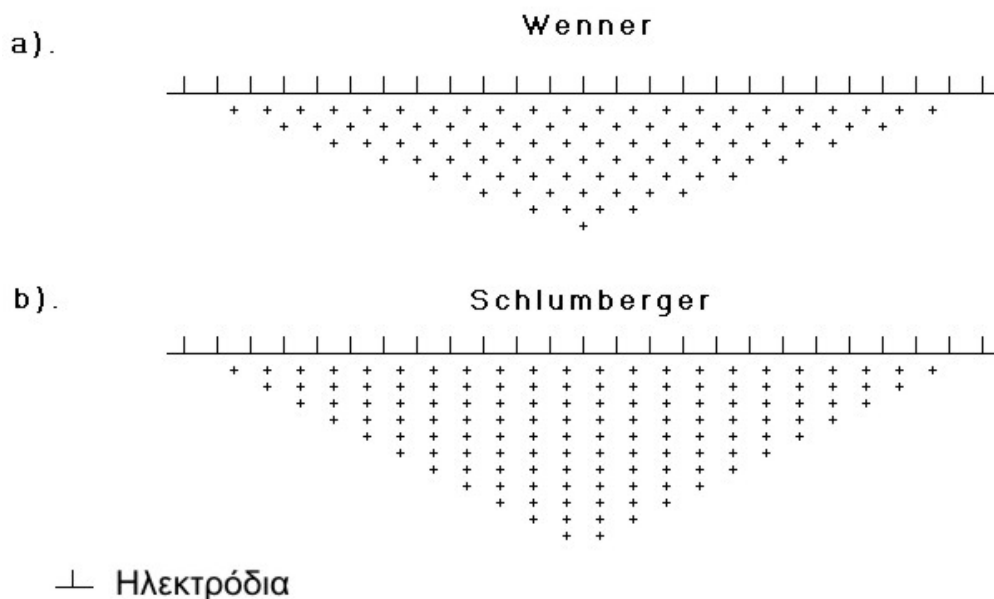
Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζονται οι θέσεις λήψης των ηλεκτρικών τομογραφιών στην περιοχή μελέτης. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Wenner-Schlumberger, η οποία επιλέχθηκε με βάση τα υλικά των στρωμάτων στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος.





Σχήμα 6.5 Θέσεις πραγματοποίησης των 5 τομογραφιών (επάνω : τοπογραφικός χάρτης 1:50000, κάτω : δορυφορική εικόνα LANDSAT 7)

Η διάταξη αυτή είναι ένας συνδυασμός των διατάξεων Wenner και Schlumberger και χρησιμοποιείται εκεί όπου απαιτείται ικανοποιητική οριζόντια κάλυψη και αρκετά μεγάλο βάθος διείσδυσης των μετρήσεων. Στο σχήμα 6.6 απεικονίζεται μία σύγκριση των διατάξεων Wenner και Wenner-Schlumberger, όπου φαίνεται το μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης της δεύτερης. Η διάταξη Wenner-Schlumberger παρουσιάζει ικανοποιητικό λόγο σήματος-θορύβου, γεγονός σημαντικό σε περιβάλλοντα χαμηλών αντιστάσεων, ενώ παράλληλα παρουσιάζει ικανοποιητική διακριτική ικανότητα τόσο στις πλευρικές όσο και στις κατακόρυφες μεταβολές τις αντίστασης (Ward, 1991).



Σχήμα 6.6 Διάταξη των σημείων δεδομένων στην ψευδοτομή για τη διάταξη a) Wenner και b) Wenner-Schlumberger.

6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι παράμετροι σχεδιασμού της γεωηλεκτρικής τομογραφίας καθορίστηκαν με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του beachrock και του βάθους έρευνας. Βάσει του αρχικού σχεδιασμού (επιθυμητό βάθος έρευνας, διακριτική ικανότητα, κλπ.) η απόσταση των ηλεκτροδίων (a) ήταν 1 μέτρο, που αντιστοιχεί περίπου και στην ελάχιστη διάσταση πλάτους του αναμενόμενου στόχου.

Το πρόγραμμα εκτέλεσης γεωηλεκτρικών τομογραφιών προέβλεπε την κάλυψη της έκτασης με πέντε σχεδόν παράλληλες τομογραφίες, έτσι ώστε να καλυφθεί η περιοχή έρευνας στο χώρο που εξαπλώνεται ο σχηματισμός του beachrock, με έμφαση σε περιοχές όπου αυτό εμφανίζει μορφολογικές διαφορές.

Η μία τομογραφία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας 48 ηλεκτρόδια, ενώ στις υπόλοιπες 4 χρησιμοποιήθηκαν 36 ηλεκτρόδια. Η τοποθέτηση του καλωδίου ήταν παρόμοια σε όλες τις τομογραφίες, με τα 24 ηλεκτρόδια να βρίσκονται στην επιφάνεια της θάλασσας (με τη χρήση πλευστήρων) και τα υπόλοιπα στην επιφάνεια των παράκτιων ιζημάτων (σχήμα 6.7). Σε περιπτώσεις όπου το καλώδιο έπρεπε να τοποθετηθεί πάνω στην επιφάνεια του beachrock (σε θέσεις όπου το beachrock αποκαλυπτόταν έξω από τη θάλασσα), έπρεπε να γίνει ειδική τοποθέτηση των

ηλεκτροδίων, ώστε να μη δώσουν εσφαλμένες τιμές και παραμορφώσουν το τελικό αποτέλεσμα.



Σχήμα 6.7 Τοποθέτηση του καλωδίου στην επιφάνεια της θάλασσας και στην ακτή.

6.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ

Για την επεξεργασία των δεδομένων της ηλεκτρικής τομογραφίας ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

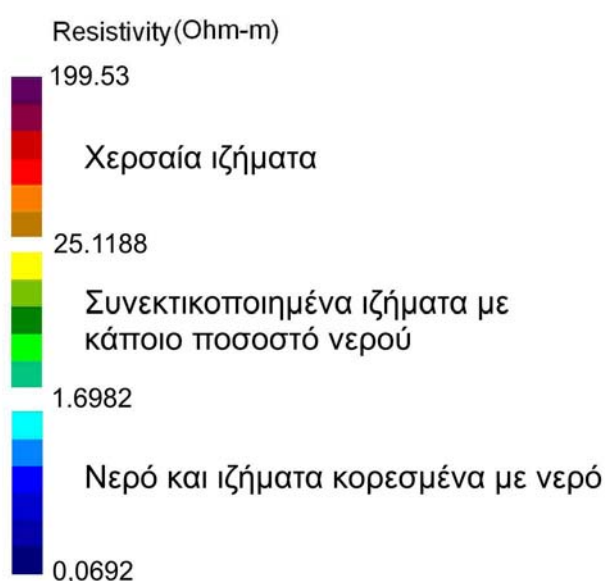
Αρχικά έγινε η χαρτογράφηση των μετρήσεων υπαίθρου με τη μορφή ψευδοτομής. Ελέγχθηκε η ποιότητα των μετρήσεων και απορρίφθηκαν μετρήσεις με μεγάλα σφάλματα. Γενικά η ποιότητα των μετρήσεων κρίνεται ικανοποιητική. Παρατηρήθηκε μέσο σφάλμα 2-3%, το οποίο ήταν μεγαλύτερο όταν η θάλασσα είχε κυματισμό, λόγω της μη σταθερής θέσης των ηλεκτροδίων στην επιφάνειά της.

Τα δεδομένα, στη συνέχεια, υποβλήθηκαν σε δισδιάστατη αντιστροφή. Χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα 2DINVS (Tsourlos et al., 1998; Tsourlos and Ogilvy, 1999). Πρόκειται για αλγόριθμο που συνδυάζει την τεχνική quasi-Newton όπως αυτή τροποποιήθηκε από τον Broyden (Broyden, 1965) με την μέθοδο αντιστροφής του Occam (Constable, 1987) για την δισδιάστατη αντιστροφή γεωηλεκτρικών

δεδομένων. Ο αλγόριθμος είναι επαναληπτικός και σε κάθε επανάληψη χρησιμοποιεί τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων για να επιλύσει το ευθύ πρόβλημα.

Τα αποτελέσματα της αντιστροφής για τις τομές TH_PRT (01-02-03-04-05) χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα αξιόπιστα καθώς το % λάθος (RMS) για κάθε αντιστροφή κυμάνθηκε μεταξύ 2-3%, ενδεικτικό επίσης και της καλής ποιότητας των πρωτογενών δεδομένων.

Οι τιμές της αντίστασης που μετρήθηκαν, ομαδοποιήθηκαν έτσι ώστε να υπάρξει μια αντιστοιχία με το υλικό που αντιπροσωπεύει κάθε απόχρωση. Προέκυψε λοιπόν το παρακάτω σχήμα (6.8):

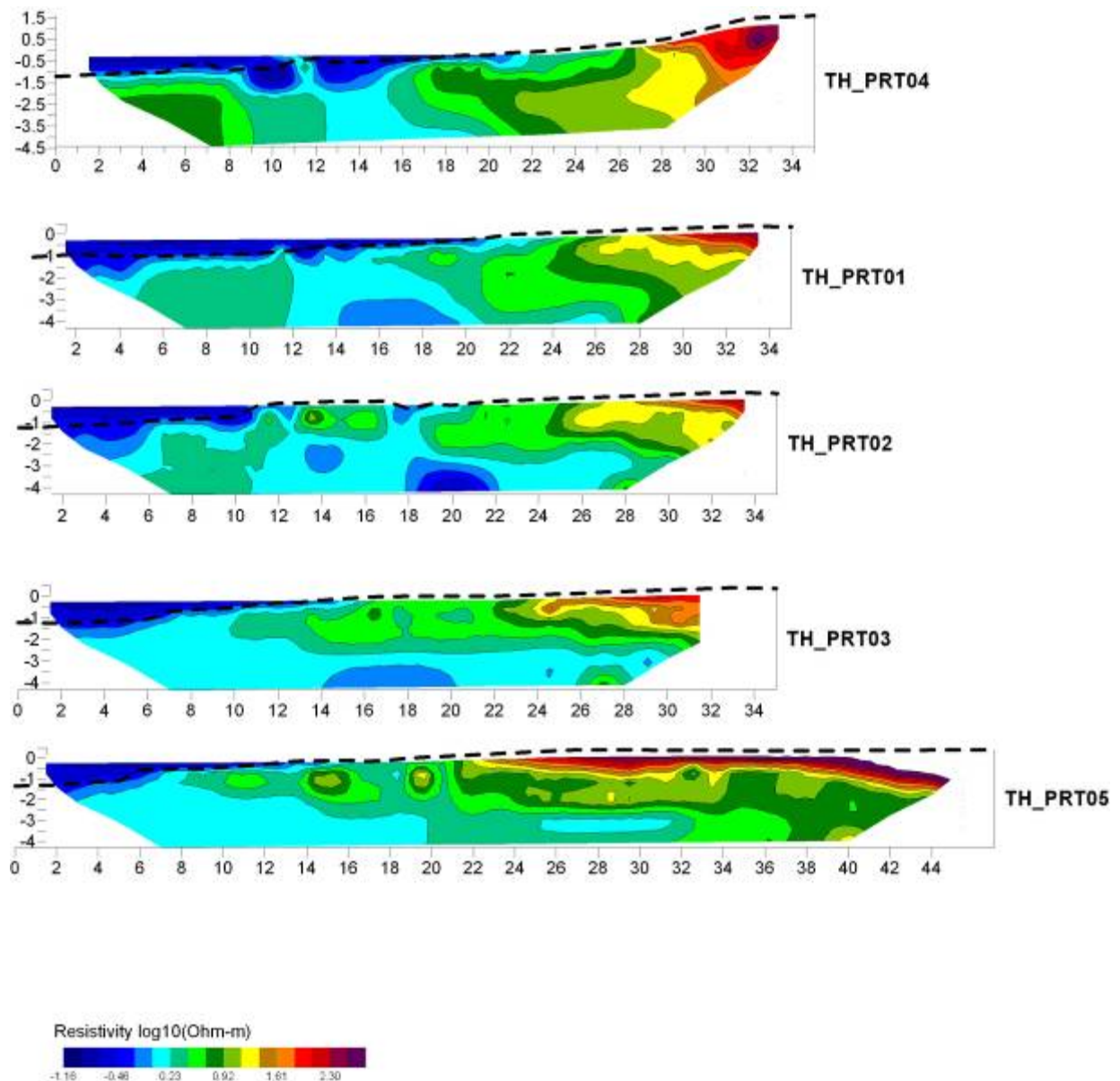


Σχήμα 6.8 Ομαδοποίηση των αποχρώσεων και των αντιστάσεων

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων που ακολουθούν, έγινε διάκριση των ανωτέρω χρωματικών ομάδων, που αντιστοιχούν σε θαλάσσιο νερό (ειδική αντίσταση 0,2 Ohm-m) ή σε ιζήματα που περιέχουν πολύ νερό, σε ένα σχηματισμό πιο συνεκτικοποιημένων ιζημάτων και στα χερσαία ιζήματα με ελάχιστο νερό.

Τα τελικά αποτελέσματα των αντιστροφών για τις τομές TH_PRT 01-02-03-04-05 παρουσιάζονται στο σχήμα 6.9. Στις τομές αποτυπώνονται τα πραγματικά βάθη και οι πραγματικές υπεδάφειες αντιστάσεις (δεκαδικός λογάριθμος αυτών) οι οποίες και παρουσιάζονται με χρωματική κλίμακα «ουρανίου τόξου». Με στικτή γραμμή απεικονίζεται η μορφολογία του πυθμένα και του μετώπου της ακτής, που μετρήθηκε κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Η υπέρθεση της γραμμής αυτής στα

αποτελέσματα βοηθά ακόμα περισσότερο στην ακριβέστερη ερμηνεία αυτών, η οποία και παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.



Σχήμα 6.9 Τελικά αποτελέσματα των αντιστροφών

6.6 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

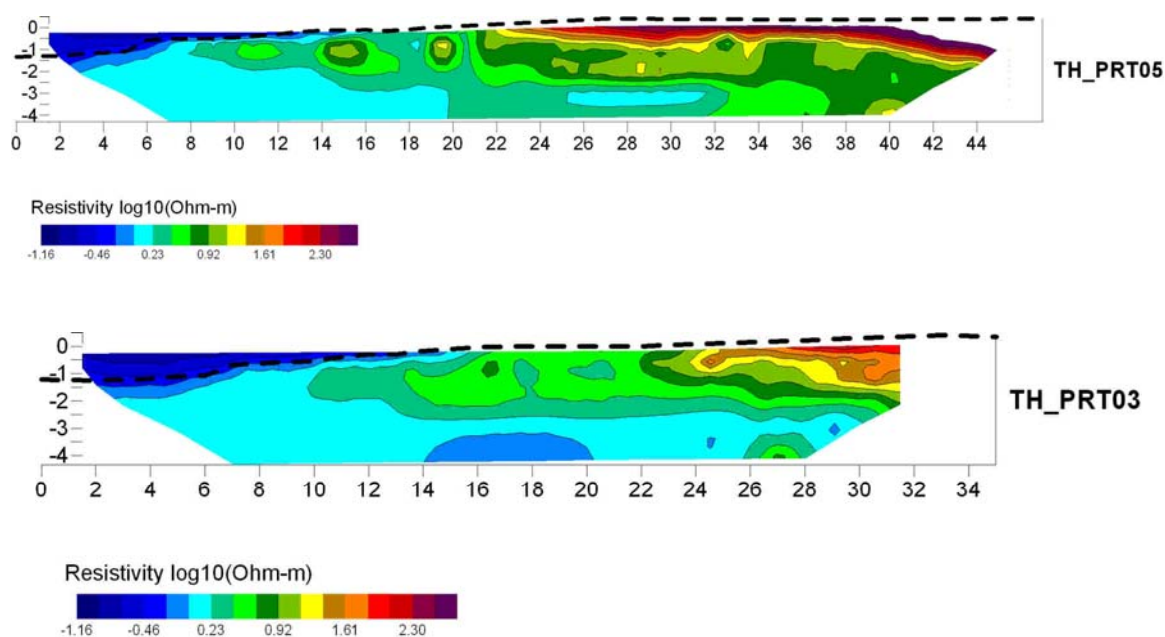
Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων των ηλεκτρικών τομογραφιών βασίζεται τόσο στην τελική μορφή απεικόνισης όσο και στην επί τόπου παρατήρηση των μορφολογικών δεδομένων. Γίνεται, δηλαδή, η καλύτερη δυνατή ερμηνεία των

παρατηρήσεων στη θέση μελέτης του σχηματισμού σε συνδυασμό με το αποτέλεσμα που εξήχθη από τις ηλεκτρικές τομογραφίες.

Κατ'αρχήν, η ζώνη τιμών των αντιστάσεων που αντιστοιχούν στο beachrock είναι περίπου 1,7 – 25 Ohm-m, ή αλλιώς οι πράσινες αποχρώσεις μαζί με την κίτρινη στην χρωματική κλίμακα. Όπως γίνεται κατανοητό, το όριο του σχηματισμού προς ξηρά δεν είναι σαφές, καθώς παρουσιάζει παρόμοιες αντιστάσεις με άλλους συμπαγείς σχηματισμούς, λιγότερο υγρούς, που βρίσκονται κάτω από την παράκτια άμμο. Οι θέσεις αυτές είναι πιθανόν σύγχρονες θέσεις σχηματισμού beachrock, κάτι που μπορεί να εξακριβωθεί μόνο με ανασκαπτικές εργασίες. Το προς τη θάλασσα όριο του beachrock στις τομογραφίες διακρίνεται σαφώς. Σε σύγκριση με την επί τόπου παρατήρηση, παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια χαρτογράφησης, δεδομένων των εγγενών περιορισμών στη διακριτική ικανότητα λόγω των αποστάσεων των ηλεκτροδίων (1m).

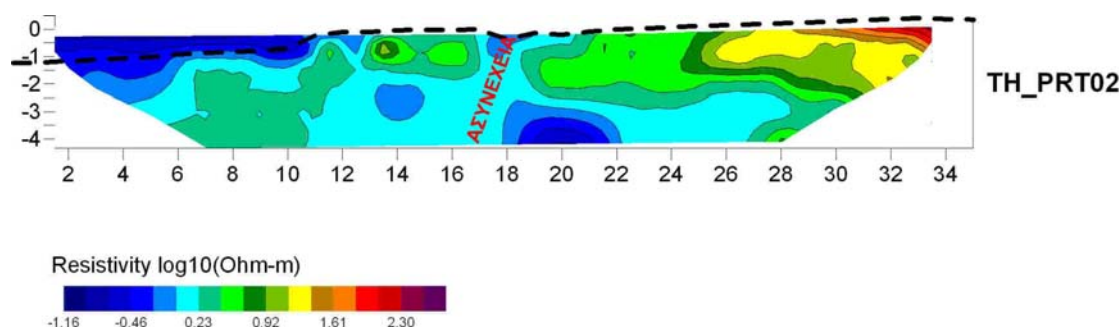
Πιο αναλυτικά, μπορούν να αναφερθούν περαιτέρω λεπτομέρειες για τις τομογραφίες που να δίνουν μια καλύτερη εικόνα για την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Στις τομογραφίες TH_PRT 05 και 03 (σχήμα 6.10) το beachrock παρουσιάζεται συνεχές, συμπαγές και χωρίς μορφολογικά διάκενα κατά μήκος τις τομής. Πράγματι, η ελεύθερη επιφάνεια του beachrock, η οποία μπορεί να παρατηρηθεί, δίνει ακριβώς αυτή την εικόνα, δηλαδή ενός συμπαγούς σχηματισμού, που δεν έχει υποστεί κατακερματισμό ή διάσπαση.



Σχήμα 6.10 Τομογραφίες TH_PRT05 και 03

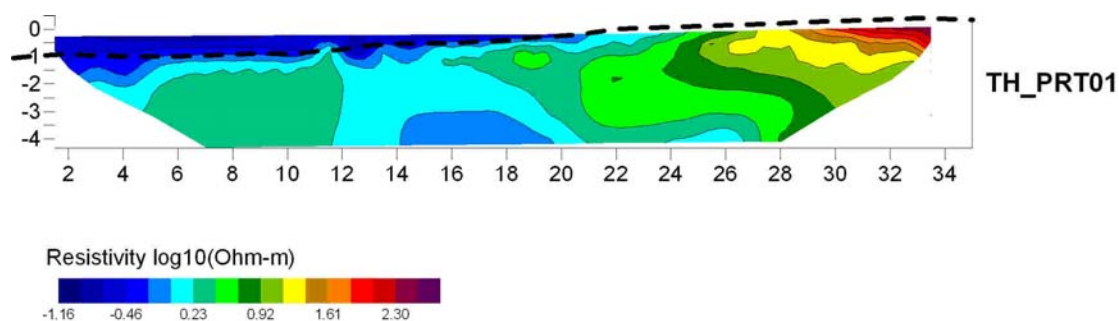
Στην τομογραφία TH_PRT 02 το beachrock δίνει μια διαφορετική εικόνα, με την παρουσία ασυνέχειας (σχήμα 6.11).



Σχήμα 6.11 Τομογραφία TH_PRT02. Απεικόνιση στην τομογραφία της ασυνέχειας του beachrock

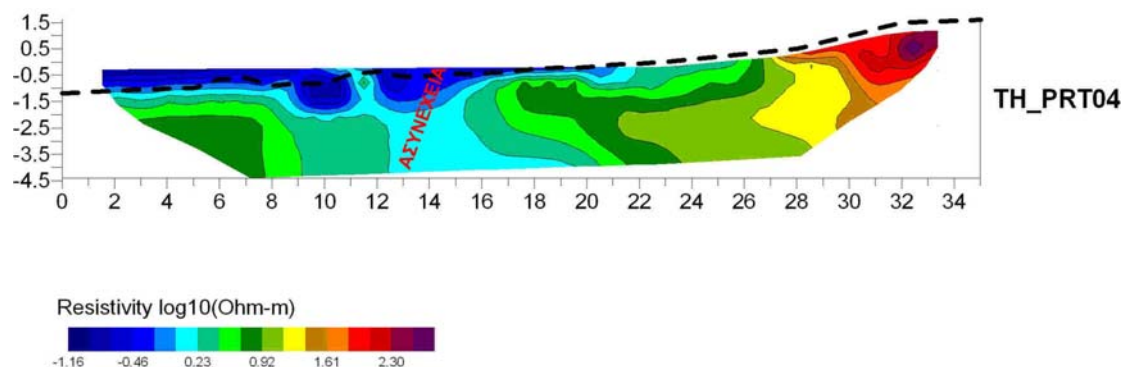
Η παρατήρηση του σχηματισμού συμφωνεί πλήρως με τις μετρήσεις. Στην τομογραφία η ασυνέχεια φαίνεται να διακόπτει εντελώς το σχηματισμό, χωρίς δηλαδή να υπάρχει συνένωση κάτω από τα ιζήματα του πυθμένα.

Η τομογραφία TH_PRT01 (σχήμα 6.12) βρίσκεται στη θέση απομάκρυνσης του beachrock με τεχνητά μέσα προ δεκαετίας. Το αποτέλεσμα της τομογραφίας αποτυπώνει ακριβώς αυτή την απουσία του σχηματισμού κατά μήκος της τομής προς τη θάλασσα. Ο σχηματισμός απουσιάζει εντελώς από την ακτή, ενώ η μέτρηση έδειξε ότι πιθανώς υφίσταται συνέχεια του beachrock κάτω από τα επιφανειακά ιζήματα, γεγονός απόλυτα λογικό, αφού η απομάκρυνσή του δε ήταν δυνατό να επεκταθεί σε βάθος.



Σχήμα 6.12 Τομογραφία TH_PRT01. Απουσία του beachrock

Τέλος, στην τομογραφία TH_PRT04 το beachrock εμφανίζεται ιδιαίτερα κατακερματισμένο (σχήμα 6.13).



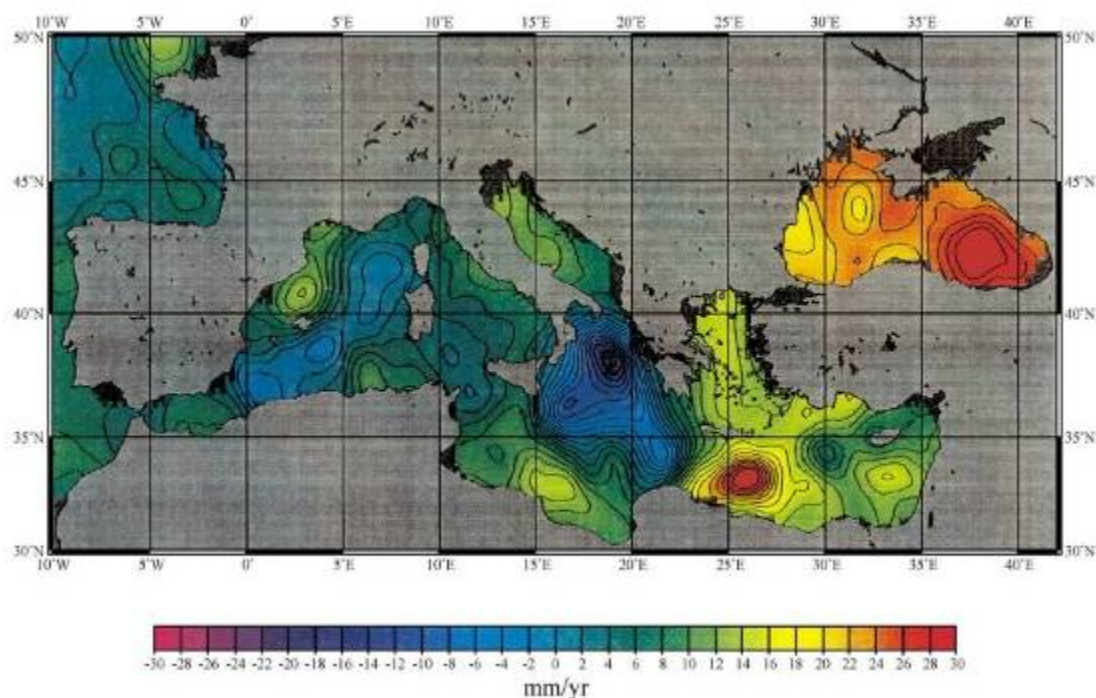
Σχήμα 6.13 Τομογραφία TH_PRT04. Κατακερματισμένο beachrock

Η τομογραφία βρίσκεται στα όρια της ζώνης εμφάνισης του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού, βόρεια του μόλου (χάρτης, δορυφορική εικόνα) και ο σχηματισμός εμφανίζεται ασυνεχής και με μεγάλα χάσματα. Επίσης, πολλά μπλοκς του σχηματισμού εμφανίζονται απομακρυσμένα από τον κυρίως σχηματισμό, φαινόμενο που απεικονίζεται στην τομογραφία με καταγραφή ενός τεμάχους του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού σε απόσταση από το κύριο σώμα του. Επίσης, φαίνεται ένα μεγάλο σώμα θαμμένο κάτω από τα ιζήματα του πυθμένα περίπου 50cm και σε απόσταση περίπου 12 μέτρα από την ακτογραμμή. Ο σχηματισμός αυτός παρουσιάζει παρόμοιες αντιστάσεις με τον ψηφιδωπαγή αιγιαλό, είναι όμως άγνωστο αν αποτελεί και συνέχειά του. Η εξακρίβωση της φύσης αυτού του σώματος μπορεί να γίνει μόνο με ανασκαπτική έρευνα, εργασία αρκετά δύσκολη για τη συγκεκριμένη θέση.

7 Επίδραση των υπερετήσιων μεταβολών της στάθμης της θάλασσας στον παράκτιο χώρο

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Μελέτες που έχουν γίνει στο χώρο της Μεσογείου δείχνουν μια μέση άνοδο της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας 6-7mm/έτος. Η χωρική κατανομή όμως αυτής της αλλαγής δεν είναι καθόλου ομοιόμορφη. Για παράδειγμα, στη λεκάνη του Λεβαντίνου η στάθμη ανεβαίνει με ένα ρυθμό 25-30mm/έτος, ενώ στο Ιόνιο πέλαγος πέφτει κατά 11,9mm/έτος (Fenoglio-Marc L., 2002, Georgas Dimitris, 2000).



Σχήμα 7.1 Χάρτης των τάσεων μεταβολής της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας της Μεσογείου (γραμμική μεταβολή με το χρόνο) από τον Torrex Poseidon για τα έτη 1993-1998.

Από τον χάρτη των τάσεων μεταβολής της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας (σχήμα 7.1) μπορεί να παρατηρηθεί ότι για την περιοχή του Αιγαίου καταγράφεται μια άνοδος της στάθμης κατά 15 περίπου χιλιοστά ανά έτος.

Η μέση γραμμική άνοδος της στάθμης της επιφάνειας της Μεσογείου για το διάστημα Αύγουστος 1992 και Σεπτέμβριος 2000 είναι 2,2mm/έτος. Στη δυτική Μεσόγειο η μεταβολή αυτή είναι μικρή, 0,4mm/έτος κατά μέσο όρο, ενώ στην

ανατολική Μεσόγειο η άνοδος είναι 9,3mm/έτος κατά μέσο όρο (παρατηρήσεις από T/P, ERS-1, ERS-2).

Επίσης παρατηρείται έντονη αύξηση της αλατότητας, η οποία είναι αρκετά μεγάλη για να αποδοθεί εξ ολοκλήρου σε αύξηση της εξάτμισης. Σημαντικό ρόλο έπαιξε η ανθρωπογενείς παρέμβαση στην εισροή γλυκών υδάτων καθώς επίσης και η μείωση των κατακρημνισμάτων που παρατηρείται από το 1940 (Bethoux και Gentili, 1999).

7.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΝΟΔΟΥ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

7.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας που παρατηρείται στο χώρο του Αιγαίου έχει ως αποτέλεσμα τη προοδευτική διάβρωση πολλών ακτών της Ελλάδας. Άμεση συνέπεια του γεγονότος αυτού είναι και η έξαρση της αποκάλυψης σχηματισμών beachrock σε πολλές ελληνικές παραλίες. Η οπισθοχώρηση (retreat) των ακτών λόγω της διάβρωσης είναι δυνατόν να ποσοτικοποιηθεί και να εκφραστεί τόσο σε μονάδες μήκους όσο και ετήσιους ρυθμούς οπισθοχώρησης (annual retreat rates).

Η βασική εξίσωση στην οποία στηρίζεται ο υπολογισμός του ρυθμού οπισθοχώρησης είναι η εξής (Davidson, 1999):

$$s = a \cdot l / h$$

όπου

s = οπισθοχώρηση της ακτής (m)

a = άνοδος της στάθμης της θάλασσας (m/yr)

h = βάθος εναπόθεσης (depth of closure) (m)

l = απόσταση μέχρι το βάθος εναπόθεσης (m)

Το βάθος εναπόθεσης δίνεται από την εξίσωση (CEM, 2002):

$$h = 1,5 \cdot H_{s_{0,137}}$$

και από το Coastal Engineering Technical Note (1995) :

$$h = 6,75 \cdot H_s$$

όπου

H_s = μέσο ετήσιο σημαντικό ύψος κυμάτων, το οποίο δίνεται από τη σχέση (CEM, 2002) :

$$H_s = 5,112 \cdot 10^{-4} \cdot W \cdot F^{0,5}$$

όπου

W = ένταση ανέμου (wind stress factor) (m/s)

$W = 0,71 U^{1,23}$ (U = ταχύτητα ανέμου στα 10m ύψος από τη θάλασσα, m/s)

F = fetch (m)

Η ταχύτητα του ανέμου U δίνεται από τη σχέση (CEM, 2002):

$$U = U_z \cdot \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7}$$

όπου

U_z = η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος z .

Η καταγεγραμμένη μέση ταχύτητα του ανέμου που διατίθεται για την περιοχή της Θάσου είναι από το μετεωρολογικό σταθμό του Λιμένα, ο οποίος καταγράφει ταχύτητα ανέμου στα 2m ($z = 2m$).

Η επιλογή του fetch (ανάπτυγμα πνοής ανέμου) γίνεται μεταξύ δύο τιμών : του μέγιστου αναπτύγματος (δυτικά της ακτής) και του αναπτύγματος προς την κατεύθυνση της μέγιστης έντασης ανέμου (ΒΔ της ακτής). Οι δύο αυτές τιμές είναι (σχήμα 7.2) :

$$F_1 = 65km$$

$$F_2 = 26km$$



Σχήμα 7.2 Προσδιορισμός των τιμών του αναπτύγματος πνοής ανέμου (fetch) προς τα δυτικά και προς τα βορειοδυτικά

7.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

$$U_z = 0,738\text{m/sec}$$

$$U = 0,929\text{m/sec}$$

$$W = 0,6485\text{m/sec}$$

$$H_{s1} = 0,08452\text{m}$$

$$H_{s2} = 0,053455\text{m}$$

$$h_1 = 0,57052\text{m}$$

$$h_2 = 0,360821\text{m}$$

$$a = 0,015\text{m/yr}$$

Από το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (βλ. Κεφ. Βυθομέτρηση) προσδιορίζεται η απόσταση μέχρι το βάθος εναπόθεσης h :

$$l_1 = 18\text{m}$$

$$l_2 = 8\text{m}$$

Άρα

$$s_1 = 0.4732\text{m/yr}$$

$$s_2 = 0.3326\text{m/yr}$$

Οι τιμές αυτές διάβρωσης, που προέκυψαν με την παραπάνω μεθοδολογία, αναφέρονται σε αμμώδεις ακτές και φανερώνουν την έντονη επίδραση που έχει σε αυτές η άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Στην υπό μελέτη ακτή, η διαβρωτική δράση του θαλάσσιου νερού απομάκρυνε την άμμο που κάλυπτε τον ψηφιδωπαγή αιγιαλό, με αποτέλεσμα την αποκάλυψή του. Στη συνέχεια, ο ψηφιδωπαγής αιγιαλός λειτούργησε ως κυματοθραύστης και προστάτεψε την ακτή, εμποδίζοντας την περαιτέρω διάβρωσή της. Στο τμήμα της ακτής όπου απομακρύνθηκε βίαια ο σχηματισμός, καταγράφονται ρυθμοί διάβρωσης της αμμώδους πλέον ακτής έως και 65cm/yr, τιμή που είναι αποτέλεσμα της τάσης προς συνθήκες δυναμικής ισορροπίας.

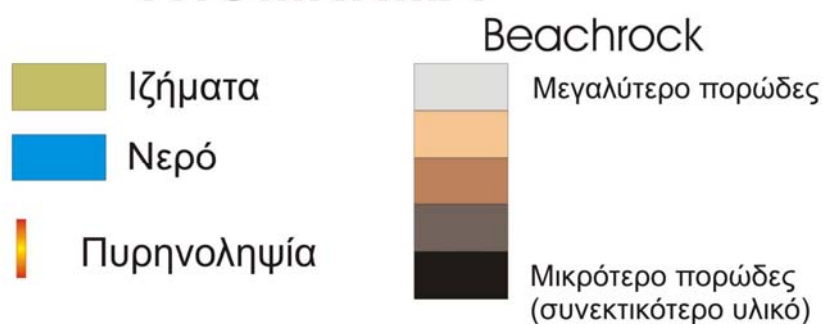
Ένα πιθανό σενάριο εξέλιξης της ακτής παρατίθεται παρακάτω (σχήμα 7.3).

Σε πρώτη φάση, όταν η στάθμη της θάλασσας βρισκόταν χαμηλότερα από τα σημερινά επίπεδα, η ακτή βρισκόταν σε δυναμική ισορροπία, ενώ στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη δημιουργήθηκαν κατάλληλες συνθήκες σχηματισμού beachrock (στάδιο I).

Όταν η στάθμη της θάλασσας άρχισε να ανεβαίνει, η δυναμική ισορροπία διαταράχθηκε και η θάλασσα άρχισε να διαβρώνει την ακτή, παρασύροντας τα παράκτια ιζήματα. Ο σχηματισμός του beachrock συνεχίστηκε στην ενδοπαλιρροιακή ζώνη (στάδιο II, III), αλλά σε λίγο υψηλότερο σημείο, αμέσως πάνω από το προηγούμενο στάδιο.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Σχήμα 7.3 Πιθανή εξέλιξη της υπό μελέτης ακτής.

Όσο προχωρούσε η διάβρωση στο εσωτερικό της παραλίας, το παλαιό beachrock άρχισε να αποκαλύπτεται, ενώ κάτω από τα ιζήματα της ακτής, συνεχιζόταν ο σχηματισμός του beachrock (στάδιο IV), σε ακόμα υψηλότερη θέση.

Φτάνοντας στη σημερινή κατάσταση, η διάβρωση έχει προχωρήσει αρκετά, ώστε να αποκαλυφθεί το beachrock καθ' όλο το μήκος της ακτής. Στη φάση αυτή οι διαβρωτικές συνθήκες παραμένουν έντονες, όμως η παρουσία πλέον του beachrock ως «προστατευτικού» της ακτής, φέρνει την παραλία σε κατάσταση δυναμικής ισορροπίας (στάδιο V).

Η πυρηνοληψία καθώς και η ηλεκτρική τομογραφία αποτέλεσαν βασικά εργαλεία για να εξαχθεί το παραπάνω σενάριο. Η μεν πυρηνοληψία έδειξε ότι βαθύτερα ο ψηφιδοπαγής αιγιαλός έχει μικρότερο πορώδες, άρα είναι παλαιότερος βαθύτερα και νεότερος επιφανειακά, η δε τομογραφία έδωσε μια πιθανή εικόνα για το πάχος και τη γεωμετρία του σχηματισμού.

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά από τη συγκέντρωση της διεθνούς βιβλιογραφίας, τη ταξινόμησή της και της περιγραφής όλων των χαρακτηριστικών και μηχανισμών που αφορούν τους ψηφιδωπαγείς αιγιαλούς, διαπιστώθηκε ότι η κατηγοριοποίησή τους γίνεται με βάση την περιεκτικότητα του συγκολλητικού υλικού σε μαγνήσιο, που σχετίζεται με τη θέση και τις συνθήκες σχηματισμού του beachrock. Συγκεκριμένα, τα beachrocks που σχηματίζονται από τη δράση του θαλασσινού νερού παρουσιάζουν στο συγκολλητικό υλικό τους ασβεστίτη ή αραγωνίτη με υψηλή περιεκτικότητα σε μαγνήσιο, ενώ τα beachrocks που σχηματίζονται από τη δράση του γλυκού νερού (meteoric water) εμφανίζουν συγκολλητικό υλικό χαμηλής περιεκτικότητας σε μαγνήσιο. Επομένως, η κατηγοριοποίηση και ο χαρακτηρισμός του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού μπορεί να γίνει μόνο με χημική και ορυκτολογική ανάλυση του συγκολλητικού υλικού.

Ο κύριος σκοπός της διατριβής αυτής ήταν να εφαρμόσει για πρώτη φορά, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας, τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας για τη χαρτογράφηση του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού. Η μέθοδος, αφού υπέστη ορισμένες τροποποιήσεις και αφού επιλέχθηκαν οι σωστές παράμετροι (διάταξη, αριθμός ηλεκτροδίων) εφαρμόστηκε δίνοντας ως αποτέλεσμα 5 τομές κάθετες στην ακτογραμμή και στο σχηματισμό. Η απεικονίσεις των επιφανειακών στρωμάτων που κατασκευάστηκαν σαν τελικό αποτέλεσμα των ηλεκτρικών τομογραφιών, χαρτογράφησαν και οριοθέτησαν με αρκετά μεγάλη ακρίβεια το beachrock, τόσο σε μήκος όσο και σε βάθος. Σε ορισμένες θέσεις μάλιστα, οι τομογραφίες δημιούργησαν και νέα ερωτηματικά για σχηματισμούς που εντόπισαν σε βάθος μέσα στα ιζήματα, θέσεις όπου δε θα ήταν δυνατό να εντοπιστεί οτιδήποτε παρά μόνο με βαθιά εκσκαφή. Τα αποτελέσματα κρίνονται ως ικανοποιητικά και επιβεβαιώνουν ότι η μέθοδος αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο στη μελέτη των ψηφιδωπαγών αιγιαλών.

Το σώμα του beachrock που εμφανίζεται στην υπό μελέτη παραλία έχει συνολικό μήκος περίπου 700 μέτρα και κυμαινόμενο πλάτος έκθεσης από 2 έως 10 μέτρα. Το πάχος του beachrock, που μετρήθηκε υποθαλάσσια στο μέτωπο του σχηματισμού είναι περίπου 70 εκατοστά. Η ηλεκτρική τομογραφία έδωσε επιπλέον στοιχεία για τη γεωμετρία του σχηματισμού. Έτσι, το μέγιστο πάχος του beachrock φαίνεται να φτάνει τα 2,5 μέτρα, ενώ το πλάτος του έως και τα 14 μέτρα. Η εξάπλωση του σχηματισμού επεκτείνεται πιθανόν και σε γειτονική παραλία, όπου όμως εμφανίζεται ιδιαίτερα κατακερματισμένος, χωρίς συνοχή και ενιαία μορφολογία.

Η πυρηνοληψία που έλαβε χώρα κατά μήκος του σχηματισμού έδειξε ότι, μόλις σε βάθος 20 εκατοστών, είναι εμφανής η διαφορά του πορώδους σε σχέση με το επιφανειακό στρώμα. Συγκεκριμένα, το πορώδες του ψηφιδοπαγούς αιγιαλού επιφανειακά είναι αρκετά μεγάλο, ενώ όσο βαθύτερο δείγμα μελετηθεί, τόσο μικρότερο είναι το πορώδες του. Βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας, το γεγονός αυτό αντικατοπτρίζει την ηλικία των στρωμάτων του σχηματισμού. Δηλαδή, το επιφανειακό στρώμα, με το μεγαλύτερο πορώδες, είναι το νεότερο, ενώ στο εσωτερικό του σχηματισμού, με μικρό πορώδες, αντιστοιχεί το παλαιότερο τμήμα του beachrock.

Ο υπολογισμός των ρυθμών διάβρωσης της παραλίας αποδίδει στον ψηφιδοπαγή αιγιαλό τον ιδιαίτερο ρόλο που αυτός παίζει στη δυναμική ισορροπία της ακτής. Οι ρυθμοί που υπολογίστηκαν με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία (Davidson, 1999, CEM, 2002) δίνουν τιμές διάβρωσης της ακτής έως και 47 εκατοστά ανά έτος. Με βάση την καταγεγραμμένη διάβρωση της ακτής σε θέση όπου απουσιάζει το beachrock, η τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες (έως και 65cm/yr). Η όποια ασυμφωνία μεταξύ του υπολογισμένου και του καταγεγραμμένου ρυθμού διάβρωσης της ακτής έγκειται στην επιρροή ορισμένων παραγόντων, όπως η τάση δυναμικής εξισορρόπησης μετά τη βίαιη απομάκρυνση του beachrock, η παρουσία τεχνητού μόλου ακριβώς στη θέση απουσίας του σχηματισμού, το αρκετά μικρό μήκος αυτού του τμήματος της ακτής που δημιουργεί ιδιαίτερες συνθήκες κυματισμού (βελοειδή ρεύματα – rip currents) κ.ά. .

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής επιτρέπουν την εφαρμογή παρόμοιων μεθόδων χαρτογράφησης των ψηφιδοπαγών αιγιαλών καθώς και μελέτης της εξάπλωσής τους κάτω από τα παράκτια επιφανειακά ιζήματα. Το τελευταίο έχει ιδιαίτερη σημασία, αν σκεφτεί κανείς ότι το συντριπτικό ποσοστό των σημερινών beachrocks αποκαλύφθηκε τα τελευταία 20 χρόνια, ενώ προηγουμένως ήταν θαμμένα κάτω από τα παράκτια ιζήματα. Η συνεχιζόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας είναι βέβαιο ότι θα οδηγήσει σε περαιτέρω διάβρωση των ακτών και αποκάλυψη νέων ψηφιδοπαγών αιγιαλών. Θα μπορούσε κανείς, λοιπόν, να αποκαλέσει την εφαρμογή ηλεκτρικών τομογραφιών για τη χαρτογράφηση αποκαλυφθέντων ή θαμμένων beachrocks, συνδυαζόμενη με υπολογισμούς των ρυθμών διάβρωσης μιας ακτής, ως μια μέθοδο πρόβλεψης εμφανίσεων ψηφιδοπαγών αιγιαλών στο άμεσο μέλλον. Μια τέτοια εφαρμογή της μεθόδου μελλοντικά απαιτεί περαιτέρω δοκιμές και έλεγχο των αποτελεσμάτων, που θα σχετίζονται με διαφορετικές περιοχές έρευνας, με επιλογή διαφορετικών παραμέτρων μέτρησης

(αριθμός ηλεκτροδίων, απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων κ.ά.) και εξαγωγή συγκριτικών συμπερασμάτων.

9 ΣΥΝΟΨΗ

Η διατριβή αυτή έγινε με σκοπό να μελετήσει την παρουσία ενός ψηφιδωπαγούς αιγιαλού στη νήσο Θάσο. Η εργασία περιλάμβανε την μελέτη της ευρύτερης περιοχής, την ανάλυση των υφισταμένων συνθηκών της περιοχής μελέτης, την εφαρμογή μεθόδων ανάλυσης στην ακτή εμφάνισης του beachrock και τέλος την εφαρμογή, για πρώτη φορά (βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας), ηλεκτρικής τομογραφίας για την χαρτογράφηση του σχηματισμού.

Η ευρύτερη περιοχή μελετήθηκε γεωλογικά, γεωμορφολογικά και κλιματικά. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η έντονη παρουσία ανθρακικών πετρωμάτων, η αυξημένη πρόσφατα ανθρωπογενής παρέμβαση στην ευρύτερη περιοχή (τουρισμός, οδοποιία, οικοδόμηση) και το ήπιο σε γενικές γραμμές κλίμα χωρίς ακραία φαινόμενα.

Επίσης, εφαρμόστηκαν μέθοδοι ανάλυσης στην περιοχή μελέτης, τα αποτελέσματα των οποίων συνέθεσαν μια πλήρη και ολοκληρωμένη εικόνα της ζώνης του ψηφιδωπαγούς αιγιαλού καθώς και των συστημάτων στα οποία αυτή ανήκει. Έτσι, όσον αφορά τη γεωμορφολογία, χαρτογραφήθηκαν ψηφιακά σε λογισμικό G.I.S. οι δύο λεκάνες απορροής που καταλήγουν στην παραλία μελέτης, αναλύθηκαν τα υδρογραφικά τους δίκτυα και κατασκευάστηκαν χάρτες που απεικονίζουν τις υδρογραφικές λεκάνες καθώς και τους γεωλογικούς σχηματισμούς τους οποίους διασχίζει το υδρογραφικό δίκτυο. Η μελέτη του παράκτιου περιβάλλοντος περιλάμβανε κατ' αρχήν την ιζηματολογική ανάλυση του πυθμένα στη ζώνη μπροστά από την ακτή μελέτης, την βυθομέτρηση της ίδιας ζώνης και την κατασκευή μορφολογικών προφίλ του μετώπου της παραλίας. Έτσι, υπολογίστηκαν ορισμένες ιζηματολογικές παράμετροι που επέτρεψαν την περιγραφή και τον προσδιορισμό των ιζημάτων του πυθμένα, κατασκευάστηκαν ψηφιακοί βαθυμετρικοί χάρτες, τρισδιάστατες απεικονίσεις του πυθμένα καθώς και μορφολογικά προφίλ της ακτής, αποτελέσματα τα οποία οδήγησαν στο σχηματισμό πληρέστατης άποψης για τις συνθήκες που επικρατούν στο παράκτιο σύστημα στο οποίο συμμετέχει το υπό μελέτη beachrock. Για τη μελέτη του ίδιου του beachrock, πραγματοποιήθηκε πυρηνοληψία κατά μήκος του και συλλέχθηκαν δείγματα 20 εκατοστών, τα οποία απέδωσαν την εις βάθος μελέτη του σχηματισμού και τέλος έγινε υποβρύχια καταγραφή και φωτογράφιση των μορφολογικών χαρακτηριστικών του beachrock.

Οι παραπάνω εργασίες οδήγησαν, όπως προαναφέρθηκε, στη συλλογή πληροφοριών που επέτρεπαν στο σχηματισμό μιας πλήρους άποψης και εικόνας για την περιοχή μελέτης. Οι ηλεκτρικές τομογραφίες που ακολούθησαν δεν θα ήταν

δυνατό από μόνες τους να δώσουν αποτελέσματα που να περιέγραφαν πλήρως το beachrock, παρά μόνο σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των μεθόδων ανάλυσης που περιγράφηκαν προηγουμένως. Παρ'όλα αυτά, τα αποτελέσματα των ηλεκτρικών τομογραφιών ήταν πολύ ικανοποιητικά και επιπλέον, άνοιξαν νέους ορίζοντες στη χρήση γεωφυσικών ηλεκτρικών μεθόδων για τη μελέτη των ψηφιδωπαγών αιγιαλών.

Βιβλιογραφία

- Αρσένη-Παπαδημητρίου Αγγελική (1998), *Το κλίμα της Θάσου*, 1^ο Συνέδριο Αναπτυξιακής Προοπτικής της Θάσου, Σελ. 114-125, Πρίνος Θάσου
- Βορεάδης Γεώργιος (1953), *Γεωλογικά και Κοιτασματολογικά Έρευναι εν Θάσω*, Έρευναι επί του Ορυκτού Πλούτου της Ελλάδος, Τόμος ΙΙΙ, Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Σελ. 227-275, Αθήνα
- Γκιώνης Γ., Πούλος Σ., Μπουζιωπούλου Ν. & Ντούνας Κ. (2004), *Ο ρόλος ενός φυσικού υποθαλάσσιου κυματοθραύστη στη διαμόρφωση των υδροδυναμικών και ιζηματολογικών συνθηκών στην παραλία της αμμουδάρας (Βόρειες ακτές Ν. Ηρακλείου Κρήτης)*, 7^ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας, Σελ. 436-443, Μυτιλήνη
- Γ.Υ.Σ. (1970), Τοπογραφικό φύλλο χάρτη : ΘΑΣΟΣ, Κλίμακα 1:50.000
- Δερμιτζάκης Μ. et al. (1993), *Συμβολή στη χρονολόγηση σύγχρονων ψηφιδωπαγών αιγιαλών (Beach rocks) διά της μεθόδου της θερμογωταύγειας*. Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συμποσίου Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Σελ. 257 – 259.
- Δερμιτζάκης Μ. & Θεοδωρόπουλος Δ. (1974), *Περί των beachrocks του Αιγαίου. Παρατηρήσεις επί των σχηματισμών των παραλιών της ΝΑ Κρήτης, Ν. Ρόδου και Ν. Μετώπης*. Annals Geologiques des Pays Helleniques, vol. 26, Σελ. 275-367, Αθήνα
- Ε.Μ.Υ. (1978), *Κλιματικά στοιχεία του Ελληνικού Δικτύου*, Περίοδος 1930-1975, Σελ. 25, Διεύθυνση Κλιματολογίας, Αθήνα
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1982), Γεωλογικό φύλλο χάρτη : ΘΑΣΟΣ, Κλίμακα 1:50.000
- Καμπουρόγλου Ε. (1989), *Ερέτρια: Παλαιογεωγραφική και γεωμορφολογική εξέλιξη κατά το Ολόκαινο. Σχέση φυσικού περιβάλλοντος και αρχαίων οικισμών*, Διδακτορική Διατριβή.
- Κούλας Νικόλαος (2004), *Φυσικό περιβάλλον και στοιχεία διαχείρισης του χειμάρρου Ολυνθίου της Χαλκιδικής*, Διατριβή Ειδίκευσης, Σελ. 16-21, Θεσσαλονίκη
- Λεοντάρης Σ. (1992), *Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία*, Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Μαρίνος Γ. & Συμεωνίδης Ν. (1972), *Συμβολή εις τη σπουδή των beach rocks του Αιγαίου. Περίπτωσης σχηματισμού beach rock με ανθρωπολογικά λείψανα της ιστορικής αρχαιότητας εις τη νήσον Τήλον Δωδεκανήσου*, Annal Geol. Des Pays Hellen, vol. 24, Σελ. 433-444, Αθήνα
- Μηστάρδης Κ. (1962), *Περί των beachrocks της Νοτίου Ελλάδος*, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, vol. 5(1), Σελ. 1-20, Αθήνα
- Μουντράκης Δημοσθένης (1985), *Γεωλογία της Ελλάδος*, University Studio Press, Σελ. 27-35, Θεσσαλονίκη
- Μουστάκα Μαρία (1997), *Ψηφιδωπαγείς Αιγιαλοί (Beachrocks): Θεωρίες σχηματισμού, εμφανίσεις στον ελληνικό χώρο & η σημασία τους στη διαμόρφωση του σημερινού παράκτιου περιβάλλοντος*, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη
- Ρουμπάνης Β. (1971), *Ακταί Αττικής. Παρατηρήσεις επί των εμφανίσεων σύγχρονων παραλιακών ψαμμιτών «Beachrocks»*, Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, vol. 8, Σελ. 33-54, Αθήνα
- Ψιλοβίκος Αντώνιος (1984), *Μαθήματα Ιζηματολογίας*, Α.Π.Θ., Σελ. 14 – 45, Θεσσαλονίκη
- Ψιλοβίκος Αντώνιος (1985), *Στοιχεία Εφαρμοσμένης Ιζηματολογίας*, Α.Π.Θ., Σελ. 2-55, Θεσσαλονίκη

- Alexandersson T. (1972), *Mediterranean beachrock cementation : marine precipitation of Mg-calcite*. In: Stanley, Daniel J. (ed.), *The Mediterranean Sea: A Natural Sedimentation Laboratory*, Σελ. 203-223
- Amieux P., Bernier P., Dalongeville R. & Medwecki V. (1989), *Cathodoluminescence of carbonate-cemented Holocene beachrock from the Togo coastline (West Africa): an approach to early diagenesis*. *Sedimentary Geology* 65, Σελ. 261-272
- Barker R.D. (1992), *A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface*, *First Break*, 10, Σελ. 53-63
- Beier J.A. (1985), *Diagenesis of Quaternary Bahamian beachrock: petrographic and isotopic evidence*, *Journal of Sedimentary Petrology* 55, Σελ. 755-761
- Calvet F., Cabrera M.C., Carracedo J.C., Mangas J., Perez-Torrado F.J., Recio C. & Trave A. (2003), *Beachrocks from the island of La Palma (Canary Islands, Spain)*, *Marine Geology* 3308, Σελ. 1-19
- Coastal Engineering Technical Note (1995), U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, CETN II-32, Vicksburg, Mississippi
- Cooper G. Andrew (1991), *Beachrock formation in low latitudes: implications for coastal evolutionary models*, *Marine Geology*, 98, Σελ. 145-154, Amsterdam
- Edwards L.S. (1977), *A modified pseudosection for resistivity and IP*, *Geophysics*, 42, Σελ. 1020-1036.
- Fenoglio-Marc L. (2002), *Long Term sea level change in the Mediterranean Sea from multi-satellite altimetry and tide gauges*, *Physics and Chemistry of the Earth* 27, Σελ. 1419-1431, Darmstadt
- Friedman G.M. & Gavish E. (1971), *Mediterranean and Red sea (Gulf of Aqaba) beachrocks*, The Johns Hopkins Press, Σελ. 13-16, Baltimore
- Georgas Dimitris (2000), *Proceedings of SURVAS Expert Workshop of European Vulnerability and Adaptation to impacts of Accelerated Sea-Level Rise*, Σελ. 32-33, Hamburg, Germany
- Ginsburg R.N. (1953), *Beach rock in South Florida*, *Journal of Sedimentary Petrology* 23, Σελ. 85-92
- Griffiths D., Turnbull, J. & Olyianka A. (1990), *2-dimentional resistivity mapping with a computer controlled array*, *First Break*, 8, Σελ. 121-129
- Hanor J.S. (1978), *Precipitation of beachrock cements: mixing of marine and meteoric waters vs. CO₂ degassing*, *Journal of Sedimentary Petrology* 48, Σελ. 489-501
- Holail H. & Rashed M. (1992), *Stable isotopic composition of carbonate-cemented recent beachrock along the Mediterranean and the Red Sea coasts of Egypt*, *Marine Geology* 106, Σελ. 141-148
- Jones B., Rosen M.R. & Renaut R.W. (1997), *Silica-cemented beachrock from Lake Taupo, North Island, New Zealand*, *Journal of Sedimentary Research* 67(5), Σελ. 805-814
- Komar D. Paul (1998), *Beach Processes and Sedimentation*, Second Edition, College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Σελ. 30-429
- Milliman J.D. (1974), *Marine Carbonates*, Springer-Verlag, Σελ. 375, Berlin
- Moore C.H. (1973), *Intertidal carbonate cementation Grand Cayman, West Indies*, *Journal of Sedimentary Petrology* 43, Σελ. 591-602
- Neumeier U. (1998), *The role of microbial activity in early cementation of beachrocks (intertidal sediments)*. PhD Thesis, University of Geneva, *Terre et Environment* No 12, Σελ. 12

- Neumeier U. (1999), *Experimental modeling of beachrock cementation under microbial influence*, Sedimentary Geology 126, Σελ. 35-46, Geneva
- Psilovikos A., Asimidis D. & Chatzistrati M. (1989), *Contribution to the study of post-alpine sedimentation of Thasos island*, Geographica Rhodopica, vol. 1, Kliment Ohridski University Press, Σελ. 78-84
- Rey D., Rubio B., Bernabeu A.M. & Vilas F. (2004), *Formation, exposure, and evolution of a high-latitude beachrock in the intertidal zone of the Corrubedo complex*, Sedimentary Geology 169, Σελ. 93-105, Vigo
- Riedl H. & Weingartner H. (1998), *Beitraege zur Landeskunde von Griechenland VI*, Salzburger Geographische Arbeiten, Band 33, Σελ. 102-228, Salzburg
- Riedl Helmut (1989), *Beitraege zur Landeskunde von Griechenland III*, Salzburger Geographische Arbeiten, Band 18, Σελ. 104, Salzburg
- Russell R.J. (1962), *Origin of beach rock*, Zeitsch. Geomorphol. 6, Σελ. 1-16
- Russell R.J. (1963), *Beach rock*, Journal of Tropical Geography 17, Σελ. 24-27
- Russell R.J. & McIntire W.G. (1965), *Southern hemisphere beach rock*, Geogr. Rev. 55, Σελ. 17-45
- Schmalz R.F. (1971), *Formation of beachrock at Eniwetok Atoll*, Johns Hopkins Press, Σελ. 17-24, Baltimore
- Scoffin T.P. & Stoddart D.R. (1983), *Beachrock and intertidal sediments*, Chemical Sediments and Geomorphology, Academic Press, Inc., Σελ. 401-425, London
- Sellwood B.W. (1994), *Principles of carbonate diagenesis*, NATO ASI Series, Series C, Mathematical and Physical Sciences, vol. 435, Σελ. 1-32
- Shima H. (1990), *2-D automatic resistivity inversion technique using alpha centers*, Geophysics, 55, Σελ. 682-694
- Shima H. (1992), *2-D and 3-D resistivity image reconstruction using crosshole data*, Geophysics, Σελ. 1270-1291
- Stoddart D.R. & Cann J.R. (1965), *Nature and origin of beach rock*, Journal of Sedimentary Petrology 56, Σελ. 422-428
- Strasser A., Davaud E. & Jedoui Y. (1989), *Carbonate cements in Holocene beachrock: example from Bahiret el Biban, southeastern Tunisia*, Sedimentary Geology 62, Σελ. 89-100
- Taylor J.C.M. & Illing L.V. (1969), *Holocene intertidal calcium carbonate cementation, Qatar, Persian Gulf*, Sedimentology 12, Σελ. 69-107
- Tripp A., Hohmann, G. & Swift, C. (1984), *2-D resistivity inversion*, Geophysics, 57, Σελ. 1004-1013
- Tsagaris A. (1980), *Beach rock in Thasos Island; A case study*, Scientific Annals, vol. 20a, Σελ. 17-26, Thessaloniki
- Tsourlos P., Dittmer J. & Szymanski J. (1995). *A study of non-linear techniques for the 2-D inversion of earth resistivity data*, Expanded abstracts of the 57th meeting of the EAEG: Glasgow, Scotland, 29, P031
- Tsourlos P., Szymanski J., Dittmer J. & Tsokas G. (1993), *The use of back-projection for fast inversion of 2-D resistivity data*, Proceedings of the 2nd congress of the Greek Geophysical Union, Vol. 1, Σελ. 71-81, Florina Greece
- Turner J. Robert (1999), *Morphodynamic relationship between beachrock exposure and littoral zone processes on the west coast of Puerto Rico*, University of North Carolina, Σελ. 395
- Turner J. Robert (2000), *The evolution of beachrock morphology and its influence on beach morphodynamics*, Division of Natural Sciences, Southampton College, Σελ. 190-195, Southampton
- U.S. Army Corps of Engineers (2002), *Coastal Engineering Manual*, Replaces Shore Protection Manual (1984)

- Vousdoukas M., Velegrakis A.F., Karambas Th., Valais G. & Zarkoyiannis S. (2005), *Morphodynamics of beachrock infected beaches: Vatera beach, Northeastern Mediterranean*, 5th International Conference on Coastal Dynamics 2005, Barcelona
- Wagle B. G. (1990), *Beach rocks of the Central West Coast of India*, Geo-Marine Letters, vol. 10, Σελ. 111-115.
- Weingartner Herbert (1994), *Die Insel Thasos – Eine Physisch-Geographische Synthese*, Salzburger Geographische Arbeiten, Band 24, Σελ. 13-157, Salzburg
- Woodroffe D. Colin (2002), *Coasts: form, process and evolution*, School of Geosciences, University of Wollongong, Σελ. 66-279, Australia

Ιστοσελίδες

<http://freespace.virgin.net/mark.davidson3/>

<http://www.coastal.udel.edu/faculty/rad/depth.html>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΙΖΗΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Κοκκομετρική ανάλυση δειγμάτων

ΔΕΙΓΜΑ	1		
Βάρος	148.57gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.155	0.104327926	0.104327926
0	0.247	0.166251599	0.270579525
0.5	0.783	0.527024298	0.797603823
1	4.88	3.284646968	4.082250791
1.5	19.282	12.97839402	17.06064481
2	37.39	25.16658814	42.22723295
2.5	38.78	26.10217406	68.32940701
3	30.75	20.6973144	89.02672141
3.5	7.412	4.988894124	94.01561553
4	8.238	5.544861008	99.56047654
>4	0.533	0.35875345	99.91922999

ΔΕΙΓΜΑ	2		
Βάρος	148.7gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	1.143	0.768661735	0.768661735
0	0.864	0.581035642	1.349697377
0.5	1.965	1.321452589	2.671149966
1	6.411	4.311365165	6.982515131
1.5	12.489	8.398789509	15.38130464
2	24.18	16.26092804	31.64223268
2.5	31.33	21.06926698	52.71149966
3	38.9	26.1600538	78.87155346
3.5	22.06	14.83523874	93.7067922
4	7.562	5.085406859	98.79219906
>4	1.691	1.137188971	99.92938803

ΔΕΙΓΜΑ	3		
Βάρος	127.67gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.217	0.169969452	0.169969452
0	0.181	0.141771755	0.311741208
0.5	0.39	0.305475053	0.617216261
1	1.498	1.173337511	1.790553771
1.5	4.238	3.319495575	5.110049346
2	13.405	10.49972586	15.6097752
2.5	26.89	21.06211326	36.67188846
3	41.47	32.48218062	69.15406908
3.5	29.27	22.92629435	92.08036344
4	8.155	6.387561682	98.46792512
>4	1.54	1.206234824	99.67415994

ΔΕΙΓΜΑ	4		
Βάρος	149.37gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	2.779	1.860480686	1.860480686
0	1.693	1.13342706	2.993907746
0.5	4.729	3.165963714	6.15987146
1	15.713	10.5195153	16.67938676
1.5	18.973	12.70201513	29.38140189
2	22.92	15.34444668	44.72584856
2.5	27.09	18.13617192	62.86202049
3	29.93	20.03749079	82.89951128
3.5	10.277	6.880230301	89.77974158
4	13.163	8.812345183	98.59208676
>4	1.828	1.223806655	99.81589342

ΔΕΙΓΜΑ	5		
Βάρος	134.25gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.556	0.4141527	0.4141527
0	0.352	0.262197393	0.676350093
0.5	0.526	0.391806331	1.068156425
1	1.863	1.387709497	2.455865922
1.5	4.701	3.501675978	5.957541899
2	12.314	9.172439479	15.12998138
2.5	21.629	16.11098696	31.24096834
3	43.21	32.18621974	63.42718808
3.5	35.37	26.34636872	89.7735568
4	11.179	8.327001862	98.10055866
>4	2.082	1.550837989	99.65139665

ΔΕΙΓΜΑ	6		
Βάρος	129.68gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.662	0.510487353	0.510487353
0	0.266	0.205120296	0.71560765
0.5	0.501	0.386335595	1.101943245
1	2.063	1.590838988	2.692782233
1.5	7.133	5.500462677	8.193244911
2	19.558	15.08173967	23.27498458
2.5	26.62	20.52745219	43.80243677
3	39.67	30.59068476	74.39312153
3.5	24.22	18.67674275	93.06986428
4	7.551	5.822794571	98.89265885
>4	0.868	0.669339914	99.56199877

ΔΕΙΓΜΑ	7		
Βάρος	142.44gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.08	0.056163999	0.056163999
0	0.124	0.087054198	0.143218197
0.5	0.314	0.220443696	0.363661893
1	1.681	1.180146026	1.543807919
1.5	6.251	4.388514462	5.932322381
2	15.303	10.74347094	16.67579332
2.5	24.84	17.43892165	34.11471497
3	43.79	30.74276889	64.85748385
3.5	33.37	23.42740803	88.28489188
4	14.193	9.964195451	98.24908734
>4	2.44	1.713001966	99.9620893

ΔΕΙΓΜΑ	8		
Βάρος	155.18gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.268	0.172702668	0.172702668
0	0.152	0.097950767	0.270653435
0.5	0.293	0.188812991	0.459466426
1	1.507	0.9711303	1.430596726
1.5	5.924	3.817502255	5.248098982
2	15.676	10.10181724	15.34991623
2.5	23.32	15.02770976	30.37762598
3	48.66	31.35713365	61.73475963
3.5	39.65	25.55097306	87.2857327
4	16.177	10.42466813	97.71040082
>4	3.332	2.147183915	99.85758474

ΔΕΙΓΜΑ	9		
Βάρος	157.86gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	4.315	2.733434689	2.733434689
0	0.539	0.341441784	3.074876473
0.5	1.103	0.698720385	3.773596858
1	4.608	2.919042189	6.692639047
1.5	12.969	8.215507412	14.90814646
2	25.154	15.93437223	30.84251869
2.5	30.45	19.28924363	50.13176232
3	40.4	25.59229697	75.72405929
3.5	20.153	12.76637527	88.49043456
4	15.921	10.08551881	98.57595338
>4	1.94	1.228937033	99.80489041

ΔΕΙΓΜΑ	10		
Βάρος	150.21gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.33	0.219692431	0.219692431
0	0.198	0.131815458	0.351507889
0.5	0.475	0.316223953	0.667731842
1	2.155	1.434658145	2.102389987
1.5	7.477	4.97769789	7.080087877
2	19.77	13.1615738	20.24166167
2.5	33.45	22.26882365	42.51048532
3	46.21	30.76359763	73.27408295
3.5	28.74	19.1332135	92.40729645
4	9.22	6.138073364	98.54536982
>4	2.154	1.433992411	99.97936223

ΔΕΙΓΜΑ	11		
Βάρος	133.81gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	1.757	1.313055825	1.313055825
0	1.012	0.756296241	2.069352066
0.5	2.117	1.582094014	3.65144608
1	6.749	5.043718706	8.695164786
1.5	13.842	10.34451835	19.03968313
2	25.42	18.99708542	38.03676855
2.5	29.51	22.05365817	60.09042672
3	33.38	24.9458187	85.03624542
3.5	15.838	11.83618564	96.87243106
4	3.396	2.537926911	99.41035797
>4	0.596	0.445407668	99.85576564

ΔΕΙΓΜΑ	12		
Βάρος	135.46gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	0.092	0.067916728	0.067916728
0	0.089	0.065702052	0.13361878
0.5	0.297	0.219252916	0.352871696
1	1.388	1.024656725	1.377528422
1.5	5.57	4.111914956	5.489443378
2	22.29	16.45504208	21.94448546
2.5	43.78	32.31950391	54.26398937
3	44.43	32.79935036	87.06333973
3.5	13.711	10.12180718	97.18514691
4	3.019	2.2287022	99.41384911
>4	0.673	0.496825631	99.91067474

ΔΕΙΓΜΑ	13		
Βάρος	131.39gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	5.838	4.443260522	4.443260522
0	1.295	0.985615344	5.428875866
0.5	1.683	1.2809194	6.709795266
1	4.736	3.604536114	10.31433138
1.5	12.517	9.526600198	19.84093158
2	25.296	19.25260674	39.09353832
2.5	27.59	20.99855392	60.09209224
3	30.11	22.91650811	83.00860035
3.5	15.694	11.94459243	94.95319278
4	5.131	3.905167821	98.85836061
>4	1.19	0.905700586	99.76406119

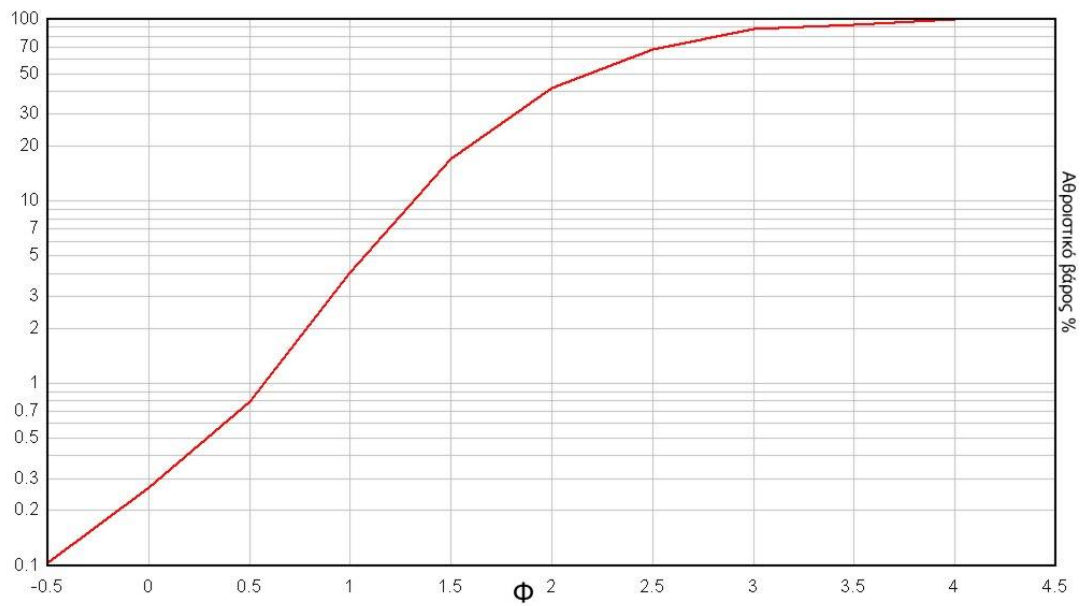
ΔΕΙΓΜΑ	14		
Βάρος	130gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	1.605	1.234615385	1.234615385
0	0.636	0.489230769	1.723846154
0.5	1.31	1.007692308	2.731538462
1	3.031	2.331538462	5.063076923
1.5	4.992	3.84	8.903076923
2	11.624	8.941538462	17.84461538
2.5	22.22	17.09230769	34.93692308
3	43.63	33.56153846	68.49846154
3.5	27.62	21.24615385	89.74461538
4	10.652	8.193846154	97.93846154
>4	2.448	1.883076923	99.82153846

ΔΕΙΓΜΑ	15		
Βάρος	143.77gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	2.277	1.583779648	1.583779648
0	3.135	2.180566182	3.76434583
0.5	12.232	8.508033665	12.2723795
1	44.78	31.14697086	43.41935035
1.5	46.02	32.00945955	75.4288099
2	22.4	15.58044098	91.00925089
2.5	6.344	4.412603464	95.42185435
3	4.727	3.28789038	98.70974473
3.5	1.174	0.816582041	99.52632677
4	0.303	0.210753286	99.73708006
>4	0.158	0.109897753	99.84697781

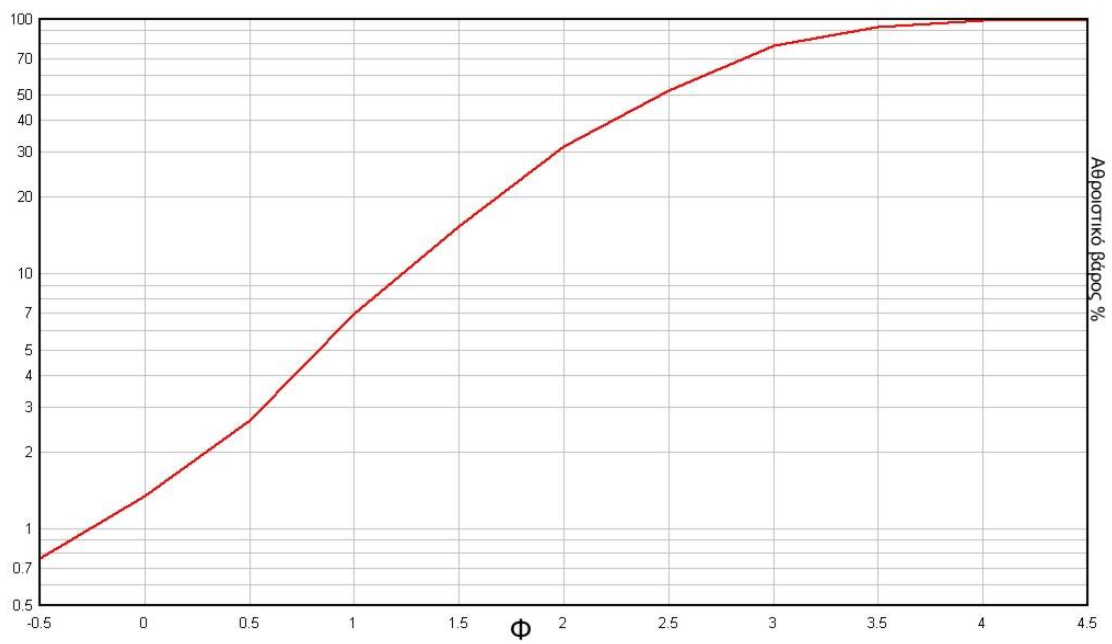
ΔΕΙΓΜΑ	16		
Βάρος	143.64gr		
Φ	Βάρος/Κόσκινο	Κλασματικό	Αθροιστικό
-0.5	1.454	1.012252854	1.012252854
0	3.432	2.3893066	3.401559454
0.5	12.578	8.756613757	12.15817321
1	45.91	31.96184907	44.12002228
1.5	46.7	32.51183514	76.63185742
2	22.95	15.97744361	92.60930103
2.5	6.925	4.821080479	97.43038151
3	2.592	1.804511278	99.23489279
3.5	0.682	0.474798106	99.70969089
4	0.167	0.116262879	99.82595377
>4	0.086	0.059871902	99.88582568

Λογαριθμικές καμπύλες δειγμάτων

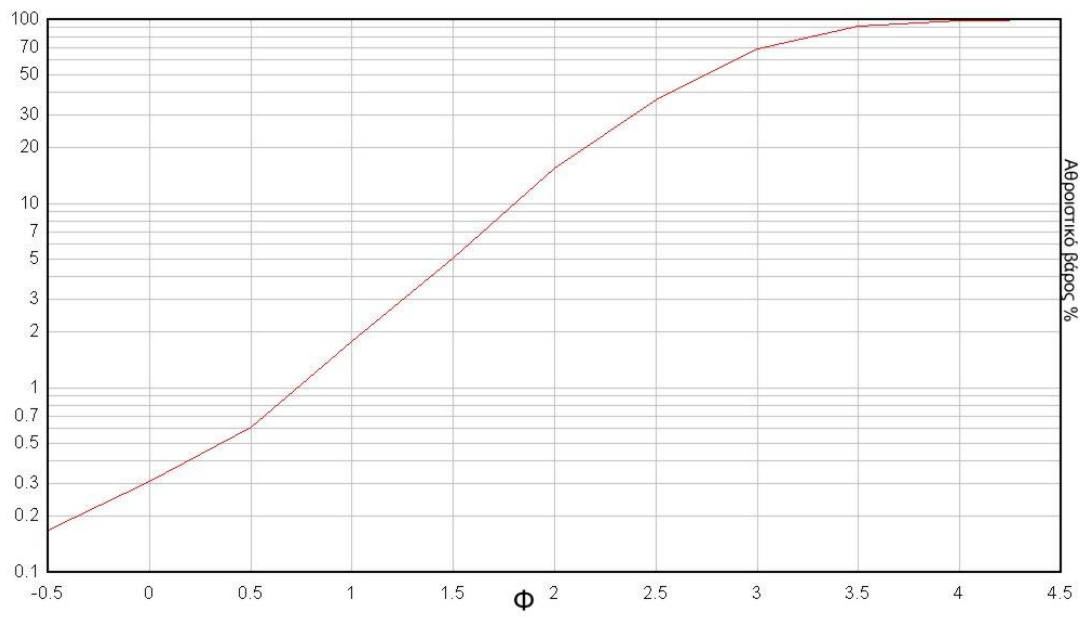
Δείγμα 1



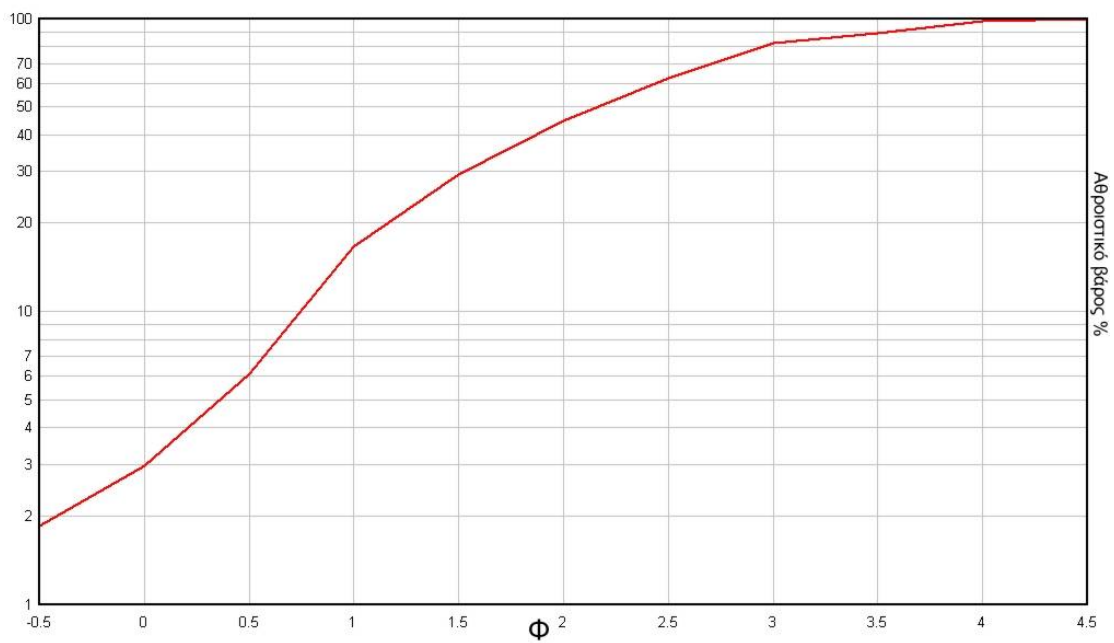
Δείγμα 2



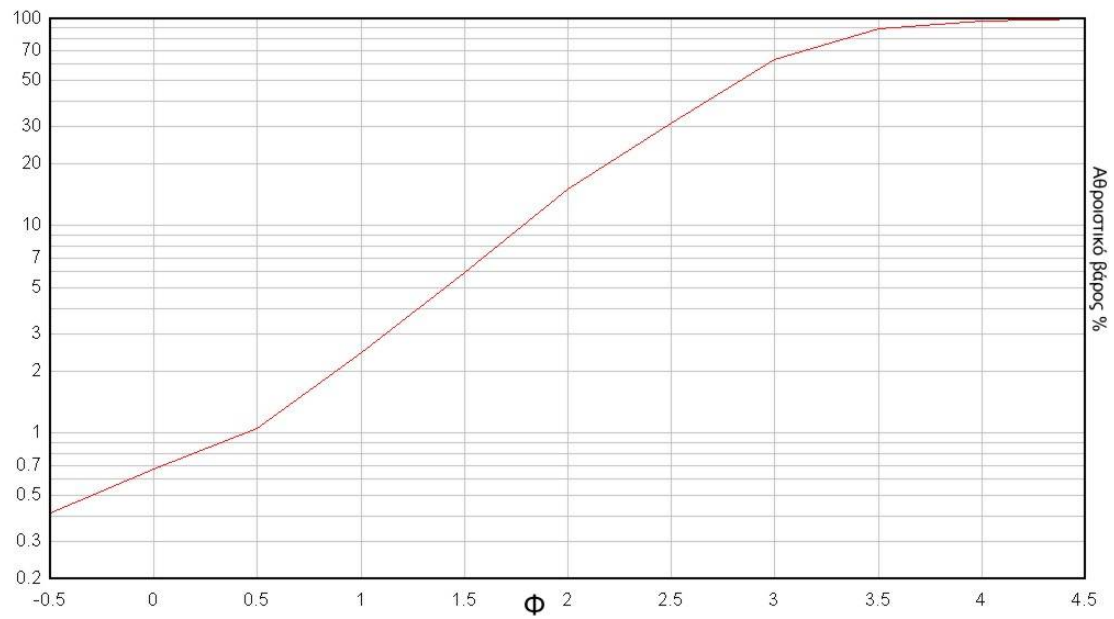
Δείγμα 3



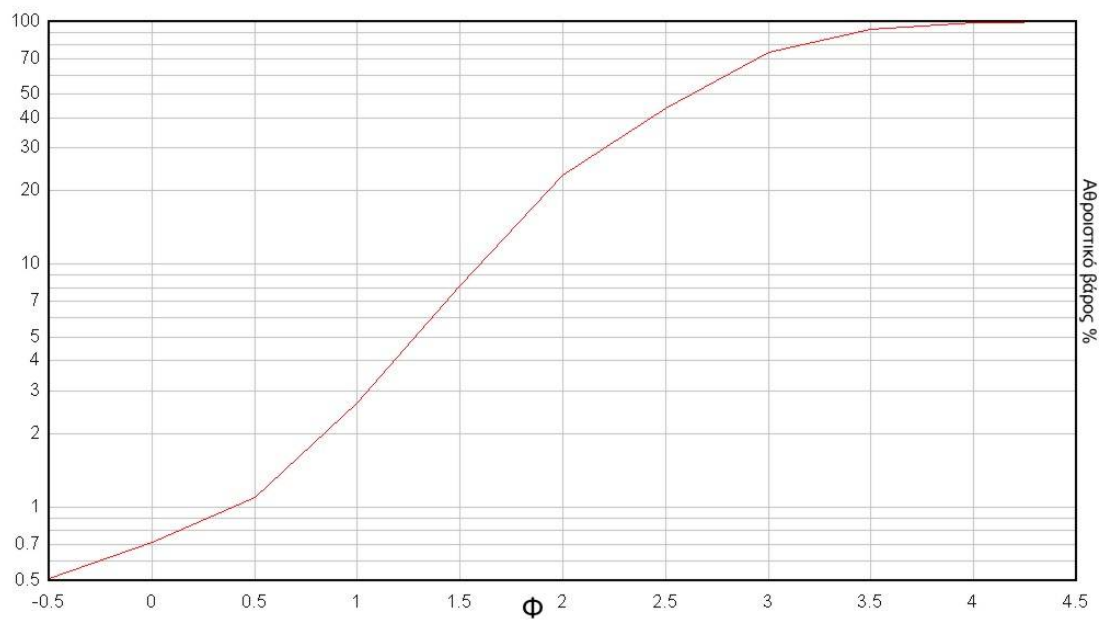
Δείγμα 4



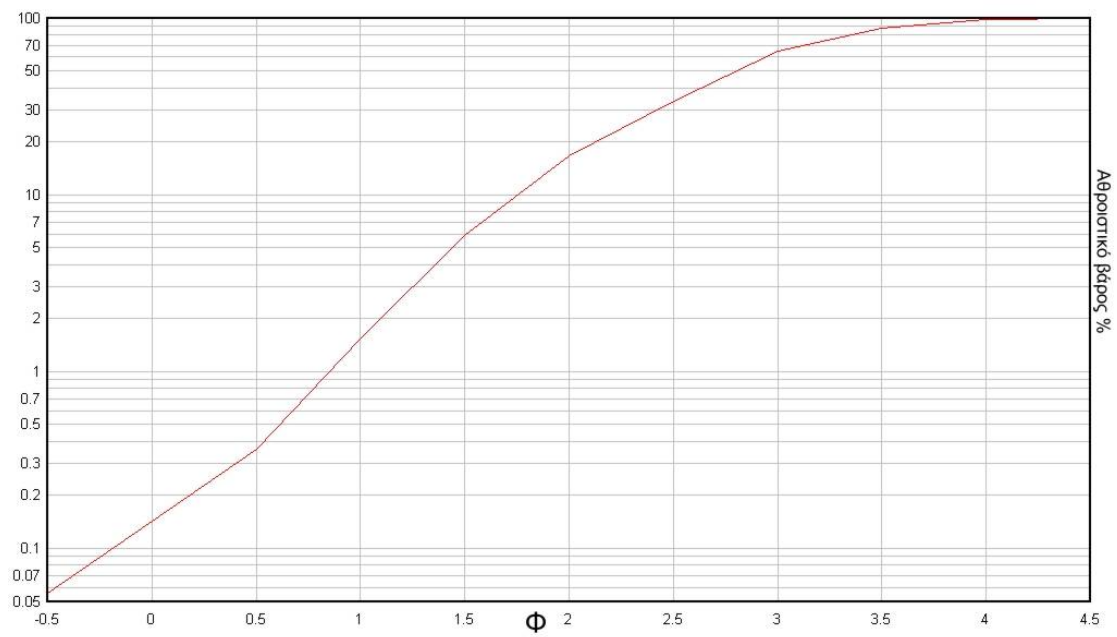
Δείγμα 5



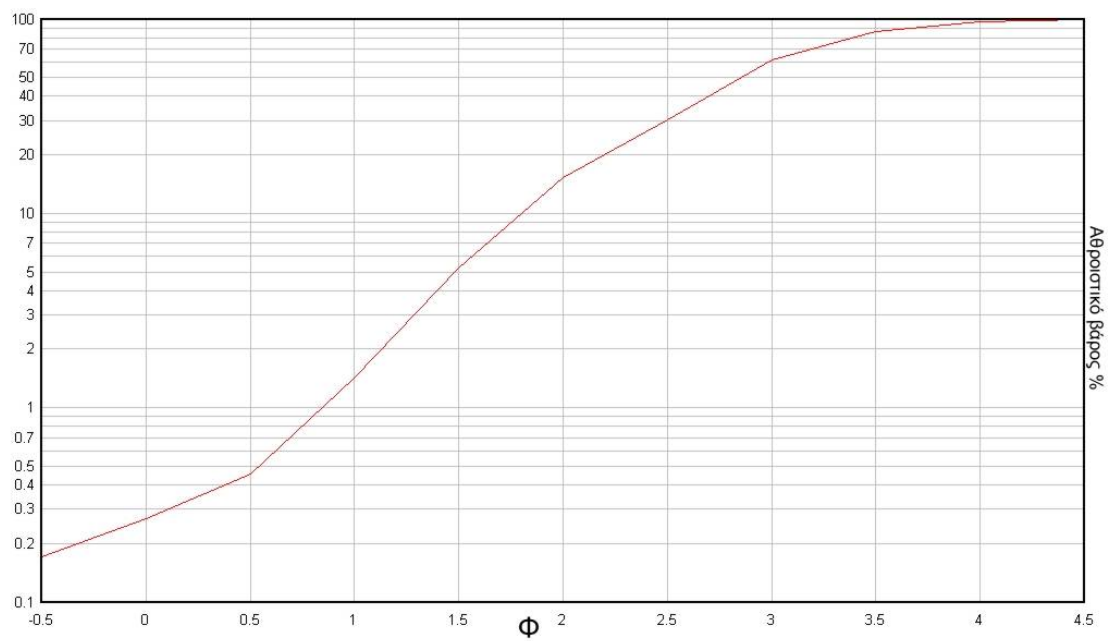
Δείγμα 6



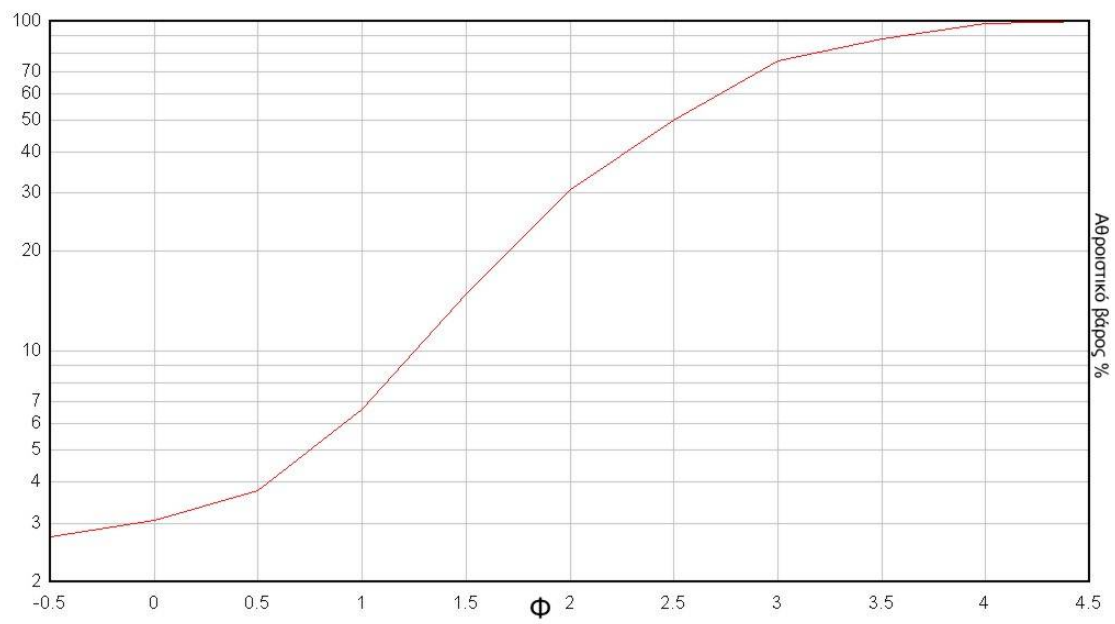
Δείγμα 7



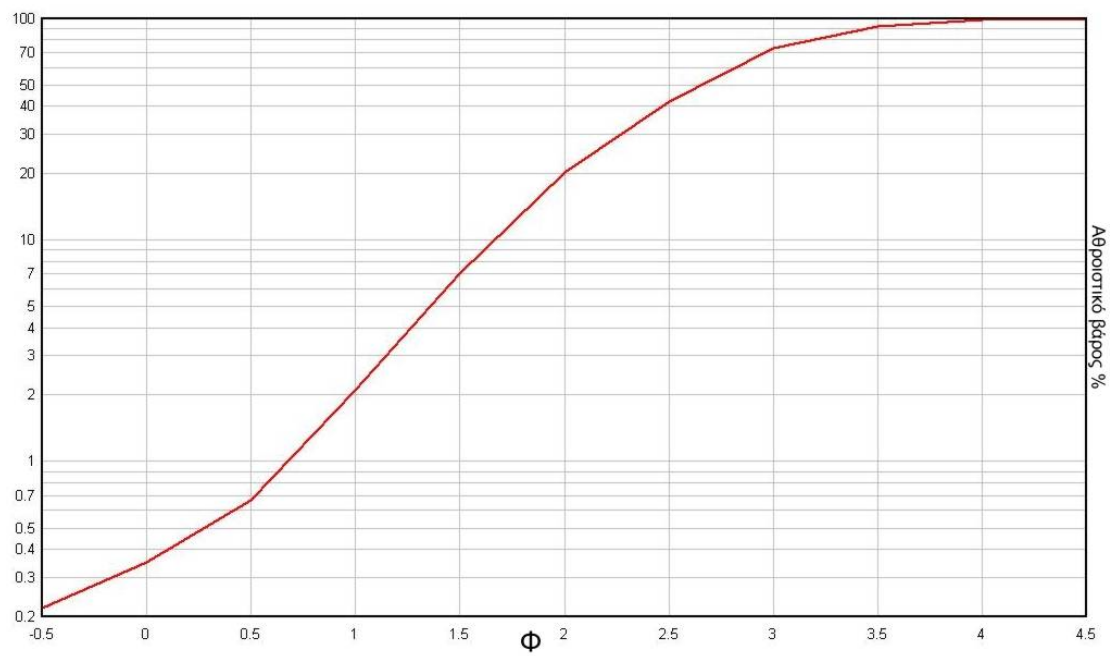
Δείγμα 8



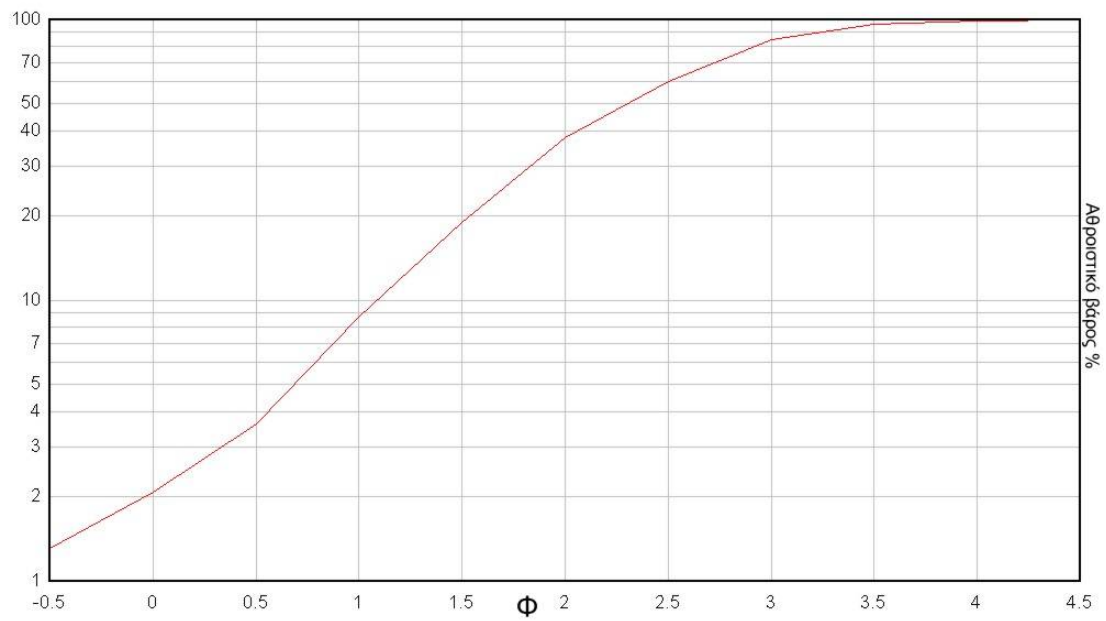
Δείγμα 9



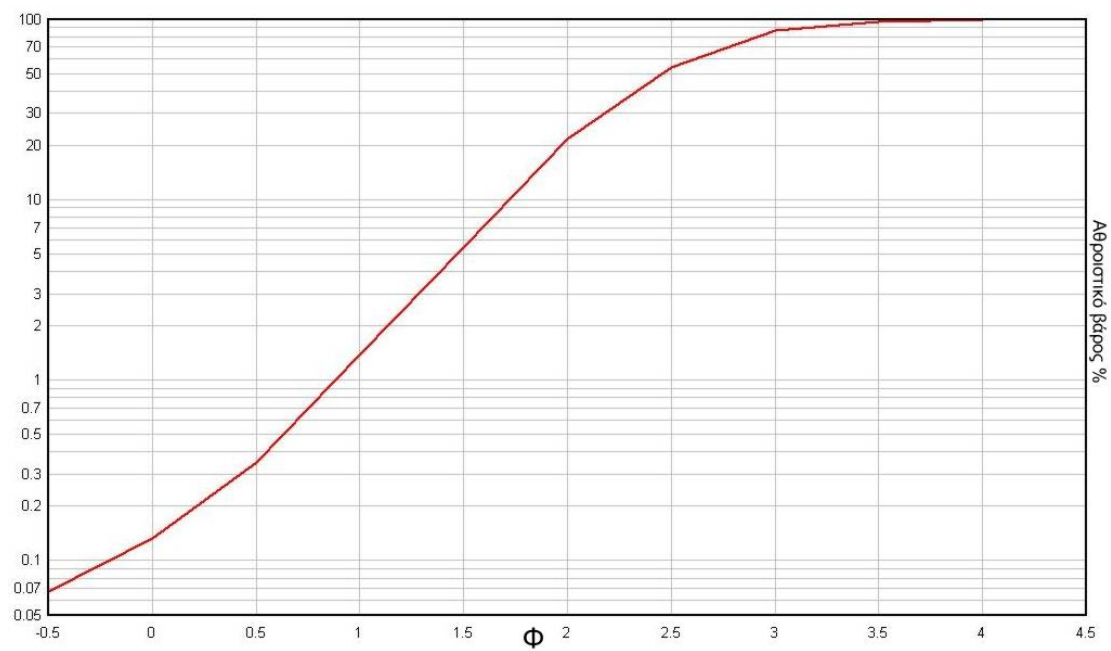
Δείγμα 10



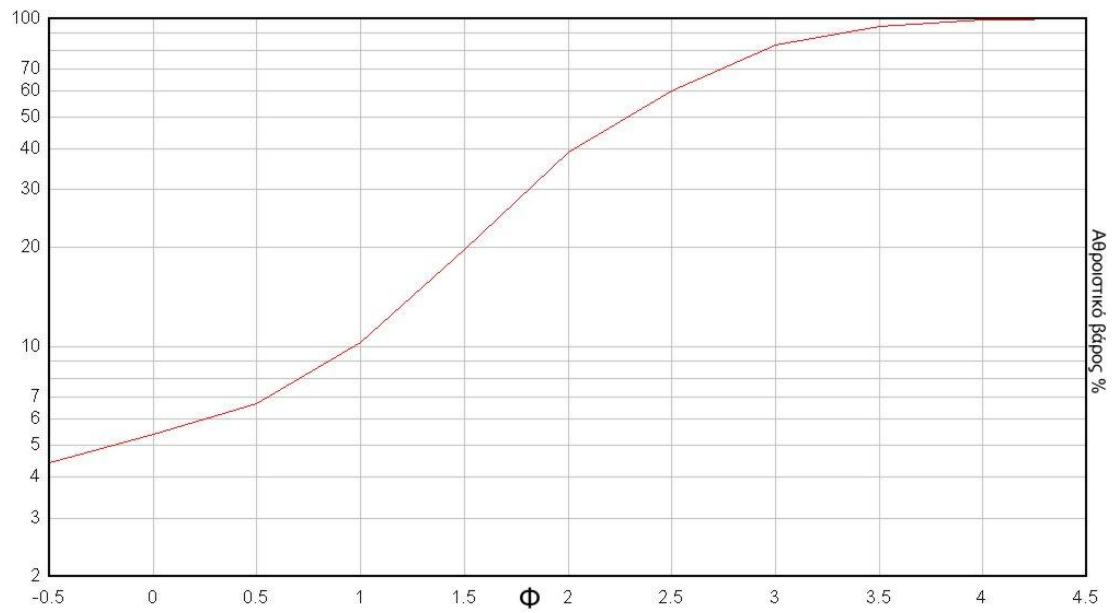
Δείγμα 11



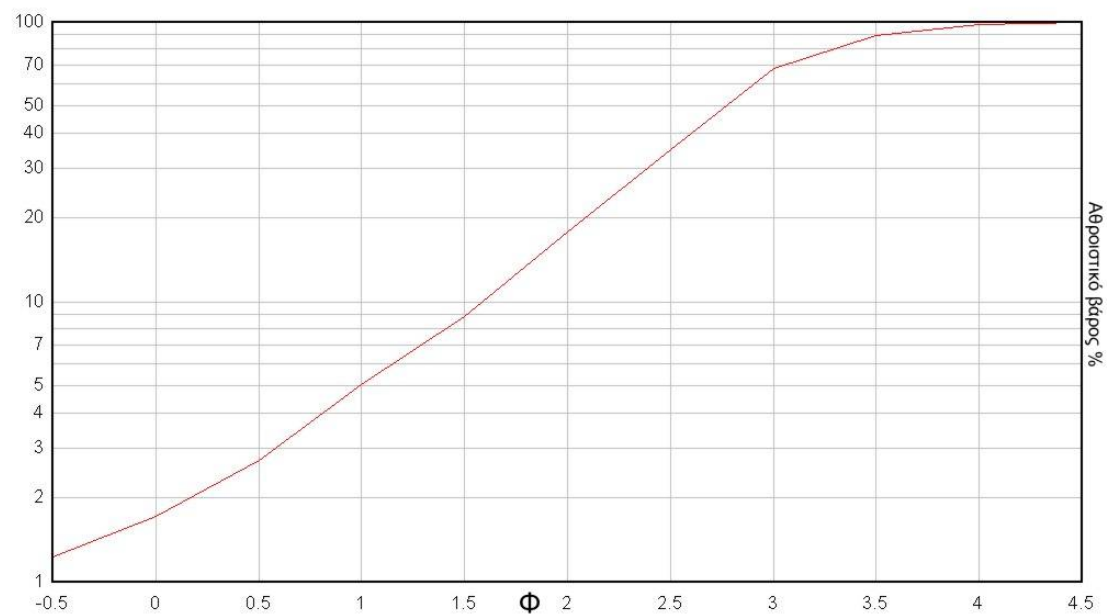
Δείγμα 12



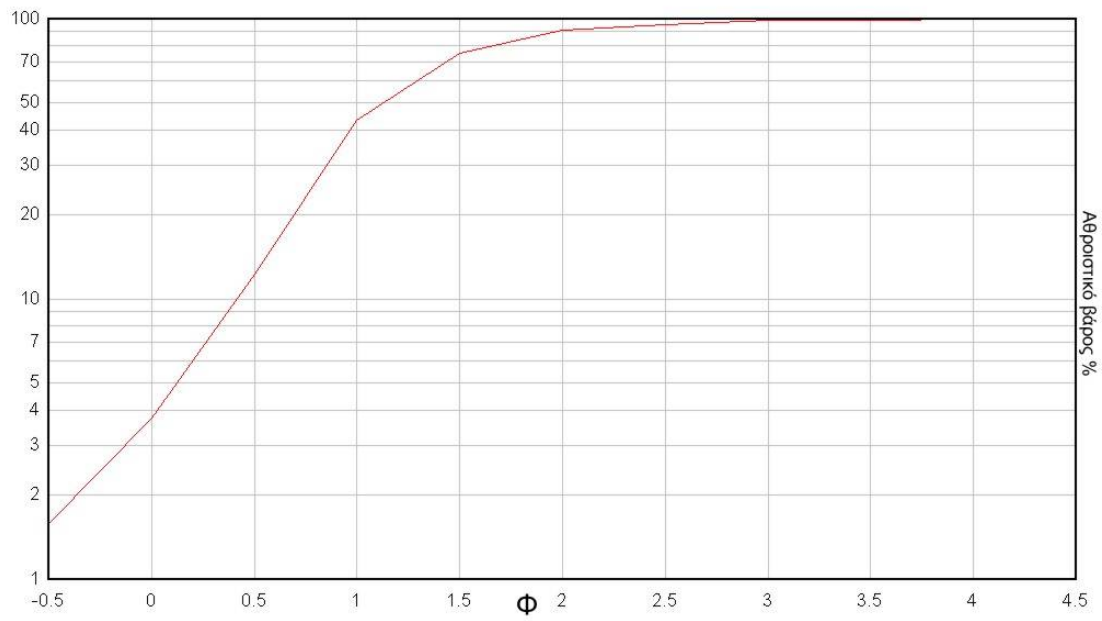
Δείγμα 13



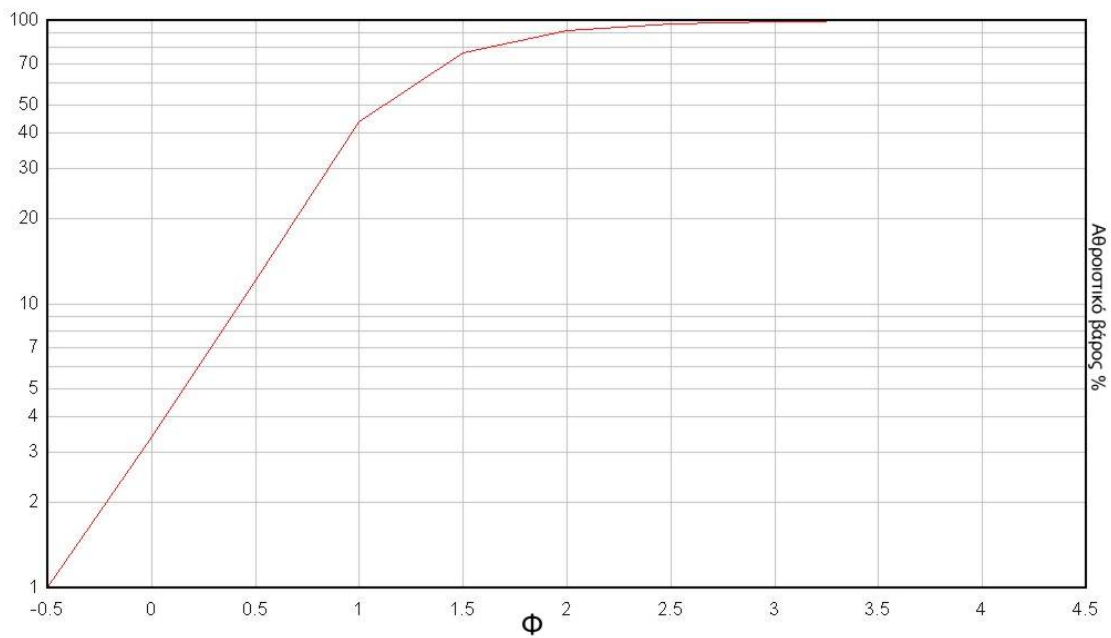
Δείγμα 14



Δείγμα 15



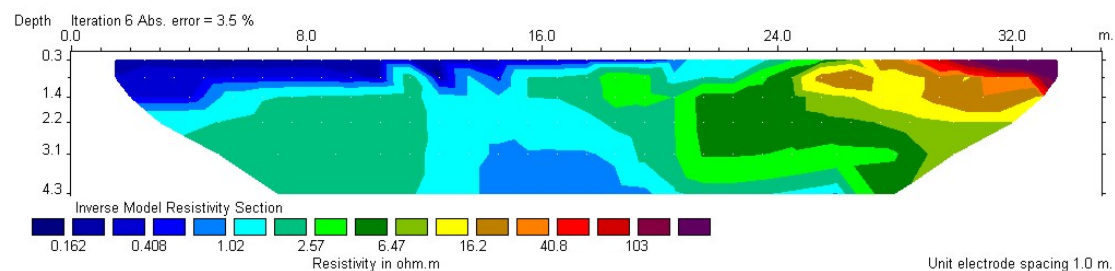
Δείγμα 16



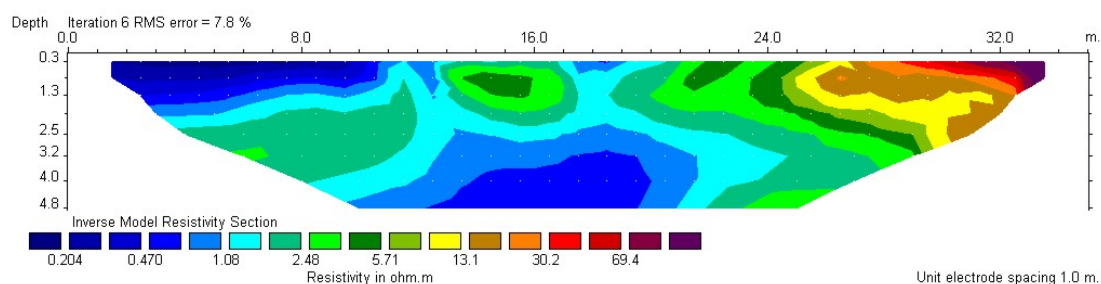
ΨΕΥΔΟΤΟΜΕΣ

Παρακάτω παρατίθενται οι ψευδοτομές (κατασκευή σε λογισμικό RES2DINV ver. 3.4), από τις οποίες προήλθαν οι ηλεκτρικές τομογραφίες TH_PRT01, TH_PRT02, TH_PRT03, TH_PRT04 και TH_PRT05.

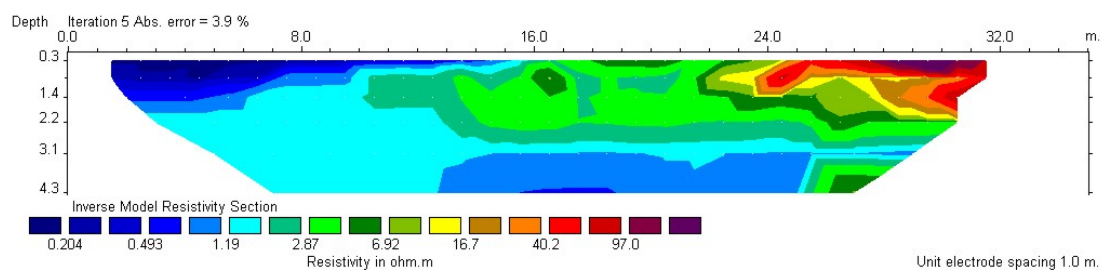
Ψευδοτομή 01



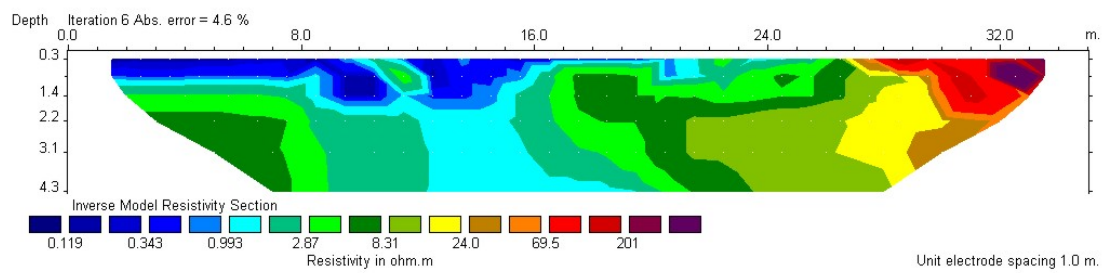
Ψευδοτομή 02



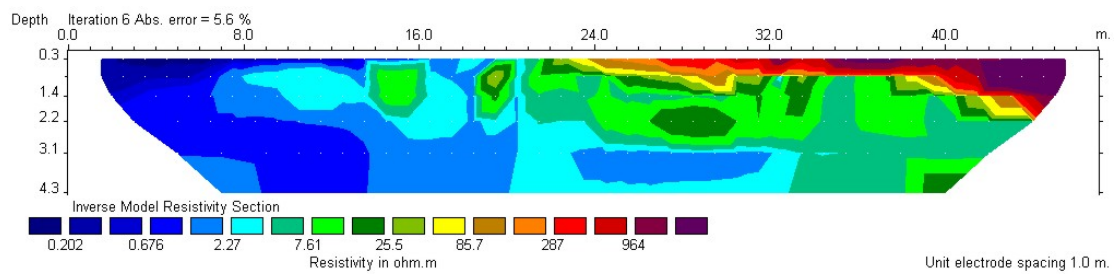
Ψευδοτομή 03



Ψευδοτομή 04



Ψευδοτομή 05



ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Εκτεθειμένο τμήμα του beachrock



Κατακερματισμός και επανατοποθέτηση του beachrock



Εποικισμός φυκών στο εμπρόσθιο μέτωπο του beachrock



Πραγματοποίηση της πυρηνοληψίας



Πραγματοποίηση των ηλεκτρικών τομογραφιών – Ημέρα 1



Πραγματοποίηση των
ηλεκτρικών τομογραφιών –
Ημέρα 2