



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΑΝΤΑΖΟΠΟΥΛΟΥ ΖΩΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

***ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ
ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΛΑΤΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΧΩΡΟΥ ΤΩΝ « ΤΑΦΩΝ ΤΩΝ ΒΑΣΙΛΕΩΝ » ΣΤΗΝ ΠΑΦΟ, ΝΔ, ΚΥΠΡΟΣ***

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2017



Πανταζοπούλου Ζωή A.E.M : 491

Πτυχιούχος Γεωλόγος

«Τεχνικογεωλογική θεώρηση για την ευστάθεια των βραχωδών υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών, καθώς και χαρακτηρισμός των λατομικών υλικών του αρχαιολογικού χώρου των « Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο, ΝΔ, Κύπρος»

«Engineering geology assessment on the stability underground and surfaces excavations and the characterization of materials quarryment of the «Tombs of the Kings» in Pafos, SW, Cyprus»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του

Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών

«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία - Τεχνική Γεωλογία»

Τομέας Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 08/06/2017

Τριμελής Συμβουλευτική & Εξεταστική Επιτροπή :

Επικ. Καθηγητής, Βασίλειος Μαρίνος, Επιβλέπων

Καθηγητής, Βασίλειος Χρηστάρας, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Επικ. Καθηγητής, Νικόλαος Καντηράνης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

© Πανταζοπούλου Ζωή, 2017

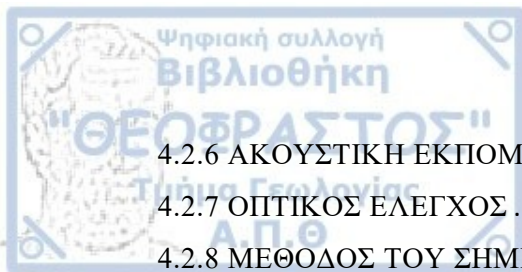
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
ABSTRACT	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΣΚΟΠΟΣ	13
1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	14
1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ 17	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	17
2.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ	18
2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ	20
2.4. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΝΗΜΕΙΟΥ	21
2.4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΦΟΥ 3	23
2.4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΦΟΥ 4	28
2.5 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΠΡΟΥ	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΔΙΑΒΡΩΣΗ & ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ 41	
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	41
3.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ	41
3.3 ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ	49
3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΦΘΟΡΑΣ & ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΟΣΩΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ, ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ, ΔΙΑΒΡΩΣΗ	
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	59
4.2 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	59
4.2.1 ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗ	60
4.2.2 ΥΠΕΡΗΧΟΙ	62
4.2.3 ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ «Χ» & «Γ»	62
4.2.4 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΣΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	63
4.2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΚΠΟΜΠΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ	64



4.2.6 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ	64
4.2.7 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	65
4.2.8 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΜΕΤΡΗΤΗ (Point Counter).....	66
4.2.9 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ	66
4.2.10 Η ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΩΣ ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΑΝΣΗ (AR)	66
4.2.11 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	67
5.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΥΠΡΟΥ	67
Ζώνη Μαμωνίων	70
Ομάδα Διαρίζου	70
Ομάδα Άγιου Φωτίου.....	71
5.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	74
5.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	76
5.5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ	80

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	85
6.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

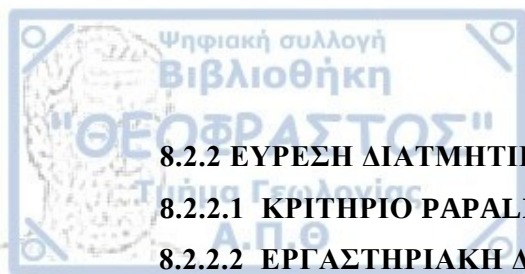
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	87
7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ	87
7.2.1 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων	87
7.2.1.1 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων κατά Folk (1959).....	87
7.2.1.2 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων κατά Dunham (1962)	88
7.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ	89
7.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ ΑΚΤΙΝΩΝ –X.....	92
7.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-X	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	95
8.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ.....	95
8.2.1 ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	95



8.2.2 ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	99
8.2.2.1 ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΡΑΡΑΛΙΑNGAS.....	100
8.2.2.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	103
8.2.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	111
8.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	112
8.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ GSI.....	113
8.3.3.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ GSI.....	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	
9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	117
9.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	117
9.2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 3.....	117
9.2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 4.....	120
9.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	123
9.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 3.....	123
9.3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 4.....	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10	
ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	
10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	125
10.2 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	125
10.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	127
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	133
ΞΕΝΗ	133
ΕΛΛΗΝΙΚΗ	135
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	138
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1 _ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΜΝΗΜΕΙΟΥ	139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 _ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	163
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 _ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	177
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ _4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	186

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ

EIKONA 2.1 : Σκαρίφημα του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των Τάφων 3 & 4.	22
EIKONA 2.3: Άποψη Τάφου 3 λήψη πάνω από την ανατολική προς την δυτική πλευρά	24
EIKONA 2.4: Άποψη Τάφου 3 λήψη πάνω από την δυτική προς την ανατολική πλευρά	24
EIKONA 2.5: Σκαριφηματική αποτύπωση της κάτοψης Τάφου η είσοδος βρίσκεται στα αριστερά μέσω κλιμακωτού δρόμου και συμβολίζεται με τον αρ.1 και βρίσκεται στην Β πλευρά του υπόγειου τάφου 3	25
EIKONA 2.7: Πανοραμική άποψη του T3 στην οποία παρατηρούνται οι Δωρικοί κίονες, το Αίθριο και οι εισοδοί των θαλάμων της δυτικής και ανατολικής πλευράς.	26
EIKONA 2.8 : Σκαρίφημα του αρχαιολ. χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» με αστέρι θαλασσί τονίζεται η θέση του Λ3 με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των T 3&4.	27
EIKONA 2.11: Άποψη ανατολικής πλευράς του T4 λήψη επάνω από την δυτική πλευρά	29
EIKONA 2.12 : Σκαρίφημα κάτοψης τάφου 4 η είσοδος βρίσκεται στα αριστερά μέσω κλιμακωτού δρόμου και συμβολίζεται με τον αριθμό 1, οι λακκοειδείς τάφοι με τον αριθμό 6 αντιστοιχούν στην βόρεια πλευρά του υπόγειου τάφου 4	30
EIKONA 2.13: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς T4, λήψη από την ΝΑ πλευρά	31
EIKONA 2.14 : Μετρήσεις στον Λακοειδή Τάφο της νότιας πλευράς του Τάφου 4	32
EIKONA 2.15 : Διαστάσεις του Λακκοειδούς Τάφου της νότιας πλευράς του Τάφου 4	33
EIKONA 2.16 : Σκαρίφημα του αρχαιολ. χώρου με αστέρι θαλασσί τονίζεται η θέση του Λ4 ενώ με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των T 3 & 4.	34
EIKONA 2.17 : Πανοραμική απεικόνιση του Λ4, λήψη από την δυτική πλευρά	35
EIKONA 2.18 : Απεικόνιση της εισόδου του Λ 4, λήψη από την δυτική πλευρά	35
EIKONA 3.34: Σκαρίφημα αστοχίας της Δυτικής πλευράς του Τάφου 4	58
EIKONA 3.33: Αστοχία στην Δυτική πλευρά εξωτερικά του Τάφου 4	58
EIKONA 3.36: Σκαρίφημα αστοχίας της Δυτικής πλευράς του Τάφου 4	58
EIKONA 4.45: Νομόγραμμα υπολογισμού της μονοαξονικής αντοχής με την χρήση των μετρήσεων του Κρουσιμετρου Schmidt τύπου L κατά Miller 1965	62
EIKONA 5.46:Τροποποιημένη απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της Κύπρου	68
EIKONA 5.47: Τροποποιημένος Χάρτης της Γεωλογίας της Κύπρου	69
EIKONA 5.53: Οι σεισμικές ζώνες της Κύπρου όπως έχουν εκδοθεί από την Επιτροπή Αναθεώρησης των ζωνών του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα τον Οκτώβριο του 2004	80
EIKONA 5.57: Συγκεντρωτικός Χάρτης με τους κυριότερους ποταμούς της επαρχίας της Πάφου.	83
EIKONA 6.58 : Χάρτης Γεωλογίας της περιοχής της Πάφου	86
EIKONA 7.67: Ανάκλαση ακτίνων -X στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου	92
EIKONA 7.69 :93Περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710 Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας.	93
EIKONA 7.70 : Περιθλασιόγραμμα του υπό μελέτη δείγματος	94
ΠΙΝΑΚΑΣ 7.05 : Αποτελέσματα Διατμητικής Αντοχής κατά την Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης σε ξηρό δείγμα	112
EIKONA 8.83:Γενικό διάγραμμα ταξινόμησης της βραχώμαζας GSI	114
EIKONA 8.84: Διάγραμμα GSI για ασβεστολιθικές βραχώμαζες με ή χωρίς εναλλαγές ιλυολίθων ή αργιολίθων	114
EIKONA 8.85:Διάγραμμα GSI ασβεστολιθικών βραχομαζών με ή χωρίς εναλλαγές ιλυολίθων ή αργιολίθων στο οποίο προβάλλεται η ταξινόμηση της υπο μελέτη βραχομάζα	115
EIKONA 9.86: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε ξηρές συνθήκες	117
EIKONA 9.87 : Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε ξηρές συνθήκες	118
EIKONA 9.88: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε ξηρές συνθήκες	118

EIKONA 9.89: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε υγρές συνθήκες	119
EIKONA 9.90: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές συνθήκες	119
EIKONA 9.91: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε υγρές συνθήκες	120
EIKONA 9.92: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε ξηρές συνθήκες	120
EIKONA 9.93: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε ξηρές συνθήκες	121
EIKONA 9.94: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε ξηρές συνθήκες	121
EIKONA 9.95: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε υγρές συνθήκες	122
EIKONA 9.96: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές συνθήκες	122
EIKONA 9.97: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε υγρές συνθήκες	122
EIKONA ΠΑΡ. 98: Άποψη της νότιας πλευράς του Τάφου 3	139
EIKONA ΠΑΡ.100: Άποψη του θαλάμου της δυτικής πλευράς του Τάφου 3	141
EIKON ΠΑΡ.101: Άποψη του θαλάμου της δυτικής πλευράς του Τάφου 3	141
EIKONA ΠΑΡ.102: Άποψη της εισόδου του ανατολικού θαλάμου του Τάφου 3	142
EIKONA ΠΑΡ.103: Άποψη πρώτου εσωτερικού του θαλάμου του Τ3 στην Α πλευρά	143
EIKONA ΠΑΡ.104: Άποψη δεύτερου εσωτερικού του θαλάμου του Τ3 στην Α πλευρά	144
EIKONA ΠΑΡ.105 : Δυτική είσοδος Λατομείου 3	145
EIKONA ΠΑΡ.106 : Τμήμα του βόρειου πρσανούς στο Λατομείου 3	145
EIKONA ΠΑΡ.107: Τμήμα του βόρειου πρσανούς στο Λατομείου 3	146
EIKONA ΠΑΡ.108 : Τμήμα του βόρειου πρσανούς στο Λατομείου 3	146
EIKONA ΠΑΡ. 109 : Τμήμα ανατολικού πρσανούς του Λατομείου 3	147
EIKONA ΠΑΡ.110 : Ανατολική είσοδος του Λατομείου 3	147
EIKONA ΠΑΡ.111 : Νότια πλευρά του Λατομείου 3	148
EIKONA ΠΑΡ.112 : Πανοραμική άποψη της νότιας πλευράς του Λατομείου 3	148
EIKONA ΠΑΡ.113: Πανοραμική άποψη της βόρειας πλευράς του Λατομείου 3	149
EIKONA ΠΑΡ.114 : Άποψη της απόστασης περίπου 150m του μνημείου από την παραλιακή ζώνη της Πάφου, λήψη από την δυτική πλευρά του Λατομείου 3	149
EIKONA ΠΑΡ.115: Άποψη της δυτική πλευράς του Τάφου 4 στην οποία απεικονίζεται η κλιμακωτή είσοδος του Τάφου 4	150
EIKONA ΠΑΡ.116: Άποψη της δυτική πλευράς του Τάφου 4 στην οποία απεικονίζεται Λακκοειδής τάφος	151
EIKONA ΠΑΡ.117: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς του Τάφου 4	152
EIKONA ΠΑΡ.118: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς του Τάφου 4	153
EIKONA ΠΑΡ.119: Άποψη της βόρειας πλευράς Τάφου 4 στην οποία εμφανίζονται Λακκοειδείς τάφοι	153
EIKONA ΠΑΡ.120: Άποψη της ανατολικής εισόδου του Θαλάμου του Τάφου 4	154
EIKONA ΠΑΡ.121: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου Τάφου 4	155
EIKONA ΠΑΡ.122: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου Τάφου 4 με ύψος κατασκευής του θαλάμου 1,65m	156
EIKONA ΠΑΡ.123: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου Τάφου 4	157
EIKONA ΠΑΡ.124 : Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου του Τάφου 4 με ύψος κατασκευής του θαλάμου 1.65 m	157
EIKONA ΠΑΡ.125 : Λακκοειδής Τάφος στην νότια πλευρά του Τάφου 4	158
EIKONA ΠΑΡ.126 : Περιοχή πάνω από τον Τάφο 4 σε επαφή με το Λατομείο 4	159
EIKONA ΠΑΡ. 127: Απεικόνιση της εισόδου Λ 4, λήψη από την δυτική πλευρά	159
EIKONA ΠΑΡ.128 : Απεικόνιση της εισόδου του Λ4, λήψη από δυτική πλευρά	160
EIKONA ΠΑΡ.129 : Τμήμα του νότιου πρσανούς του Λ 4 σε επαφή με τον Τάφο 4	160
EIKONA ΠΑΡ.130 : Τμήμα του νότιου πρσανούς του Λ 4 σε επαφή με τον Τάφο 4	161
EIKONA ΠΑΡ.131 : Τμήμα του νότιου πρσανούς του Λ 4 σε επαφή με τον Τάφο 4	161
EIKONA ΠΑΡ.132 : Τμήμα του νότιου πρσανούς του Λ 4 σε επαφή με τον Τάφο 4	162



Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής. Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Μαρίνο Βασίλειο για την επίβλεψη, την καθοδήγηση και την υποστήριξη καθ' όλη την διάρκεια της υλοποίησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον Καθηγητή Χρηστάρα Βασίλειο και στον Επίκουρο Καθηγητή Καντηράνη Νικόλαο για την ευγενική βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την διαδικασία συγκέντρωσης και επεξεργασίας των δεδομένων της εργασίας. Ευχαριστίες απευθύνω προς το Τμήμα Αρχαιοτήτων της Κύπρου και ιδιαίτερα στην Διευθύντρια κα. Μαρίνα Σολομίδου -Ιερωνυμίδου για την παροχή άδειας για τη μελέτη του ευρύτερου αρχαιολογικού χώρου των Τάφων των Βασιλέων στην Πάφο και τον Συντηρητή κ. Ελευθέριο Χαραλάμπους για την συνεργασία καθ' όλη την διάρκεια της παραμονής μου στην Πάφο καθώς και στο προσωπικό του αρχαιολογικού χώρου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ Παπαζάχο Κωνσταντίνο, τον Καθηγητή κ. Κίλια Αδαμάντιο, τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Χατζηπέτρο Αλέξανδρο για την πολύτιμη βοήθεια τους στην συγκέντρωση πληροφοριών για την περιοχή μελέτης. Ακόμη ευχαριστώ τον υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας κ. Τσικρίκη Αναστάσιο καθώς και το Εργαστήριο Γεωμηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης για την βοήθειά τους στην διεξαγωγή των εργαστηριακών δοκιμών.

Βαθύτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς την Καθηγήτρια κα. Τσουκαλά Ευαγγελία για την ηθική της συμπαράσταση και τις πολύτιμες συμβουλές της καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Φυσικά ευχαριστώ την οικογένειά μου και όλους όσους με βοήθησαν και με στήριξαν σε όλη την πορεία των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο αρχαιολογικός χώρος των «Τάφων των Βασιλέων» βρίσκεται στην Πάφο στην ΝΔ Κύπρο. Ο χώρος περιλαμβάνεται στον κατάλογο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της Ουνέσκο. Οι Τάφοι των Βασιλέων είναι ταφικά μνημεία εξολοκλήρου λαξευμένα στον βράχο και περιλαμβάνονται στα πιο σημαντικά έργα που έχουν διασωθεί από την αρχαιότητα, αφού είναι από τα λίγα μνημεία Ελληνιστικής αρχιτεκτονικής που μπορεί κάποιος να δει στην Πάφο. Από την Ελληνιστική ως την Ρωμαϊκή εποχή ο χώρος λειτούργησε ως λατομείο. Κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων έγινε εκτεταμένη απόληψη δομικών λίθων για την οικοδόμηση πολλών αρχαίων οικοδομημάτων στην πόλη της Πάφου και της ευρύτερης περιοχής.

Η εργασία πραγματεύεται δυο αντικείμενα. Ο πρώτος στόχος είναι ο χαρακτηρισμός ιστολογικά και ορυκτολογικά των πετρωμάτων, ώστε να ταξινομηθούν πετρολογικά με σκοπό σε κάθε προσπάθεια συντήρησης ή αποκατάστασης να χρησιμοποιούνται ίδιοι ή παρόμοιων χαρακτηριστικών δομικοί λίθοι. Ο δεύτερος στόχος αφορά την τεχνικογεωλογική διερεύνηση της βραχώμαζας για την ευστάθεια των εκσκαφών στα ταφικά μνημεία του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο.

Κατά την διάρκεια των εργασιών υπαίθρου πάρθηκαν οι μετρήσεις των βασικών τεκτονικών ασυνεχειών για την μελέτη της ευστάθειας και της συμπεριφοράς των υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών. Στην συνέχεια αναγνωρίστηκαν και εξετάστηκαν όλες οι υφιστάμενες αστοχίες που σχετίζονται με την ποιότητα των ασβεστολιθικών υλικών στα οποία έχουν λαξευτεί οι τάφοι τόσο στο περίστυλο αίθριο όσο και στα υπόγεια ανοίγματα εντός του φυσικού βράχου. Παράλληλα έγινε προσπάθεια να δοθεί η θεωρητική ερμηνεία για τις θέσεις φθοράς που συναντώνται στον ευρύτερο χώρο του μνημείου.

Για τους σκοπούς της εργασίας που αφορά την μελέτη ευστάθειας των εκσκαφών πάρθηκε δείγμα προκειμένου να προσδιοριστούν σε πρώτο στάδιο οι παράμετροι της διατμηματικής αντοχής, δηλαδή της συνοχής και της γωνίας τριβής. Η εύρεση των παραμέτρων έγινε μέσω της δοκιμής της άμεσης διάτμησης και σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas. Πραγματοποιήθηκε μια ξηρή δοκιμή και μια υγρή δοκιμή με ορθή τάση 5,50,75,140 kPa και 0,50,75,100 kPa αντίστοιχα. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε ένα μόνο δείγμα.

Σε δεύτερο στάδιο το δείγμα χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή και παρατήρηση στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της λεπτής-στιλπνής τομής ώστε μέσω της παρατήρησης να γίνει η ορυκτολογική, ιστολογική μελέτη και η τελική ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Folk (1959) και Dunham (1962). Επιπροσθέτως, χρησιμοποιήθηκε και για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος μέσω της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων -X (XRD) σύμφωνα με της οποίας τα αποτελέσματα υπάρχει πλήρης συμφωνία με την μικροσκοπική παρατήρηση.

Από την μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος χαρακτηρίζεται μικροσκοπικά ως βιογενής ασβεστόλιθος. Το αποτέλεσμα της παρατήρησης είναι ο χαρακτηρισμός του πετρώματος ως Βιοσπαρίτης σύμφωνα με τον Folk (1959) και ως Κοκκόλιθος σύμφωνα με τον Dunham (1962). Από την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) προέκυψε ότι το υπό εξέταση δείγμα αποτελείται από ασβεστίτη σε ποσοστό 95.7 % κ.β, χαλαζία 3.75% κ.β και αργιλικά ορυκτά σε ποσοστό 0.50%.

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από το πεδίο και ειδικά λογισμικά εντοπίστηκαν οι θέσεις στις οποίες μπορεί να προκληθεί αστοχία. Πιο συγκεκριμένα από τον συνδυασμό των μετρήσεων του προσανατολισμού των ασυνεχειών και των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών μέσω της χρήση των προγραμμάτων της Rocscience 6.0 μελετήθηκε η ευστάθεια και η συμπεριφορά των υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών. Το λογισμικό Dips 6.0 με τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, χρησιμοποιήθηκε για την κινηματική ανάλυση. Για την ανάλυση ευστάθειας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά: Rockplane 6.0. για τις επίπεδες αστοχίες, το Swedge 6.0 για τις σφηνοειδείς αστοχίες, το RockTopple 1.0 για τις αστοχίες ανατροπής. Αποτέλεσμα της εξέτασης είναι ο εντοπισμός θέσεων στις οποίες μπορεί να εκδηλωθούν επίπεδες και σφηνοειδείς αστοχίες δηλαδή στην βόρεια πλευρά του Λατομείου 3 και νότια πλευρά του Λατομείου 4.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας με τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (Geological Strength Index, GSI) ώστε να εκτιμηθεί η ποιότητα του σχηματισμού. Ο δείκτης GSI βασίζεται στην αξιολόγηση της δομής της βραχομάζας και της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών. Η εξέταση αυτών των χαρακτηριστικών της βραχομάζας γίνεται μακροσκοπικά. Συνδυάζει λοιπόν δυο παραμέτρους τηρώντας τους γεωλογικούς περιορισμούς του σχηματισμού. Οι παράμετροι είναι η τεμαχώδης δομή του σχηματισμού καθώς και οι συνθήκες των ασυνεχειών. Η βραχομάζα ταξινομήθηκε με βάση το διάγραμμα GSI για ασβεστολιθικά πετρώματα. Η τιμή που αποδόθηκε στην υπό μελέτη βραχομάζα ανήκει στο εύρος τιμών του τύπου A.

Τα μέτρα προστασίας τα οποία προτείνονται έχουν δυο σκοπούς πρώτον να μην υποβαθμιστεί η εικόνα του μνημείου και δεύτερον η προστασία του ενάντια σε πιθανές αστοχίες. Όσον αφορά την εμφάνιση κυψελοειδούς φθοράς που σχετίζεται με την κρυστάλλωση των αλάτων προτείνεται η εφαρμογή στα φυσικά πρανά των λατομείων, μέσω ψεκασμού ακρυλικού πολυμερούς σε υδάτινο αιώρημα το οποίο αυξάνει την συνεκτικότητα των κόκκων σε ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του πρανούς με αποτέλεσμα να αυξάνει την αντοχή σε τριβή άρα και την αντοχή σε υδατική και αιολική διάβρωση χωρίς να αλλοιώνει τη φυσική όψη του πρανούς. Σχετικά με την επίτευξη της ευστάθειας των πρανών προτείνεται η χρήση συρματοκιβωτίων το πλέγμα των οποίων θα πρέπει να βαφεί σε χρώμα όμοιο με το πέτρωμα και επιπλέον το πέτρωμα που θα χρησιμοποιηθεί θα προέρχεται από τον περιβάλλοντα χώρο.

Όσον αφορά τα λιμνάζοντα νερά τα οποία συναντώνται κατά τους χειμερινούς μήνες εντός των τάφων προτείνεται η χρήση συστημάτων καναλιών που θα οδηγούν εκτός του χώρου τα νερά και θα καλύπτονται με χαλίκι. Το χαλίκι θα προέρχεται από την θραύση του δομικού λίθου με στόχο να μην υποβαθμίζεται η εικόνα του μνημείου. Τέλος παρατίθενται περαιτέρω προτάσεις για μελέτη και προστασία του μνημείου.

ABSTRACT

The archaeological site "Tombs of the Kings" is located in Paphos, southwest Cyprus. The site is included in UNESCO'S World Cultural Heritage list. The Tombs of the Kings are rock-hewn burial monuments (entirely cut into the native rock) and are considered as one of the most important ancient surviving monuments, since it is one of the few examples of Hellenistic architecture that can be seen in Paphos. Yet, the archaeological site, from the Hellenistic to Roman era, was also used as a quarry providing building stone for the construction of several ancient buildings in the area of Paphos, a parameter that, along with certain natural phenomena, may have affected the stability of the monument.

This paper has two main focal points. The first one is the geotechnical investigation of the rock-mass in order to examine the stability of the excavations of the burial monuments. The second point pertains to the classification of the rock mass from the petrological perspective through its histological and mineralogical quality, so that the same or similar kind of building stones may be used in case of maintenance or restoration of the monument.

During the field study the main tectonic discontinuities were measured in order for the stability and the behavior of the underground excavations and those on the surface to be studied. Subsequently, all the existing inexpediencies were identified and studied, which are related to the quality of the limestone material on which the graves are hewn both on the colonnade patio and the underground openings on the inside of the natural rock. In the meantime, there was an attempt to interpret on a theoretical basis the places of detriment which are encountered in the wider area of the monument.

The sample taken for the purposes of the study was used in two ways. Firstly, for the determination of the parameters of shear strength, cohesion and friction angle. The identification of parameters was conducted using the test of the direct shearing under Papaliangas criterion. A dry and a liquid test were conducted with (upright voltage) 5,50,75,140 kPa and 0,50,75,100 kPa respectively. All tests were performed on a single sample. Secondly, for the construction and observation of thin-glossy sectional order under electron microscopy. The aim of this observation was to study the rocks from the mineralogical and histological perspective so as to classify them according to Folk's (1959) and Dunham's (1962) criteria. Furthermore, the observation aimed

at determining qualitatively and quantitatively the mineralogical composition of the sample by the method of X-ray diffractometry (XRD).

The microscopic observation of the sample was performed by the construction and observation of the thin-glossy incision with electronic microscope. The sample under study is characterized microscopically biogenic limestone. The result of the observation is the characterization of rock as Biosparite according to Folk (1959) and Coccolith according to Dunham (1962). Since the method of X-ray diffractometry (XRD) proved that the test sample consists of calcite in an amount of 95.7 wt%, 3.75 wt% quartz and clay minerals at a rate of 0.50 wt %.

The stability and the behavior of surface and subsurface excavations was studied through the combination of the measurements of the discontinuities and the determination of the parameters of shear strength of the discontinuities, using Rocscience 6.0 programs. The Dips 6.0 software with the parameters of shear strength of discontinuities was used for the kinetics analysis. For the stability analysis, the following software was used: Rockplane 6.0 for planar faults, the Swedge 6.0 for the wedge failure, the RockTopple 1.0 for the toppling failures. The result of the test is the discovery of locations where planar and wedge failures can be displayed, namely on the south side of the Quarry 3 and the south side of the Quarry 4.

Furthermore, the rock mass was geotechnically classified according to the Geological Strength Index (GSI), so as to evaluate the quality of the formation. The GSI index depends on the estimation of the structure of the rock mass and the condition of the surfaces of the discontinuities. These characteristics of the rock mass are studied macroscopically. The rock-mass was classified according to the GSI diagram for the limestone rocks. The price that was given to the under-study rock-mass belongs to the type A price range.

The suggested protection measures serve two purposes: the first one aims at not degrading the image of the monument and the second one aims at protecting it. In respect to the attainment of the stability of the slopes, two measures are proposed: first of all, the use of gabion, the mesh of which should be painted in the color of the rock, and secondly, the rock that is going to be used should be from the surrounding area. Concerning the impacts of the the emergence of honeycombed detriment which is related to the crystallization of the salts, the following measure is suggested: acrylic polymer in the form of water suspension should be applied on the natural slopes of the quarries, via the method of sprinkling. The form of water suspension is preferred since in this case the cohesion of granules per minute is increased forming a thin impenetrable layer on the surface of the slope. As a result, its resistance against abrasion is increased, as well as its resistance against water and air erosion without marring the physical appearance of the slope.

1.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ - ΣΚΟΠΟΣ

Κύριο αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, αποτελεί η τεχνικογεωλογική διερεύνηση των σχηματισμών για την ευστάθεια τόσο των υπόγειων θαλάμων που αντιστοιχούν στα ταφικά μνημεία, όσο και των επιφανειακών τμημάτων που αντιστοιχούν στα λατομεία, τα οποία συνθέτουν τον αρχαιολογικό χώρο των «Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο, στην νοτιοδυτική Κύπρο.

Ο ευρύτερος αρχαιολογικός χώρος έχει λειτουργήσει από τα ελληνιστικά έως και τα ρωμαϊκά χρόνια ως λατομική περιοχή και έχει υποστεί εκτεταμένη απόληψη δομικών λίθων για την κατασκευή διάφορων αρχαίων κτιρίων του ευρύτερου χώρου της Πάφου, γι' αυτό θα χαρακτηριστούν ιστολογικά και ορυκτολογικά τα πετρώματων, με σκοπό την πετρολογική τους ταξινόμηση.

Η εργασία πραγματεύεται δυο αντικείμενα. Το πρώτο αφορά την τεχνικογεωλογική διερεύνηση της βραχώμαζας για την ευστάθεια των εκσκαφών στα ταφικά μνημεία του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο. Ο δεύτερος στόχος είναι ο χαρακτηρισμός ιστολογικά και ορυκτολογικά των πετρωμάτων.

Στο πλαίσιο της τεχνικογεωλογικής μελέτης της βραχώμαζας θα πραγματοποιηθεί αναγνώριση και η εξέταση όλων των υφιστάμενων αστοχιών που σχετίζονται με την ποιότητα των ασβεστολιθικών υλικών, στα οποία βρίσκονται οι τάφοι τόσο στο περίστυλο αίθριο όσο και στα υπόγεια ανοίγματα εντός του φυσικού βράχου. Από της μετρήσεις του προσανατολισμού των βασικών τεκτονικών ασυνεχειών του βράχου που πάρθηκαν και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της δοκιμής της άμεσης διάτμησης από την οποία θα προκύψουν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής, η συνοχή και η γωνία τριβής των ασυνεχειών, θα επιτευχθεί ο στόχος της ανάλυσης της ευστάθειας και της συμπεριφοράς των υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών υπό στατικές και δυναμικές συνθήκες ώστε να προταθούν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας για το μνημείο.

Μέσω της κατασκευής και παρατήρησης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της λεπτής-στιλπνής τομής θα γίνει η ορυκτολογική, ιστολογική μελέτη και η τελική ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Folk (1959) και Dunham (1962). Επιπροσθέτως, θα γίνει ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος μέσω της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων -X (XRD). Μέσω αυτής της μελέτης θα ταξινομηθεί πετρολογικά το υπό εξέταση πέτρωμα ώστε σε κάθε προσπάθεια συντήρησης ή

αποκατάστασης να χρησιμοποιούνται ίδιοι ή παρόμοιων χαρακτηριστικών δομικοί λίθοι.

1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την επίτευξη των στόχων της διπλωματικής εργασίας συγκεντρώθηκε αρχικά βιβλιογραφικό υλικό που αφορά την γεωλογία, την τεκτονική, το κλίμα και την υδρολογία και υδρογεωλογία καθώς και η ιστορική πορεία του μνημείου τόσο της ευρύτερης περιοχής της Κύπρου όσο και της στενής περιοχής της Πάφου και του αρχαιολογικού χώρου των Τάφων των Βασιλέων.

Επίσης, στην βιβλιογραφική ανασκόπηση εντάσσεται και η μελέτη των φαινομένων της διάβρωσης και της αποσάθρωσης των υλικών ενός μνημείου. Μέσω αυτής εντοπίστηκαν και ερμηνεύτηκαν οι θέσεις φθοράς που συναντώνται στον ευρύτερο χώρο του μνημείου.

Για την μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος κατασκευάστηκε και παρατηρήθηκε στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο λεπτή-στιλπνή τομή. Σκοπός της μικροσκοπικής παρατήρησης αποτελεί η ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη και η τελική ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Folk (1959) και κατά Dunham (1962).

Για την μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) πάρθηκε αντιπροσωπευτικό υλικό από το εξεταζόμενο δείγμα, το οποίο κονιοποιήθηκε με το χέρι σε αχάτινο γουδί, σε μέγεθος κόκκων $<20 \mu\text{m}$. Στην συνέχεια, το κονιοποιημένο δείγμα τοποθετήθηκε σε ειδικές αντικειμενοφόρες πλάκες και δημιουργήθηκε το παρασκεύασμα κόνεως, τυχαίου προσανατολισμού. Σκοπός της μεθόδου είναι ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος.

Όσον αφορά την μελέτη των τεχνικογεωλογικών συνθήκων του μνημείου πάρθηκαν αρχικά οι μετρήσεις των βασικών τεκτονικών ασυνεχειών της βραχώμαζας και στην συνέχεια μετά από την εργαστηριακή δοκιμή της άμεσης διάτμησης προσδιορίστηκαν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής δηλαδή η συνοχή και η γωνία τριβής των ασυνεχειών σε ξηρή και υγρή δοκιμή. Από τον συνδυασμό των μετρήσεων των τεκτονικών ασυνεχειών και τον προσδιορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής με την χρήση των προγραμμάτων της Rocscience 6.0 μελετήθηκε η ευστάθεια και η συμπεριφορά των εκσκαφών.

Στην συνέχεια διερευνώνται τα μέτρα προστασίας και στήριξης των ταφικών μνημείων έναντι των παραπάνω μηχανισμών. Τα μέτρα προστασίας τα οποία προτείνονται έχουν γνώμονα την διατήρηση της εικόνας του αρχαιολογικού χώρου καθώς και την προστασία του μνημείου. Τέλος παρατίθενται περαιτέρω προτάσεις για μελέτη και προστασία του μνημείου.

1.3 ΔΟΜΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Το θέμα της παρούσας διπλωματική εργασία έχει τίτλο «Τεχνικογεωλογική θεώρηση για την ευστάθεια των βραχωδών υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών, καθώς και χαρακτηρισμός των λατομικών υλικών του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο, ΝΔ, Κύπρος».

Η δομή της εργασίας αποτελείται από τα παρακάτω έντεκα κεφάλαια. Αρχικά, το Κεφάλαιο 1 αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο της εργασίας. Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται τα ιστορικά στοιχεία της περιοχής της Πάφου και του αρχαιολογικού χώρου των Τάφων των Βασιλέων. Στο Κεφάλαιο 3 παρατίθεται συνοπτικά η γεωλογία της Κύπρου καθώς και τα τεκτονικά, σεισμικά και υδρολογικά, υδρογεωλογικά στοιχεία της Κύπρου με ιδιαίτερη έμφαση στην νοτιοδυτική πλευρά του νησιού στην οποία βρίσκεται η περιοχή της Πάφου.

Στο Κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά σε δυο φαινόμενα που επηρεάζουν τα μνημεία την Διάβρωση και την Αποσάθρωση ενώ παρατίθενται και θέσεις φθοράς που παρατηρήθηκαν στο μνημείο και τον ευρύτερο αρχαιολογικό χώρο.

Στο Κεφάλαιο 5 αναπτύσσονται οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου (ΜΚΕ) που χρησιμοποιούνται σήμερα βρίσκοντας εφαρμογή σε πολλά πεδία της επιστήμης εστιάζοντας σε όσες αφορούν την μελέτη της ποιότητας, της διάβρωσης και αποσάθρωσης της βραχώμαζας.

Στο Κεφάλαιο 6 παρουσιάζεται η γεωλογία της στενής περιοχής μελέτης. Στο Κεφάλαιο 7 παρουσιάζεται η μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος καθώς και η μελέτη και τα αποτελέσματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων Χ (XRD). Στο Κεφάλαιο 8 πραγματοποιείται η τεχνικογεωλογική μελέτη του μνημείου μέσα στην οποία εντάσσεται η μικροτεκτονική ανάλυση της βραχώμαζας, η εύρεση της διατμητικής αντοχής μέσω της εργαστηριακής δοκιμής της άμεσης διάτμησης καθώς και ταξινόμηση της βραχώμαζας στο σύστημα ταξινόμησης GSI.

Στο Κεφάλαιο 9 πραγματοποιείται η κινηματική ανάλυση καθώς και η ανάλυση της ευστάθειας του μνημείου. Στο Κεφάλαιο 10 αναφέρονται τα προτεινόμενα μέτρα υποστήριξης και προστασίας του μνημείου. Στο Κεφάλαιο 11 γίνεται αναφορά στα συνολικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την διπλωματική εργασία



2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ήδη από την εποχή του Ομήρου έχει επικρατήσει για τους Έλληνες το όνομα Κύπρος για να κοσμήσει το νησί της Αφροδίτης. Το όνομα Κύπρος μεταδόθηκε στη συνέχεια σε όλους τους παρακείμενους λαούς, αλλά δεν αποτελούσε ούτε το πρώτο ούτε και το μοναδικό όνομα της νήσου. Στα αιγυπτιακά μνημεία του Τούθμωση Γ' (1500 π.Χ.) η Κύπρος φέρεται με το όνομα Asebi ή JsJ. Στο ψήφισμα της Κανώπου (238 π.Χ.) αναφέρεται με το όνομα Sbjn, ενώ στους πήλινους πίνακες του Τελ ελ Αμάρνα εμφανίζεται με το όνομα Alasia.

Το ελληνικό όμως όνομα Κύπρος συναντάται τόσο στα κείμενα της Ιλιάδας όσο και της Οδύσσειας. Επίσης, το όνομα Κύπρις φέρεται ως επίθετο της θεάς Αφροδίτης. Η αρχαιότερη επιγραφή που φέρει το όνομα Κύπρος ανάγεται στο 459 π.Χ.. Επιπλέον, πολλά αρχαία προσωπικά ονόματα φέρονται συνδεδεμένα με το όνομα Κύπρος, όπως για παράδειγμα Αριστόκυπρος, Αριστοκύπρα, Θεμιστοκύπρα, Κυπραγόρας, Φιλόκυπρος κ.ά. (filmingincyprus.gov.cy).

Η Κύπρος βρίσκεται στο βορειοανατολικό άκρο της ανατολικής λεκάνης της Μεσογείου. Έχει έκταση 9.251 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με μέγιστο μήκος 240 χιλιόμετρα και μέγιστο πλάτος 100 χιλιόμετρα. Η περιοχή της Πάφου στην οποία βρίσκεται το υπό μελέτη μνημείο των «Τάφων των Βασιλέων» βρίσκεται στη νοτιοδυτική ακτή του νησιού. Στο παρόν κεφάλαιο θα αναπτυχθούν τα ιστορικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής του μνημείου καθώς και του ίδιου.

Η νεκρόπολη της Νέας Πάφου συναντάται στο βόρειο και ανατολικό τμήμα της πόλης, έξω από τις οχυρώσεις. Το βόρειο τμήμα αυτής της μεγάλης νεκρόπολης είναι γνωστό ως οι «Τάφοι των Βασιλέων» και καλύπτει μια έκταση 1.2 τ.χλμ. περίπου. Η βόρεια νεκρόπολη της Πάφου εκτείνεται σε απόσταση ενός χιλιομέτρου από τις βόρειες οχυρώσεις της πόλης και περιορίζεται στα δυτικά από τη θάλασσα και στα ανατολικά από τον κύριο δρόμο Κάτω Πάφου – Ακάμα.

Το όνομά τους οφείλεται στη μεγαλοπρέπεια των ταφικών μνημείων και την αρχαιοπρέπεια που εκπνέει ο δωρικός ρυθμός που εμφανίζεται σε μερικά από αυτά. Οι Τάφοι των Βασιλέων φαίνεται ότι αποτελούσαν χώρο ταφής υψηλόβαθμων αξιωματούχων και μελών της αριστοκρατίας της πρωτεύουσας της Κύπρου υπό το κράτος των Πτολεμαίων. Οι περίφημοι «Τάφοι των Βασιλέων» αποτελούν τμήμα του Αρχαιολογικού Πάρκου της Κάτω Πάφου, έναν από τους πιο σημαντικούς αρχαιολογικούς χώρους της Κύπρου, ο οποίος έχει συμπεριληφθεί στον κατάλογο Παγκόσμιας Πολιτιστικής Κληρονομιάς της ΟΥΝΕΣΚΟ από το 1980.

Το νεκροταφείο ήταν σε χρήση από την ελληνιστική μέχρι τη ρωμαϊκή εποχή (2ος π.Χ. αι.-2ος αι. μ.Χ.). Οι τάφοι χρησιμοποιήθηκαν και από τους πρώτους

χριστιανούς, ενώ μερικοί από αυτούς, αφού τροποποιήθηκαν κατάλληλα, χρησιμοποιήθηκαν και κατά το Μεσαίωνα ως χώρος διαμονής. Παράλληλα ο χώρος αποτελούσε ένα διαχρονικό λατομείο.

Φυσικά η σύλληψη των «Τάφων των Βασιλέων» άρχισε ήδη από το 19ο αιώνα. Οι ανασκαφές ξεκίνησαν κατά την περίοδο 1915-16, ενώ συνεχίστηκαν με διακοπές από το 1937 μέχρι το 1951, ενώ από το 1977 άρχισε η συστηματική ανασκαφική έρευνα της νεκροπόλεως, μέχρι το 1990.

Στο χώρο συναντώνται μνημειακοί υπόγειοι τάφοι διαφόρων τύπων σκαλισμένοι από στερεό βράχο: υπάρχουν απλοί λακκοειδείς σκαμμένοι στο βράχο, θαλαμοειδείς που αποτελούνται από το δρόμο και από έναν ή δύο ταφικούς θαλάμους που περιέχουν νεκρικές θήκες και τάφοι με περίστυλο αίθριο. Αυτοί είναι και οι πιο εντυπωσιακοί. Αποτελούνται από μια μεγάλη υπόγεια υπαίθρια αυλή ορθογώνιου σχήματος, λαξευμένη στο φυσικό βράχο. Οι στοές που περιβάλλουν την αυλή υποβαστάζονται από ασβεστολιθικούς κίονες δωρικού ρυθμού. Οι νεκρικοί θάλαμοι και οι νεκρικές θήκες είναι λαξευμένοι στις πλευρές των στοών. Υπάρχουν πολλά στοιχεία που οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι τάφοι αυτοί έφεραν τοιχογραφίες, κατά το πρότυπο των αντίστοιχων τάφων της Μακεδονίας, τόπου καταγωγής των Πτολεμαίων (www.visitcyprus.com).

2.2 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ

Η πόλη της Πάφου είναι μια από τις έξι πόλεις της Κύπρου και αποτελεί πρωτεύουσα της επαρχίας Πάφου. Γεωγραφικά ανήκει στα νοτιοδυτικά παράλια του νησιού. Συνορεύει με τις επαρχίες Λευκωσίας και Λεμεσού στα ανατολικά. Υπήρξε από τα αρχαία χρόνια σημαντικό βασίλειο της Κύπρου ενώ αποτέλεσε πρωτεύουσα του νησιού για περίπου έξι αιώνες.

Από αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία έχουν συναντηθεί σε πολλές τοποθεσίες της επαρχίας φανερώνεται ότι κατοικείται ήδη από την Χαλκολιθική εποχή (3900-2500 π.Χ.). Η Παλαιοπάφος αποτελεί την παλαιότερη πόλη της Πάφου που κατοικήθηκε. Ιδρύθηκε πριν την 2η χιλιετηρίδα π.Χ. ενώ, υπήρξε έδρα του βασιλείου της Πάφου καθώς και το σπουδαιότερο κέντρο λατρείας της Αφροδίτης. Η περιοχή της Παλαιοπαφου καταλάμβανε μέρος της περιοχής που συναντάται σήμερα το χωριό Κούκλια.

Κατά τα Ελληνιστικά και Ρωμαϊκά χρόνια επικράτησε η ονομασία Παλαιοπαφος με στόχο να διαφοροποιείται από τη Νέα Πάφο την οποία μετά τον 4ο π.Χ. αιώνα, ο βασιλιάς της πόλης Νικοκλής, αποφάσισε να ιδρύσει μεταφέροντας την έδρα του βασιλείου του περίπου 16 km βορειοδυτικά της Παλαιοπαφου. Η απουσία λιμανιού στη περιοχή της Παλαιοπαφου ανάγκασε το βασιλιά Νικοκλή να ιδρύσει τη νέα πόλη για να μπορέσει μέσω του εμπορίου να αναπτυχθεί το βασίλειό του.

Την περίοδο των Αραβικών επιδρομών οι κάτοικοι της Νέας Πάφου για να προστατευθούν μεταφέρθηκαν σε μια περιοχή στο εσωτερικό του νησιού η οποία αργότερα είχε ονομαστεί Κτήμα. Η ονομασία Κτήμα προέκυψε κατά τον Μεσαίωνα

(1192-1489 μ.Χ.), όπου η περιοχή στην οποία βρίσκεται η σημερινή πόλη αποτελούσε Βασιλικό Κτήμα. Η σημερινή ονομασία της περιοχής που ονομαζόταν Νέα Πάφος είναι Κάτω Πάφος, ενώ της περιοχής που ονομαζόταν Κτήμα αποτελεί η Πάνω Πάφος.

Καθώς ιδρύθηκε η Νέα Πάφου τον 4ο π.Χ. αιώνα από το βασιλιά Νικοκλή, η πόλη οχυρώθηκε με εκτεταμένα τείχη. Ο Νικοκλής υπήρξε ο τελευταίος βασιλιάς της Παλαιοπαφου αφού μετά το θάνατο του, όταν οι Πτολεμαίοι κατέλαβαν την Κύπρο, η Πάφος έγινε πρωτεύουσα ολόκληρου του νησιού, το οποίο μέχρι τότε ήταν χωρισμένο σε τέσσερις επαρχίες. Έτσι, από το πρώτο μισό του 2ου π.Χ. αιώνα αποτέλεσε ναυτική και στρατιωτική βάση. Η Πάφος παρέμεινε πρωτεύουσα της Κύπρου μέχρι και τα μέσα του 4ου μ.Χ. αιώνα. Την περίοδο αυτή η πόλη, πέρα από το γεγονός ότι ήταν το πολιτικό και διοικητικό κέντρο του νησιού είχε το προνόμιο να κόβει νόμισμα.

Κατά την Ελληνιστική περίοδο (325-50π.Χ.) έλαβε χώρα ένα νέο πολιτικό, στρατιωτικό και διοικητικό σύστημα. Αφού καταργήθηκαν οι βασιλείς, όλες οι Κυπριακές Πόλεις εντάχθηκαν στο Κοινόν Κυπρίων, σχηματίζοντας ένα είδος ομόσπονδου Κυπριακού Κράτους. Το κράτος αυτό ήταν υποτελές στο βασίλειο των Πτολεμαίων της Αιγύπτου με έδρα την Αλεξάνδρεια. Αυτό το σύστημα θέσπισε τους θεσμούς της Βουλής και του Δήμου με εκπροσώπησή τους από τους πολίτες της νησιού. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η Πάφος ήταν η πλησιέστερη πόλη προς την Αλεξάνδρεια και ότι βρισκόταν κοντά στα δάση του Τροόδους βοήθησαν στο να γνωρίσει η πόλη νέα περίοδο ακμής, η οποία συνεχίστηκε και κατά τη Ρωμαϊκή περίοδο (50-330 π.Χ.), στην οποία η Πάφος είναι ακόμα πρωτεύουσα της Κύπρου.

Καθώς χωρίστηκε η Ρωμαϊκή αυτοκρατορία σε Δυτική και Ανατολική και συμπεριλήφθηκε η Κύπρος στη Βυζαντινή αυτοκρατορία, η Πάφος δεν αποτελούσε πλέον πρωτεύουσα της Κύπρου. Νέα πρωτεύουσα ορίζεται η Κωνσταντία. Την ίδια ώρα η Πάφος, συνεχίζει την επισκοπική της έδρα και παραμένει μια σπουδαία πόλη της Κύπρου με δική της Βουλή και Δήμο.

Βασικό οχυρωματικό έργο της Πάφου, που κτίστηκε κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες του 7ου αιώνα μ.Χ., αποτελεί το φρούριο των "Σαράντα Κολώνων". Σκοπός του φρουρίου αυτού ήταν η προστασία της πόλης της Νέας Πάφου καθώς και του λιμανιού από τις αραβικές επιδρομές. Η παρακμή της Πάφου ξεκινά από τον 7ο μ.Χ. αιώνα με την αρχή των Αραβικών επιδρομών και διαρκεί ως το τέλος τους και την εκ νέου κυριαρχία της Βυζαντινής αυτοκρατορίας το 965 μ.Χ.

Περίοδο ακμής θεωρείται και η εποχή της Φραγκοκρατίας (1192-1489 μ.Χ.), κατά την οποία ενισχύεται η άμυνα της πόλης. Έγιναν διάφορα οχυρωματικά έργα και γύρω στα τέλη του 12ου αιώνα ενισχύθηκαν το φρούριο των "Σαράντα Κολώνων", το οποίο καταστράφηκε οριστικά από το σεισμό του 1222 μ.Χ., καθώς και το φρούριο στο λιμάνι. Στην δύση της Φραγκοκρατίας, κατά την περίοδο της Βενετοκρατίας (1489-1571 μ.Χ.) και κατά την περίοδο της Τουρκοκρατίας (1571-1878 μ.Χ.) η πόλη της Πάφου παρακμάζει ξανά. Το νησί τείνει στα όρια της

εξαθλίωσης, η περιοχή της Νέας Πάφου σταδιακά ερημώνεται και οι κάτοικοι μεταφέρονται προς την περιοχή Κτήμα το οποίο αναπτύσσεται όλο και περισσότερο. Στην αυγή της περιόδου της Αγγλοκρατίας το Κτήμα αποτελεί την έκτη πόλη της Κύπρου καθώς και την πρωτεύουσα της επαρχίας Πάφου.

2.3 ΙΣΤΟΡΙΚΟΙ ΣΕΙΣΜΟΙ

Ισχυροί σεισμοί έχουν πλήξει την Κύπρο πολλές φορές κατά το παρελθόν σύμφωνα με ιστορικές πηγές. Σε αρκετές περιπτώσεις οι σεισμοί είχαν καταστρέψει ολοσχερώς πόλεις και οικισμούς της. Χαρακτηριστικά παραδείγματα η Σαλαμίνα, το Κίτιο, η Αμαθούντα, το Κούριο, η Πάφος και η Λευκωσία, αλλά και πολλά άλλα χωριά υπέστησαν καταστροφές σε διάφορες χρονικές περιόδους. Από ιστορικά δεδομένα γίνεται φανερό το γεγονός ότι από το 26 π.Χ. μέχρι και το 1900 μ.Χ. έγιναν 16 καταστρεπτικοί σεισμοί, με ένταση τουλάχιστο 8 στην κλίμακα Mercalli¹.

Ο πιο καταστροφικός σεισμός στην ιστορία της νήσου, έλαβε χώρα το 76 μ.Χ. και συνέπεια αυτού ήταν η ισοπέδωση της Σαλαμίνας, του Κιτίου και της Πάφου. Πλήρης καταστροφή από σεισμό επήλθε στην Σαλαμίνα και την Πάφο ξανά το 332 μ.Χ. και το 342 μ.Χ., αντίστοιχα. Παλαιότερες αναφορές και περιγραφές για τους πολύ μεγάλους σεισμούς, κατέγραφαν μόνο οι ιστορικοί, ταξιδιώτες και μοναχοί. Τα δεδομένα ως και το τέλος του 19^{ου} αιώνα παρουσιάζουν πολλές ελλείψεις και κενά. Πιο συγκεκριμένα για τις περιόδους 80-320 μ.Χ., 400-1140 μ.Χ. και 1600-1718 μ.Χ. υπάρχει πλήρης έλλειψη στοιχείων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις ασταθείς πολιτικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στην Κύπρο και ειδικότερα σε ό,τι αφορά την περίοδο των αραβικών επιδρομών και αργότερα τη τουρκική κατοχή της Κύπρου, οι πληροφορίες που έχουν στη διάθεσή τους οι επιστήμονες, για σκοπούς στατιστικής και συγκρίσεων, είναι σχεδόν ανύπαρκτες.

Τόσο τα κενά που σημειώνονται στα στοιχεία της ιστορικής σεισμικότητας της Κύπρου όσο και η ανακρίβεια στα υπάρχοντα στοιχεία προκαλούν προβλήματα γεγονός που δεν βοηθά στο να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τη συχνότητα των σεισμών στην Κύπρο. Πάρα ταύτα, από όσα στοιχεία υπάρχουν εξάγεται το συμπέρασμα ότι από το 1500 π.Χ. μέχρι σήμερα έγιναν 30 αρκετά καταστρεπτικοί σεισμοί έντασης 8 και πλέον βαθμών στην κλίμακα Mercalli. Στατιστικά, περίπου κάθε 120 χρόνια γίνεται ένα καταστρεπτικό σεισμικό γεγονός στην Κύπρο.

¹ Η κλίμακα Μερκάλλι (Mercalli intensity scale) προσδιορίζει την ένταση του σεισμικού φαινομένου σε ορισμένη τοποθεσία. Η Κλίμακα Ρίχτερ (Richter scale) είναι μία διαδεδομένη λογαριθμική κλίμακα μέτρησης του ποσοτικού μεγέθους ενός σεισμού.

2.4. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΝΗΜΕΙΟΥ

Η ευρύτερη περιοχή της πόλης της Πάφου η οποία περιλαμβάνει και την νεκρόπολη, γνωστή ως «Τάφοι των Βασιλέων», κατοικήθηκε για πρώτη φορά κατά την Χαλκόλιθική περίοδο, όταν στα δυτικά παράλια της Κύπρου ανθούσε ο ομώνυμος πολιτισμός. Δεν έχουν εντοπιστεί στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Πάφου ίχνη της Πρώιμης, Μέσης και Ύστερης εποχής του Χαλκού. Ένα μόνο εκτενές νεκροταφείο στην τοποθεσία Ισκεντέρ που έχει χρονολογηθεί στην Γεωμετρική, Αρχαϊκή, Κλασσική και Ελληνιστική περίοδο φανερώνει την κατοίκηση αυτή την περίοδο.

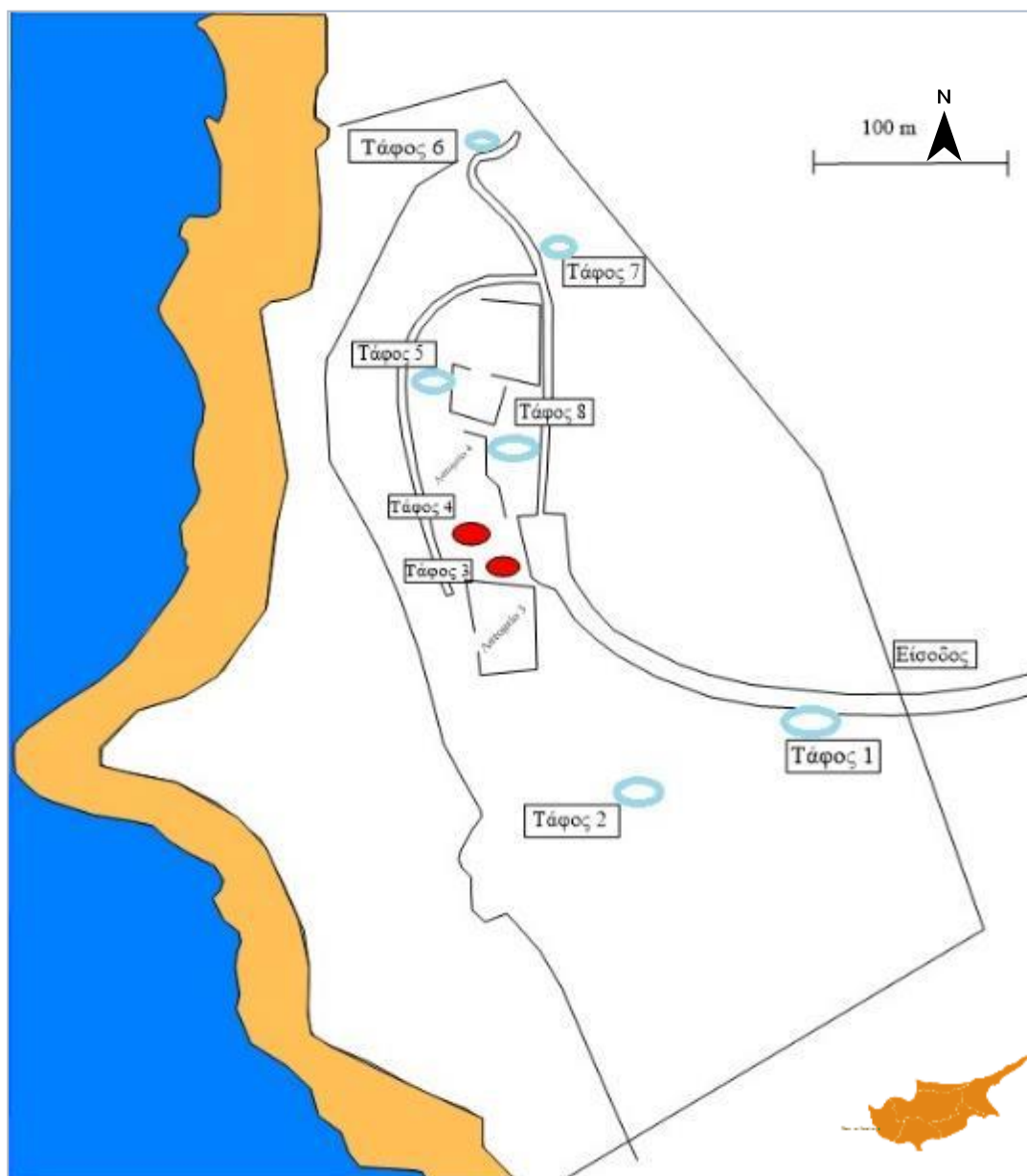
Τόσο η ανάπτυξη της πόλης όσο και η ανέγερση των οχυρώσεων της, είχε ως αποτέλεσμα την μεταφορά των νεκροταφείων έξω από τα τείχη της πόλης. Οι Πτολεμαίοι έδωσαν ιδιαίτερη σημασία στην Πάφο, εξαιτίας της θέσης της, οπου βρισκόταν απέναντι από την Αλεξάνδρεια την πρωτεύουσα της Μεσογείου. Οι στενές σχέσεις ανάμεσα στην κυπριακή πρωτεύουσα και την Αλεξάνδρεια αντικατοπτριζόταν τόσο στην αρχιτεκτονική όσο και στον τρόπο κατασκευής των ταφικών μνημείων των δυο πόλεων.

Για να είναι δυνατή η ικανοποίηση όλων των συνεχώς αυξανόμενων αναγκών του πληθυσμού σε χώρους ταφής χρησιμοποιήθηκε ολόκληρη η περιοχή που περιβάλλει την αρχαία πόλη. Η περιοχή προσφέρεται για κατασκευή λαξευτών τάφων εντός του μεγάλου πάχους ασβεστολιθικού υποβάθρου που είναι κατάλληλο τόσο για λατόμευση, όσο και για την οικοδόμηση της πόλης.

Τα προάστια της αρχαίας πόλης έχουν τα δικά τους νεκροταφεία που καταλαμβάνουν την τοποθεσία Ισκεντέρ στα ΒΔ της σημερινής πόλης της Πάφου και την τοποθεσία Βασιλικό που εκτείνεται από τις παρυφές της μέχρι και την τοποθεσία Ελληνοσπηλιοί, με τους εντυπωσιακούς τάφους με περίστυλο αίθριο στον χωριό Αναβαργός. Ξεχωριστή θέση ανάμεσα στα νεκροταφεία καταλαμβάνει ο χώρος ταφής των αξιωματούχων της Πτολεμαϊκής διοίκησης της Κύπρου, που βρίσκεται στο βορειότερο σημείο της νεκρόπολης στην θέση Παλαιόκαστρα.

Η μνημειακή όψη και μεγαλοπρέπεια των τάφων στα Παλαιόκαστρα ώθησε τους λόγιους της Πάφου κατά το δεύτερο τέταρτο του 20^{ου} αιώνα να ονομάσουν την περιοχή «Τάφοι των Βασιλέων». Η μυθοπλασία γύρω από τα μεγαλόπρεπα υπόγεια που βρίσκονται στο βορειότερο μέρος της περιοχής Παλαιόκαστρα αποτελούσε πρόκληση για τους κυνηγούς των θησαυρών, αλλά και για διάφορους περιηγητές που άφησαν κληρονομιά αξιοπρόσεκτες περιγραφές.

Η χιλιετής λατόμευση έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή της αρχικής εικόνας του μνημείου. Μια ιδέα για την πραγματική εικόνα του νεκροταφείου μπορεί να προσδιοριστεί από στο νοτιοανατολικό τμήμα στο οποίο η επέμβαση ήταν πιο περιορισμένη. Μια σειρά από τύμβους καλύπτει τα βραχώδη εξάρματα που εσωκλείουν μικρότερους θαλαμωτούς τάφους.



ΕΙΚΟΝΑ 2.1 : Σκαρίφημα του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των Τάφων 3 & 4.



ΕΙΚΟΝΑ 2.2: Απεικόνιση περιοχής μελέτης στους «Τάφους των Βασιλέων», απεικονίζονται οι Τάφοι 3&4 καθώς και τα αντίστοιχα Λατομεία. Ξεκινώντας από την αριστερή πλευρά της εικόνας παρατηρείται το Λατομείο 4 στην συνέχεια ο Τάφος 4, ο Τάφος 3 και τέλος το Λατομείο 3. Τα Λατομεία 4 και 3 ονομάστηκαν κατά αυτόν τον τόπο στα πλαίσια της μελέτης.

2.4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΦΟΥ 3

Τάφος 3

Αποτελείται από ένα μεγάλο αίθριο με περίστυλη αυλή. Είναι προσιτός μέσω καλυμμένου κλιμακοστασίου που αποτελείται από 12 σκαλοπάτια. Η κάθε πλευρά της στοάς του αίθριου υποβαστάζεται από τέσσερις κολόνες δωρικού ρυθμού που επιστεγάζονται με το ανάλογο θρίγκο.² Το επιστύλιο είναι απλό, ενώ ακολουθεί διάζωμα από τρίγλυφα και μετόπες. Κάτω από κάθε τρίγλυφο³ υπάρχει λαξευτός κανόνας και οι απαραίτητες σταγόνες.

Κάτω από την ανατολική στοά διατηρείται το μεγάλο θυρεό⁴ άνοιγμα που περιβάλλεται από λάξευμα σε σχήμα Π, προς απομίμηση των θυρωμάτων των λεγόμενων Μακεδονικών Τάφων. Το θύρωμα επικοινωνεί με μεγάλο καμαροσκέπαστο θάλαμο του οποίου το δάπεδο έχει αλλοιωθεί από τη λατομείωση. Πιθανό να διατηρούσε κλίνες για εναπόθεση νεκρών στην αρχική του χρήση. Απέναντι ακριβώς από το κεντρικό θάλαμο στο δυτικό τοίχωμα υπάρχει ο νεκρικός θάλαμος που διατηρεί αριθμό θηκών λαξευμένων στα πλευρά του. Ο θάλαμος είναι καμαροσκέπαστος και διατηρεί σε μεγάλο βαθμό το κονίαμα που αρχικά κάλυπτε όλες τις επιφάνειες του τάφου.

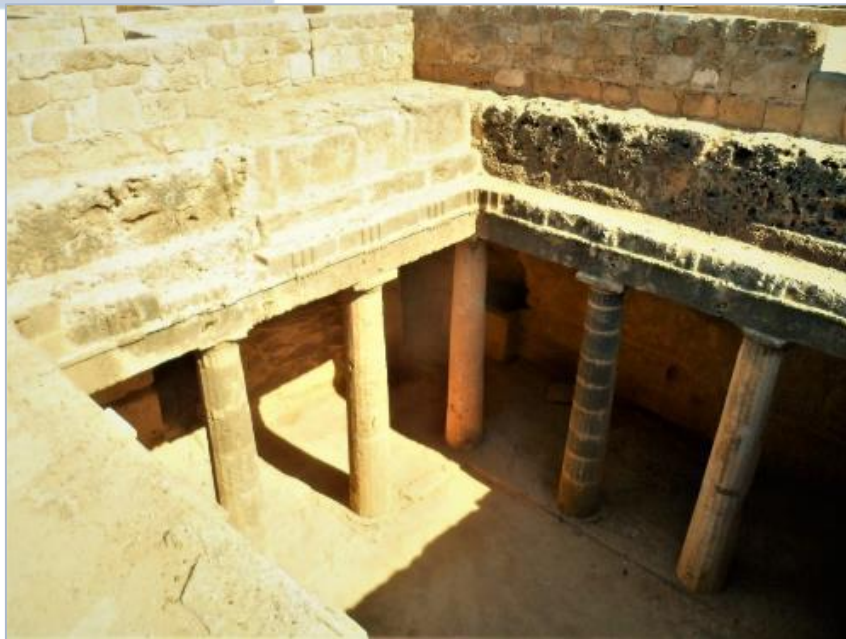
Στο βόρειο τοίχωμα κάτω από την στοά που καλύπτει και το λάκκο υπάρχει μικρή οστεοθήκη. Ένας αριθμός λακκοειδών τάφων βρισκόταν κάτω από την ανατολική και νότια στοά. Στη βορειοανατολική γωνιά του τάφου υπάρχει ένα άνοιγμα που οφείλεται σε τυμβωρύχους και οδηγεί στο θάλαμο άλλου ταφικού

² Θρίγκος : Το μέρος των αρχαίων / κλασικών κτιρίων που βρίσκεται πάνω από τους κίονες και κάτω από την σκεπή

³ Τρίγλυφο: Στοιχείο αρχαίας ελληνικής αρχιτεκτονικής. Χαρακτηριστική εμφάνιση όταν πάνω στην τετράπλευρη πλάκα ή επιφάνεια σκαλιστούν δυο μεσαία αυλάκια που ονομάζονται γλυφές και δυο λεπτότερα ακραία αυλάκια που ονομάζονται ημιγλυφές.

⁴ Θυρεός: Το κύριο μέρος οικοσμήμου που έχει σχήμα ασπίδας

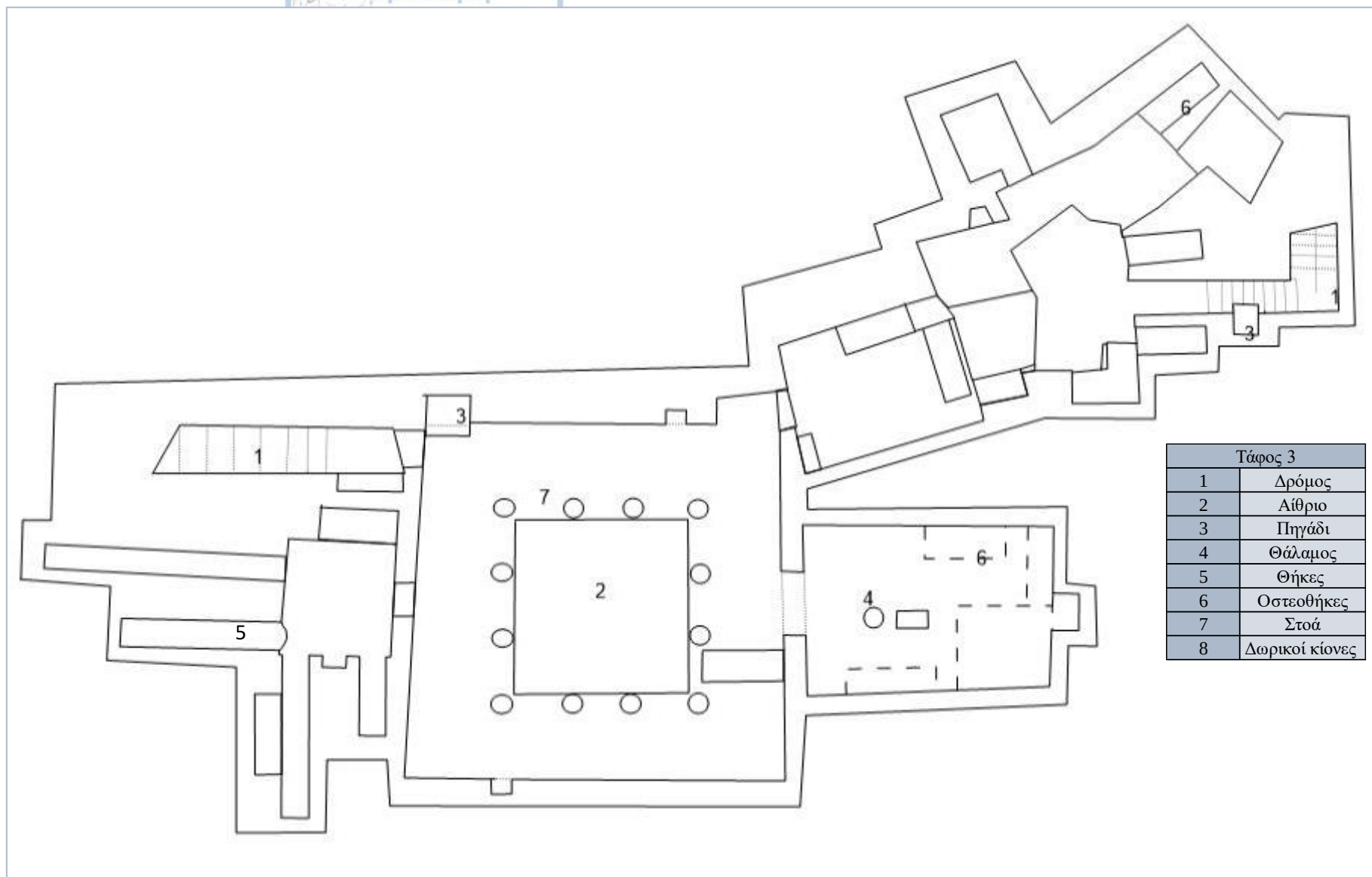
συγκροτήματος του οποίου η είσοδος βρίσκεται στα βορειανατολικά του κεντρικού τομέα.



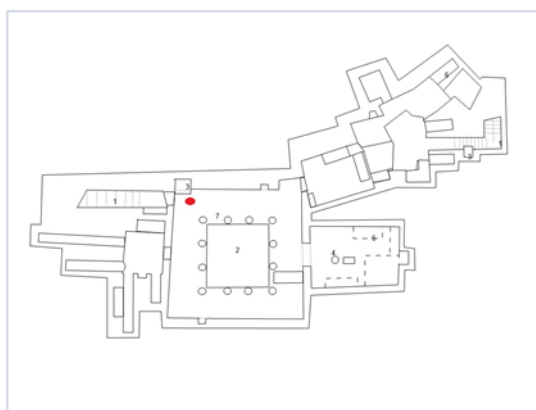
ΕΙΚΟΝΑ 2.3: Άποψη του Τάφου 3 λήψη από πάνω από την ανατολική προς την δυτική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ 2.4: Άποψη του Τάφου 3 λήψη από πάνω από την δυτική προς την ανατολική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ 2.5: Σκαριφηματική αποτύπωση της κάτοψης του Τάφου η είσοδος βρίσκεται στα αριστερά μέσω κλιμακωτού δρόμου και συμβολίζεται με τον αριθμό 1 και βρίσκεται στην βόρεια πλευρά του υπόγειου τάφου 3



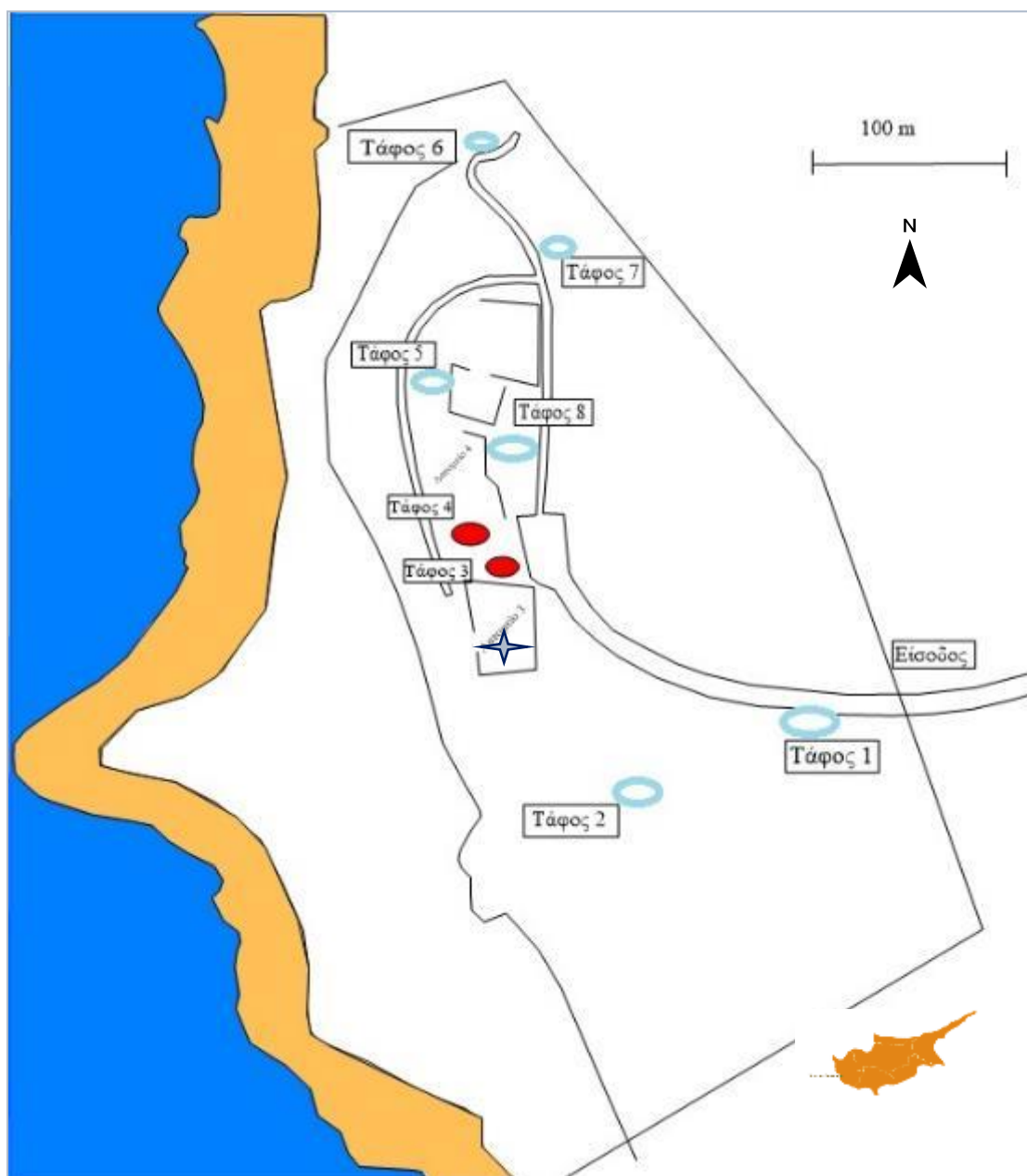
ΕΙΚΟΝΑ 2.6: Άποψη του Τάφου 3 από την δυτική είσοδο στην οποία παρατηρούνται οι Δωρικοί κίονες και το αίθριο



ΕΙΚΟΝΑ 2.7: Πανοραμική άποψη του Τάφου 3 στην οποία παρατηρούνται οι Δωρικοί κίονες, το Αίθριο καθώς και οι είσοδοι των θαλάμων της δυτικής και ανατολικής πλευράς.

Λατομείο 3

Το Λατομείο 3 ονομάστηκε κατά αυτόν τον τρόπο στα πλαίσια της εργασίας. Βρίσκεται στην νότια πλευρά του Τάφου 3 όπως φαίνεται στο παρακάτω σκαρίφημα.



ΕΙΚΟΝΑ 2.8 : Σκαρίφημα του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» με αστέρι θαλασσί τονίζεται η θέση του Λατομείου 3 ενώ με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των Τάφων 3 & 4.



ΕΙΚΟΝΑ 2.9 : Τμήμα του βόρειου πρανούς στο Λατομείου 3 λήψη από την ανατολική είσοδο



ΕΙΚΟΝΑ 2.10 : Τμήμα του βόρειου πρανούς στο Λατομείου 3 λήψη από την νότια πλευρά

2.4.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΑΦΟΥ 4

Τάφος 4

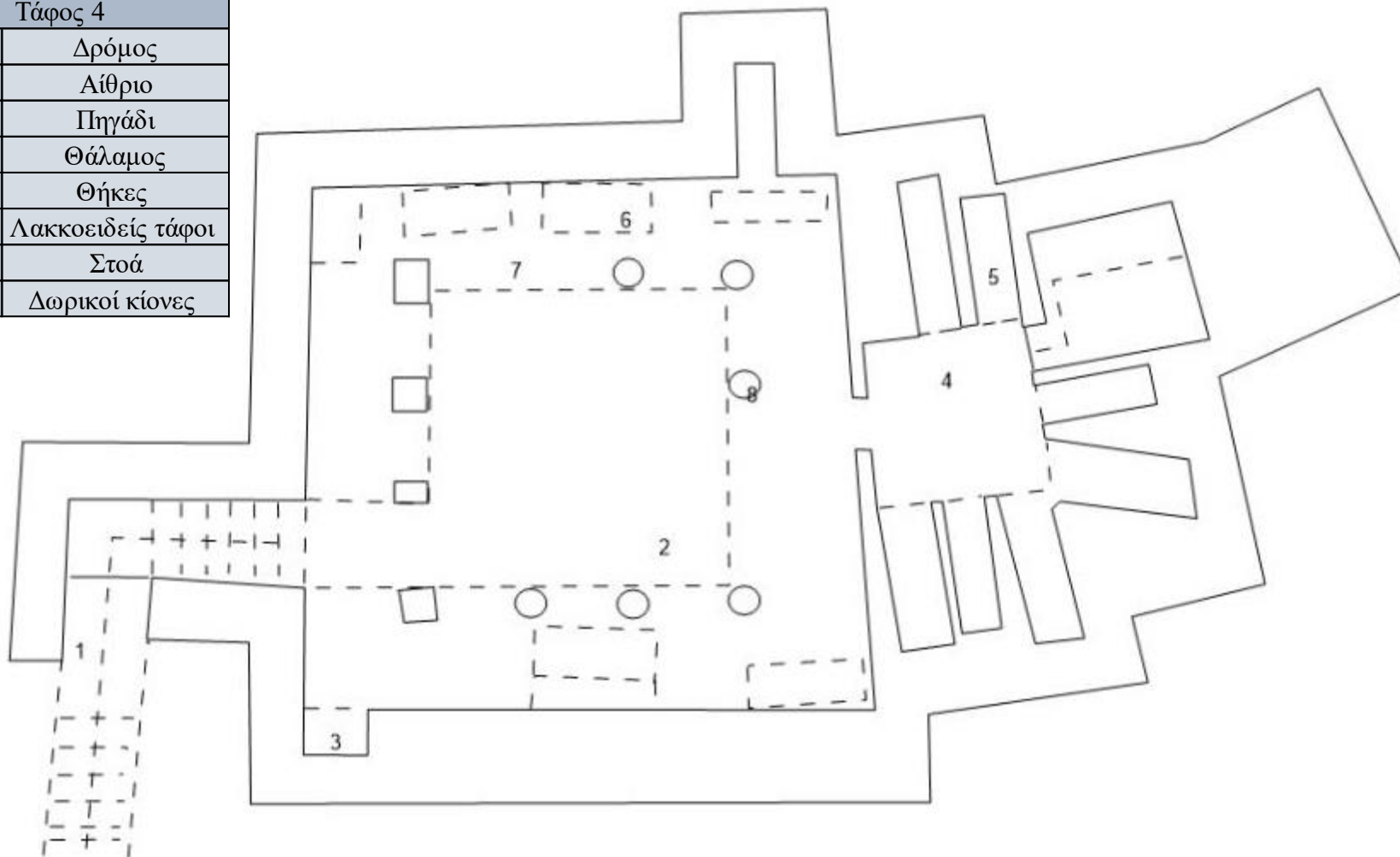
Αποτελεί τον καλύτερα διατηρημένο τάφο με περιστύλιο αίθριο. Είναι προσιτός μέσω κλιμακωτού δρόμου με 13 σκαλοπάτια. Το κλιμακοστάσιο είναι αρχικά παράλληλο με τη δυτική στοά του αίθριου και στην συνέχεια, σχηματίζει γωνία και καταλήγει στο αίθριο. Μέρος του δρόμου ήταν αρχικά στεγασμένο με πλάκες, όπως υποδηλώνει η λαξευμένη υποδοχή στην επιφάνεια του βράχου.

Στα δεξιά της κατάληξης του δρόμου κάτω από τη νότια στοά βρίσκεται ο λάκκος. Ο νεκρικός θάλαμος βρίσκεται στο κέντρο της ανατολικής στοάς και είναι προσιτός μέσω θυραίου ανοίγματος και σκαλοπατιού λαξευμένου κάτω από την στοά. Ο θάλαμος είναι εφοδιασμένος με τουνελοσχημές θήκες για απλές ταφές. Τις στοές υποbastούν ανά τέσσερις κολόνες δωρικού ρυθμού. Ο θρίγκος διατηρείται και στις τέσσερις πλευρές ενώ η επιφάνεια των στοών είναι λαξευμένη με τρόπο που υποδηλώνει την ύπαρξη κτιστών αρχιτεκτονικών μελών, πιθανότατα κάποιας σύμης για την συγκέντρωση των ομβρίων. Οι κολόνες της δυτικής στοάς είναι ασυμπλήρωτες και έχουν τη μορφή πεσσών. Στο δάπεδο κάτω από τη βόρεια και νότια στοά βρίσκονται λακκοειδείς τάφοι.

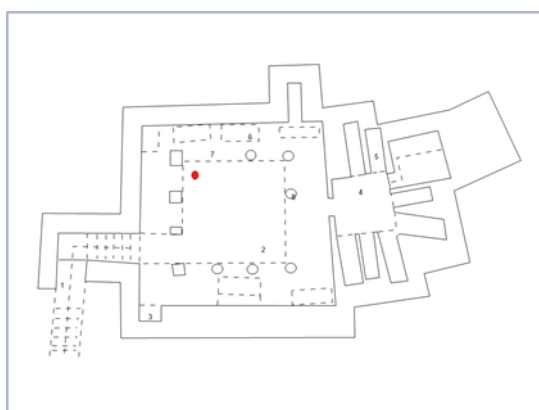


ΕΙΚΟΝΑ 2.11: Άποψη της ανατολικής πλευράς του Τάφου 4 λήψη από επάνω από την δυτική πλευρά

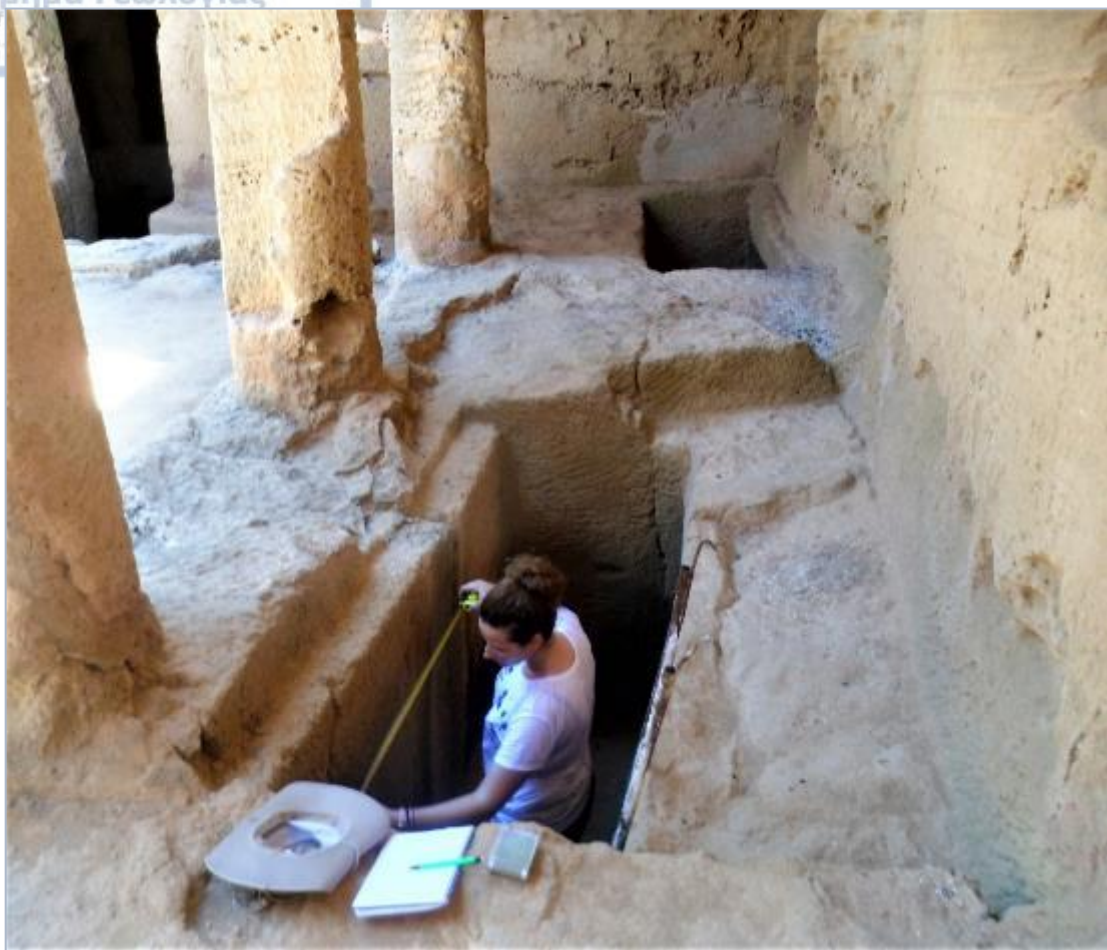
Τάφος 4	
1	Δρόμος
2	Αίθριο
3	Πηγάδι
4	Θάλαμος
5	Θήκες
6	Λακκοειδείς τάφοι
7	Στοά
8	Δωρικοί κίονες



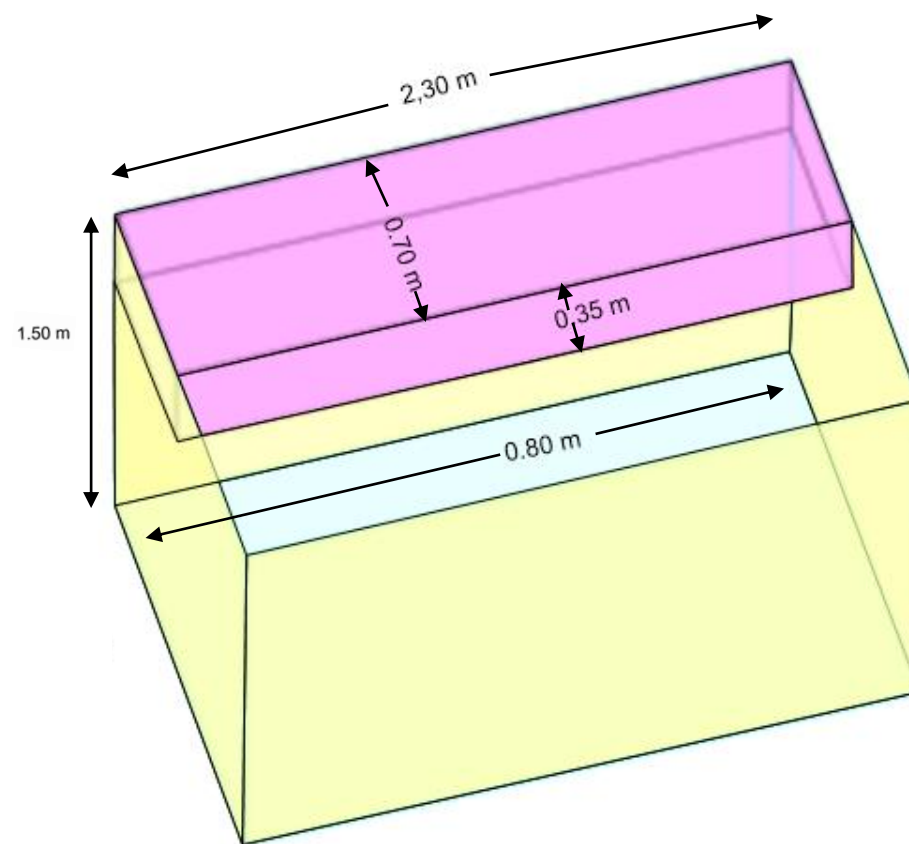
ΕΙΚΟΝΑ 2.12 : Σκαρίφημα κάτοψης τάφου 4 η είσοδος βρίσκεται στα αριστερά μέσω κλιμακωτού δρόμου και συμβολίζεται με τον αριθμό 1, οι λακκοειδείς τάφοι με τον αριθμό 6 αντιστοιχούν στην βόρεια πλευρά του υπόγειου τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 2.13: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς του Τάφου 4, λήψη από την νοτιοανατολική πλευρά. Διακρίνεται η έντονη κυψελοειδής φθορά στην τοιχοποιία όσο και η αποκόλληση τεμαχών στις κολώνες.



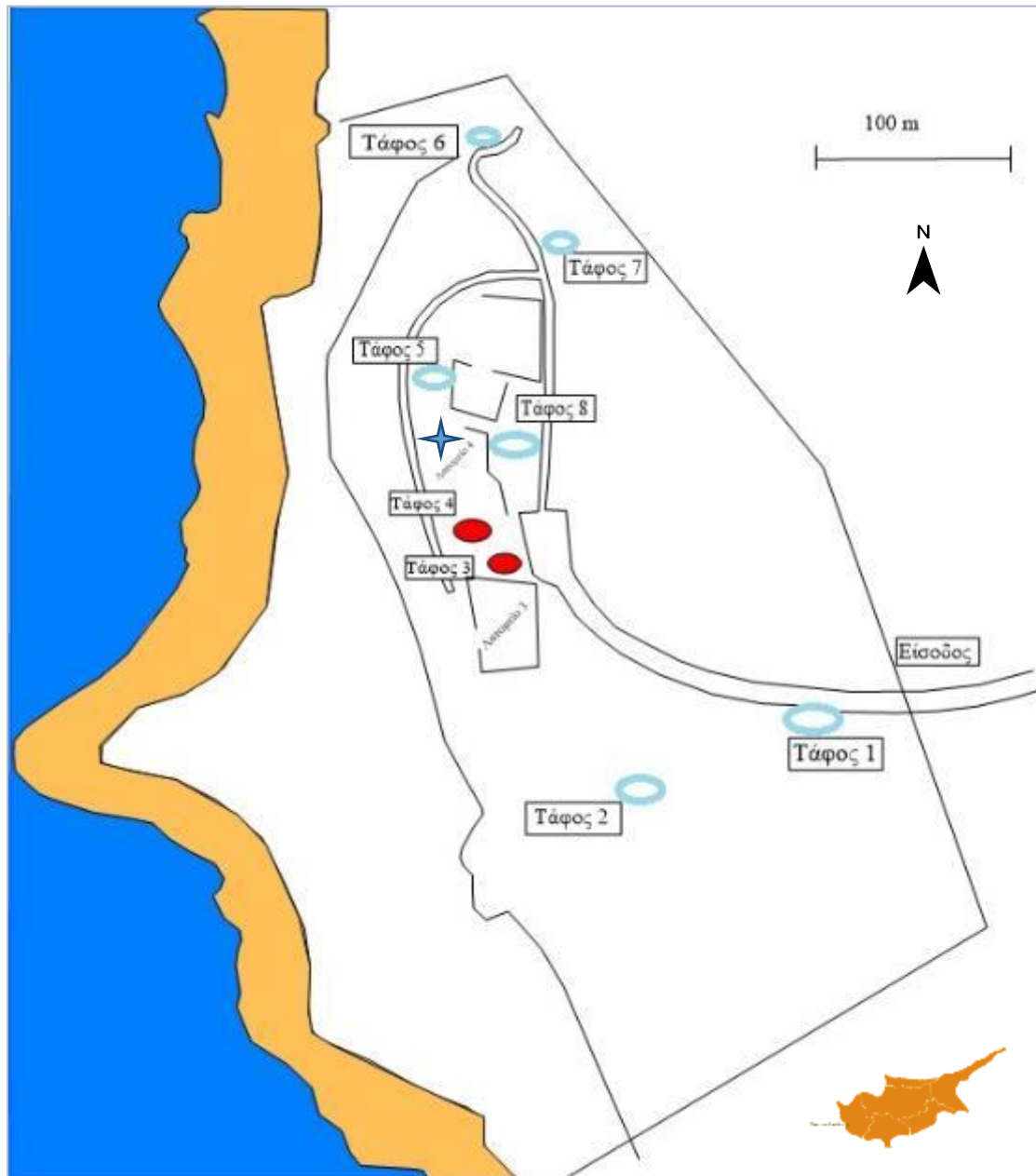
ΕΙΚΟΝΑ 2.14 : Μετρήσεις στον Λακοειδή Τάφο της νότιας πλευράς του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 2.15 : Διαστάσεις του Λακκοειδούς Τάφου της νότιας πλευράς του Τάφου 4

Λατομείο 4

Το Λατομείο 4 ονομάστηκε κατά αυτόν τον τρόπο στα πλαίσια της εργασίας. Βρίσκεται στην βόρεια πλευρά του Τάφου 4.



ΕΙΚΟΝΑ 2.16 : Σκαρίφημα του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» με αστέρι θαλασσί τονίζεται η θέση του Λατομείου 4 ενώ με κόκκινο σύμβολο τονίζονται οι θέσεις των Τάφων 3 & 4.



ΕΙΚΟΝΑ 2.17 : Πανοραμική απεικόνιση του Λατομείου 4, λήψη από την δυτική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ 2.18 : Απεικόνιση της εισόδου του Λατομείου 4, λήψη από την δυτική πλευρά. Διακρίνεται η έντονη λατόμευση καθώς και η αποκόλληση τεμάχους της δυτικής πλευράς στην είσοδο του Λατομείου



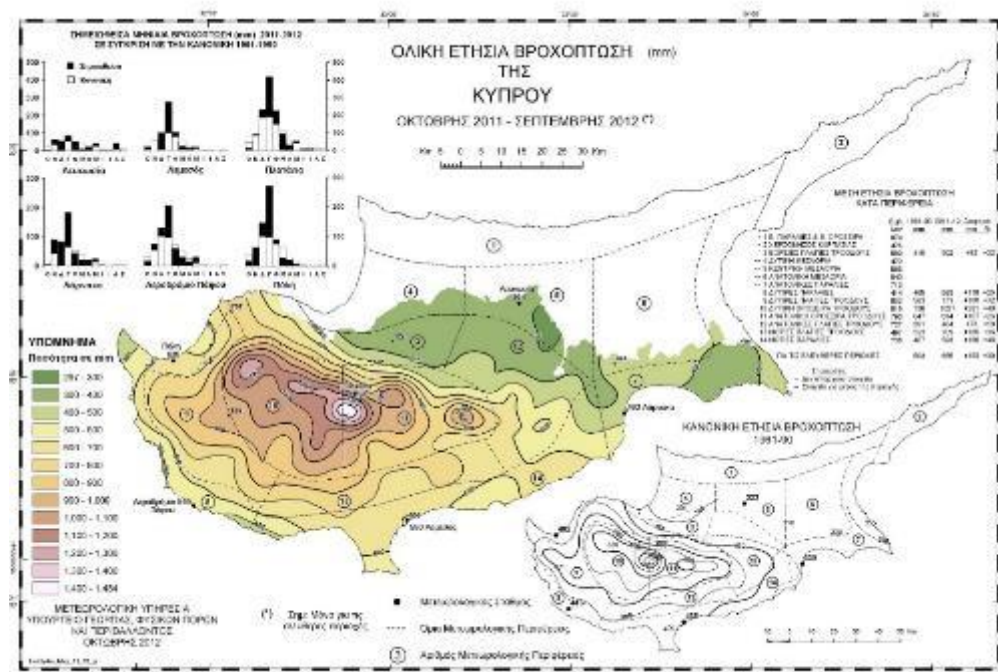
ΕΙΚΟΝΑ 2.19 : Τμήμα του βόρειου πρανούς του Λατομείου 4, εξωτερική όψη της υπόγειας βόρειας πλευράς του Τάφου 4

2.5 ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΥΠΡΟΥ

Το κλίμα της Κύπρου χαρακτηρίζεται ως Μεσογειακό δηλαδή ζεστό και ξηρό καλοκαίρι από τα μέσα του Μάη ως τα μέσα του Σεπτεμβρίου και ήπιο αλλά βροχερό χειμώνα από τα μέσα του Νοέμβριου ως τα μέσα του Μάρτη. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η Κύπρος και ολόκληρη η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου βρίσκεται κάτω από την επίδραση του εποχιακού βαρομετρικού χαμηλού. Αποτέλεσμα της επίδρασης αυτής είναι οι υψηλές θερμοκρασίες και ο καθαρός ουρανός. Η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης ολικής βροχόπτωσης του χρόνου ολόκληρου. Η συνολική μέση βροχόπτωση στους μήνες Δεκέμβρη, Γενάρη και Φλεβάρη αντιστοιχεί περίπου με το 60% της βροχόπτωσης του χρόνου ολόκληρου.

Η οροσειρά του Τροόδους και σε μικρότερο βαθμό η οροσειρά του Πενταδακτύλου παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των μετεωρολογικών συνθηκών στις διάφορες περιοχές της Κύπρου και στη δημιουργία τοπικών φαινομένων. Η παρουσία επίσης της θάλασσας που περιβάλλει το νησί είναι αιτία δημιουργίας τοπικών φαινομένων στις παράλιες περιοχές.

Στην συνέχεια, παρατίθεται η εικόνα του χάρτη της ολικής ετήσιας βροχόπτωσης ολόκληρης της νήσου της Κύπρου για την περίοδο Οκτωβρίου 2011 ως Σεπτέμβριο 2012. Στην περιοχή μελέτης παρατηρείται ότι το ετήσιο ύψος βροχής που δέχεται είναι 500 με 600 mm.



ΕΙΚΟΝΑ 2.20: Ολική ετήσια βροχόπτωση της Κύπρου την περίοδο Οκτωβρίου 2011 –Σεπτεμβρίου 2012 (www.moa.gov.cy/moa)

Θερμοκρασία Αέρα

Στην Κύπρο παρατηρείται ζεστό καλοκαίρι και ήπιος χειμώνας. Γενικά αυτή η κατάσταση διαφοροποιείται από τόπο σε τόπο από δύο παράγοντες, **1.** το ανάγλυφο που ελαττώνει τη θερμοκρασία κατά 5°C περίπου κάθε 1.000 μέτρα ύψος και **2.** την επίδραση της θάλασσας που έχει σαν αποτέλεσμα πιο δροσερό καλοκαίρι και σχετικά πιο ήπιο χειμώνα στις παράλιες περιοχές και ειδικότερα στις δυτικές. Το ετήσιο εύρος της θερμοκρασίας του αέρα είναι αρκετά μεγάλο και κυμαίνεται γύρω στους 18°C στις εσωτερικές περιοχές και γύρω στους 14°C στα παράλια.

Οι διαφορές μεταξύ της υψηλής θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας και της χαμηλότερης θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της νύχτας είναι επίσης μεγάλες κυρίως στις εσωτερικές περιοχές το καλοκαίρι. Το χειμώνα οι διαφορές αυτές είναι $8-10^{\circ}\text{C}$ στις πεδινές περιοχές και $5-6^{\circ}\text{C}$ στις ορεινές. Το καλοκαίρι αυτές αυξάνονται σε 16°C στην κεντρική πεδιάδα και σε $9-12^{\circ}\text{C}$ στις άλλες περιοχές.

Σχετική Υγρασία Αέρα

Τόσο το υψόμετρο όσο και η απόσταση από την παραλία παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα, που σε μεγάλο

βαθμό είναι ενδεικτικές των διαφορών στη θερμοκρασία του αέρα από περιοχή σε περιοχή. Στη διάρκεια της μέρας κατά το χειμώνα και σ' όλες τις νύχτες του χρόνου η σχετική υγρασία κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 65% και 95%. Τα μεσημέρια του καλοκαιριού η σχετική υγρασία κατεβαίνει πολύ χαμηλά. Στην κεντρική πεδιάδα είναι γύρω στο 30% και κατεβαίνει μέχρι και 15%.

Άνεμοι

Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου οι γενικοί άνεμοι είναι ελαφροί ως μέτριοι δυτικοί ή νοτιοδυτικοί το χειμώνα και βόρειοι - βορειοδυτικοί το καλοκαίρι. Οι πολύ ισχυροί άνεμοι θεωρούνται σπάνιοι. Στις διάφορες περιοχές της Κύπρου οι γενικοί άνεμοι τροποποιούνται από τους τοπικούς ανέμους. Οι τοπικοί άνεμοι είναι οι θαλάσσιες και απόγειες αύρες στις παράλιες περιοχές και οι αναβατικοί και καταβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές.

Οι θαλάσσιες και απόγειες αύρες παρατηρούνται σε παράλιες περιοχές και μπορούν να γίνουν αισθητές σε απόσταση ως 35 Km από την παραλία. Αυτό το σύστημα κυκλοφορίας του αέρα οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ξηράς και του νερού της θάλασσας, που δημιουργεί διαφορές στην ατμοσφαιρική πίεση πάνω από την ξηρά και τη θάλασσα. Τα αντίστοιχα φαινόμενα στις ορεινές περιοχές είναι οι αναβατικοί άνεμοι (αύρες των κοιλάδων) την ημέρα και οι καταβατικοί άνεμοι (αύρες των ορέων) τη νύχτα. Και σ' αυτή την περίπτωση η αιτία της δημιουργίας των τοπικών αυτών ανέμων είναι ο διαφορετικός βαθμός θέρμανσης ή ψύξης γειτονικών περιοχών.

Οι θαλάσσιες αύρες στις παράλιες περιοχές και οι αναβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές έχουν τη μεγαλύτερή τους ένταση κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ οι απόγειες αύρες στις παράλιες περιοχές και οι καταβατικοί άνεμοι στις ορεινές περιοχές έχουν τη μεγαλύτερή τους ένταση κατά τους μήνες του χειμώνα. Όσον αφορά την ταχύτητα οι άνεμοι στην περιοχή της Κύπρου είναι κυρίως ελαφροί ως μέτριοι. Οι ισχυροί άνεμοι με ταχύτητα 24 κόμβων και πάνω είναι μικρής διάρκειας και συμβαίνουν σε περιπτώσεις μεγάλης κακοκαιρίας. Οι πολύ ισχυροί άνεμοι (ταχύτητα ανέμου 34 κόμβοι και πάνω) είναι σπάνιοι ενώ πνέουν κυρίως στις προσήνεμες περιοχές όταν επηρεάζουν την Κύπρο συστήματα με πολύ χαμηλές πιέσεις (www.moa.gov.cy/moa).

Σημειώνονται χαρακτηριστικές αλλαγές στην κατεύθυνση του αέρα κατά την διάρκεια της ημέρας στην περιοχή της Πάφου, που είναι τυπικές των Μεσογειακών παραλίων. Ο επικρατών άνεμος κατά την διάρκεια της ημέρας είναι Δυτικός, ενώ αλλάζει σε Βορειοανατολικό κατά την διάρκεια της νύχτας. Νωρίς το πρωί υπάρχει μια ελαφριά αύρα (5-10 κόμβοι) από Βορειοανατολικά. Μέχρι τις 10:00 τον χειμώνα και μέχρι και τις 06:00 το καλοκαίρι η κατεύθυνση γίνεται δυτική – νοτιοδυτική, για να επανέλθει στις 17:00 το χειμώνα και τις 19:00 το καλοκαίρι σε βορειοανατολική.

Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στο αεροδρόμιο Πάφου είναι 7.3 κόμβοι (1983- 1993). Η μέγιστη μέση ωριαία ταχύτητα ανέμου που καταγράφηκε στον σταθμό αυτό ήταν 34 κόμβοι από δυτικά – βορειοδυτικά τον Φεβρουάριο. Η ψηλότερη στιγμιαία ταχύτητα (gust) που καταγράφηκε στο 9ΑΠ ήταν 64 κόμβοι τον Γενάρη από δυτικά - νοτιοδυτικά.

Κατεύθυνση ανέμου: Τον χειμώνα φυσούν ψυχροί άνεμοι από τα βόρεια – βορειοδυτικά και κάποτε από τα ανατολικά.

Ταχύτητα ανέμου: Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου που μετρήθηκε στο αεροδρόμιο Πάφου είναι 18m/s. Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 3,65 m/s (Proplan LDT,2009).

Κατά την διάρκεια των εργασιών στο μνημείο παρατηρήθηκε ότι στην Βόρεια πλευρά του Λατομείου 3 η κυψελοειδής φθορά του μνημείου ήταν πιο έντονη απ' ότι στο Λατομείο 4. Πιθανώς να σχετίζεται με την έκθεση του στις καιρικές συνθήκες και με την διεύθυνση που πνέουν οι άνεμοι στην περιοχή.



3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα πετρώματα τα οποία έβρισκε ο άνθρωπος στο περιβάλλον το οποίο ζούσε τα χρησιμοποιούσε για δυο βασικούς λόγους. Πρώτων την κατασκευή έργων υποδομής και διαβίωσης και δεύτερων για διακόσμηση και τέχνη. Σημαντικά κτίρια του παρελθόντος αποτελούν την πολιτιστική κληρονομιά κάθε τόπου με αποτέλεσμα τα φαινόμενα της διάβρωσης και αποσάθρωσης να αποτελούν ένα μείζον κίνδυνο και πρόβλημα φθοράς αυτών των μνημείων. Η διάβρωση και η αποσάθρωση είναι γεωλογικές διεργασίες που συμβαίνουν στη φύση και έχουν ως συνέπεια την καταστροφή του πετρώματος, ιστολογική και ορυκτολογική. Με την πάροδο του χρόνου, όπως όλα τα πετρώματα, έτσι και οι φυσικοί δομικοί λίθοι των μνημείων υπόκεινται σε τέτοιες διαδικασίες με αποτέλεσμα τη διαταραχή της συνοχής του πετρώματος.

Στην παρούσα παράγραφο περιγράφονται τα δυο αυτά καταστροφικά για τα μνημεία φυσικά φαινόμενα της Διάβρωσης και της Αποσάθρωσης, τα οποία προσβάλλουν τα υλικά-πετρώματα και δημιουργούν ανεπανόρθωτες ζημιές στα μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς.

3.2 ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Ο όρος διάβρωση περιγράφει την καταστροφή, φθορά ή και λειτουργική αχρήστευση ενός υλικού λόγω χημικής ή ηλεκτροχημικής ή μηχανικής δράσης του υλικού με το περιβάλλον. Η διάβρωση είναι μια διαδικασία η οποία συνήθως οδηγεί σε μείωση της αντοχής, αύξηση της ευθραυστότητας και απώλεια υλικού που ξεκινά εξωτερικά και βαθμιαία συνεχίζει προς το εσωτερικό του υλικού (Δ.Υφαντής,2000).

Ο γενικός ορισμός της διάβρωσης των τεχνητών υλικών I, II⁵ και των φυσικών υλικών, όπως προκύπτει από τον συνδυασμό των ορισμών που δόθηκαν στα πλαίσια; του Διεθνούς Συμβουλίου για τη Διάβρωση (International Corrosion Council), της Ευρωπαϊκής Ομοσπονδίας Διάβρωσης (European Federation of Corrosion), των RILEM, ICOMOS, UNESCO, IPAC, COIPM, είναι ο ακόλουθος :

«Διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη, ακόμη και εκβιασμένη, χημικής, ηλεκτροχημικής, φυσικής, μηχανικής, βιολογικής φύσης διεργασία αλλοίωσης της επιφάνειας [εξωτερικής και εσωτερικής (πόροι)] των υλικών, που οδηγεί σε απώλεια υλικού».

⁵ Τεχνητών υλικών I :Τα δομικά υλικά που για την παρασκευή τους οι πρώτες ύλες έχουν υποστεί από τον άνθρωπο αλλοιώσεις της χημικής και κρυσταλλικής σύστασης και δομής των μορίων τους (μέταλλα και κράματα)

Τεχνητών υλικών II : Τα υλικά αυτά τα οποία δεν προέρχονται από ένα συγκεκριμένο πέτρωμα, μέταλλευμα ή ορυκτό. (Τσιμέντα, Κονιάματα, Σκυρόδεμα, Γυαλιά, Τούβλα, Κεραμίδια)

Πιο απλά, είναι «η διαδικασία της αλλοίωσης της σύστασης ή της μορφής των υλικών στο πέρασμα του χρόνου». (Θ. Σκουλικίδης, 1994)

Η διάβρωση μπορεί να διακριθεί σε **αυθόρμητη** και **εκβιασμένη**.

➤ Η **αυθόρμητη** αλλοίωση έχει εδώ τη θερμοδυναμική έννοια του αυθόρμητου φαινομένου χωρίς περιορισμό ως προς τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (σε συνθήκες περιβάλλοντος), αλλά περιέχει και την έννοια της εκδήλωσης του φαινομένου σε καθαρό φυσικό περιβάλλον, σε αντιδιαστολή με ρυπασμένο περιβάλλον.

➤ Η **εκβιασμένη** διάβρωση είναι εκείνη που επιβάλλεται: από έντονες μη φυσιολογικές συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες από φωτιά, ραδιενέργεια, εκρήξεις κ.α.), από ρυπαντές στον αέρα, στο έδαφος, στη θάλασσα, στα ποτάμια και στις λίμνες, από ηθελημένη επιβολή έντονων διαβρωτικών συνθηκών, από απότομες αλλαγές των συνθηκών του περιβάλλοντος (όπως είναι η απότομη επαφή ταφικών ευρημάτων με τον αέρα και η απότομη πλύση υποθαλάσσιων ευρημάτων με απιονισμένο νερό, και από κακές επεμβάσεις. Η εκβιασμένη διάβρωση είναι προφανώς εντονότερη και ταχύτερη της αυθόρμητης. (Σκουλικίδης, 1994)

Με τον όρο επιφάνεια χαρακτηρίζεται όχι μόνο η γεωμετρική επιφάνεια του σχήματος του υλικού, αλλά και η πραγματική σε συνδυασμό με τις επιφανειακές ανωμαλίες, τους πόρους, τα ενεργά κέντρα και τους ενεργούς δρόμους που προκαλούνται από αταξίες της δομής. Όμως θα πρέπει να γίνει σαφές ότι μόνο αυτή η επιφάνεια είναι έδρα των φαινομένων της διάβρωσης και όχι ολόκληρη η μάζα του σώματος που διαβρώνεται.

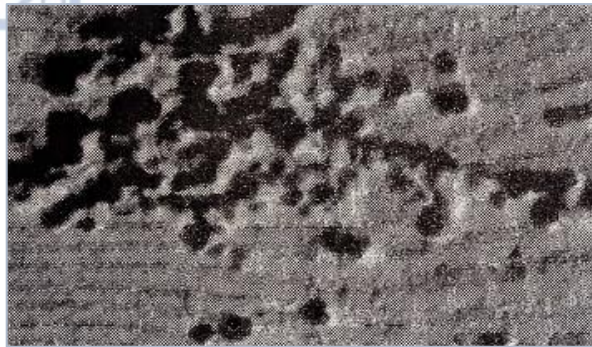
Σύμφωνα με τον ορισμό, ως συνέπεια της διάβρωσης, είναι η απώλεια υλικού, διευκρινίζεται ότι αυτό δεν σημαίνει πάντοτε ότι ελαττώνεται το βάρος του σώματος που διαβρώνεται. Ο λόγος είναι ότι υπάρχει η δυνατότητα του σχηματισμού ενώσεων στην επιφάνεια, με έντονη πρόσφυση σε αυτήν, με αποτέλεσμα την αύξηση του βάρους του υλικού. Ως απώλεια υλικού νοείται εδώ επίσης και η απώλεια ως προς την αρχική του μορφή.

Η διάβρωση μπορεί να χαρακτηριστεί ως χημικής, φυσικής ή βιολογικής φύσης και καθώς είναι συνδεδεμένη με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, σχετίζεται ακόμη και με τα χαρακτηριστικά του κάθε υλικού. Τα βασικά είδη διάβρωσης, που πραγματοποιούνται, κατά περίπτωση, στα διάφορα είδη διαβρωτικού περιβάλλοντος για τα διάφορα υλικά διακρίνονται στα ακόλουθα :

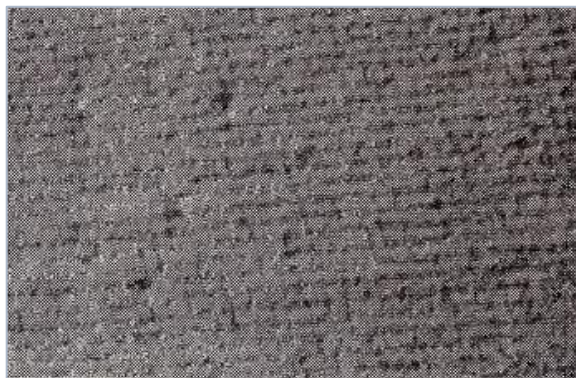
➤ **Ομοιόμορφη ή γενική διάβρωση:** Ονομάζεται η διάβρωση, όταν στην επιφάνεια του υλικού δημιουργείται ένα ομοιόμορφο, περίπου ισόπαχο, στρώμα προϊόντος διάβρωσης (λ.χ. οξείδωση στα μέταλλα, γυψοποίηση στα ανθρακικά υλικά) ή όταν πραγματοποιείται μια περίπου ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας.

➤ **Διάβρωση με βελονισμούς:** Πρόκειται για εκλεκτικό τοπικό σχηματισμό προϊόντος διάβρωσης (π.χ. αυτό που για τις πέτρες ονομάζεται και ζαχαροειδής φθορά) ακόμη και όταν, το υλικό είναι καλυμμένο με τα προϊόντα της διάβρωσης ή με «προστατευτικά υλικά». Επίσης πρόκειται για εκλεκτική τοπική

διάλυση της επιφάνειας (βελονισμοί) ή των περατωτικών ορίων των κρυστάλλων (ζαχαροειδής ή κυψελοειδής φθορά).

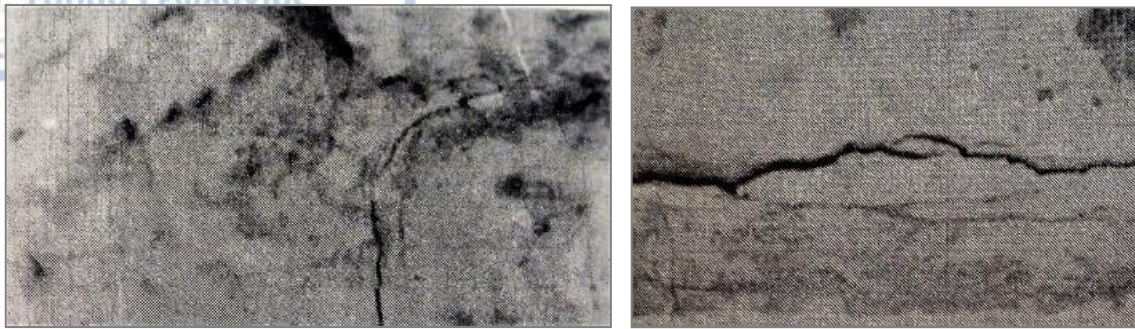


ΕΙΚΟΝΑ3.21: Εμφάνιση κυψελοειδούς φθοράς



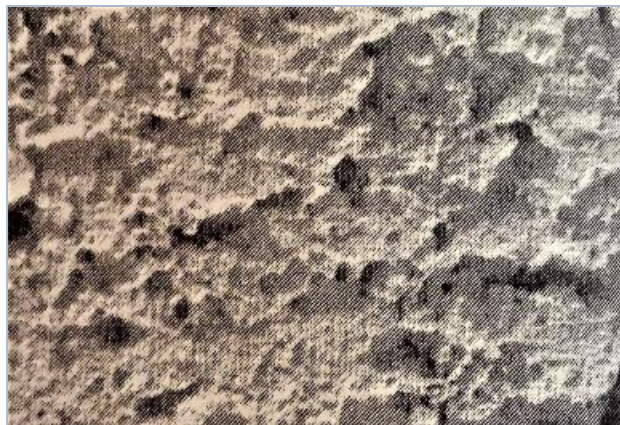
ΕΙΚΟΝΑ 3.22: Εμφάνιση ζαχαροειδής φθορά

➤ Διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση: Αυτό το είδος διάβρωσης είναι το πιο επιβλαβές από την άποψη του αποτελέσματος, οδηγώντας σε εξαιρετικά μεγάλες καταστροφές με σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις παρά την μικρή πραγματική απώλεια υλικού από διάβρωση. Όταν από διάβρωση με βελονισμούς ή μηχανικές κακώσεις δημιουργηθεί εσοχή στην επιφάνεια τμήματος ενός μνημείου, μιας μηχανής ή εγκατάστασης που καταπονείται μηχανικά (οριζόντιοι δοκοί, πρόβολοι ανυψωτικών μηχανημάτων και μηχανημάτων οδοποιίας, γέφυρες, κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα κ.λ.π.), τότε μπορεί να λάβει χώρα ψαθυρή θραύση ολόκληρου του τμήματος, ακόμη και αν η μηχανική καταπόνηση είναι μικρότερη του 10% του φορτίου θραύσης του τμήματος αυτού. Μια παραλλαγή αυτού του καταστροφικού είδους διάβρωσης είναι η θραύση από κόπωση (fatigue), εξαιτίας εναλλασσόμενης φόρτισης με συνύπαρξη ή μη διάβρωσης.



ΕΙΚΟΝΑ 3.23: Ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση, εμφάνιση ρωγμάτωσης

➤ **Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση:** Αυτό το είδος διάβρωσης είναι καθαρά μηχανικό. Κατ' αυτό, δημιουργούνται εσοχές, σπήλαια ή κρατήρες από τοπική εξάχνωση υλικού, εξαιτίας δημιουργίας υπό πίεσης. Εμφανίζεται στην περίπτωση ροής ρευστών σε σωλήνες, έντονης βροχής, ποτάμιου ρεύματος σε επαφή με μνημείο, σε πτερύγια αντλιών, ελίκων πλοίων και αεροπλάνων (Σκουλικίδης, 1994).



ΕΙΚΟΝΑ 3.24: Διάβρωση με βελονισμούς και σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση

Διάβρωση δομικών υλικών μνημείων

Η σταθερότερη μορφή της ύλης καθώς και των μητρικών πρώτων υλών των δομικών υλικών όπως τα πετρώματα, τα ορυκτά, μεταλλεύματα κι άλλα είναι η φυσική τους μορφή σε συνδυασμό με το τοπικό φυσικό περιβάλλον. Αυτές οι πρώτες ύλες βρίσκονται σε κατάσταση ισορροπίας (χημικής και φυσικής). Αν οι μητρικές ύλες υποστούν κάποιες επεξεργασίες και μετατραπούν σε δομικά υλικά για την κατασκευή μνημείων και αγαλμάτων τα δομικά αυτά υλικά είναι ενεργειακά αναβαθμισμένα.

Με τη συμβολή του νέου επιθετικού περιβάλλοντος στο οποίο τοποθετούνται, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για την προδιάθεση τους για φυσικές (μηχανικές),

χημικές, ηλεκτροχημικές και βιολογικές μεταβολές άρα την διάβρωση (φθορά) τους. Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα λόγω της εφαρμογής του 2^{ου} θερμοδυναμικού νόμου, που καθορίζει την αυθόρμητη ροή των φαινομένων προς μικρότερη ελεύθερη ενέργεια (F), ελεύθερη ενθαλπία (G), χημικό δυναμικό (μ) και μεγαλύτερη εντροπία (S) : $\Delta F < 0$, $\Delta G < 0$, $\Delta \mu < 0$, $\Delta S > 0$

Οι λίθοι που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά, διαφέρουν ως προς 1) την γεωλογική τους προέλευση 2) την σύσταση 3) τις φυσικές ιδιότητες 4) την μηχανική τους αντοχή. Από την άλλη πλευρά, λίθοι της ίδιας προέλευσης και σε φαινομενικά ίδιες συνθήκες μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή, εξαιτίας της ανομοιογένειας του φυσικού υλικού από το οποίο προέρχονται, καθώς και από τη θέση τους στο κτίριο και την ενδεχόμενη λάξευσή τους. Είναι σαφές ότι, όσο πιο έντονη είναι η κατεργασία της μητρικής ύλης για την παρασκευή των δομικών υλικών και όσο αυτά διαφέρουν από τη μητρική ύλη, τόσο πιο βίαιες θα είναι οι μεταβολές των δομικών υλικών στο ίδιο περιβάλλον και τόσο πιο έντονες οι φθορές τους. Άλλοι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται τόσο η ταχύτητα όσο και η ένταση των φθορών είναι οι ιδιότητες του υλικού, οι μηχανισμοί των δράσεων και η «επιθετικότητα» του περιβάλλοντος

Πέραν των ήπιων φυσικών δράσεων, πραγματοποιούνται και εντονότερες καταστρεπτικές μηχανικές δράσεις, που προέρχονται από την πήξη του νερού, την αναρρίχηση αλάτων, την ψηγματοβολή (αμμοβολή), τη διόγκωση των μεταλλικών συνδέσμων και σκελετών από τη διάβρωση, τη διόγκωση των αργιλοπυριτικών ενώσεων και φλεβών, τη ρηγματώση από την διαφορά των συντελεστών θερμικής διαστολής, την ανάπτυξη μακρό- και μικροφυτικών ή ζωικών οργανισμών, από κακές επεμβάσεις και από τους επισκέπτες. Επιπλέον, εμφανίζονται έντονες χημικές, ηλεκτροχημικές ή βιολογικές δράσεις που προκαλούνται από το επιθετικό περιβάλλον και οδηγούν σε αλλαγές της δομής των μορίων και του κρυσταλλικού πλέγματος των υλικών.

Οι βιολογικές περιβαλλοντικές διεργασίες, πιο συγκεκριμένα διάφορα είδη φυτικών ή ζωικών οργανισμών, έχουν την ικανότητα να προκαλούν φθορές σε όλες τις κατηγορίες των υλικών, δημιουργώντας αποικίες. Οι φθορές αυτές είναι μηχανικές δηλαδή επέκταση των ρηγματώσεων, αποκόλληση τεμαχίων στην περίπτωση που αναπτυχθούν ρωγμές. Μπορεί να είναι χημικές (οξείδωση) δηλαδή διάλυση των ασβεστόλιθων και των μαρμάρων καθώς και αισθητικές δηλαδή να εμφανίζονται ως λερωμένες επιφάνειες.

Μια επιπλέον περίπτωση αποτελεί αυτή των μικτών διεργασιών κατά τις οποίες ορισμένες φυσικές, χημικές ή ηλεκτροχημικές διεργασίες, όπως για παράδειγμα η κρυστάλλωση και ο σχηματισμός ένυδρων ή μη αλάτων, η διάβρωση των μετάλλων ή η γυψοποίηση, έχουν ως αποτέλεσμα την άσκηση μηχανικής καταπόνησης στα φυσικά υλικά συνεπώς, εμφανίζονται μικρο-ρηγματώσεις.

Συμπερασματικά οι δράσεις που οδηγούν στη διάβρωση των δομικών υλικών είναι φυσικές, μηχανικές, χημικές, ηλεκτροχημικές και βιολογικές. Οι διεργασίες αυτές εντείνονται (εκτός από ορισμένες εξαιρέσεις) ή δημιουργούνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, από τη ρύπανση και τις κακές επεμβάσεις. Βέβαια, μερικές από αυτές μπορεί να μη πραγματοποιούνται για κάποιο υλικό και να κυριαρχεί μία από τις άλλες. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθούν οι μακρο- και μικροσκοπικές συνθήκες που επιδρούν στην ταχύτητα της διάβρωσης και επηρεάζουν όλες τις παραπάνω διεργασίες.

Εξωγενείς παράγοντες δηλαδή οι συνθήκες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν την διάβρωση των δομικών υλικών των μνημείων είναι οι εξής :

i. *Είδος και συγκεντρώσεις ρυπαντών*

ii. *Θερμοκρασία,*

Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τις φυσικές, χημικές, ηλεκτροχημικές και βιολογικές διεργασίες φθοράς. Μόνο ορισμένες από τις μηχανικές διεργασίες δεν επηρεάζονται ή επιβραδύνονται.

iii. *Υγρασία*

Η υγρασία και οι βροχοπτώσεις επιταχύνουν όλες τις κατηγορίες διεργασιών που ισχύουν για κάθε υλικό.

iv. *Δι- ή τριεπιφάνειες.*

Όλα τα είδη διεργασιών που οδηγούν σε διάβρωση επηρεάζονται από τις δι- ή τριεπιφάνειες. Τέτοιες επιφάνειες αποτελούν μέταλλο-τσιμέντο, μέταλλο-κονίαμα-έδαφος, μέταλλο-τσιμέντο-αέρας, και άλλα. Η ίδια κατάσταση θα ίσχυε αν αντί για μέταλλο συναντάται πέτρα ή τούβλο. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δι- ή τριεπιφάνειες, λόγω της ασυμμετρίας και του ακόρεστου των δυνάμεων συνοχής των υλικών, έχουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους διαβρωτικούς παράγοντες.

v. *Αγωγιμότητα, περιβάλλοντος, pH.*

Τόσο οι χημικές όσο και οι ηλεκτροχημικές διεργασίες φθοράς επιταχύνονται όσο πιο αγωγίμο και πιο όξινο ή αλκαλικό είναι το περιβάλλον.

vi. *Εναλλαγή ή αλλαγή συνθηκών.*

Όλα τα είδη διεργασιών επιταχύνονται δραστικά από τις εναλλαγές στην ένταση των συνθηκών του περιβάλλοντος για παράδειγμα η αυξομείωση θερμοκρασίας ή υγρασίας, το είδος του περιβάλλοντος.

Η φθορά μεγαλώνει όσο πιο γρήγορα εναλλάσσονται οι συνθήκες. Αυτό συμβαίνει γιατί η εναλλαγή οδηγεί σε ανομοιογενής συμπεριφορά των προϊόντων διάβρωσης (μικροί, μεγάλοι κρύσταλλοι) και των επιπτώσεων (της εξάπλωση των βελονισμών, αυξομείωση όγκου κ.α.) κάτι που αποτελεί έναν σοβαρό παράγοντα επιτάχυνσης.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επιτάχυνση της διάβρωσης από τις εναλλαγές είναι πολύ μεγαλύτερη, έστω και αν τα θερμοκρασιακά όρια δεν υπερβαίνουν μια υψηλότερη σταθερή θερμοκρασία (π.χ. η επιτάχυνση της διάβρωσης είναι μεγαλύτερη, αν στη διάρκεια μιας μέρας η θερμοκρασία κυμανθεί μεταξύ 5°C και 17°C, παρά αν η θερμοκρασία παραμείνει σταθερή γύρω στους 22°C).

vii. Ρεύματα διαφυγής.

Οι χημικές καθώς και οι ηλεκτροχημικές διεργασίες επηρεάζονται από διαφεύγοντα ρεύματα, τα οποία προέρχονται από κακές μονώσεις στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις του μνημείου ή στους γειτονικούς στύλους μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Ενδογενείς παράγοντες, αποτελούν οι συνθήκες υλικών καθώς και ο τρόπος κατασκευής του μνημείου, οι οποίοι επιδρούν στην ταχύτητα διάβρωσης των δομικών υλικών των μνημείων είναι οι εξής :

i. *Ανομοιογένεια επιφάνειας ή μάζας.*

Δεν έχουν όλα τα υλικά ομοιογενή επιφάνεια ή μάζα, λόγω προσμείξεων. Αν αποτελούν φυσικά υλικά, ή κατεργασίας κατά την παρασκευή ή την πήξη τους για παράδειγμα τσιμέντο, κονιάματα ή άλλο, αν ανήκουν στα τεχνητά I ή II. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την διαφορετική ταχύτητα τοπικής προσβολής από το διαβρωτικό περιβάλλον, διαφορετική μικροδομή των προϊόντων διάβρωσης και επιπλέον διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής. Απόρροια αυτού είναι η ευκολότερη ρηγμάτωση των υλικών από μηχανική καταπόνηση ή κόπωση. Ανομοιογένεια στην επιφάνεια δημιουργείται και από κατακάθιση αιωρούμενων σωματιδίων.

ii. *Θεωρία της αταξίας. Ενεργά κέντρα. Γεωμετρικές και δομικές, μακροσκοπικές και μικροσκοπικές συνθήκες. Δυνατότητα αντίδρασης των στερεών σε χαμηλές θερμοκρασίες.*

Τα ενεργά κέντρα, είτε δομικά (κρυσταλλικές αταξίες από τη φύση του υλικού ή την επεξεργασία του), είτε γεωμετρικά [μακροσκοπικά (εξώγλυφα, γωνίες, ακμές) ή μικροσκοπικά (κρυσταλλικές ανωμαλίες)], ευαισθητοποιούν τα υλικά και επιταχύνουν τη φθορά τους.

iii. *Ελαστικές και πλαστικές παραμορφώσεις.* Τα υλικά καταπονούνται, από το ίδιο τους το βάρος, ή από το βάρος των υπερκείμενων υλικών, με ελαστικές ή και πλαστικές παραμορφώσεις, οι οποίες επιταχύνουν τη διάβρωση (φυσική, μηχανική, χημική, ηλεκτροχημική) και αυτό συμβαίνει εξαιτίας της δημιουργίας επίκτητων δομικών ενεργών κέντρων.

iv. *Συντελεστής θερμικής διαστολής.* Διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής, είτε μεταξύ των κρυστάλλων ή κόκκων του ίδιου υλικού είτε μεταξύ υλικών σε επαφή, έχουν ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διάβρωσης από μηχανικές διεργασίες.

Με δεδομένους τους ενδογενείς παράγοντες (πορώδες, ανομοιογένεια ορυκτολογικής σύστασης και δομής, παρουσία αργιλικών ορυκτών) και σε συνδυασμό με τους εξωγενείς (κλιματικές συνθήκες, ρύπανση, κ.λ.π.) μπορεί να εφαρμοστεί η κατάλληλη μεθοδολογία για την αποκατάσταση ή / και προστασία των μνημείων.

Τα φυσικά δομικά υλικά των μνημείων διαβρώνονται πιο αργά χρονικά από τα τεχνητά υλικά I και II, σύμφωνα με τη βασική αρχή διαφοροποίησης τους: μικρότερες

έως αμελητέες επεξεργασίες των μητρικών πρώτων υλών τους. Τα φυσικά υλικά διαβρώνονται με όλα τα είδη διάβρωσης – μηχανική, χημική, ηλεκτροχημική (ανθρακικά και μάρμαρα και οι αντίστοιχες προσμείξεις σε άλλα πετρώματα) και βιολογική.

Από την άποψη του **ποσοστού διάβρωσης**, για τα πετρώματα ισχύει:

Χημικές > Μηχανικές > Ηλεκτροχημικές (ανθρακικά, μάρμαρα) > Βιολογικές.

Από την άποψη της **ταχύτητας διάβρωσης**, για τα πετρώματα ισχύει:

Μηχανικές (μετά την υπέρβαση του ορίου αντοχής) > Χημικές > Ηλεκτροχημικές (ανθρακικά, μάρμαρα) > Βιολογικές.

Από την άποψη της **διάρκειας της δράσης**, για τα πετρώματα ισχύει: Ηλεκτροχημικές (ανθρακικά, μάρμαρα) > Βιολογικές > Χημικές > Μηχανικές.

Γενικά για τα πετρώματα ισχύει ότι, Διάβρωση με βελονισμούς > Ομοιόμορφη διάβρωση > Ψαθυρή θραύση από διάβρωση με μηχανική καταπόνηση > Σπηλαιώδης μηχανική διάβρωση

Η αρχή της διάβρωσης κάθε υλικού, που είναι εκτεθειμένο σε ένα ορισμένο περιβάλλον, έγκειται στο ότι το υλικό τείνει να ισορροπήσει με τις διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος. Έτσι αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν με τον χρόνο άρα χάνεται η επερχόμενη ισορροπία, τότε δημιουργείται για το αντικείμενο η αναγκαιότητα για να προσαρμοσθεί εκ νέου. Οι συνεχόμενες και αναπόφευκτες αυτές μεταβολές έχουν σαν συνέπεια την μετατροπή, άλλοτε γρήγορα και άλλοτε αργά, των φυσικών ιδιοτήτων, χαρακτηριστικών του υλικού άρα προκαλούν τη φθορά του.

Η αλλοίωση και η καταστροφή της πέτρας των μνημείων, είναι μια φυσική διαδικασία που αρχίζει από την ίδια στιγμή που η πέτρα εκτίθεται σε εξωτερικές συνθήκες. Αυτή η διαδικασία της φυσικής αλλοίωσης, έχει επιταχυνθεί πολύ από τις εκπομπές διαφόρων ρυπαντών. Ο ρυθμός της αλλοίωσης εξαρτάται από > το περιβάλλον > το είδος > την ποσότητα των ρυπαντών στους οποίους εκτίθεται ένα αντικείμενο > τον τύπο του ίδιου του υλικού.

Υπάρχουν πολλά ευρέως διαδεδομένα ίχνη αλλοίωσης, διάβρωσης και φθοράς. Οι αιτίες και τα αποτελέσματα μπορούν να τοποθετηθούν σε δυο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία μπορεί να περιγραφεί ως τα αίτια και τα αποτελέσματα που προέρχονται από την κατασκευή και τη χρήση, σε αυτήν εντάσσεται ο ανθρώπινος παράγοντας. Στη δεύτερη κατηγορία μπορούν να ενταχθούν οι αιτίες και τα αποτελέσματα που προέρχονται από περιβαλλοντικές αιτίες όπως για παράδειγμα τα όξινα αέρια, ο παγετός και η κρυστάλλωση αλάτων.

Στην περιοχή έρευνας απαντάται κυρίως η κυψελοειδής φθορά τόσο στα επιφανειακά τμήματα όσο και στα υπόγεια.

3.3 ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ

Με τον όρο Αποσάθρωση περιγράφεται η καταστροφή ή η αλλοίωση των ορυκτών και των πετρωμάτων που συμβαίνει στην επιφάνεια της Γης, με τη βοήθεια εξωτερικών παραγόντων. Αυτοί οι παράγοντες είναι η ηλιακή ακτινοβολία, το νερό, τα αέρια της ατμόσφαιρας, οι ζωντανοί οργανισμοί κ.α.

Η αποσάθρωση, με βάση την αιτία από την οποία προκαλείται διακρίνεται σε :

- Μηχανική ή φυσική αποσάθρωση.
- Χημική αποσάθρωση.
- Βιολογική αποσάθρωση.

Κατά τη μηχανική ή φυσική αποσάθρωση τα πετρώματα παθαίνουν μηχανική καταστροφή. Πιο συγκεκριμένα καταστρέφεται μόνο η συνοχή των ορυκτολογικών τους συστατικών σπάζοντας το πέτρωμα σε πιο μικρά κομμάτια και αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το εμβαδόν της επιφάνειας που θα προσβληθεί αργότερα από τη χημική αποσάθρωση. Οι αποσαθρωτικές διαδικασίες προσβάλλουν τις κορυφές των επιφανειών με αποτέλεσμα ταγωνιώδη κομμάτια να μετατρέπονται γρήγορα σε αποστρογγυλεμένα. Πάρα ταύτα, η ορυκτολογική τους δομή ή η χημική τους σύσταση δεν επηρεάζεται.

Η διαδικασία της αποσάθρωσης εξαρτάται από δυο κύριους παράγοντες

1. Τις κλιματικές αλλαγές
2. Την ατμοσφαιρική ρύπανση

Διαδικασίες της φυσικής αποσάθρωσης είναι οι εξής :

- Διαβρωτική ικανότητα του πάγου
- Αιολική διάβρωση
- Θερμική διαστολή σε ξηρό περιβάλλον
- Θερμική διαστολή σε υγρό περιβάλλον
- Σχηματισμός αλάτων

Η χημική αποσάθρωση περιλαμβάνει τις διαδικασίες για την παραγωγή νέων ορυκτών, με μικρότερη πυκνότητα, σε βάρος υφιστάμενων ορυκτών, την αλλαγή στην ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος και την αύξηση του πορώδους. Οι διαδικασίες αυτές είναι οι εξής :

- Ενυδάτωση
- Υδρόλυση
- Οξειδωση
- Διάλυση

Η βιολογική αποσάθρωση περιλαμβάνει τις διεργασίες όπως :

- Απλή θραύση
- Κίνηση και ανάδευση
- Σχηματισμός ανθρακικού οξέως, από του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που παράγεται από τις ρίζες με τη διαδικασία της αναπνοής
- Οργανισμοί που επηρεάζουν την υγρασία του εδάφους

Τα ορυκτά τα οποία συνιστούν τα πετρώματα δεν έχουν όλα την ίδια αντοχή στην αποσάθρωση. Η συμπεριφορά τους εξαρτάται από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας σχηματισμού τους. Συνεπώς, η χημική αποσάθρωση, οι μεταβολές τις θερμοκρασίας, η αύξηση της υγρασίας καθώς και η απορροφητική ικανότητα συμβάλλουν στην αποσύνθεση των πετρωμάτων. Παρατίθενται η σειρά των ορυκτών από τα ανθεκτικότερα στα λιγότερο ανθεκτικά στην αποσάθρωση : Χαλαζίας, Μαρμαρυγίες, Ορθόκλαστο, Πλαγιόκλαστο, Αμφίβολοι, Πυρόξενοι, Ολιβίνη. Το φαινόμενο της αποσάθρωσης έχει άμεση επίδραση και στις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Καθώς αυξάνεται η αποσάθρωση προκαλείται μείωση της τιμής της μηχανικής αντοχής του πετρώματος και ακολούθως μεταβολή των φυσικών ιδιοτήτων.

Μηχανισμοί φθοράς δομικών λίθων

Οι δομικοί λίθοι λόγω της αποσάθρωσης που υφίστανται από την έκθεση τους στην ατμόσφαιρα μπορεί να χάσουν την συνοχή. Ο ρυθμός της αποσάθρωσης είναι αργός και μπορεί να προκαλεί μικρές αλλαγές, αλλά λόγω της αξίας των μνημείων ως κομμάτι της πολιτιστικής κληρονομιάς και της ιστορίας κάθε τόπου ακόμα κι αυτές οι μικρές αλλαγές θα πρέπει να μηδενιστούν. Σε τοιχοποιίες που αποτελούνται από πορώδη ιζηματογενή πετρώματα (όπως ψαμμίτες ή βιογενής ασβεστόλιθους) εμφανίζονται συχνότερα τα προβλήματα φθοράς.

Η διάβρωση προκύπτει λόγω της διάλυσης του συγκολλητικού υλικού των κόκκων του πετρώματος ή λόγω της διαταραχής του ιστού τους από τάσεις, οι οποίες αναπτύσσονται από την κρυστάλλωση αλάτων μέσα στους πόρους ή/και τη θερμική διαστολή των κόκκων των ορυκτών.

Οι δυο βασικοί παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο ρυθμός υποβάθμισης των δομικών υλικών είναι 1) το είδος του πετρώματος 2) η φύση του περιβάλλοντος. Συνεπώς, γίνεται σαφές ότι διάφοροι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια ζωής των δομικών υλικών.

Τέτοιοι οι παράγοντες μπορεί να είναι :

- **Κλιματικοί** (θερμοκρασία, νερό, άνεμος, κύκλοι ψύξης-απόψυξης)
- **Βιολογικοί** (μύκητες, βακτήρια, μικροοργανισμοί)
- **Δυναμικοί** (σεισμοί)
- **Παράγοντες ασυμβατότητας** (ασυμβατότητα υλικών)

Στους παράγοντες που επηρεάζουν την καταστροφή των πετρωμάτων περιλαμβάνονται η σύσταση και η δομή τους.

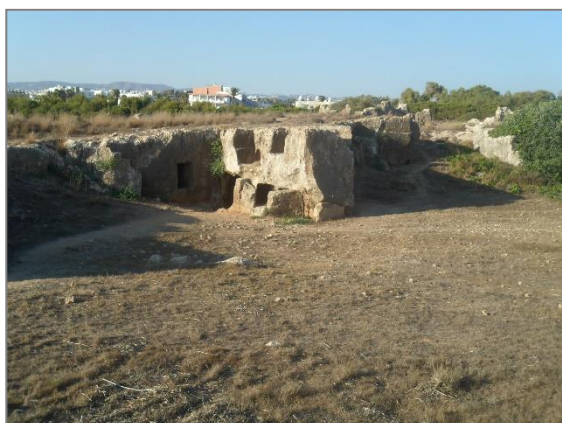
Στην περιοχή έρευνας απαντάται κυρίως η μηχανική αποσάθρωση η οποία οφείλεται στην αιολική διάβρωση τον σχηματισμό αλάτων καθώς και στην θερμική διαστολή σε υγρό-ξηρού περιβάλλοντος.

3.4 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΦΘΟΡΑΣ & ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ ΣΤΟ ΜΝΗΜΕΙΟ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο ευρύτερος αρχαιολογικός χώρος λειτούργησε από τα Ελληνιστικά έως τα Ρωμαϊκά χρόνια ως λατομική περιοχή. Κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων έγινε εκτεταμένη απόληψη δομικών λίθων για την οικοδόμηση της πόλης της Πάφου και της ευρύτερης περιοχής. Στην συνέχεια, παρατίθενται εικόνες στις οποίες καθίσταται εμφανές το γεγονός της χιλιετούς λατόμευσης. Αυτή η διαδικασία είχε ως αποτέλεσμα την φθορά του σχηματισμού, δηλαδή του ασβεστιτικού ψαμμίτη σε βάθος γεγονός που επηρεάζει την ποιότητα της βραχώμαζας στον χρόνο.



ΕΙΚΟΝΑ 3.25 : Περιοχή με έντονα τα σημάδια της χιλιετούς Λατόμευσης στην Βορειοδυτική πλευρά του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.26: Σημάδια έντονης Λατόμευσης στον ευρύτερο χώρο των Τάφων των Βασιλέων

Εστιάζοντας στην περιοχή μελέτης η αναγνώριση και η εξέταση των υφιστάμενων αστοχιών που σχετίζονται με την ποιότητα των ασβεστολιθικών

πετρωμάτων αποτελούν στόχο της παρούσας εργασίας. Εντοπίστηκαν τόσο στα επιφανειακά όσο και υπόγεια τμήματα του μνημείου οι υφιστάμενες αστοχίες. Στην συνέχεια, παρατίθενται οι εικόνες των αστοχιών και της φθοράς που έχουν υποστεί οι Τάφοι 3 και 4 καθώς και τα αντίστοιχα Λατομεία. Βέβαια σύμφωνα και με Kyriakides et.al. (2016) λόγω της αλλοίωσης που έχει υποστεί το μνημείο από τις ποικίλες χρήσεις καθιστά πολύ δύσκολή την διάγνωση και την εύρεση της προέλευσης των αστοχιών. Παρόλα αυτά, με βάση τα στοιχεία που έχουν συγκεντρωθεί από βιβλιογραφικές αναφορές καθώς και τις παρατηρήσεις στο πεδίο γίνεται προσπάθεια εύρεσης των αιτιών φθοράς του μνημείου.

Κατά την πορεία της μελέτης τέθηκαν τα ερωτήματα σχετικά με τους λόγους της φθοράς του πετρώματος. Ως πιθανή αιτία θεωρήθηκε η μικρή απόσταση από την παραλία της Πάφου, εφόσον ο χώρος των Τάφων των Βασιλέων απέχει από την παραλιακή ζώνη της Πάφου περίπου 150 m. Συνεπώς, η αυξημένη υγρασία της περιοχής, καθώς και οι άνεμοι ο οποίοι μεταφέρουν σταγόνες του θαλασσινού νερού εμπλουτισμένοι με άλατα ακόμα και κόκκους άμμου έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη του φαινομένου της κυψέλωσης.

Η κρυστάλλωση αλάτων αναφέρεται στη μηχανική φθορά των πορωδών λίθων και δομικών υλικών, μέσω της ανάπτυξης μηχανικών τάσεων στο εσωτερικό των υλικών (πόρους) από κρυστάλλους αλάτων και διάρρηξη της συνέχειας του υλικού όταν οι τάσεις ξεπεράσουν την αντοχή του. Οι κύριες πηγές αλάτων σε τοιχοποιίες είναι η τριχοειδής αναρρίχηση από το έδαφος, τα γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, και συχνά το ίδιο το συνδετικό κονίαμα. Τα άλατα μεταφέρονται μέσω σταγόνων νερού.

Πιο αναλυτικά με τον όρο Κυψέλωση ή Κυψελοειδής φθορά χαρακτηρίζεται η εμφάνιση μικρών οπών σποραδικά ή σε συστάδες και είναι αποτέλεσμα συνήθως βιολογικής δράσης που δεν είναι πλέον ενεργή. Επίσης, ως κυψέλωση ονομάζουμε την ιδιόμορφη διάβρωση που παρουσιάζει ο λίθος λόγω δυνατών ανέμων, αιωρούμενων σωματιδίων και αλάτων. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται στην επιφάνεια του λίθου ασύμμετρες οπές και κοιλότητες που πολλές φορές οδηγούν σε σπηλαιώδεις καταστάσεις. Στην συνέχεια παρατίθενται εικόνες από το μνημείο στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο.

Επίσης κατά τις ψυχρές εποχές το νερό που εισέρχεται στους πορώδους σχηματισμούς με την πτώση της θερμοκρασίας θα παγώσει. Η αλλαγή στην κατάσταση του νερού συνοδεύεται από διαστολή και αύξηση του όγκου που έχει ως αποτέλεσμα την διάνοιξη κενών στο πέτρωμα. Όταν το νερό εισέρθει στους πόρους του πετρώματος με την πτώση της θερμοκρασίας το νερό θα παγώσει. Η διαστολή του όγκου έχει ως αποτέλεσμα την διάνοιξη κενών στο πέτρωμα. Όταν η θερμοκρασία αυξηθεί τότε το νερό εξατμίζεται και τα κενά διευρύνονται. Ο τύπος αυτός της φθοράς εμφανίζεται μακροσκοπικά με την μορφή της κυψέλωσης, δηλαδή την αποκόλληση τμήματος του διερρηγμένου υλικού.



ΕΙΚΟΝΑ3.27: Κυψελοειδής φθορά λόγω ανέμων οι οποίοι μεταφέρουν στα σταγονίδια με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα Λατομείο 4



ΕΙΚΟΝΑ3.28: Κυψελοειδής φθορά Τάφος 4



ΕΙΚΟΝΑ3.29: Κυψελοειδής φθορά Τάφος 4



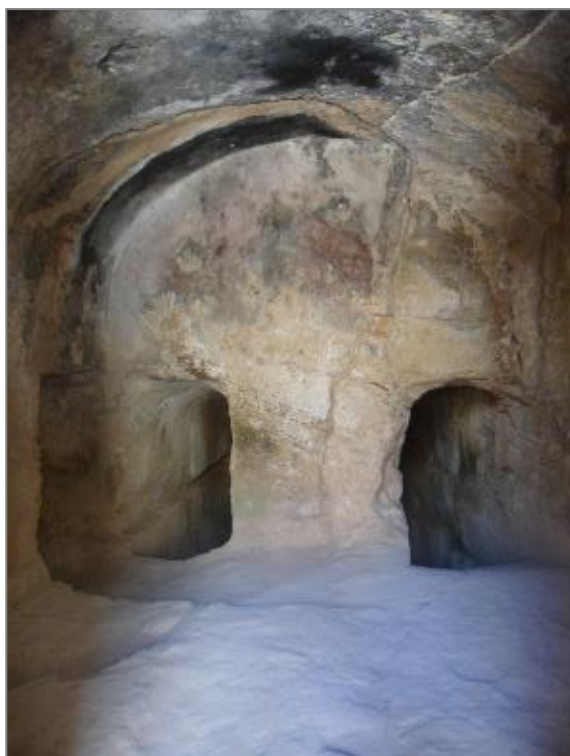
ΕΙΚΟΝΑ3.30: Κυψελοειδής φθορά λόγω ανέμων οι οποίοι μεταφέρουν στα σταγονίδια με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα Λατομείο 3



ΕΙΚΟΝΑ 3.31 : Αποχρωματισμός πετρώματος στον αίθριο χώρο του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.32: Αποχρωματισμός πετρώματος στον αίθριο χώρο του Τάφου 4, πιο κοντινή άποψη



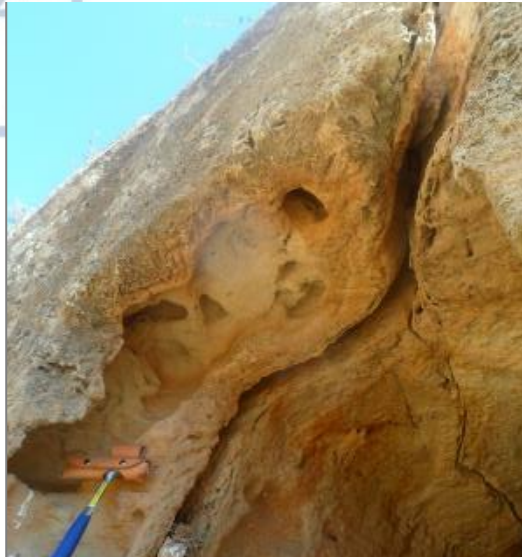
ΕΙΚΟΝΑ 3.33: Αποχρωματισμός πετρώματος στο υπόγειο τμήμα Τάφου 3, Δυτικός Θάλαμος



ΕΙΚΟΝΑ 3.34 : Εμφάνιση πράσινο χρώματος στην επιφάνεια του πετρώματος λόγω στάσιμου νερό μετά την χειμερινή περίοδο με πολλές βροχοπτώσεις στον θάλαμο Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.35 : Εμφάνιση πράσινο χρώματος στην επιφάνεια του πετρώματος λόγω στάσιμου νερό μετά την χειμερινή περίοδο με πολλές βροχοπτώσεις στον θάλαμο Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.36: Διευρυμένη επιφάνεια ασυνέχειας χωρίς υλικό πλήρωσης στην Νότια πλευρά του Τάφου



ΕΙΚΟΝΑ 3.37: Οριστική απώλεια τμήματος της κολώνας αίθριο Τάφου 4

Επιπλέον, είναι γνωστό όπως έχει αναφερθεί και νωρίτερα, ότι η περιοχή της Πάφου έχει πληγεί κατά το παρελθόν από ισχυρούς σεισμούς. Τα συνήθη μεγέθη σεισμού στην περιοχή είναι $M = 5,5-6$. Η ύπαρξη ρωγμών σε κάποιες θέσεις στο μνημείο σύμφωνα με Kyriakides et.al. (2016) θεωρείται ότι συνδέεται με ρήγμα το οποίο πιθανώς να βρίσκεται κάτω από το μνημείο σε διεύθυνση Βορρά – Νότου όπως και οι ρωγμές.

Στην συνέχεια παρατίθενται διάφορες εικόνες αστοχιών που παρατηρήθηκαν στο μνημείο.



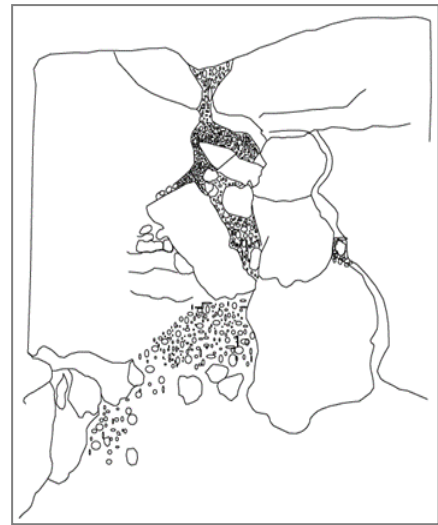
ΕΙΚΟΝΑ 3.38: Αποκόλληση τεμάχους στην Βόρεια πλευρά του Τάφου 4



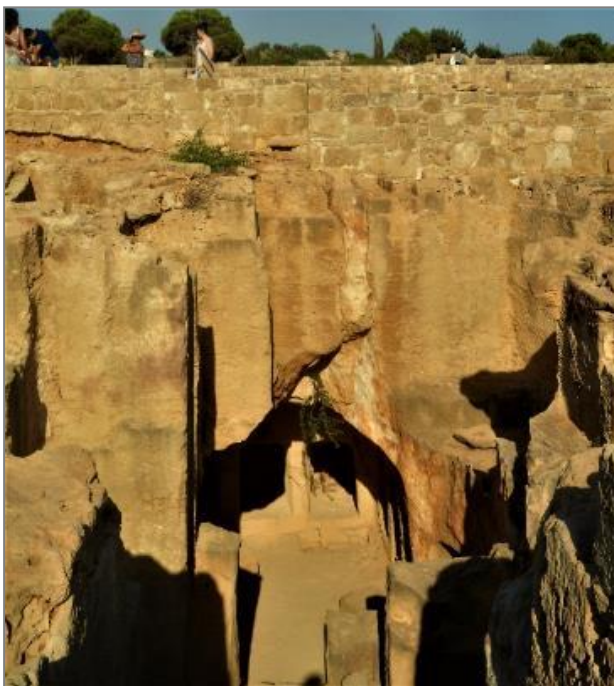
ΕΙΚΟΝΑ 3.39: Αποκόλληση τεμάχους στην Νότια πλευρά εξωτερικά Τάφου 3



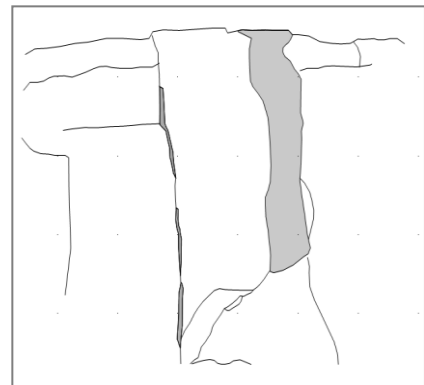
ΕΙΚΟΝΑ 3.40: Αστοχία στην Δυτική πλευρά εξωτερικά του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.41: Σκαρίφημα αστοχίας της Δυτικής πλευράς του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.42: Σφηνοειδής αποκόλληση τεμάχους στην Δυτική πλευρά εξωτερικά του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ 3.43: Σκαρίφημα αστοχίας της Δυτικής πλευράς του Τάφου 4

ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΟΣΟΝ ΑΦΟΡΑ ΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ, ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ, ΔΙΑΒΡΩΣΗ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των υλικών αποτελεί ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό για την κατανόηση της συμπεριφοράς του σε πραγματικές συνθήκες και στον σχεδιασμό νέων προϊόντων. Οι μη καταστροφικές μέθοδοι αναπτύχθηκαν κυρίως μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο και ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, μετά την ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της ηλεκτρονικής και εφαρμόζονται ευρύτατα στον έλεγχο υλικών, παράλληλη ή και σε αντικατάσταση των γνωστών καταστροφικών μεθόδων (Πρασιανάκης 1997). Στην παρούσα παράγραφο αναπτύσσονται οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου που χρησιμοποιούνται σήμερα βρίσκοντας εφαρμογή σε πολλά πεδία της επιστήμης.

4.2 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η ανάγκη για έναν αξιόπιστο χαρακτηρισμό υλικών και δομών, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών όπως για παράδειγμα τις θαλάσσιες κατασκευές, κατασκευές πολιτικού μηχανικού, μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς, κλπ., έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων τεχνικών και οργανολογίας. Βέβαια, πολλές από τις μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί προϋποθέτουν κοπή, η οποία όμως προκαλεί καταστροφή στην υπό εξέταση δομή. Από την άλλη πλευρά, πολλές τεχνικές χαρακτηρισμού δεν παρέχουν βασικές πληροφορίες σχετικά με τις ιδιότητες του υλικού στο λειτουργικό του περιβάλλον.

Βασικό στοιχείο μιας μεθόδου χαρακτηρισμού για να θεωρηθεί ιδανική είναι να παρέχει στοιχεία σχετικά με τις ιδιότητες του υλικού που να συνδέονται τόσο με τη μικροδομή όσο και τη μακροδομή του χωρίς την ανάγκη τεμαχισμού της δομής. Τέτοιου είδους αποτελέσματα μπορούν να ληφθούν χρησιμοποιώντας τις μεθόδους Μη Καταστροφικού Ελέγχου (ΜΚΕ).

Οι όροι μη καταστροφικός έλεγχος (non-destructive inspection – NDI), μη καταστροφική δοκιμή (nondestructive testing – NDT) ή μη καταστροφική αξιολόγηση (nondestructive evaluation – NDE) αναφέρονται στη χρήση των ΜΚΕ, δηλαδή φυσικών δοκιμών που επιτρέπουν την ανίχνευση ή/και μέτρηση ιδιοτήτων του υλικού ή ατελειών χωρίς να εμποδίζεται η λειτουργική χρήση της δομής (Ματίκας, 2015).

Οι Μη Καταστροφικές Μέθοδοι Ελέγχου βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία λόγω του γεγονότος ότι παρέχουν έναν άμεσο, ταχύ, ασφαλή, αξιόπιστο και ακίνδυνο τρόπο ελέγχου. Η ακριβέστερη και αμεσότερη μέθοδος προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών είναι η μηχανική μέθοδος. Η μέθοδος όμως αυτή προϋποθέτει την καταστροφή των ελεγχόμενων δοκιμίων όπως η δοκιμή θλίψης, κάμψης, άμεσου ή έμμεσου εφελκυσμού.

Από την άλλη πλευρά ο έλεγχος των υλικών καθώς και ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών, μπορεί να γίνει με τη χρήση των ακτίνων Χ, α, β, γ, ή ηλεκτρομαγνητικών πεδίων, ή ηχητικών κυμάτων, οι οποίες λόγω του γεγονότος πως δεν καταστρέφουν τα υλικά ούτε επηρεάζουν τις ιδιότητές τους ονομάζονται μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών (Non-Destructive Testing, NDT). Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατός και ο επί τόπου έλεγχος των υλικών (πχ. πετρωμάτων) χωρίς να απαιτείται η λήψη πυρήνων. Οι παραπάνω μέθοδοι δύναται να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για την ύπαρξη επικίνδυνων σημείων όπως μικρορωγμές στο εσωτερικό των υλικών, αλλά και να προσδιορίσουν μηχανικές ιδιότητες. Οι μέθοδοι ΜΚΕ που έχουν αναπτυχθεί ως σήμερα χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες : (Πρασιανάκης 1997).

1. Βασικές μεθόδους που εφαρμόζονται ευρύτατα στον έλεγχο των υλικών
2. Μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις

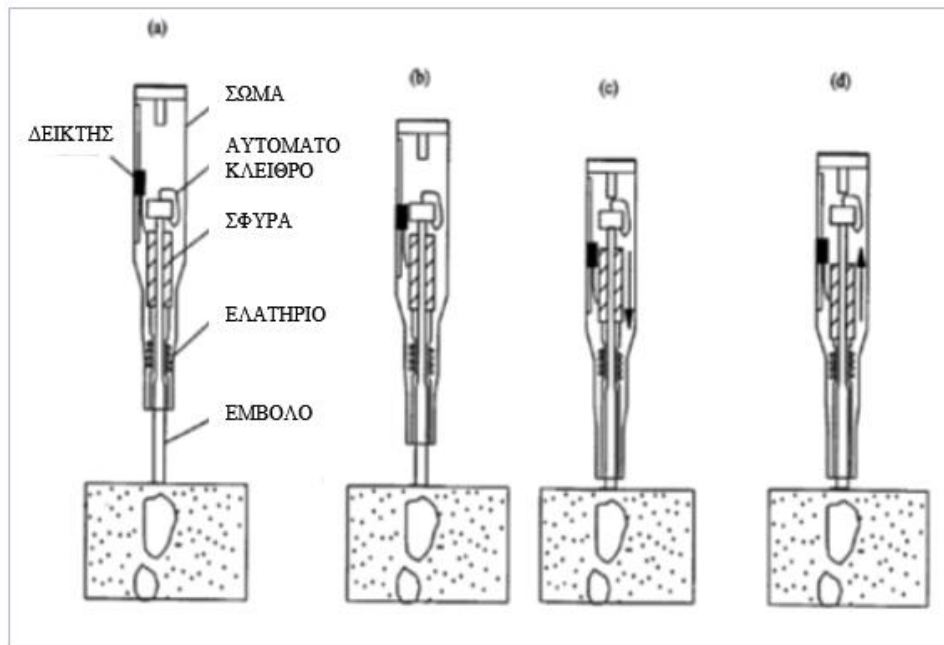
4.2.1 ΚΡΟΥΣΙΜΕΤΡΗΣΗ

Ο πιο συχνά εφαρμοζόμενος μη καταστροφικός έλεγχος αποτελεί η κρουσίμετρηση. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην συσχέτιση της σκληρότητας της επιφάνειας του πετρώματος με τη θλιπτική αντοχή του. Μέσω της μεθόδου είναι δυνατός ο προσδιορισμός της σκληρότητας της επιφάνειας του πετρώματος ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου. Τα κρουσίμετρα είναι εύκολα στην χρήση και η μέθοδος σχετικά απλή και αξιόπιστη.

Η μέθοδος του κρουσίμετρου αναπήδησης (ή σφύρα Schmidt) βασίζεται στην εκτίμηση της επιφανειακής σκληρότητας των ελεγχόμενων πετρωμάτων. Η βασική αρχή του αποτελεί η διατήρηση σε επαφή του μεταλλικού εμβόλου με την επιφάνεια του πετρώματος, ενώ παράλληλα μια μάζα κατευθυνόμενη από ελατήριο πλησιάζει την άλλη πλευρά του εμβόλου και αναπηδά. Η δύναμη με την οποία το ελατήριο ωθεί το έμβολο είναι σταθερή και ανεξάρτητη της αντίστασης της επιφάνειας και της ταχύτητας που εκτελείται η μέτρηση. Το ύψος αναπήδησης της μάζας, το οποίο εξαρτάται από την επιφανειακή σκληρότητα του πετρώματος, αναγράφεται σε κατάλληλη κλίμακα εντός του οργάνου και αποτελεί το δείκτη σκληρομέτρησης (Α). Όσο υψηλότερη είναι η σκληρότητα του πετρώματος τόσο μεγαλύτερο είναι το ύψος αναπήδησης. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αφ' ενός για τη διαπίστωση της ομοιογένειας του πετρώματος και αφ' ετέρου για την εκτίμηση της αντοχής του.

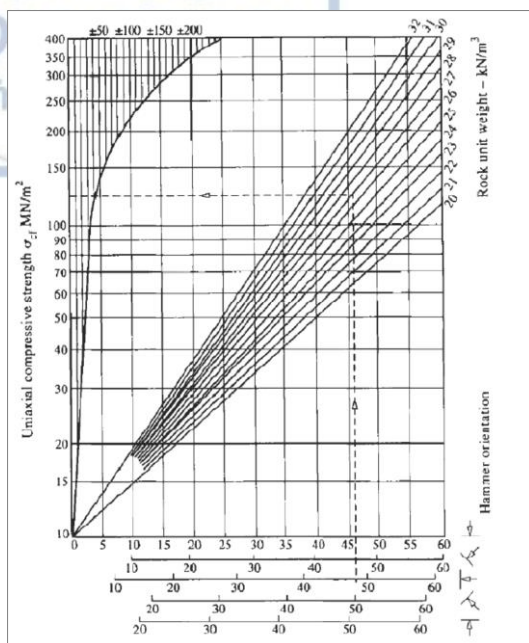
Η δοκιμή γίνεται πιέζοντας το έμβολο του κρουσίμετρου στην επιφάνεια που έχουν γίνει απαραίτητες εργασίες που προαναφέρθηκαν με αποτέλεσμα την αναπήδηση του εμβόλου. Η αναπήδηση εξαρτάται από την ελαστικότητα των υλικών άρα την αντοχή τους. Κάθε αναπήδηση μπορεί να έχει διαφορετική ένδειξη η οποία αναγράφεται πάνω στο κρουσίμετρο. Το κρουσίμετρο πρέπει να είναι πάντα κάθετο στη εξεταζόμενη επιφάνεια του σκυροδέματος κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Ως τελικό αποτέλεσμα της δοκιμής δίνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων. Πριν την έναρξη της διαδικασίας των μετρήσεων καθαρίζεται το σημείο στο οποίο θα έρθει σε επαφή το έμβολο του κρουσίμετρου καθώς απομακρύνονται όλα τα ξένα αντικείμενα

όπως για παράδειγμα δομικά υλικά. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται μια τοπική λείανση του στοιχείου ώστε να έρθει σε άμεση επαφή με το έμβολο του κρουσιμέτρου για να ελαχιστοποιηθούν πιθανά σφάλματα εξαιτίας της ανομοιομορφίας των δομικών στοιχείων. Οι κρουσιμετρήσεις θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 ανά θέση και η ελάχιστη απόσταση ανάμεσα τους να είναι 3 cm. Αν υπάρχει η δυνατότητα εντοπισμού του οπλισμού με κάποιο αντίστοιχο όργανο όπως το σκάνερ ή άλλο παρόμοιο όργανο τότε θα πρέπει να αποφεύγονται οι μετρήσεις πάνω στον οπλισμό του στοιχείου.



ΕΙΚΟΝΑ 4.44: Στάδια κρουσιμέτρησης (τροποποιημένο)

Η εκτίμηση της αντοχής του πετρώματος από την αναπήδηση πραγματοποιείται από καμπύλες συσχέτισης, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί το γεγονός ότι δεν υπάρχει δυνατότητα εκτίμησης της ποιότητας του πετρώματος σε βάθος. Το βάθος επιρροής κυμαίνεται από 2 έως 3cm. Επιπλέον η διασπορά των αποτελεσμάτων κυμαίνεται στο $\pm 10 \%$ περίπου που είναι σχετικά υψηλή. Από την άλλη πλευρά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου θεωρείται η ευκολία στην εφαρμογή της, οι μικρές απαιτήσεις σε εξοπλισμό, το μικρό σχετικά κόστος, καθώς και η άμεση διαθεσιμότητα των αποτελεσμάτων.



ΕΙΚΟΝΑ 4.45: Νομόγραμμα υπολογισμού της μονοαξονικής αντοχής με την χρήση των μετρήσεων του Κρουσιμετρού Schmidt τύπου L κατά Miller 1965

4.2.2 ΥΠΕΡΗΧΟΙ

Βάση της μεθόδου αποτελεί η ηχώ (αντήχηση) εξ αντανakλάσεως υπερηχητικών ή κρουστικών κυμάτων και ανήκει στη κατηγορία έμμεσων μη καταστροφικών μεθόδων από σκυρόδεμα και τοιχοποιία. Με τη μέθοδο των υπερήχων δίνεται η δυνατότητα να βρεθούν ανωμαλίες του σκυροδέματος όπως φθορές, ρωγμές, κενά καθώς να ελεγχθεί η ποιότητα και να εκτιμηθεί η αντοχή του υλικού μετά από την κατάλληλη βαθμονόμηση του οργάνου (συσκευή υπερήχων). Όσον αφορά το φυσικό πέτρωμα η μέθοδος χρησιμοποιείται για να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το βάθος της φθοράς καθώς και τον τύπο φθοράς.

Η συσκευή των υπερήχων αποτελείται από μια γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών κυμάτων, δυο κρυστάλλους, πομπό και δέκτη τα οποία τοποθετούνται αντικριστά στις δυο παράλληλες επιφάνειες του υπό εξέταση στοιχείου. Ο πομπός και ο δέκτης είναι κατασκευασμένοι από πιεζοηλεκτρικά κεραμικά στοιχεία. Το μέγεθος τους αλλάζει εφαρμόζοντας τους ηλεκτρικό ρεύμα ή όταν παράγουν αυτοί ηλεκτρικό ρεύμα. Ο πομπός πάλλεται, η ταλάντωση του παράγει τασικά κύματα όπου διαδίδονται δια μέσου του σκυροδέματος, ενώ παράλληλα τίθεται σε λειτουργία ένα χρονόμετρο ακριβείας και σταματά μόλις ο παλμός φτάσει στο δέκτη (Christaras, 1998).

Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συμπεριλαμβάνονται το χαμηλό κόστος των οργάνων καθώς και η ευκολία στη χρήση τους. Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγεται το γεγονός ότι η πυκνότητα και οι διαβαθμίσεις στο μέγεθος των αδρανών του σκυροδέματος μπορούν να επηρεάσουν το αποτέλεσμα (Christaras, 1998).

4.2.3 ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ «X» & «Γ»

Με τον ακτινογραφικό έλεγχο καθίσταται δυνατή η εμφάνιση εσωτερικών και εξωτερικών λεπτομερειών της δομής όλων των τύπων υλικών και κατασκευών.

Χρησιμοποιείται σε υλικά και κατασκευές που οι υπόλοιπες τεχνικές δεν μπορούν να εφαρμοστούν και επιτυγχάνεται με διοχέτευση ακτίνων - X ή ακτίνων γ διαμέσου του στοιχείου ώστε να αναπαραχθεί ένα ακτινογραφικό φιλμ. Οι ακτίνες - X ή ακτίνες γ τοποθετούνται κοντά στο στοιχείο και το διαπερνούν, ενώ στην έξοδο καταγράφονται σε φιλμ.

Από την επεξεργασία του φιλμ και της εικόνας η οποία παρέχει αποχρώσεις άσπρου-μαύρου για το υλικό λαμβάνονται πληροφορίες για την αρχιτεκτονική του σημείου ενδιαφέροντος ή διαφοροποιήσεις στο πάχος του στοιχείου. Συνεπώς επιτυγχάνεται η ανίχνευση ατελειών ή βλαβών μέσα στην κατασκευή. Η επιλογή του είδους των ακτίνων που θα χρησιμοποιηθούν κάθε φορά εξαρτάται από το πάχος του υλικού το οποίο εξετάζεται (Αναστασόπουλος, 2008).

4.2.4 ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΣΗ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα, τα οποία έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν, δηλαδή μεγαλύτερη από -273°C . Η θερμογραφία υπέρυθρου ή υπέρυθρη θερμογραφία, InfraRed (IR) thermography, είναι μια μέθοδος η οποία ανιχνεύει τη θερμότητα που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, τη μετατρέπει σε θερμοκρασία και απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας ως «θερμογράφημα». Ο έλεγχος υλικών με θερμογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστούν τα εξαρτήματα που λειτουργούν σε θερμοκρασίες υψηλότερες άλλων εξαρτημάτων, για την ανίχνευση βλάβης σε υλικά ή για τον εντοπισμό ενεργειακών απωλειών σε κτίρια, γραμμές κρυογενικών υγρών ή σωληνώσεων ατμού.

Η πηγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας τοποθετείται στη μία πλευρά του υπό έλεγχο στοιχείου και η ροή υπέρυθρης ενέργειας καταγράφεται και αναλύεται. Αν υπάρχουν κενά ή ασυνέχειες στο στρώμα του στοιχείου διαταράσσουν τη ροή της ακτινοβολίας συνεπώς μπορούν να εντοπιστούν. Η μέθοδος βρίσκει εφαρμογή κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους, και αλλαγών στη σύσταση του στοιχείου.

Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων και μειονέκτημα το σχετικά υψηλό κόστος του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη διενέργειά της. Η μέθοδος δίνει τη δυνατότητα εντοπισμού της ύπαρξης ποικίλων υλικών πίσω από μια ενιαία επιφάνεια, τις εσωτερικές ανωμαλίες, τις ρωγμές και τέλος την ύπαρξη αλλά και τη μέτρηση υγρασίας. Με τη βοήθεια της θερμικής ακτινοβολίας παράγεται ένα θερμογράφημα, δεν μετρά απευθείας τη θερμοκρασία της επιφάνειας αλλά μετράει τη μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας. Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία το μήκος του κύματος γίνεται βραχύτερο έως ορατό φάσμα σε κάποιες περιπτώσεις. Οι υπό-επιφανειακές ανωμαλίες επηρεάζουν τη ροή θερμότητας, γεγονός που επηρεάζει την επιφανειακή θερμοκρασία. Οι ιδανικές συνθήκες για τη μέθοδο υπέρυθρης φωτογράφισης: είναι καθαρός ουρανός, έντονη ηλιακή ακτινοβολία, ασθενείς άνεμοι (έως 25km/h) και ξηρή επιφάνεια (Σταματούλης, 2013). Συχνά, η υπέρυθρη θερμογραφία χρησιμοποιείται

συμπληρωματικά με άλλες μη καταστροφικές μεθόδους για τον πληρέστερο έλεγχο των υλικών και κατασκευών.

Τα μέρη του οργάνου είναι : 1. Ανιχνευτής / σαρωτής: μια οπτική κάμερα όπου οι φακοί της επιτρέπουν τη διέλευση υπέρυθρης ακτινοβολίας 2. Σύστημα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων 3. Οπτικός καταγραφέας, για την αποτύπωση της ελεγχόμενης επιφάνειας. Τα πλεονεκτήματα της υπέρυθρης φωτογράφισης είναι η δυνατότητα εκτέλεσης ελέγχου σε μεγάλες επιφάνειες άρα προσφέρει μεγαλύτερη οικονομία και γρήγορα αποτελέσματα. Βέβαια το κόστος αγοράς του εξοπλισμού είναι αρκετά μεγάλο, ενώ απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και φυσικά κατάλληλες καιρικές συνθήκες για να επιτευχθεί η λήψη μετρήσεων (Σταματούλης, 2013).

4.2.5 ΜΕΤΡΗΣΗ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΕΚΠΟΜΠΗ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

Ένα φορητό όργανο το οποίο εκπέμπει ροή νετρονίων στο σώμα του στοιχείου καθώς η ταχύτητα της ακτινοβολίας μειώνεται με την υγρασία, το ποσοστό υγρασίας υπολογίζεται με μέτρηση της ταχύτητας των νετρονίων. Αποτελεί μια αξιόπιστη μέθοδο για προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας του υλικού, αλλά το κόστος του φορητού οργάνου που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση είναι ιδιαίτερα υψηλό (Σταματούλης, 2013).

4.2.6 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ

Η Ακουστική Εκπομπή (*Acoustic emission, AE*) αποτελεί μια τεχνική για τον έλεγχο της δομικής ακεραιότητας των υλικών και των κατασκευών. Λόγω τόσο της παθητικής όσο και της μη καταστροφικής της φύσης έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της λειτουργίας μιας κατασκευής και να παρέχει πληροφορίες που δεν μπορούν να συλλεχθούν από άλλη μέθοδο. Βασίζεται στη καταγραφή και μελέτη ελαστικών κυμάτων που διεγείρονται από διάδοση βλάβης στο υλικό αλλά και από άλλες αιτίες. Τα σήματα αυτά καταγράφονται από αισθητήρες και μετατρέπονται σε ηλεκτρικές κυματομορφές που παρέχουν πληροφορία για την πηγή της βλάβης και την τοποθεσία της (Ματίκας, 2015).

Οι ακουστικές εκπομπές είναι τασικά κύματα τα οποία παράγονται από ξαφνικές κινήσεις μέσα σε υλικά που υποβάλλονται σε τάση. Οι κλασσικές πηγές ακουστικής εκπομπής είναι διαδικασίες παραμόρφωσης που σχετίζονται με ατέλειες της κατασκευής, για παράδειγμα η ανάπτυξη ρωγμών, οι πλαστικές παραμορφώσεις. Μια απότομη μετακίνηση στην πηγή παράγει τασικό κύμα το οποίο εκπέμπει ακτινοβολία και διεγείρει έναν ευαίσθητο πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα. Καθώς αυξάνεται η τάση μέσα στο υλικό δημιουργούνται πολλές από αυτές τις εκπομπές. Τα σήματα από έναν ή περισσότερους αισθητήρες ενισχύονται και καταγράφονται για την παραγωγή δεδομένων για εμφάνιση και ερμηνεία (Σταματούλης, 2013).

Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει στο σύνολο της κατασκευής να επιθεωρηθεί με μια απλή λειτουργία φόρτισης. Δεν χρειάζεται να εξεταστεί η κατασκευή για τοπικές παραμορφώσεις αλλά αρκεί να συνδεθεί ένας

ικανός αριθμός αισθητήρων που συνήθως τοποθετούνται σε αποστάσεις 1 έως 6 m μεταξύ τους. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η μείωση του κόστους στον έλεγχο μεγάλων κατασκευών για τις οποίες οι άλλες μέθοδοι απαιτούν αφαίρεση μονωτικών υλικών, απολυμάνσεις ή σαρώσεις μεγάλων περιοχών (Σταματούλης, 2013).

4.2.7 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

Ο οπτικός έλεγχος (ΟΕ) ορίζεται ως η εξέταση ενός υλικού, αντικειμένου ή προϊόντος για εύρεση δομικών ή άλλων σφαλμάτων χρησιμοποιώντας τα μάτια αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με βοηθήματα. Κάποιες φορές γίνεται συνδυασμός του ΟΕ με τη δόνηση, την ακοή και την αφή ή ακόμα και την όσφρηση του τεμαχίου που ελέγχεται. Ο ΟΕ αποτελείται από δύο βασικές διαδικασίες:

1. την έρευνα – έλεγχος
2. τον συνδυασμό γνώσεων και εμπειρίας του ελεγκτή ως προς τις κατεργασίες και γενικές συνθήκες του υλικού ώστε να αναγνωριστούν οι πραγματικές ασυνέχειες που αποτελούν κίνδυνο για τη δομική ακεραιότητα από τις μη σχετικές ενδείξεις (Ματίκας, 2015).

Ο ΟΕ υποστηρίζει τις υπόλοιπες μεθόδους ΜΚΕ και αποτελεί τον βασικότερο με την έννοια ότι προηγείται οποιουδήποτε άλλου ελέγχου. Ψηφιακοί ανιχνευτές και ηλεκτρονική τεχνολογία καθιστούν δυνατή και την αυτοματοποίηση του ελέγχου (μηχανική όραση). Τα χαρακτηριστικά τα οποία προσδιορίζονται είναι ποικίλα. Αυτά περιλαμβάνουν την παρουσία ασυνεχειών (π.χ. φθοράς, ρωγμών), την καταλληλότητα διαστάσεων, συναρμολόγησης ή απλά συμμόρφωση με άλλους κανόνες (π.χ. χρώμα, ύπαρξη ετικέτας προϊόντος κλπ.) (Ματίκας, 2015)

Στην συνέχεια παρατίθενται τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα της μεθόδου : (Ματίκας, 2015)

Πλεονεκτήματα

- Εφαρμόζεται σε όλα τα υλικά
- Συνήθως απλή εφαρμογή
- Χαμηλό κόστος (ανάλογα με την εφαρμογή)
- Σχετικά γρήγορος έλεγχος
- Τα αποτελέσματα μπορούν να καταγραφούν σε μόνιμο αρχείο
- Μπορεί να αυτοματοποιηθεί με τη βοήθεια κάμερας και Η/Υ

Μειονεκτήματα

- Περιορίζεται στην επιφάνεια.
- Σε πολλές περιπτώσεις χρειάζεται εμπειρία από τον χρήστη ενώ το αποτέλεσμα εξαρτώνται από τις γνώσεις και την οπτική οξύτητά του.
- Δεν είναι εύκολη η απόκτηση του απαραίτητου επιπέδου για έναν χειριστή

4.2.8 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΜΕΤΡΗΤΗ (Point Counter)

Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την αποτίμηση του βαθμού αποσάθρωσης και εφαρμόζεται κυρίως στα πυριγενή πετρώματα και βασίζεται στην εμβαδομέτρηση αποσαθρωμένων και υγρών ορυκτών. Ο λόγος αποσαθρωμένων προς τα υγιή μέρη ονομάζεται Δείκτης αποσάθρωσης και εκφράζεται ως :

$$\text{Δείκτης Αποσάθρωσης} = \frac{\text{Αποσαθρωμένα ορυκτά} + \text{Μικρορωγμές}}{\text{Υγιή Ορυκτά}}$$

Ο δείκτης Αποσάθρωσης σχετίζεται με την ταχύτητα υπερήχων καθώς και με άλλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων αποδεικνύοντας ότι ακόμα και η μικρή αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης στο υλικό μπορεί να προκαλέσει μείωση στην μηχανική του αντοχή.

4.2.9 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Είναι η μέθοδος υπολογισμού του χρόνου διέλευσης ενός υπερηχητικού σήματος μέσα από την μάζα του πετρώματος, θεωρώντας ότι η ιδιότητα αυτή εξαρτάται από την φυσική κατάστασή του. Ένα συμπαγές πέτρωμα θα έχει μεγαλύτερη ταχύτητα υπερήχων απ' ότι ένα λιγότερο συμπαγές άρα πιο αποσαθρωμένο.

4.2.10 Η ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΕΚΦΡΑΣΜΕΝΗ ΩΣ ΛΕΙΑΝΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΩΛΕΙΑ ΒΑΡΟΥΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΛΕΙΑΝΣΗ (AR)

Τα αποτελέσματα της μεθόδου σε σχετικά υγιή πετρώματα έδειξαν ότι η απώλεια βάρους κατά την λείανση σχετίζεται γραμμικά με την ξηρή πυκνότητα και την πυκνότητα των υπερήχων.

4.2.11 ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η αρχή της μικροσκοπίας των οπτικών ινών (FOM) στηρίζεται στα φαινόμενα διάδοσης του φωτός από τις πηγές στην οπτική ίνα. Οι εικόνες που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επί τόπου αναγνώριση των τύπων φθοράς, ταξινομώντας τους σε συνδυασμό με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, στις βασικές κατηγορίες της κυψέλωσης και της κρούστας. Από τις εφαρμογές της μεθόδου μικροσκοπίας οπτικών ινών προκύπτει επίσης η συμπληρωματικότητα της μεθόδου με τη μέθοδο ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας, στο πλαίσιο της χαρτογράφησης της φθοράς και της αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες. Η μέθοδος συνεπώς δίνει πληροφορίες για την υφή της επιφάνειας του υλικού και αποτελεί μια συμπληρωματική τεχνική της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας διακρίνοντας τη διάβρωση από κυψέλωση από τη σκληρή όξινη ανθρακική κρούστα.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι από τις παραπάνω Μη Καταστροφικές Μεθόδους που αναφέρονται δεν χρησιμοποιήθηκε κάποια στα πλαίσια της παρούσα διατριβής. Στις προτάσεις για περαιτέρω μελέτη του μνημείου που παρατίθενται στο τέλος θα προταθεί η χρήση της μεθόδου των υπερήχων καθώς και η μικροσκοπία οπτικών ινών και θα αναλυθεί ο λόγος.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η γεωλογία ολόκληρης της Κύπρου. Πιο αναλυτικά θα αναπτυχθεί η ζώνη ή σύμπλεγμα Μαμωνίων, η οποία καταλαμβάνει γεωγραφικά τις Νότιες και Νοτιοδυτικές περιοχές της Κύπρου και αποτελεί μέρος της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

5.2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΥΠΡΟΥ

Η νήσος Κύπρος γεωγραφικά καταλαμβάνει το ΒΑ άκρο της Ανατολικής Μεσογείου ενώ γεωλογικά αποτελεί μια αυτοτελή γεωτεκτονική μονάδα, η οποία σχετίζεται έμμεσα με την προέκταση του Διναροταυρικού τόξου και πιο αναλυτικά είναι το νοτιότερο ιζηματογενές τμήμα του. Εντάσσεται μερικώς στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα και μερικώς στην Μεσογειακή ορογένεση.

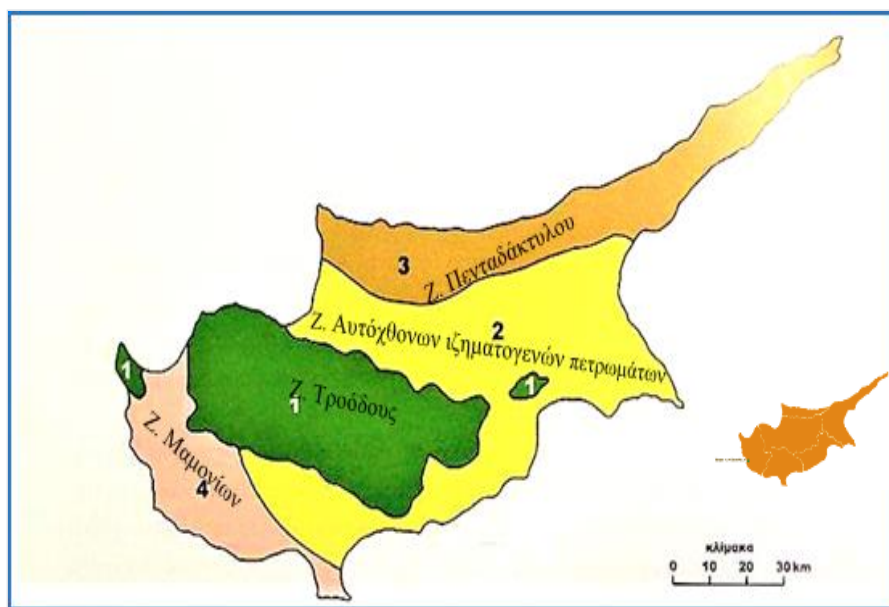
Από μορφολογικής άποψης η Κύπρος υποδιαιρείται στις ακόλουθες μορφολογικές περιφέρειες: α) Στο ορεινό σύμπλεγμα Τρόοδος που δεσπόζει στο κέντρο-νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού, με ψηλότερη κορυφή τον Όλυμπο (1.953 m) β) Στη βόρεια οροσειρά του Πενταδάκτυλου, με ψηλότερη κορυφή τον Κυπαρισσόβουνο (1.024 m) γ) Στην κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας, που εκτείνεται μεταξύ των δύο προηγούμενων και την οποία διασχίζουν δυο ποταμοί-χειμαρροι, ο Πεδιαίος και ο Γιαλιάς. δ) Στη λοφώδη περιοχή γύρω από το σύμπλεγμα του Τροόδους και ε) Στις παράκτιες πεδιάδες και ακτές. Το νησί αναδύθηκε μετά από σύγκρουση της Ευρασιατικής και Αφρικανικής πλάκας. Έπειτα, στην πορεία των χρόνων διαμόρφωσε το σημερινό γνωστό του σχήμα.

Η μορφολογικές ενότητες συμπίπτουν εν μέρει με τις γεωλογικές ενότητες οι οποίες είναι :

1. Η ζώνη Τροόδους. Αποτελείται από οφειολιθικό σύμπλεγμα με τα τυπικότερα πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού και μανδύα τα οποία σχηματίστηκαν κατά το Άνω Κρητιδικό.
2. Η ζώνη των αυτόχθονων ιζηματογενών πετρωμάτων. Η ζώνη αυτή συναντάται στην πεδιάδα της Μεσαορίας. Θεωρείται στρωματογραφικά ανώτερη της οφειολιθικής ακολουθίας του Τροόδους. Χαρακτηριστικό της ζώνης είναι ότι περιβάλλει την οφειολιθική μάζα του Τροόδους από την Βόρεια, Νότια και Ανατολική πλευρά. Η ηλικία των πετρωμάτων αυτών είναι νεότερη του Άνω Κρητιδικού.
3. Η ζώνη Κυρήνειας ή Πενταδάκτυλου. Αποτελείται από αλπικά ιζήματα και καλύπτει το βόρειο τμήμα του νησιού καλύπτοντας ολόκληρη την οροσειρά του Πενταδάκτυλου. Η ηλικία των αλπικών ιζημάτων είναι Περμίου – Μέσο Μειόκαινο. Στην ζώνη αυτή συναντώνται επίσης ηφαιστειακά πετρώματα, τα

οποία αντιπροσωπεύουν ένα ηφαιστειακό τόξο που σχηματίστηκε κατά την υποβύθιση του ωκεάνιου πυθμένα του Τροόδους προς τα Βόρεια, ηλικίας Άνω Κρητιδικού

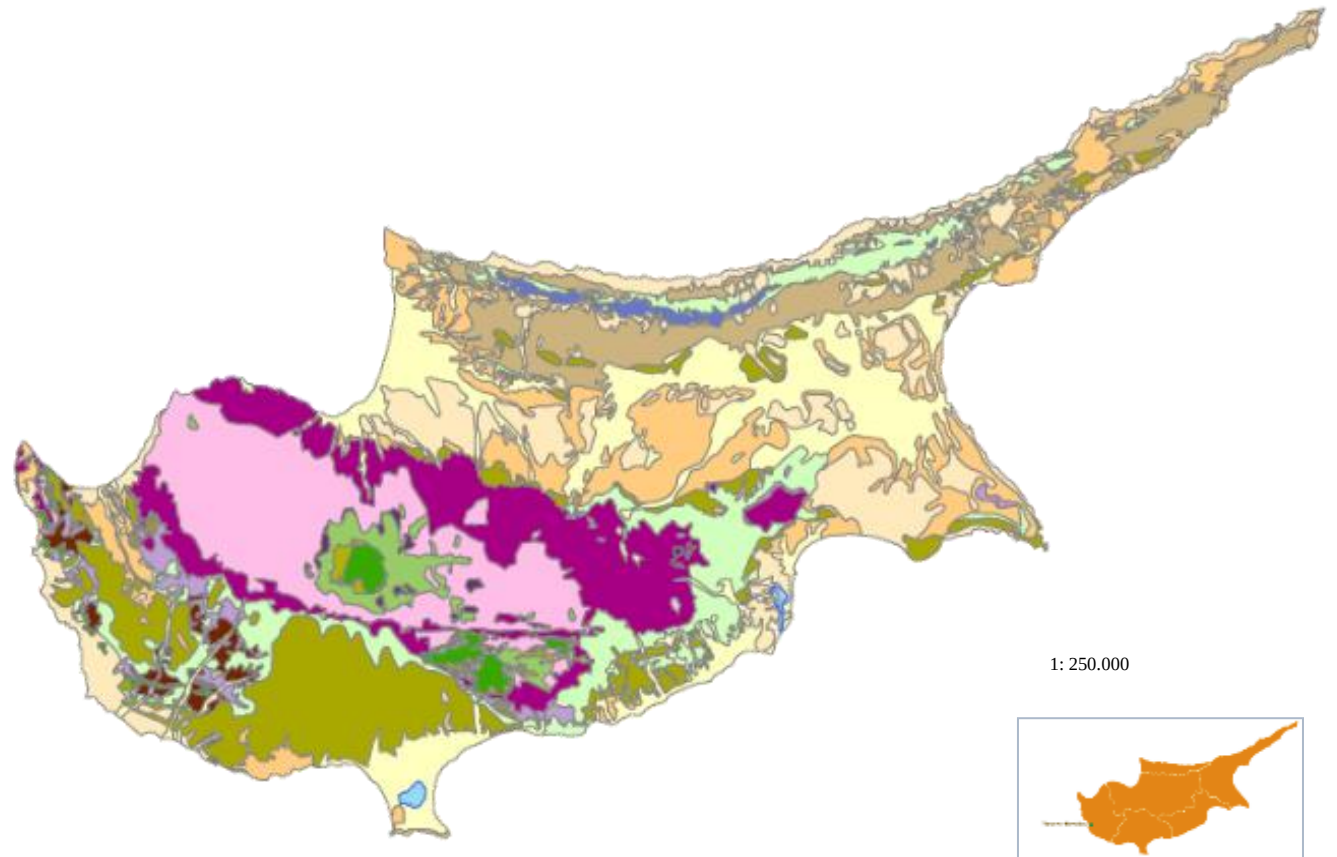
4. Η ζώνη Μαμονίων καταλαμβάνει την ΝΔ πλευρά της Κύπρου μεταξύ των περιοχών της Λεμεσου και της Πάφου. Είναι η ζώνη στην οποία βρίσκεται η υπο μελέτη περιοχή γι' αυτό θα αναλυθούν τα γεωλογικά της χαρακτηριστικά (Μουντράκης, 2010).



ΕΙΚΟΝΑ 5.46: Τροποποιημένη απεικόνιση των γεωτεκτονικών ζωνών της Κύπρου (Μουντράκης, 2010)

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- Αλυκή
- Αλλούβια-Κολλούβια
- Αποθέσεις αναβαθμίδας,Κροκαλοπαγές ριπιδίου
- Απαλός, Αθάλασσα,Κακκασιστρα & Λευκωσία
- Σχηματισμός Καλαβάσο & Παχνα
- Σχηματισμός Λεύκαρη, Καλογραία & Λάπηθος
- Σχηματισμός Κάθηκας, Μονή,Κανναβιού, Πέρα Πεδί
- Pillow Lavas
- Διαβάσης
- Πλαγιогρανίτης
- Γάββρος
- Πυροξενίτης,Περιδοτίτης,Δουνίτης
- Χαρτζβουργίτης,Σερπεντινίτης
- Σχηματισμός Κυθρέα
- Σχηματισμός Ιλαρίωνα,Συγχαρί,Δίκωμο Καντάρα
- Σύμπλεγμα Μαμονίων



ΕΙΚΟΝΑ 5.47: Τροποποιημένος Χάρτης της Γεωλογίας της Κύπρου (Zomenia,2012)

Η ζώνη ή σύμπλεγμα Μαμωνίων, καταλαμβάνει γεωγραφικά τις Νότιες και Νοτιοδυτικές περιοχές της Κύπρου. Το όνομα της ζώνης προέρχεται από το χωρίο Μαμώνια της επαρχίας της Πάφου, στο οποίο βρίσκονται τυπικά πετρώματα που την αντιπροσωπεύουν. Η ηλικία των πετρωμάτων είναι Μέσο Τριαδικό – Ανώτερο Κρητιδικό και επωθήθηκε πάνω και δίπλα στην οφειολιθική μάζα του Τροόδους, κατά το Μαιστρίχτιο.

Αποτελεί μια ζώνη οφειολιθικών μιγμάτων που συνθέτονται από ωκεάνια ιζήματα (κερατόλιθοι, αργιλοπυριτικά, πελαγικοί ασβεστόλιθοι) ηλικίας Τριαδικού - Κρητιδικού. Τεκτονικά αναμιγνύονται με οφειολιθικά πετρώματα (γάββρους, διαβάσες, pillow lavas, σερπεντινίτες), τα οποία όμως προέρχονται από την οφειολιθική μάζα του Τροόδους και άλλα μεταμορφωμένα πετρώματα. Τα τελευταία πιθανώς να αντιπροσωπεύουν πετρώματα ενός παλιού ηπειρωτικού περιθωρίου της Γκοτβάνας πάνω στο οποίο έγινε η αρχική ηπειρωτική διάρρηξη κατά το Τριαδικό ώστε να εξελιχθεί στην πορεία στην ωκεάνια λεκάνη του Τροόδους. Η ηλικία της ισχυρής τεκτονικής παραμόρφωσης η οποία οδήγησε τελικά στην δημιουργία των τεκτονικών οφειολιθικών μιγμάτων, θεωρείται το Άνω Κρητιδικό και συγκεκριμένα το Μαιστρίχτιο (Μουντράκης, 2010). Τα πετρώματα αυτής της ζώνης χωρίζονται περαιτέρω σε δυο επιμέρους τεκτονο-στρωματογραφικές ενότητες. Οι ενότητες αυτές είναι η κατώτερη ακολουθία, η «Ομάδα Διαρίζου» και η υπερκείμενη ακολουθία στρωμάτων η «Ομάδα Αγίου Φωτίου».

Ομάδα Διαρίζου

Η κατώτερη ομάδα του Διαρίζου αποτελείται κυρίως από πυριγενή πετρώματα (pillow lavas) ηφαιστειακά λατυποπαγή καθώς και από φακοειδής παρεμβολές ασβεστόλιθων και κερατόλιθων. Χωρίζεται σε τρεις επιμέρους σχηματισμούς: της Φασούλας, της Πέτρας του Ρωμιού και του Μαυροκόλυμπου.

Στον σχηματισμό της Φασούλας συναντώνται βασαλτικής και ανδεσιτικής σύστασης pillow lavas, καθώς και τραχειτικές ροές λαβών. Εμφανίζονται ασβεστολιθικές παρεμβολές, οι οποίες έχουν χρονολογηθεί από μικροαπολιθώματα που φέρουν ως Τριαδικής – Ιουρασικής ηλικίας. Ο σχηματισμός της Πέτρας του Ρωμιού αποτελείται από μεγάλους όγκους ανακρυσταλλωμένου λευκού ασβεστολίθου, οι οποίοι βρίσκονται διάσπαρτοι στη ζώνη των Μαμωνίων, με ηλικία που προσδιορίστηκε από τα απολιθώματα σε περιοχές χαμηλής ανακρυστάλλωσης ως Άνω Τριαδική. Τέλος, ο σχηματισμός του Μαυροκόλυμπου τοποθετείται ασύμφωνα πάνω στο σχηματισμό της Φασούλας και αποτελείται από ιλυόλιθους, ερυθρές αργίλους και πλούσια σε σίδηρο και μαγγάνιο ιζήματα. Στη βάση του σχηματισμού Μαυροκόλυμπου, εμφανίζεται ένα στρώμα γκρι ηφαιστειακών αργίλων με κομμάτια λαβών.

Ομάδα Αγίου Φωτίου

Όπως έχει αναφερθεί αποτελεί την τεκτονικά ανώτερη ομάδα της ζώνης των Μαμωνίων. Η ηλικία των πετρωμάτων είναι Άνω Τριαδική - Μέση Κρητιδική ενώ το συνολικό πάχος των ιζημάτων υπολογίζεται περίπου στα 235m. Η ομάδα Αγίου Φωτίου διακρίνεται σε τρεις επιμέρους σχηματισμούς, οι οποίοι είναι από τη βάση προς τα πάνω ο Σχηματισμός του Βλάμπουρου, ο Σχηματισμός της Μαρώνας και ο Σχηματισμός της Επισκοπής. Αρχικά, ο σχηματισμός *Βλάμπουρου* είναι η βάση της *Ομάδας Αγίου Φωτίου* και συνθέτεται από ιζηματογενείς σχηματισμούς. Αποτελείται κυρίως από γκριζοπράσινους, παχυστρωματώδεις, μεσαίου μεγέθους κόκκων ψαμμίτες στους οποίους σε ορισμένες θέσεις παρεμβάλλονται ιλυόλιθοι και γκρι λεπτοστρωματώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι. Η ηλικία αυτών των σχηματισμών είναι Άνω Τριαδική.

Στρωματογραφικά ο ανώτερος σχηματισμός από τον σχηματισμό του *Βλάμπουρου* είναι ο σχηματισμός της *Μαρώνας*. Αποτελείται από ανακρυσταλλωμένους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με κατά τόπους παρεμβολές κόκκινων λεπτοστρωματωδών κερατόλιθων. Τέλος, ο ανώτερος στρωματογραφικός σχηματισμός είναι ο σχηματισμός της *Επισκοπής*. Ο σχηματισμός περιλαμβάνει εναλλαγές κυρίως λεπτοστρωματωδών πηλινών και ραδιολαριτικών κερατόλιθων με λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους καθώς και λεπτοστρωματώδεις χαλαζιακούς ψαμμίτες στα ανώτερα τμήματα του σχηματισμού. Στον σχηματισμό αυτόν εμφανίζεται ανάμειξη ιζημάτων βαθιάς και ρηχής θάλασσας, η οποία προϋποθέτει σχηματισμό πρώτα των ψαμμιτών σε ρηχή θάλασσα και γρήγορη μεταφορά τους στα βαθιά με ταυτόχρονο σχηματισμό των ιζημάτων βαθιάς θάλασσας. Η ηλικία των πετρωμάτων αυτών είναι Κάτω Ιουρασικό - Μέσο Κρητιδικό ενώ το πάχος τους φτάνει περίπου τα 165m.

Τα πετρώματα της περιοχής της Πάφου διακρίνονται σε δύο κύριες ακολουθίες: 1) την αλλόχθονη ακολουθία, τα πετρώματα της οποίας σχηματίστηκαν αλλού και μεταφέρθηκαν εκεί με τεκτονικές κινήσεις και 2) την αυτόχθονη ακολουθία τα πετρώματα της οποίας σχηματίστηκαν επιτόπου.

Η αλλόχθονη ακολουθία περιλαμβάνει όλα τα πετρώματα του συμπλέγματος Μαμωνίων, τα οποία έχουν τόσο ιζηματογενή, όσο και πυριγενή προέλευση. Η ακολουθία αυτή χωρίζεται αντίστοιχα σε δύο υποομάδες: α) την ιζηματογενή υποομάδα και β) την πυριγενή υποομάδα.

Η ιζηματογενής υποομάδα διαιρείται σε τέσσερα μέλη:

1. Ψαμμιτικό Μέλος

Περιλαμβάνει καλά στρωμένους γκρι ψαμμίτες με ενδιάμεσες στρώσεις οργανικών υπολειμμάτων με διαβαθμισμένα στρώματα, καθώς και διασταυρούμενη στρώση. Κατά τόπους συναντώνται ενδιάμεσα στρώματα σχιστολιθικών και κερατολιθικών ζωνών. Το ψαμμιτικό μέλος έχει Τριαδική ηλικία και το πάχος υπολογίζεται περίπου από 3 ως 15m.

2. Πελαγικοί Ασβεστόλιθοι

Το μέλος αυτό αποτελείται από λεπτοστρωματώδεις γκρι ασβεστόλιθους, με ενδιάμεσα απολιθωματοφόρα στρώματα. Είναι Τριαδικής ηλικίας στρώματα με πάχος από 0-6m.

3. Ασβεστόλιθοι της Πέτρας του Ρωμιού

Περιλαμβάνει μερικώς ανακρυσταλλωμένους, λευκούς ασβεστόλιθους.

4. Σχιστολιθικό-Κερατολιθικό Μέλος

Αποτελείται από εναλλασσόμενα στρώματα καφέ και μαύρων μαγγανιούχων σχιστόλιθων, κόκκινων σχιστόλιθων, πρασινωπών και κοκκινωπών κερατόλιθων, χονδρόκοκκων κιτρινωπών ψαμμιτών με κατά θέσεις διαβαθμισμένη στρώση και βιτουμενούχους σχιστόλιθους. Η ηλικία των σχηματισμών αυτών είναι Τριαδική-Ιουρασική.

Η πυριγενής υποομάδα περιλαμβάνει δυο μέλη :

1. Pillow λάβες

Συναντώνται σε εναλλασσόμενα στρώματα με τους ασβεστόλιθους και κατά θέσεις με τα ψαμμιτικά μέλη και είναι Τριαδικής ηλικίας.

2. Σερπεντινίτες

Εμφανίζονται αρκετά σχιστοποιημένοι. Έχουν ηλικία Κατώ Τριαδικό και υπερκαλύπτονται από τους ιζηματογενείς σχηματισμούς των Μαμωνίων. Λόγω επώθησης βρίσκονται σήμερα πάνω σε νεότερα ιζηματογενή πετρώματα Καμπανίου ηλικίας.

Η αυτόχθονη ακολουθία της περιοχής της Πάφου περιλαμβάνει τα πυριγενή πετρώματα του Τροόδους και ιζηματογενή πετρώματα τα οποία χρονολογούνται από το Άνω Κρητιδικό μέχρι και σήμερα. Τα πυριγενή πετρώματα του Τροόδους καταλαμβάνουν μόνο ένα μικρό μέρος της έκτασης της περιοχής της Πάφου στα βορειοανατολικά. Αποτελούνται από τις ανώτερες και κατώτερες pillow λάβες, καθώς και από μέλη της βασαλτικής ομάδας.

Τα πετρώματα αυτά έρχονται ασύμφωνα σε επαφή με τα ιζήματα των σχηματισμών Κανναβιού και Λευκάρων. Ο σχηματισμός των ανώτερων pillow λαβών είναι Καμπανίου ηλικίας, καθώς βρίσκονται σε εναλλαγή με τις σύμβρες του σχηματισμού Περαιπέδιου οι οποίες περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά απολιθώματα αυτής της ηλικίας.

Η αυτόχθονη ακολουθία αποτελείται από ιζηματογενή πετρώματα τα οποία χωρίζονται στους παρακάτω σχηματισμούς :

1. Σχηματισμός Περαιπέδιου

Χαρακτηρίζεται από ούμβρες, συμβρώδης σχιστόλιθους, κερατόλιθους με ραδιολάρια και σχιστόλιθους. Παρεμβάλλεται στις ανώτερες pillow λάβες του Τροόδους η ηλικία του είναι στο Καμπάνιο.

2. Σχηματισμός Κανναβιού

Αποτελείται από γκριζοπράσινες μπετονιτικές αργίλους με ενστρώσεις υπόλευκων ηφαιστειοκλαστικών ψαμμιτών. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 100-600m ενώ τοποθετείται ασύμφωνα πάνω από τις pillow λάβες του Τροόδους.

3. Σχηματισμός melange

Ο σχηματισμός αυτός είναι το αποτέλεσμα της διάβρωσης των πετρωμάτων του συμπλέγματος Μαμωνίων κατά το Μαιστρίχτιο (Ανώτερο Κρητιδικό). Πρόκειται για λατυποπαγή και ογκόλιθους πυριγενούς ή ιζηματογενούς χαρακτήρα που βρίσκονται μέσα σε αργιλικό υλικό. Ο σχηματισμός αυτός υπερκαλύπτει το σύμπλεγμα Μαμωνίων και τον σχηματισμό Κανναβιού, ενώ καλύπτεται ασύμφωνα από το σχηματισμό Λευκάρων.

4. Σχηματισμός Λευκάρων

Ο σχηματισμός Λευκάρων σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια του Παλαιογενούς και αποτελείται κυρίως από κρητίδες, μάργες, μαργαϊκές κρητίδες, κρητιδικές μάργες. Κατά θέσεις συναντώνται κερατόλιθοι με μορφή ταινιών ή κονδύλων, πάχους 0-300m. Επίσης, υπάρχουν στα ανώτερα στρώματα τον σχηματισμό απολιθωματοφόρων υφαλογενών ασβεστόλιθων του κατώτερου Μειόκαινου, το πάχος του οποίου ποικίλει από 10-15m έως 150m.

Ο σχηματισμός Πάχνας καταλαμβάνει κυρίως το βόρειο τμήμα της περιοχής Πάφου και αποτελείται από εναλλαγές μαργών, κρητίδων, μαργαϊκών κρητίδων και κρητιδικών μαργών. Επίσης, ο σχηματισμός αυτός περιλαμβάνει σε μικρότερη έκταση ασβεστολιθικούς ψαμμίτες. Έχει ηλικία μέσο Μειόκαινο και πάχος του κυμαίνεται από 0-200m.

5. Σχηματισμός Καλαβασού

Αποτελείται από τρεις κυρίως ποικιλίες γύψου: α) μεσόκοκκος έως χονδρόκοκκος, γκρι έως λευκός, β) σεληνιτικός γύψος με μεγάλους αδιαφανείς κρυστάλλους, γ) λεπτοστρωματώδης, λευκοκρατικός, σκληρός και συμπαγής. Η ηλικία του σχηματισμού αυτού είναι το Άνω Μειόκαινο και το πάχος κυμαίνεται από 0-200m. Στρωματογραφικά βρίσκεται πάνω από τις μάργες του σχηματισμού Πάχνας.

6. Σχηματισμός Λευκωσίας

Η ηλικία του σχηματισμού αυτού είναι ανώτερο Μειόκαινο με Πλειόκαινο. Στην περιοχή Πάφου εμφανίζεται τόσο στα βόρεια όσο και στα νότια σε ένα άξονα με

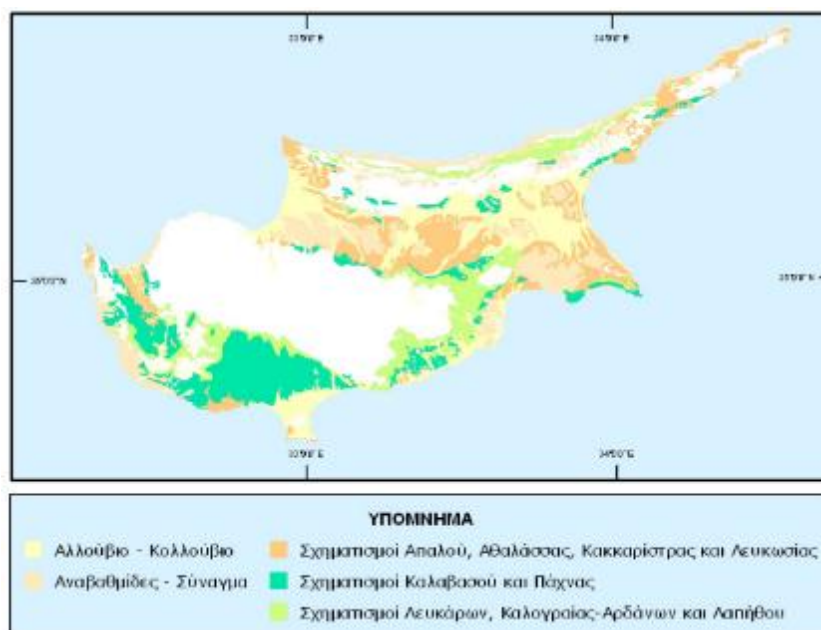
διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Στις βόρειες περιοχές βρίσκεται ασύμφωνα πάνω από το σχηματισμό Πάχνας ή τον σχηματισμό Καλαβασού, ενώ στις νότιες περιοχές βρίσκεται κάτω από το σχηματισμό Αθαλάσσας. Ο σχηματισμός Λευκωσίας αποτελείται κυρίως από πρασινωπές αμμώδεις μάργες σε εναλλαγές με ασβεστολιθικά στρώματα ή κατά θέσεις με κροκαλοπαγή.

7. Σχηματισμός Αθαλάσσας

Εμφανίζεται στις νότιες παράκτιες περιοχές της ευρύτερης περιοχής της Πάφου και αποτελείται από καφέ βιοασβεστιτικούς ψαμμίτες κατά θέσεις εναλλασσόμενους με κίτρινες μάργες. Το μέσο πάχος του σχηματισμού αυτού είναι 10-15m και είναι ηλικίας ανώτερου Πλειόκαινου – κατώτερου Πλειστόκαινου.

8. Πλειστοκαινικές-σύγχρονες αποθέσεις

Ο σχηματισμός αυτός περιλαμβάνει τις Τεταρτογενής αποθέσεις. Αποτελείται από τις ποτάμιες αποθέσεις, το σύναγμα (κροκαλοπαγή) και από τα αλλούβια και κολλούβια.



ΕΙΚΟΝΑ 5.48: Ζώνη Ιζηματογενούς ακολουθίας Τροόδους (www.moa.gov.cy)

5.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της Κύπρου είναι κομμάτι ενός πολύπλοκου τεκτονικά χώρου, με τον τρόπο που έχει διαμορφωθεί από τις κινήσεις των τεκτονικών πλακών στην Ανατολική Μεσόγειο. Μελέτες που αφορούν την ενεργό τεκτονική στην ευρύτερη περιοχή της Κύπρου, συγκλίνουν στην άποψη ότι το Κυπριακό Τόξο αποτελεί το όριο μεταξύ της πλάκας της Ανατολικής Μεσογείου στην Νότια πλευρά και της πλάκας της Ανατολίας στην Βόρεια πλευρά. Επιπλέον, κοινό σημείο αποτελεί ότι στην περιοχή αυτή πραγματοποιείται η σύγκλιση των δύο πλακών αλλά δεν υπάρχει ομοφωνία ως προς την γεωμετρία του και την σχετική κίνηση των δυο πλακών.

Σύμφωνα με τον Rotstein et al. (1985) θεωρείται ότι πριν από την δημιουργία όλων των τεκτονικών στοιχείων υπήρχαν πιο μικρές πλάκες στην Ανατολική Μεσόγειο και τα όρια των πλακών διακρίνονταν από ένα συνεχές και ανενεργό τόξο. Κατά την διάρκεια της αύξησης και σύγκρουσης των τεμαχών, το τόξο αρχίζει να αποχωρίζεται από μια μεγάλη πλάκα η οποία βρισκόταν ανάμεσα στην Κρήτη και την Κύπρο. Το τόξο τελικά έσπασε σε δυο κομμάτια που αποτελούν σήμερα το Κυπριακό και το Ελληνικό τόξο. Εμφανίσεις του μεγαλύτερου τεμάχους εντοπίζονται στην νοτιοδυτική Τουρκία και μερικές άλλες εμφανίσεις σχετίζονται και βρίσκονται κοντά στο Ελληνικό τόξο.

Η γένεση άρχισε κατά την υπόβυθιση της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την πλάκα της Ευρασίας με αποτέλεσμα την δημιουργία του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδους κατά το Α. Κρητιδικό, συνεχίστηκε με την αποκόλληση και αριστερόστροφη περιστροφή του κατά 90° και την προσκόλληση σ' αυτό παλαιότερων πετρωμάτων ηλικίας 230 ως 75 εκ. χρόνων στη νότια και δυτική περιφέρεια του (Ζώνη Μαμωνίων). Στην συνέχεια, ακολούθησε μια σχετική τεκτονική ηρεμία, η οποία είχε διάρκεια μέχρι και πριν από 75 με 10 εκατομμύρια χρόνια. Χαρακτηριστικό αυτής της τεκτονικής ηρεμίας αποτέλεσε η απόθεση των θαλάσσιων ασβεστολιθικών ιζημάτων και η βαθμιαία μείωση του βάθους των θαλασσών (Σχηματισμοί Λευκάρων και Πάχνας).

Η προσκόλληση της οροσειράς του Πενταδακτύλου στη βόρεια πλευρά της ζώνης του Τροόδους καθώς και η ανύψωση της Κύπρου στη σημερινή της σχεδόν μορφή είχε την αφετηρία της στο Μειόκαινο και αποτελεί το προτελευταίο τεκτονικό γεγονός. Στο τέλος του Μειόκαινου στο βορειότερο τμήμα της περιοχής που θα αποτελούσε την Κύπρο μια σειρά από αλλόχθονους ασβεστόλιθους (Ζώνη Πενταδακτύλου) επωθήθηκε νότια πάνω στις παρυφές της Ζώνης του Τροόδους, πτυχώνοντας και μετακινώντας όλα τα νεότερα ιζήματα που συνάντησε στην πορεία της.

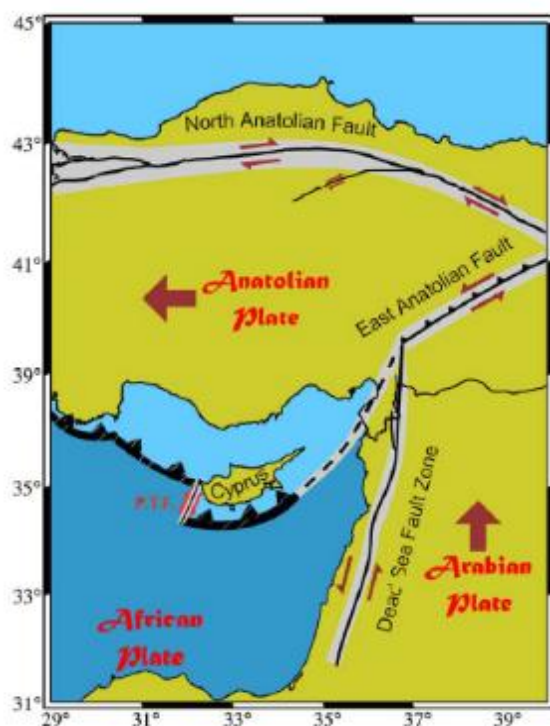
Στην ανατολική πλευρά της Κύπρου η Τηθύς θάλασσα έκλεισε και η Μεσόγειος απέκτησε πρακτικά το σημερινό της σχήμα. Αρχικά, η ένωση ξανά της Μεσογείου με τον Ατλαντικό, δεύτερον ο κατακλυσμός της από τα νερά του Ατλαντικού και τέλος η ανύψωση της στάθμης της επιφάνειας της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την εκ νέου απόθεση ιζημάτων, που αντιπροσωπεύονται σήμερα από τις μάργες και τους ασβεστολιθικούς ψαμμίτες (πωρόλιθους) των Σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσας.

Η ραγδαία ανύψωση του Κυπριακού χώρου σημειώθηκε το Πλειστόκαινο, οπότε αναδύθηκαν το σημερινό Τρόδος και ο Πενταδάκτυλος σε υψόμετρα μεγαλύτερα από τα σημερινά. Η ανύψωση αυτή, συνδυασμένη με την έντονη βροχόπτωση, είχε ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη διάβρωση των οροσειρών, κυρίως του Τροόδους καθώς και τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων προϊόντων διάβρωσης (κλαστικές αποθέσεις) που αποτέθηκαν στις κοιλάδες των μεγάλων ποταμών και στο χώρο της Μεσαορίας, σχηματίζοντας τα κλαστικά πλειστοκαινικά ιζήματα (Σύναγμα).

5.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η Κύπρος αποτελεί μια περιοχή που επηρεάζεται συχνά από σεισμούς. Πηγή των σεισμών αποτελεί κατά κύριο λόγο το Κυπριακό Τόξο, το οποίο αναπτύσσεται στα νότια της Κύπρου και σχηματίζει ένα φυσικό σύνορο μεταξύ της Αφρικανικής και Ευρασιατικής Πλάκας. Από μελέτες φανερώνεται ότι στο δυτικό μέρος της Κύπρου υφίσταται υποβύθιση ενώ στα νότια υπάρχει συμπίεση λόγω του υποθαλάσσιου όρους του Ερατοσθένη, το οποίο συγκρούεται με το εμπρόσθιο τμήμα της Αφρικανικής πλάκας.

Στην παρακάτω ΕΙΚΟΝΑ 5.49 αναπαρίσταται ένα πρόσφατο σεισμοτεκτονικό μοντέλο το οποίο αφορά την ανατολική Μεσόγειο (Papazachos and Papaioannou, 1999). Στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου συναντώνται τρεις μεγάλες λιθοσφαιρικές πλάκες, η Αφρικανική, η Ευρασιατική και η Αραβική οι οποίες αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους. Μεταξύ των παραπάνω λιθοσφαιρικών πλακών υπάρχει μια μικρότερη πλάκα στην οποία βρίσκεται η Κύπρος και η πλάκα της Ανατολίας. Η κίνηση αυτής της μικρότερης πλάκας σε σχέση με την κίνηση των μεγαλύτερων λιθοσφαιρικών πλακών είναι σημαντική για την κατανόηση της ενεργού τεκτονικής στην περιοχή.



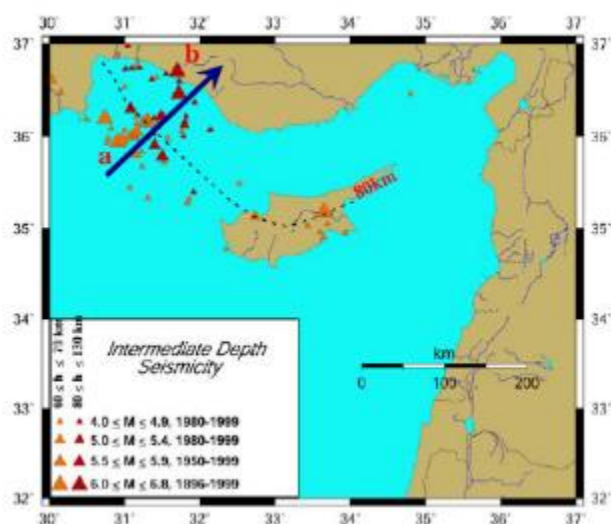
ΕΙΚΟΝΑ 5.49: Σεισμοτεκτονικό μοντέλο Ανατολικής Μεσογείου (Papazachos and Papaioannou, 1999)

Η κίνηση της πλάκας της Ανατολίας σε σύγκριση με την Αραβική πλάκα γίνεται πάνω στο ρήγμα οριζόντιας διεύθυνσης της Ανατολικής Ανατολίας, όπου σημειώνεται παραμόρφωση μίας στενής ζώνης μήκους περίπου 250km με μία οριζόντια ταχύτητα 4-7mm/yr (Kiritzi and Papazachos, 1995). Η κίνηση της πλάκας της Ανατολίας σε σύγκριση με την Ευρασιατική πλάκα είναι δεξιόστροφη ολίσθηση και γίνεται επίσης σε μία στενή αλλά πολύ επιμήκη ζώνη με ταχύτητα παραμόρφωσης της τάξης των 2.5cm/yr. Τέλος η κίνηση της σε σύγκριση με την Αφρικανική πλάκα γίνεται σε μία πολύπλοκη επιμήκη και ευρεία ζώνη σύγκλισης όπου υφίσταται

συμπιεστική παραμόρφωση με μία μέση ταχύτητα 1 cm/yr σε διεύθυνση Βορρά-Νότο.

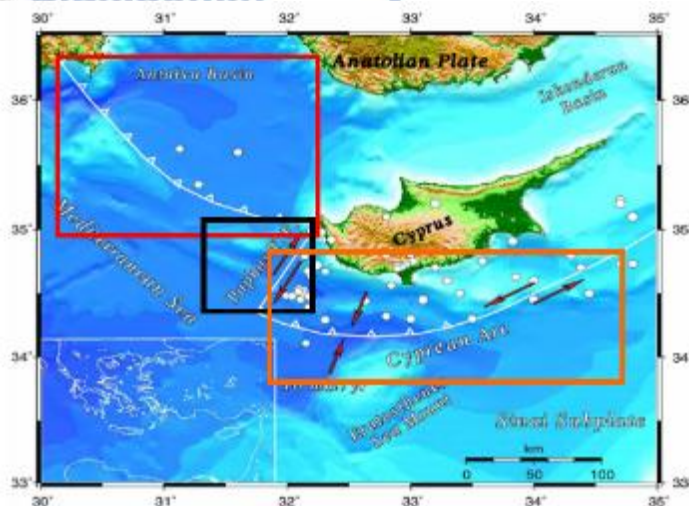
Οι μαύρες οδοντωτές γραμμές της ΕΙΚΟΝΑΣ 5.49 παριστάνουν τα δύο καμπύλα τμήματα του Κυπριακού Τόξου. Μεταξύ των δύο αυτών τμημάτων βρίσκεται το Ρήγμα της Πάφου. Στο ίδιο σχήμα φαίνονται το ρήγμα της Ανατολικής Ανατόλιας και η ζώνη διάρρηξης της Νεκράς Θάλασσας. Οι διευθύνσεις των κινήσεων της αραβικής και της τουρκικής πλάκας παριστάνονται με βέλη.

Για το χρονικό διάστημα 1896-1999 όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 5.50 παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών (Papazachos and Papaioannou, 1999). Στο ίδιο σχήμα χαράχθηκε η ισοβαθής των 80 km, η οποία τέμνει την Κύπρο στην βόρεια πλευρά της οροσειράς του Τρόodos. Στον κόλπο της Αντάλιας οι σεισμοί έχουν βάθος ως 130km και το μέγιστο μέγεθος είναι $M=6.8$ ενώ στην περιοχή της Κύπρου το βάθος των σεισμών δεν ξεπερνάει τα 80 km και το μέγιστο μέγεθος είναι $M=6.0$.



ΕΙΚΟΝΑ 5.50: Γεωγραφική κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών για το χρονικό διάστημα 1896-1999 (Papazachos and Papaioannou, 1999).

Στον παρακάτω χάρτη ΕΙΚΟΝΑ 5.51 η σεισμική δράση συγκεντρώνεται σε τρία τμήματα του τόξου, ένα γραμμικό και δύο καμπύλα. Δεν έγιναν σεισμοί, κατά Papazachos and Papaioannou (1999) με εστιακό βάθος που να ξεπερνά τα 50 km στο κυρτό τμήμα των δύο τοξοειδών ζωνών. Το πρώτο από τα καμπύλα τμήματα βρίσκεται νότια της Κύπρου και έχει διεύθυνση παράλληλα με τις ακτές. Η ζώνη αυτή συνεχίζεται με βορειοανατολική διεύθυνση και τελικά ενώνεται με το ρήγμα της Ανατολικής Ανατόλιας. Το δεύτερο τμήμα εντοπίζεται βορειοδυτικά της Κύπρου και ως όριο στο βορειοδυτικό άκρο του έχει το μεγάλο ρήγμα της Ρόδου (Papazachos, 1996) και στο νοτιοανατολικό όριο το ρήγμα της Πάφου. Ενδιάμεσα έχει διεύθυνση παράλληλη με την ράχη Florence. Χαρακτηριστικό του τμήματος αυτού είναι η χαμηλή σεισμικότητα. Το ευθύγραμμο τμήμα του τόξου βρίσκεται στο νοτιοδυτικό μέρος του νησιού και σχετίζεται με το ρήγμα της Πάφου, το οποίο είναι ένα δεξιόστροφο ρήγμα διεύθυνσης με ανάστροφη συνιστώσα. Τρεις από τους ισχυρούς σεισμούς οι οποίοι έγιναν τον παρόντα αιώνα και έπληξαν την Κύπρο σχετίζονται με το ρήγμα αυτό.



ΕΙΚΟΝΑ 5.51: Χάρτης χωρικής κατανομής των epicέντρων των σεισμών στον Κυπριακό χώρο. (Papazachos and Papaioannou, 1999)

Οι σημαντικότερες τεκτονικές δομές που εμφανίζονται στην Κύπρο είναι οι εξής:

Η ρηξιγενής ζώνη της Πάφου

Η ρηξιγενής ζώνη της Πάφου αποτελεί μια τοξοειδή σχετικά στενή αλλά πολύπλοκη τεκτονική ζώνη, η οποία περιβάλλει όλη την νοτιοδυτική πλευρά την Κύπρο. Ξεκινά από την περιοχή δυτικά του χωριού Ακρωτήρι και φτάνει μέχρι το Ακρωτήριο του Ακάμα. Πρόκειται για μια ζώνη συρραφής αλλόχθονων πετρωμάτων που προέρχονται από την λιθοσφαιρική πλάκα της Αφρικής με τα πετρώματα του Τροόδους.

Από τις εργασίες υπαίθρου, που έχουν πραγματοποιηθεί από μελετητές, στις τεκτονικές επαφές κατά μήκος της ζώνης συρραφής δεν υπάρχουν στοιχεία που να φανερώνουν την επαναδραστηριοποίηση τους κατά το Πλειστόκαινο. Σημαντικές Πλειστοκαινικές παραμορφώσεις έχουν εντοπιστεί κατά μήκος μιας ζώνης επωθήσεων που εκτείνεται παράλληλα με την ζώνη συρραφής και σε απόσταση 4 - 6 km προς την παραλία. Γεωμορφολογικά και τεκτονικά δεδομένα οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η ζώνη των επωθήσεων βυθίζεται και συναντά στο βάθος την ζώνη συρραφής.

Η ρηξιγενής ζώνη του Ακρωτηρίου Άσπρο

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη τοποθετείται μέσα στην θάλασσα. Στην περιοχή αυτή Τεταρτογενείς θαλάσσιες αποθέσεις βρίσκονται σε διάφορα υψόμετρα. Ανατολικά του Ακρωτηρίου Άσπρο και προς τον Κόλπο της Αυδήμου παρατηρούνται περίστρεπτα τεμάχια που υποδηλώνουν πρόσφατες τεκτονικές μετακινήσεις. Όλα τα χαρτογραφικά δεδομένα και υπαίθριες παρατηρήσεις συγκλίνουν στην ύπαρξη μια ζώνης αναστροφών και πλάγιων ρηγμάτων μέσα στο θαλάσσιο χώρο.

Η ρηξιγενής ζώνη του Αρακαπά

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη χωρίζει τον οφειόλιθο του Τροόδους σε δυο μέρη το βόρειο και το νότιο. Πρόκειται για ένα ρήγμα μετασχηματισμού του άξονα διεύρυνσης στον οποίο σχηματίστηκε ο οφειόλιθος αυτός. Εμφανίζεται σαν μια ρηξιγενής κοιλάδα πλάτους περίπου ενός χιλιομέτρου η οποία εκτείνεται σε μήκος

περίπου 35km, από το χωριό Άγιος Μάμας στα δυτικά μέχρι το χωριό Βάβλα στα ανατολικά.

Η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας

Η ρηξιγενής αυτή ζώνη μήκους περίπου 24km και πλάτους 1-2km εκτείνεται μεταξύ των χωριών Αγίου Μάμα στα βόρεια και Φοινικαριών στα νότια όπου και διασπάται σε μικρά ρήγματα. Η ρηξιγενής ζώνη της Γεράσας είναι κλιμακωτή και επιτρέπει τον διαχωρισμό της σε τρία επιμέρους σεισμογενετικά τμήματα. Η κίνηση είναι πλάγια δεξιόστροφη. Ενώ σε όλο το μήκος της ζώνης έχουν παρατηρηθεί μορφολογικά χαρακτηριστικά ενεργών ρηγμάτων.

Η ρηξιγενής ζώνη του Οβγού

Η ρηξιγενής ζώνη του Οβγού αποτελεί ίσως την κυριότερη τεκτονική δομή της Κύπρου. Η ζώνη διασχίζει όλο το νησί από τα δυτικά στα ανατολικά με ένα μήκος 120km περίπου. Αποτελεί την επαφή μεταξύ των γεωτεκτονικών ζωνών του Τροόδους και του Πενταδάκτυλου

Στην ΕΙΚΟΝΑ 5.52 παρουσιάζονται τα πιθανά Τεταρτογενούς ηλικία επιφανειακά ρήγματα τα οποία έχουν προταθεί από ερευνητές. Τα ρήγματα που χαρακτηρίζονται ως Ολοκαινικής ηλικίας θεωρούνται ότι έχουν μεγαλύτερη σεισμική επικινδυνότητα.



ΕΙΚΟΝΑ 5.52: Απεικόνιση πιθανών ρηγμάτων Τεταρτογενούς ηλικίας τροποποιημένο (Zehra,2008)

Οι έρευνες για την σεισμικότητα της Κύπρου βασίζονται σε σεισμούς που έγιναν τα τελευταία 2000 χρόνια κι αποδεικνύουν πως η ΝΔ ζώνη της είναι η πιο ευάλωτη. Η ζώνη αυτή εκτείνεται από την Πάφο μέχρι την Λεμεσό, Λάρνακα και φτάνει ως την Αμμόχωστο. Φυσικά, οι νότιες ακτές σχετίζονται με την υψηλή σεισμικότητα εξαιτίας του Κυπριακού τόξου (Kyriakides et.al., 2016).

Από την 1η Ιανουαρίου του έτους 2005 έχει τεθεί σε ισχύ ο Ευρωκώδικας 8 για τον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων, ενώ παράλληλα αποσύρθηκε ο Κυπριακός Αντισεισμικός Κώδικας που ίσχυε από το 1992 στην Κύπρο. Είναι γνωστό ότι, κάθε Ευρωκώδικας συνοδεύεται από το αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα το οποίο προσαρμόζει τα δεδομένα των Ευρωκωδίκων προσαρμοσμένα για κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο νέος σεισμικός χάρτης της Κύπρου (CYS, 2005) οι σεισμικές ζώνες στις οποίες διακρίνεται η Κύπρος με βάση τις μέγιστες εδαφικές επιταχύνσεις

(PGA) κάτω από δυναμικές συνθήκες (σε περίπτωση σεισμού) με 10% πιθανότητα υπέρβασης σε 50 χρόνια είναι τρεις και παρουσιάζονται στην ΕΙΚΟΝΑ 3.28. Οι τιμές δίνονται σαν ποσοστά της επιτάχυνσης της βαρύτητας g , όπου $g=9.81\text{m/s}^2$. Η υπό μελέτη περιοχή της Πάφου ανήκει στην Σεισμική Ζώνη 3 με τιμή εδαφικής επιτάχυνσης 0.25.

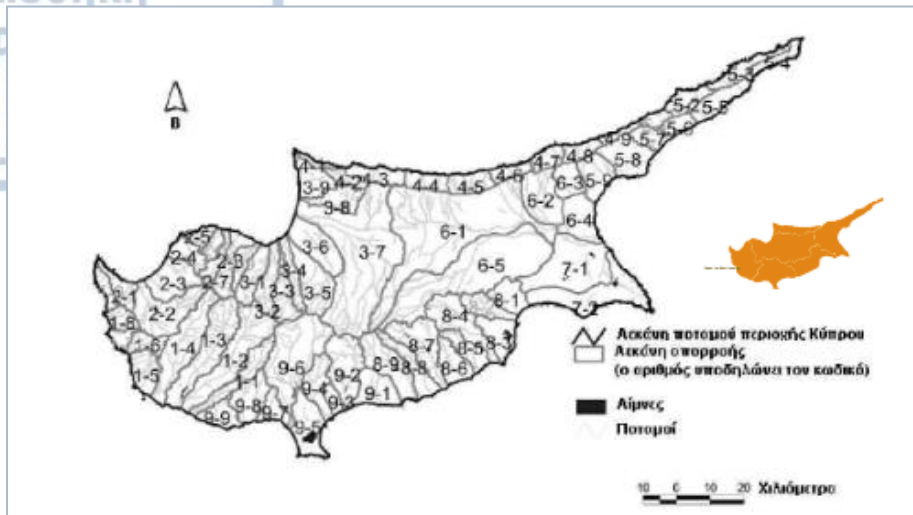


ΕΙΚΟΝΑ 5.53: Οι σεισμικές ζώνες της Κύπρου όπως έχουν εκδοθεί από την Επιτροπή Αναθεώρησης των ζωνών του Κυπριακού Αντισεισμικού Κώδικα τον Οκτώβριο του 2004 (www.moa.gov.cy)

5.5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ – ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

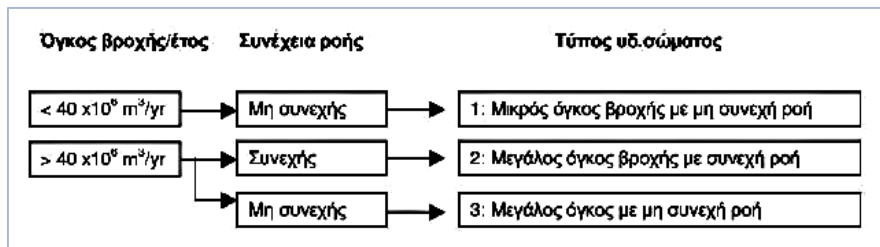
Υδρογραφικά το νησί της Κύπρου διαιρείται σε 9 υδρολογικές περιοχές οι οποίες αποτελούνται από 70 υδροκρίτες καθώς και 387 υπό-λεκάνες. Πηγή τροφοδοσίας όλων των ποταμών αποτελεί η περιοχή Τροόδους. Η επιφανειακή απορροή είναι εποχιακή εφόσον φαίνεται να ακολουθεί την εποχιακή κατανομή της βροχόπτωσης. Συγκεκριμένα η βροχόπτωση σημειώνει τις χαμηλότερες τιμές τους θερινούς μήνες και τις υψηλότερες του χειμερινούς.

Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως δεν υπάρχουν ποταμοί καθ' όλη την διάρκεια του έτους οι οποίοι να έχουν διαρκή ροή σε όλο το μήκος τους. Ο μέσος όρος ροής των ποταμών είναι 3 με 4 μήνες/έτος. Μόνο μέρη των ποταμών έχουν συνεχή ροή στην περιοχή του Τροόδους. Πιο συγκεκριμένα, οι ποταμοί των οποίων μέρη τους έχουν συνεχή ροή όλο τον χρόνο, οι περιοχές στις οποίες ρέουν γεωλογικά αποτελούνται από πυριγενή πετρώματα, ασβεστολιθικό και αμμώδες υλικό είναι 1) Ξερός 2) Διαρίτος 3) Καργώτης 4) Μαραθάσα 5) Κούρης 6) Γερμασόγεια.

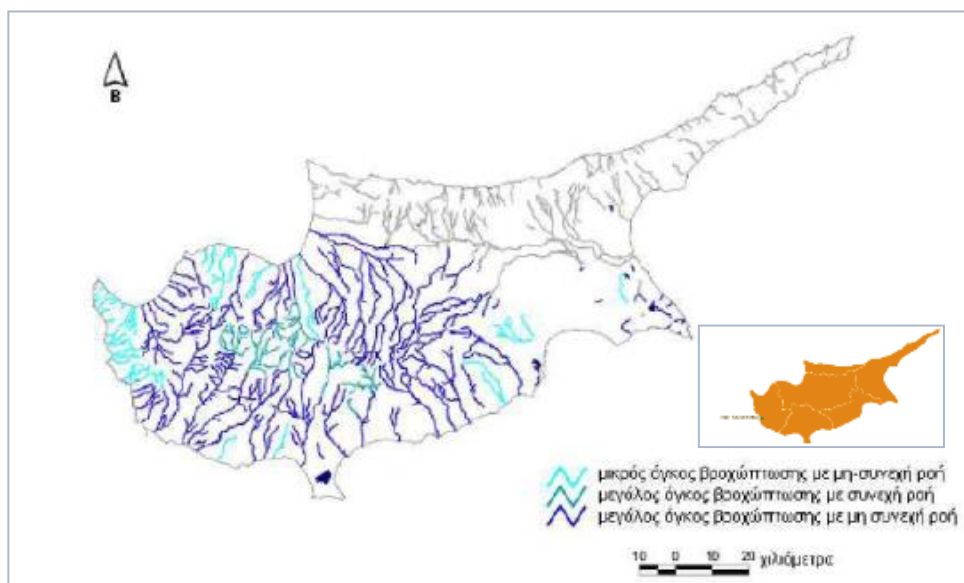


ΕΙΚΟΝΑ 5.54: Περιοχή λεκάνης απορροής της νήσου Κύπρου με τους υδροκρίτες και τους ποταμούς της (www.cyprus.gov.cy)

Το μέγεθος της λεκάνης απορροής σε συνδυασμό με την βροχόπτωση έδωσαν τον ετήσιο όγκο βροχής από τον οποίο εξάγεται η ποσότητα βροχόπτωσης σε μια λεκάνη απορροής σε κυβικά μέτρα ανά έτος ($m^3/year$). Η οριακή τιμή που προέκυψε ήταν $40 \times 10^6 m^3/year$ κι έτσι οι ποταμοί χωρίστηκαν σε 3 τύπους. Πιο συγκεκριμένα 159 υδάτινα σώματα ανήκουν στον τύπο «μεγάλος όγκος βροχής με μη-συνεχή ροή», 40 υδάτινα σώματα ανήκουν στον τύπο «μικρός όγκος βροχής με μη-συνεχή ροή», 17 υδάτινα σώματα ανήκουν στον τύπο «μεγάλος όγκος βροχής με συνεχή ροή». (www.cyprus.gov.cy)



ΕΙΚΟΝΑ 5.55: Διάγραμμα ροής των τύπων των ποταμών (www.cyprus.gov.cy)



ΕΙΚΟΝΑ 5.56 : Απεικόνιση των τύπων των ποτάμιων υδάτων στην Κύπρο στις περιοχές του Κυβερνητικού Ελέγχου (www.cyprus.gov.cy)

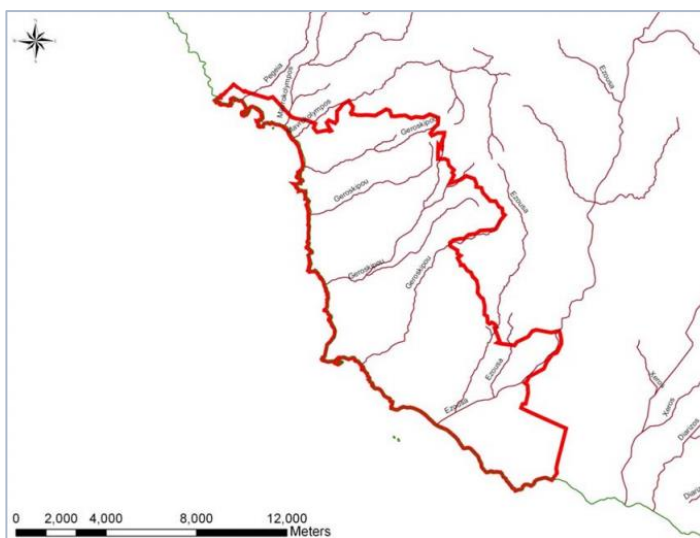
ΠΙΝΑΚΑΣ 5.01: Υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών.
Απεικόνιση στην ΕΙΚΟΝΑ 5.56 (www.cyprus.gov.cy)

α/α	ΟΝΟΜΑ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΜΕΣΗ ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗ (mm)	ΟΓΚΟΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ (m ³ /έτος)
1	Αγ. Αθανάσιος	9-3	440	1,50 10 ⁰⁷
2	Ακρωτήρι	9-5	406	5,77 10 ⁰⁷
3	Αμμόχωστος	7-1	305	9,26 10 ⁰⁷
4	Αραδίππου	8-2	310	2,44 10 ⁰⁷
5	Αργάκι του Πύργου	9-1	422	483 10 ⁰⁷
6	Ατσάς	3-4	409	2,64 10 ⁰⁷
7	Αυδήμου	9-8	498	5,92 10 ⁰⁷
8	Αυγάζ	1-8	536	2,85 10 ⁰⁷
9	Χαποτάμι	1-1	609	6,98 10 ⁰⁷
10	Χρυσοχού	2-2	612	1,26 10 ⁰⁸
11	Διαρίζου	1-2	646	1,8 10 ⁰⁸
12	Ανατ.Ακάμας	2-1	520	3,50 10 ⁰⁷
13	Ελιά	3-5	425	6,91 10 ⁰⁷
14	Επισκοπή	9-7	429	2,43 10 ⁰⁷
15	Εζουσα	1-4	609	1,45 10 ⁰⁸
16	Γαρούλλης	9-4	502	5,19 10 ⁰⁷
17	Γερμασόγεια	9-2	564	1,01 10 ⁰⁷
18	Γεροσκήπου	1-5	450	4,10 10 ⁰⁷
19	Γιαλιάς	6-5	331	1,98 10 ⁰⁸
20	Κάμπος	2-9	490	2,52 10 ⁰⁷
21	Καργώτης	3-3	611	5,71 10 ⁰⁷
22	Κατούρης	2-6	512	1,85 10 ⁰⁷
23	Κόκκινα	2-5	451	1,65 10 ⁰⁷
24	Κούρης	9-6	653	2,21 10 ⁰⁸
25	Αλυκές Λάρνακας	8-3	343	3,42 10 ⁰⁷
26	Λιμνίτης	2-8	583	5,31 10 ⁰⁷
27	Λιοπέτρι	7-2	316	8 10 ⁰⁷
28	Μακούντα	2-3	559	7,89 10 ⁰⁷
29	Μαραθάσα	3-2	539	4,95 10 ⁰⁷
30	Μαρώνι	8-8	447	5,33 10 ⁰⁷
31	Μαυροκόλυμπος	1-6	576	3,42 10 ⁰⁷
32	Πεδιαίος	6-1	316	2,74 10 ⁰⁸
33	Πέγεια	1-7	480	1,68 10 ⁰⁷
34	Πεντάσχοινος	8-7	506	8,71 10 ⁰⁷
35	Πισσούρι	9-9	424	3,07 10 ⁰⁷
36	Πούζης	8-5	377	2,99 10 ⁰⁷
37	Πύργος	2-7	610	3,50 10 ⁰⁷
38	Σερράχης	3-7	374	2,75 10 ⁰⁸
39	Τρέμινθος	8-4	374	6,40 10 ⁰⁷
40	Βασιλικός	8-9	510	8,23 10 ⁰⁷
41	Βορόκληνη	8-1	300	2,52 10 ⁰⁷
42	Δυτ.Ακάμα	1-9	463	2,03 10 ⁰⁷
43	Ξερός	1-3	616	1,56 10 ¹¹
44	Ξερός	2-4	522	3,54 10 ¹⁰
45	Ξερός	3-1	518	4,93 10 ¹⁰
46	Ξερός	3-5	302	4,50 10 ¹⁰
47	Ξερός	8-6	380	3,51 10 ¹⁰

Οι περισσότεροι υδροφορείς του νησιού ανήκουν στους φρεάτιους αλλά κάποια τμήματα τους είναι μερικώς υπό πίεση έως υπό πίεση. Τα τμήματα αυτά είναι καλυμμένα από ιλυο-αργιλώδη στρώματα ή μάργες, αμμούχες μάργες. Γεωλογικά τα πετρώματα στα οποία εντοπίζονται οι υδροφόροι πέρα από τα πυριγενή πετρώματα του Τροόδους είναι γύψοι, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, μάργες.

Στην πλειοψηφία οι υδροφορείς καλύπτονται από περατούς σχηματισμούς, ιζήματα και συναντώνται σε παράκτιες περιοχές ή αποθέσεις κοίτης. Στην Κύπρο εντοπίζονται τρεις μεγάλοι παράκτιοι υδροφορείς, οι οποίοι περιλαμβάνουν κι άλλες κοίτες ρεμάτων που καταλήγουν στις ακτές του νησιού. Τα παράκτια τμήματα αυτών απαρτίζονται από άμμο, χαλίκια ιλύες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους, κροκαλοπαγή κι άργιλο. Οι αποθέσεις κοίτης των ποταμών είναι αλλουβιακές με χαλίκια, άμμο και ιλύ. Το βάθος των φρεατίων φτάνει τα 30m με μέση περατότητα $k \sim 5-50 \text{ m/day}$ και συντελεστή αποθηκευτικότητας (S) 8-10% .

Υπάρχουν τέσσερα ποτάμια τα οποία συναντώνται στα όρια της επαρχίας της Πάφου. Ο κυριότερος και πιο σημαντικός χείμαρρος που απαντάται στην περιοχή μελέτης αφορά τον ποταμό Έζουσα και τους δύο κυριότερους κλάδους του. Ο κύριος κλάδος του ποταμού Έζουσα έχει μήκος 7,4km εντός της περιοχής μελέτης, ενώ σε συνδυασμό με τους παραπόταμους του κατέχει συνολικό μήκος 14,9 Km, εντός των ορίων της περιοχής μελέτης. Αμέσως επόμενος ποταμός εμφανίζεται ο ποταμός Γεροσκήπου, ο οποίος εντός των ορίων της επαρχίας της Πάφου εμφανίζεται να έχει μήκος 7,8km. Βορειότερα εμφανίζεται επίσης ο ποταμός Γεροσκήπου (Κοσκινάς Ποταμός) με συνολικό μήκος εντός της Πάφου 11,1km. Το συνολικό μήκος όλων των κλάδων του ποταμού Γεροσκήπου, εντός της περιοχής μελέτης, εμφανίζονται να έχουν μήκος 33,4km, όπου αποτελεί αξιόλογη έκταση γραμμικής ανάπτυξης, αφού απαντά σε κεντρικές κοίτες ποταμών και ρυακιών, για τη χλωρίδα και γενικότερα για τον περιβαλλοντικό πλούτο της περιοχής. Βορειότερα των τελευταίων κλάδων του ποταμού Γεροσκήπου εμφανίζεται ο ποταμός Μαυροκόλυμπος. Ο εν λόγω ποταμός αφορά σε δύο κλάδους εντός της περιοχής μελέτης και κατέχουν συνολική έκταση 1,8km. Στο Βορειότερο τμήμα των ορίων της επαρχίας της Πάφου, Βορειοδυτικά του Κόλπου των κοραλλίων και τον κόλπο Λάουρου εμφανίζεται ο ποταμός Πέγειας με συνολικό μήκος 540m εντός της περιοχής. Στην συνέχεια, παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός χάρτης με τους κυριότερους ποταμούς (χείμαρρους) εντός της περιοχής μελέτης.



ΕΙΚΟΝΑ 5.57:
Συγκεντρωτικός Χάρτης με
τους κυριότερους ποταμούς
(χείμαρρους) της επαρχίας
της Πάφου. (ATLANTIS
Consulting Cyprus Ltd, 2011)

Στην περιοχή της Πάφου το υπόγειο υδάτινο σώμα αποτελείται από αποθέσεις θαλάσσιων αναβαθμίδων και αποθέσεις των σχηματισμών Λευκωσίας και Αθαλάσσας. Η έκταση που καταλαμβάνει ο υδροφορέας είναι 130 km², η μέση βροχόπτωση φτάνει τα 370mm και το μέσο πάχος του κυμαίνεται από μερικά μέτρα ως και 50m. Ξεκινά από τον ποταμό Χαποτάμι στα ανατολικά και φτάνει ως τον Άσπρο ποταμό στο χωρίο Πέγειας. Η γεωλογική σύνθεση του υπόγειου υδροφόρου στρώματος, σε συνδυασμό με την θέση του και τις μεγάλες κλίσεις του υδροφόρου ορίζοντα, συμβάλλουν ώστε από τον ετήσιο εμπλουτισμό μόνο τα 5 περίπου εκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού να χάνονται στην θάλασσα.

Ο υδροφορέας σχηματίζεται από την συνένωση του παράκτιου υδροφορέα και των υπόλοιπων υδροφορέων που αναπτύσσονται στις κοίτες των ποταμών Διαρίζου, Ξεροποτάμου και Έζουσας. Είναι τρία μικρά υδροφόρα στρώματα τα οποία έχουν σχηματιστεί από τις ολοκαινικές ποτάμιες αποθέσεις της Έζουσας, η οποία έχει έκταση 9 τετραγωνικά χιλιόμετρα, του Ξερού ποταμού ο οποίος έχει έκταση 10,2 τετραγωνικά χιλιόμετρα καθώς και του Διαρίζου με έκταση 7,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Το νοτιοανατολικό τμήμα του υδροφορέα ενώνεται με τα αλλουβιακά δέλτα των ποταμών. Εντοπίζεται μια υπόγεια υδραυλική επικοινωνία και μεταγγίσεις υπόγειου νερού μεταξύ των υδροφορέων που αναπτύσσονται στις αποθέσεις κοίτης και του υδροφορέα του παράκτιου πεδινού τμήματος. Επειδή στο βορειοδυτικό τμήμα του υδροφορέα δεν υπάρχουν ποτάμια τα υδροφόρα στρώματα κατά τόπους εξαφανίζονται.

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο θα αναφερθεί το γεωλογικό περιβάλλον της περιοχής της Πάφου. Είναι η πόλη στο νοτιοδυτικό τμήμα της Κύπρου, πρωτεύουσα της ομώνυμης επαρχίας και ένα από τα πιο σημαντικά αρχαία βασίλεια της νήσου.

6.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ ΠΑΦΟΥ

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή της Πάφου όπως έχει αναφερθεί χωρίζονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες: την αλλόχθονη σειρά που περιλαμβάνει όλα τα πετρώματα της σειράς του συμπλέγματος των Μαμωνιών, τα αυτόχθονα πυριγενή της οφιολιθικής σειράς του Τροόδους και την αυτόχθονη σειρά των ιζηματογενών πετρωμάτων του ανώτερου Μεσοζωϊκού έως τις πρόσφατες αποθέσεις. Η παράκτια πεδιάδα της Κύπρου εκτείνεται από τον ποταμό Χαποτάμι και φτάνει ως την περιοχή Πέγεια. Το μήκος που καταλαμβάνει είναι περίπου 35km ενώ το πλάτος της αγγίζει περίπου τα 6km. Η πεδιάδα της Πάφου καλύπτεται από θαλάσσιες αναβαθμίδες η μελέτη των οποίων μπορεί να δώσει σημαντικά στοιχεία για την τεκτονική της περιοχής και τον ρυθμό ανόδου της παράκτιας ζώνης. Η παράκτια ζώνη της Πάφου θεωρείται μια από τις πιο ψηλές θαλάσσιες αναβαθμίδες της ΝΔ Κύπρου με ύψος 400 ως 410m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Από την περιοχή Κισσόνεργα προς το αεροδρόμιο της Πάφου η θαλάσσια αναβαθμίδα έχει πλάτος 3km και σχετίζεται με την ανύψωση της παλαιό-ακτής κατά 50 με 55m από την επιφάνεια της θάλασσας σύμφωνα με την ηλικία των κοραλλιών που βρέθηκαν σε ύψος 3m περίπου από την θάλασσα και χρονολογούνται περίπου 130000 χρόνων. Επιπλέον, η αναβαθμίδα φαίνεται να ακολουθεί μια πιθανή θέση της επιφανειακής εμφάνισης ενός ρήγματος εφφίπευσης.

Λιθολογικά οι αναβαθμίδες αποτελούνται από ασβεστιτικούς ψαμμίτες, άμμους, χαλίκια, ιλύς δηλαδή υλικά των θαλάσσιων αναβαθμίδων. Επιπλέον συναντώνται, αποθέσεις ηλικίας Ολοκαίνου αποτελούνται από κολούβια δηλαδή αποτελούνται από ριπίδια. Οι αλλουβιακές αποθέσεις καλύπτουν τις πλημμυρικές και δελταϊκές περιοχές των χειμάρρων. Οι αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούνται από κροκάλες, άμμος, ιλύς, άργιλος.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Μετά- Μειοκαινικά Ιζήματα

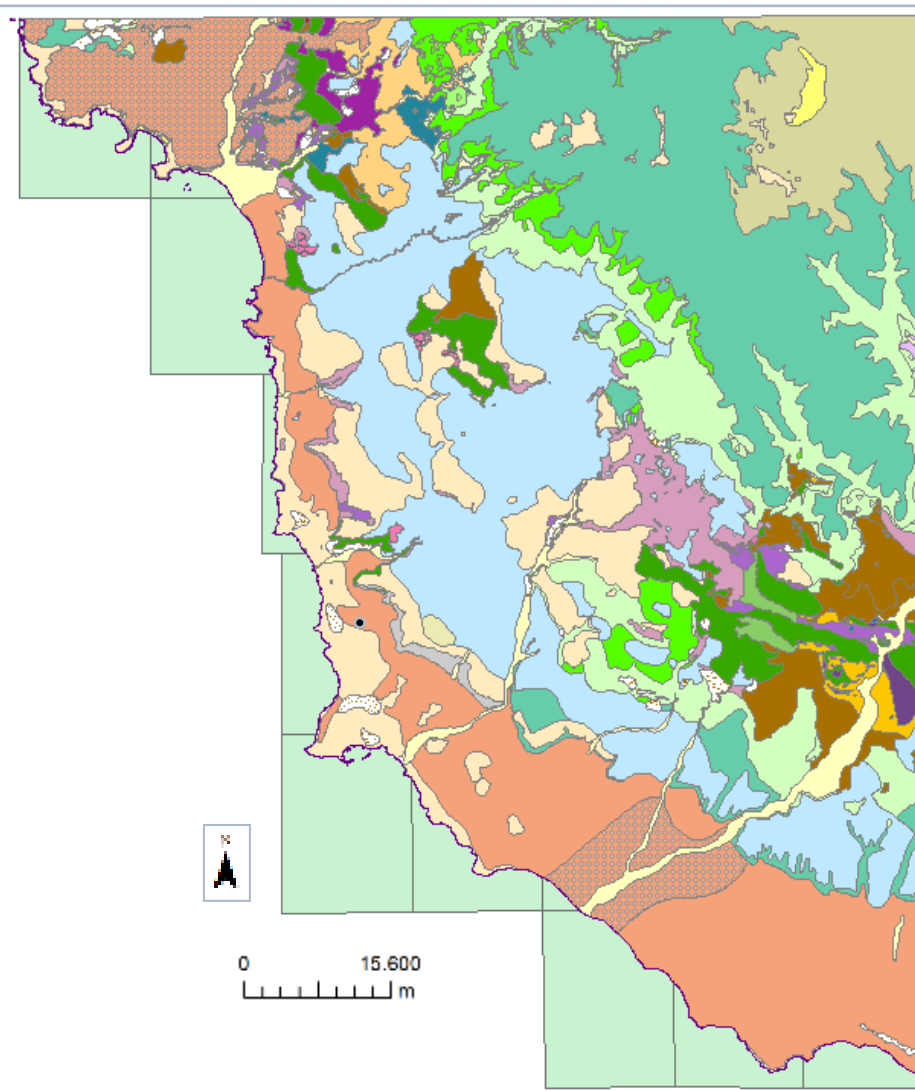
-  Εδαφικό στρώμα
-  Εδαφικό στρώμα
-  Κολλούβια
-  Κορήματα
-  Κορήματα κρήτιδας και terra
-  Κόρημα terra
-  Κρήτιδα
-  Ηοκαινικές ποτάμιες & θαλάσσιες αποθέσεις
-  Δελταϊκά ιζήματα
-  Νεότερες Θαλάσσιες & Ποτάμιες Αναβαθμίδες (β)
-  Νεότερες Θαλάσσιες & Ποτάμιες Αναβαθμίδες (α)
-  Θαλάσσιες & Ποτάμιες Αναβαθμίδες
-  Αιολιανίτης
-  Ασβεστιτικός Ψαμμίτης
-  Σχ. Λευκωσίας
-  Μάρμα
-  Κοκκώδης Ασβεστόλιθος
-  Προ- Μειοκαινικά Ιζήματα
-  Σχ. Καλαβάσος
-  Σχ. Πάννα
-  Μέλος Τέρα
-  Σχ. Λευκωσία
-  Σχ. Καθικός
-  Σχ. Κανναβίου

Ζώνη Τροόδους

-  Ανώ Pillow lavas
-  Pillow lavas
-  Διαβάσης
-  Γάββρος
-  Σερπεντινίτης
-  Υπερμαφικά πετρώματα

Σύπλεγμα Μαιωνίων

-  Λατυποπαγές
-  Ιζήματα Μαιωνίων
-  Σχ. Βλάμπουρος
-  Σχ. Επισκοπή
-  Σχ. Φασουλα



ΕΙΚΟΝΑ 6.58 : Χάρτης Γεωλογίας της περιοχής της Πάφου

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φθορά ενός υλικού εξαρτάται όχι μόνο από τα μηχανικά χαρακτηριστικά του λίθου αλλά και από την ορυκτολογική σύσταση του. Πολλές φορές η αλλοίωση των συστατικών ενός πετρώματος και ο τρόπος που εκδηλώνεται αυτή η αλλοίωση ελέγχουν και πιθανώς καθορίζουν την έκταση αλλά και την ένταση της φθοράς ενός μνημείου και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον τρόπο συντήρησης ή και αποκατάστασης.

Διεθνώς αποδεκτό είναι ότι μια αποκατάσταση δεν πρέπει απλά να είναι αισθητικά επιτυχημένη αλλά το νέο υλικό που θα τοποθετηθεί στο μνημείο να έχει παρόμοια ορυκτολογικά και φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά. Έτσι επιτυγχάνεται η ορθολογικότερη αποκατάσταση ενός μνημείου με την λιγότερο δυνατή επέμβαση σε αυτό. Από τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι εκτός των άλλων απαιτούνται και εξειδικευμένες ορυκτολογικές και πετρολογικές μελέτες των στοιχείων ενός μνημείου για να είναι επιτυχημένη η συντήρηση ή η αποκατάσταση του.

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρεται η μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος το οποίο πάρθηκε από την περιοχή μελέτης με στόχο τον ορυκτολογικό και ιστολογικό προσδιορισμό του. Στην συνέχεια παρατίθενται και τα αποτελέσματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD). Η μέθοδος χρησιμοποιήθηκε με στόχο τον προσδιορισμό ποιοτικά και ποσοτικά της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος.

7.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

Η μικροσκοπική παρατήρηση του δείγματος πραγματοποιήθηκε μέσω της κατασκευής και παρατήρησης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο λεπτής-στιλπνής τομής. Σκοπός της μικροσκοπικής παρατήρησης είναι η ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη και η τελική ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Folk (1959) και κατά Dunham (1962).

7.2.1 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων

Τα ανθρακικά πετρώματα είναι δυαδικά στην κατανομή του μεγέθους των κόκκων τους. Αποτελούνται από κόκκους ασβεστίτη σε μέγεθος άμμου ως μεσόκκοκκης ιλύος και λεπτοκρυσταλλική μάζα ασβεστίτη με μέγεθος κόκκων λεπτόκοκκης ιλύος ως αργίλου. Οι συνήθεις ταξινομήσεις είναι του Folk (1959) και του Dunham (1962).

7.2.1.1 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων κατά Folk (1959)

Τα ανθρακικά πετρώματα σύμφωνα με την ταξινόμηση του Folk συνίστανται από τρία συστατικά :

1. Ευδιάκριτα ανθρακικά αλλόχθονα υλικά που περιλαμβάνουν τεμάχια όπως σφαιρίδια, ωόλιθους, βιοκλάστες και ενδοκλάστες
2. Μικροκρυσταλλική ασβεστιτική ύλη ή μικρίτη
3. Κρυσταλλικό ασβεστίτη ή σπαρίτη που είναι συγκολλητικό υλικό το οποίο σχηματίστηκε χημικά και γεμίζει τα διάκενα μεταξύ των κόκκων των ανθρακικών πετρωμάτων.

Το πρώτο τμήμα της ονομασίας του πετρώματος δηλώνει το είδος του αλλόχθονου υλικού, ενώ το δεύτερο δηλώνει αν είναι μικρίτης ή σπαρίτης:

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.02 : Τρόπος ονομασίας του πετρώματος κατά Folk (1959)

Οι ενδοσπαρίτες και ενδομικρίτες περιέχουν >25% ενδοκλάστες και αποτελούνται από σπαριτική συγκολλητική ουσία και μικριτική μάζα, αντίστοιχα.
Οι ωοσπαρίτες και ωομικρίτες περιέχουν <25% ενδοκλάστες, αλλά >25% ωόλιθους και αποτελούνται από σπαριτική συγκολλητική ουσία ή μικριτική μάζα, αντίστοιχα.
Οι βιοσπαρίτες και βιομικρίτες περιέχουν <25% ενδοκλάστες, <25% ωόλιθους, η σχέση βιοκλάστες/σφαιρίδια είναι >3/1 και αποτελούνται από σπαριτική συγκολλητική ουσία ή μικριτική μάζα, αντίστοιχα.
Οι σφαιριδιοσπαρίτες και σφαιριδιομικρίτες διαφέρουν από τους βιοσπαρίτες και βιομικρίτες αντίστοιχα μόνο στην αναλογία βιοκλάστες/σφαιρίδια που είναι <3/1.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι πετρογραφικοί τύποι των ανθρακικών πετρωμάτων όπως έχουν ταξινομηθεί από τον Folk

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.03 : Πετρογραφικοί τύποι των ανθρακικών πετρωμάτων κατά Folk (1959)

Ογκομετρική στάση αλλόχθονων		σύ-	>10% αλλόχθονα			<10% αλλόχθονα		
			σπαρίτης> μικρίτης	μικρίτης> σπαρίτης		1-10% αλλόχθονα	<1% αλλό- χθονα	
>25% ενδοκλάστες			Ενδοσπαρίτες	Ενδομικρίτες	επικρατέστερα αλλόχθονα	Ενδοκλαστοφόροι μικρίτες	Μικρίτες ή Διομικρίτες	αδιατάρακτα υφάσματα πετρώματα
>25% ωόλιθοι			Ωοσπαρίτες	Ωομικρίτες		Ωολιθοφόροι μι- κρίτες		
<25% ενδοκλάστες <25% ωόλιθοι	Ογκομετρική σχέση: βιοκλάστες/σφαιρίδια	>3:1	Βιοσπαρίτες	Βιομικρίτες		Βιοκλαστοφόροι μικρίτες		
		1:3- 3:1	Βιοσφαιριδιοσπαρίτες	Βιοσφαιριδιομικρίτες		Σφαιριδιοφόροι μικρίτες		
		<3:1	Σφαιριδιοσπαρίτες	Σφαιριδιομικρίτες				
								Βιολιθίτες

7.2.1.2 Ταξινόμηση Ανθρακικών πετρωμάτων κατά Dunham (1962)

Η ταξινόμηση κατά Dunham βασίζεται στον προσδιορισμό του ιστού πραγματοποιώντας μια σημαντική διάκριση μεταξύ των α) ανθρακικών πετρωμάτων,

των οποίων τα τεμάχια ή οι κόκκοι τους εφάπτονται με αποτέλεσμα να στηρίζουν το πέτρωμα και β) των ανθρακικών πετρωμάτων, των οποίων οι κόκκοι ή τα τεμάχια πλέουν μέσα σε ανθρακικό υλικό πλήρωσης.

Ως τεμάχια ή κόκκοι χαρακτηρίζονται τα υλικά που έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 20 μm , ενώ το υλικό πλήρωσης αποτελείται από κρυστάλλους με μέγεθος μικρότερο από 20 μm .

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.04: Ταξινόμηση πετρογραφικών τύπων των ανθρακικών πετρωμάτων κατά Dunham (1962).

Ευδιάκριτος αποθετικός ιστός				Αδιάκριτος αποθετικός ιστός	
Αρχικά ουσιαστικά μη συνδεδεμένα μεταξύ τους				Αρχικά ουσιαστικά συνδεδεμένα μεταξύ τους	Υποδιακρίνονται ανάλογα με το φυσικό ιστικό ή το βαθμό διαγένεσης
Στηρίζονται με πηλό		Στηρίζονται με κόκκους			
<10% αλλόχθονα	>10% αλλόχθονα	<10% πηλός	πηλός=0	Στερεόλιθοι (Boundstones)	Ανθρακικά κρυσταλλικά πετρώματα
Πηλόλιθοι (Mudstones)	Βακόλιθοι (Wackestones)	Σωρόλιθοι (Packstones)	Κοκκόλιθοι (Grainstones)		

7.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟΥ

Το υπό μελέτη δείγμα χαρακτηρίζεται μικροσκοπικά ως βιογενής ασβεστόλιθος. Το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 0,5 mm ως και 2 mm,. Το κύριο του συστατικό είναι οι βιοκλάστες σε ποσοστό που ξεπερνά το 50% ενώ το συγκολλητικό υλικό είναι σπαριτικό. Τα μη ασβεστιτικά συστατικά του πετρώματος είναι χαλαζίας και πλαγιόκλαστο. Στην συνέχεια, μέσω των εικόνων γίνονται αντιληπτά τόσο ο ιστός του πετρώματος, το πορώδες, η μεγάλη παρουσία βιοκλαστών καθώς και η ύπαρξη του σπαριτικού συγκολλητικού υλικού. Επίσης, διακρίνονται οι λιθοκλάστες, και οι κόκκοι χαλαζία.

Το εξεταζόμενο δείγμα ταξινομήθηκε με βάση τα προαναφερθέντα συστήματα του Folk (1959) και Dunham (1962). Αποτέλεσμα αυτής της ταξινόμησης είναι ο χαρακτηρισμός του ως Βιοσπαρίτης σύμφωνα με τον Folk (1959) και ως Κοκκόλιθος σύμφωνα με τον Dunham (1962).

Βιοκλάστης

Κόκκος
Χαλαζία Qz



ΕΙΚΟΝΑ 7.59 : Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N//, με μέγιστη διάσταση 250μm



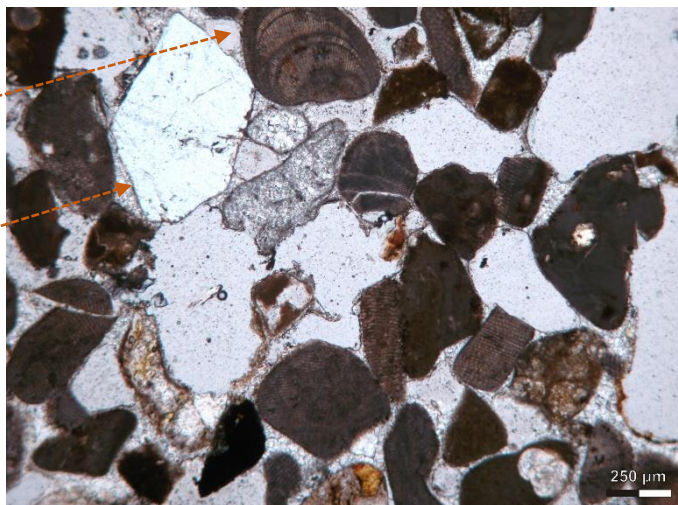
Σπαριτικό
συγκολλητικό
υλικό

Πορώδες

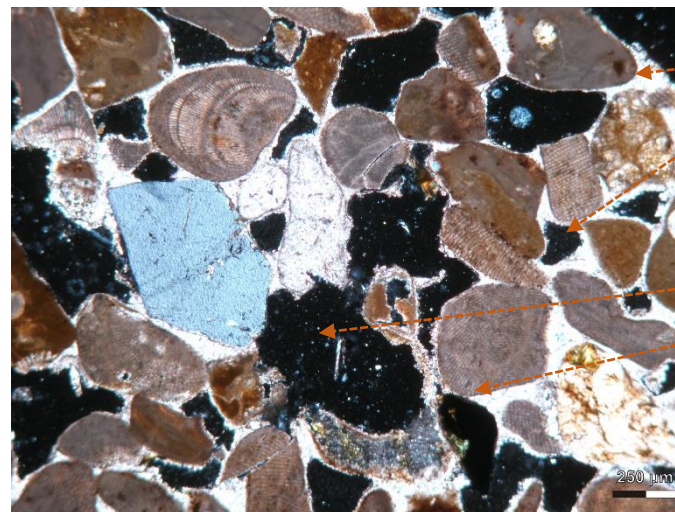
ΕΙΚΟΝΑ 7.60 : Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N[⊥], με μέγιστη διάσταση 250μm

Βιοκλάστης

Κόκκος
Χαλαζία
Qz



ΕΙΚΟΝΑ 7.61: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N//, με μέγιστη διάσταση 250μm



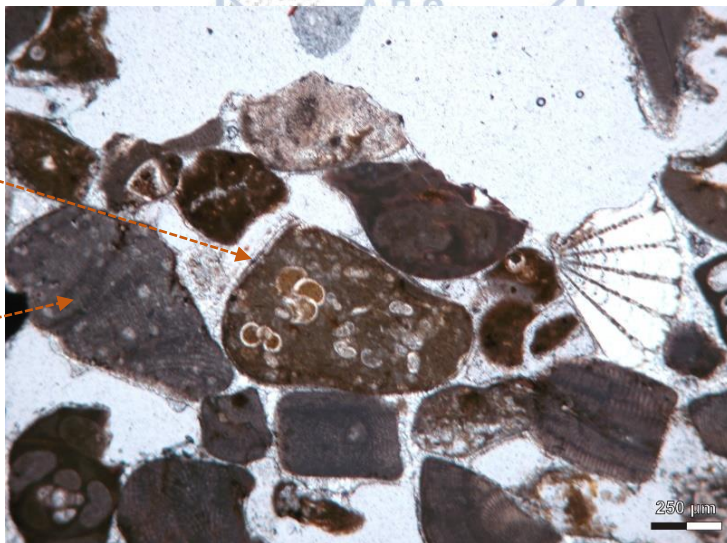
Σπαριτικό
συγκολλητικό

Πορώδες

ΕΙΚΟΝΑ 7.62: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N[⊥], με μέγιστη διάσταση 250μm

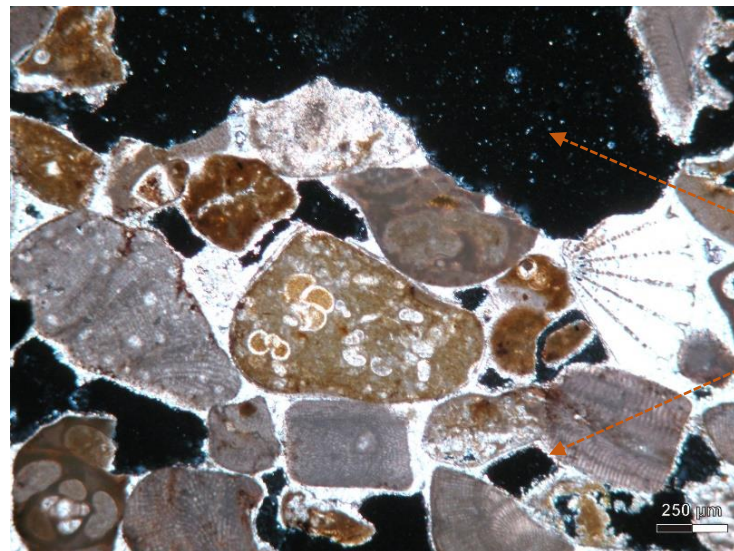
Βιοκλάστης

Λιθοκλάστης



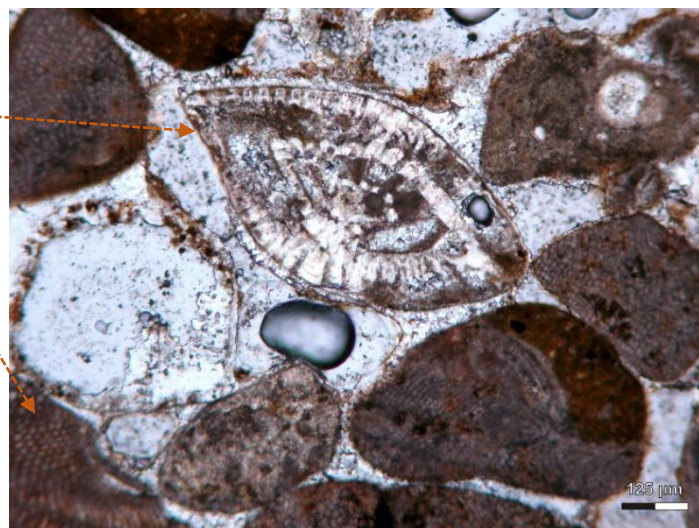
ΕΙΚΟΝΑ 7.63: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N//, με μέγιστη διάσταση 250μm

Πορώδες



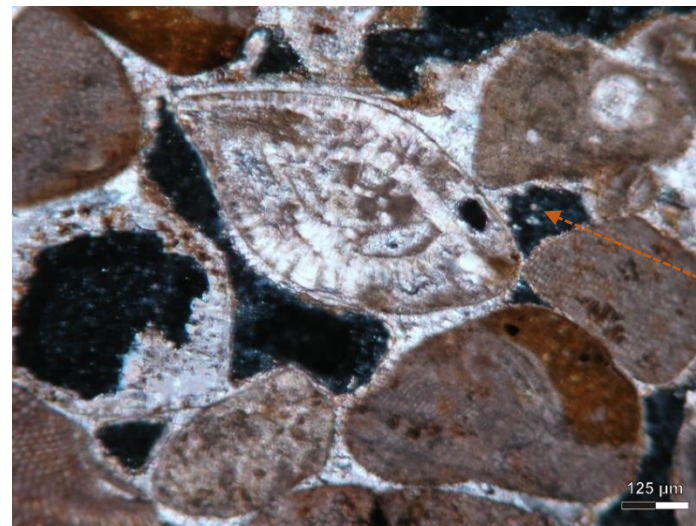
ΕΙΚΟΝΑ 7.64: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N $\perp$, με μέγιστη διάσταση 250μm

Βιοκλάστης



ΕΙΚΟΝΑ 7.65: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N//, με μέγιστη διάσταση 125μm

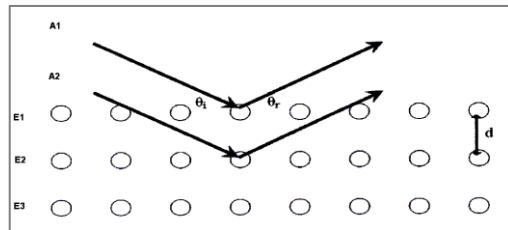
Πορώδες



ΕΙΚΟΝΑ 7.66: Μικροσκοπική παρατήρηση εξεταζόμενου δομικού λίθου, N $\perp$, με μέγιστη διάσταση 125μm

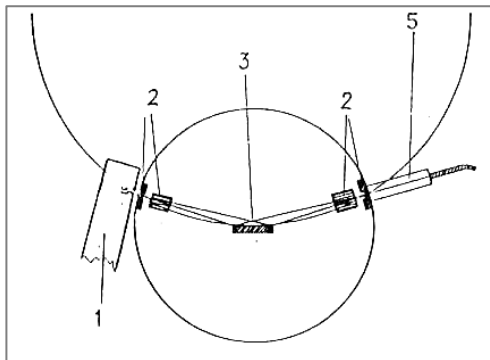
7.4 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΑΚΤΙΝΩΝ -X

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων -X βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων-X πάνω στους κρυστάλλους. Ο Bragg ερμήνευσε, την περίθλαση των ακτίνων -X στους κρυστάλλους ως ανάκλαση των ακτίνων -X, οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία στα πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου. Για παράδειγμα το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση, d . Αν θεωρηθεί ότι E_1, E_2, E_3 , τα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου και A_1, A_2 , δύο ακτίνες -X μήκους κύματος λ και θ η γωνία με την οποία προσπίπτουν οι ακτίνες ενώ n η τάξη της ανάκλασης τότε σύμφωνα με την εξίσωση του Bragg ισχύει: $n \cdot \lambda = 2d \sin \theta$. Με την μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτίνων -X., η οποία βρίσκει εφαρμογή σε εύρος πεδίων, καθίστανται δυνατή η απευθείας μέτρηση των γωνιών και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων -X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως.



ΕΙΚΟΝΑ 7.67: Ανάκλαση ακτίνων -X στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-X είναι η μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης, η λυχνία ακτίνων-X, το γωνιόμετρο (σε κατακόρυφη θέση), ο απαριθμητής των ακτίνων-X με την ηλεκτρονική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής των κρούσεων και η μονάδα του μικροϋπολογιστή μέσω του οποίου καθοδηγείται ολόκληρο το σύστημα και αξιολογούνται τα δεδομένα. Το παρασκεύασμα τοποθετείται στον δειγματοφορέα του γωνιομέτρου του περιθλασιμέτρου, ο οποίος βρίσκεται σε τέτοια θέση ώστε να παραμένει πάντα στο κέντρο ενός κύκλου που διαγράφει ο απαριθμητής των ακτίνων-X και μάλιστα έτσι ώστε το επίπεδο του παρασκευάσματος να είναι πάντα κάθετο προς το επίπεδο του κύκλου.



ΕΙΚΟΝΑ 7.68: Σχηματική παράσταση της διάταξης εστιασμού των ακτίνων -X. 1) λυχνία ακτίνων-X, 2) διαφράγματα, 3) παρασκεύασμα, 4) βάση απαριθμητή ακτίνων -X και 5) απαριθμητής ακτίνων -X

Ως προς τον ίδιο άξονα γύρω από τον οποίο διαγράφει τον κύκλο, περιστρέφεται ο απαριθμητής με κάποια σταθερή γωνιακή ταχύτητα $2\theta / \text{min}$ και το επίπεδο του δείγματος με γωνιακή ταχύτητα θ/min ίση προς το ήμισυ εκείνης του απαριθμητή. Ο λόγος που γίνεται αυτή η ταυτόχρονη μετατόπιση του απαριθμητή και τη περιστροφή του δείγματος ο απαριθμητής μπορεί να σχηματίζει την ίδια γωνία ως προς το επίπεδο του δείγματος όπως και στο σημείο εξόδου των ακτίνων – X της λυχνίας. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η καταγραφή της ακτινοβολίας που περιθλάται στους κρυσταλλικούς κόκκους του δείγματος που βρίσκονται σε τέτοια γωνία ως προς την κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων – X των προερχόμενων από την λυχνία ώστε να πληρείται για κάποια ομάδα πλεγματικών επιπέδων η εξίσωση του Bragg (Μαντικός, 2012).

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) χρησιμοποιήθηκε με στόχο τον προσδιορισμό ποιοτικά και ποσοτικά της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος. Για την εφαρμογή της μεθόδου πάρθηκε αντιπροσωπευτικό υλικό από το εξεταζόμενο δείγμα, το οποίο κονιοποιήθηκε με το χέρι σε αχάτινο γουδί, σε μέγεθος κόκκων $<20 \mu\text{m}$. Στην συνέχεια, το κονιοποιημένο δείγμα τοποθετήθηκε σε ειδικές αντικειμενοφόρες πλάκες και δημιουργήθηκε το παρασκεύασμα κόνεως, τυχαίου προσανατολισμού.

Για την ακτινογραφική εξέταση χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710/00 και φίλτρο Ni για την παραγωγή μονοχρωματικής ακτινοβολίας $\text{CuK}\alpha$ σε συνθήκες λειτουργίας 35 kV και 25 mA, ταχύτητα γωνιομέτρου $1,2^\circ/\text{min}$ και περιοχή σάρωσης $3-63^\circ 2\theta$. Το περιθλασίμετρο ακτίνων-X βρίσκεται στον τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

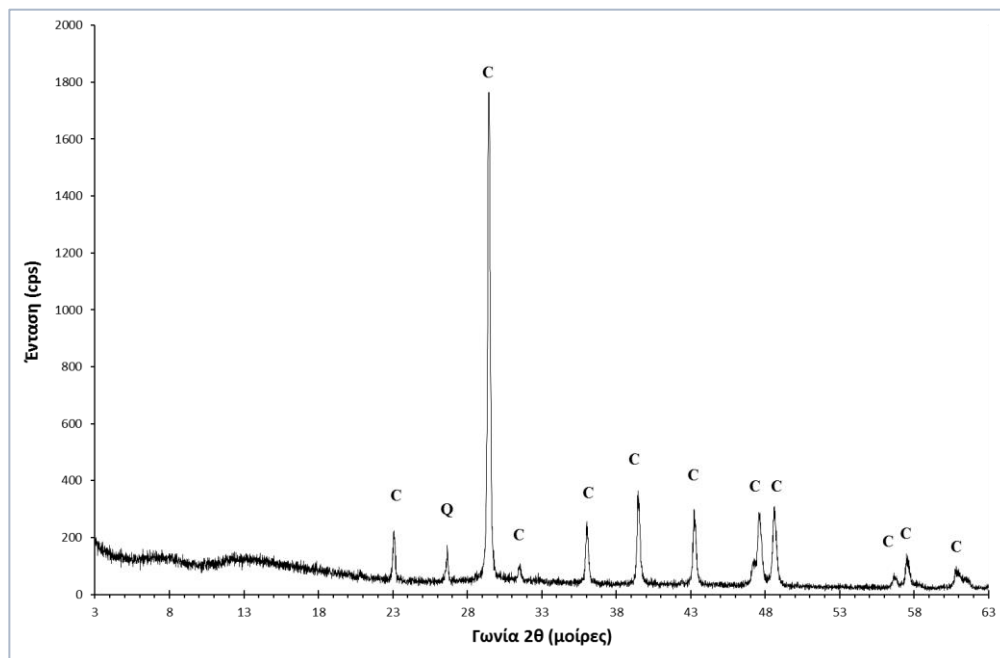
Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ορυκτών πραγματοποιήθηκε με βάση τις απαριθμήσεις συγκεκριμένων ανακλάσεων, οι οποίες δεν επηρεάζονται από άλλη ανάκλαση, λαμβάνοντας υπόψη την πυκνότητα και τον συντελεστή απορρόφησης μάζας για ακτινοβολία $\text{CuK}\alpha$ των ορυκτών που προσδιορίστηκαν. Διόρθωση των αποτελεσμάτων έγινε με την αξιολόγηση πρότυπων μιγμάτων από τα ορυκτά που αναγνωρίστηκαν στα εξεταζόμενα δείγματα, μετά από σάρωση στις ίδιες συνθήκες (Καντηράνης κ.ά. 2004).



ΕΙΚΟΝΑ 7.69: Περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS PW1710 του Τομέα Ορυκτολογίας- Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας.

7.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ-X

Με βάση τα αποτελέσματα της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X, το υπό εξέταση δείγμα αποτελείται από ασβεστίτη σε ποσοστό 95.7 % κ.β, χαλαζία 3.8% κ.β και αργιλικά ορυκτά σε ποσοστό 0.50%.



ΕΙΚΟΝΑ 7.70 : Περιθλασιόγραμμα του υπό μελέτη δείγματος

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την εκτίμηση της ευστάθειας της βραχομάζας μια βασική εργασία αποτελεί η συστηματική συλλογή των δεδομένων και η επεξεργασία των μετρήσεων του προσανατολισμού, των τεκτονικών και γεωμετρικών στοιχείων των ασυνεχειών. Το παρόν κεφάλαιο διακρίνεται σε δυο μέρη μελέτης. Το πρώτο αφορά την μελέτη των ασυνεχειών της βραχομάζας και το δεύτερο την ίδια την βραχομάζα.

Αρχικά η μελέτη των ασυνεχειών της βραχομάζας του μνημείου αφορά την μικροτεκτονική ανάλυση αυτών και την παράθεση των χαρακτηριστικών τους καθώς και την εύρεση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών. Στην συνέχεια, στο δεύτερο μέρος της μελέτης της βραχομάζας παρουσιάζεται ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής της βραχομάζας, (Geological Strength Index, GSI), ενώ δίνεται και η τιμή της υπό μελέτης βραχομάζας στο σύστημα. (Μαρίνος, 2007)

8.2 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

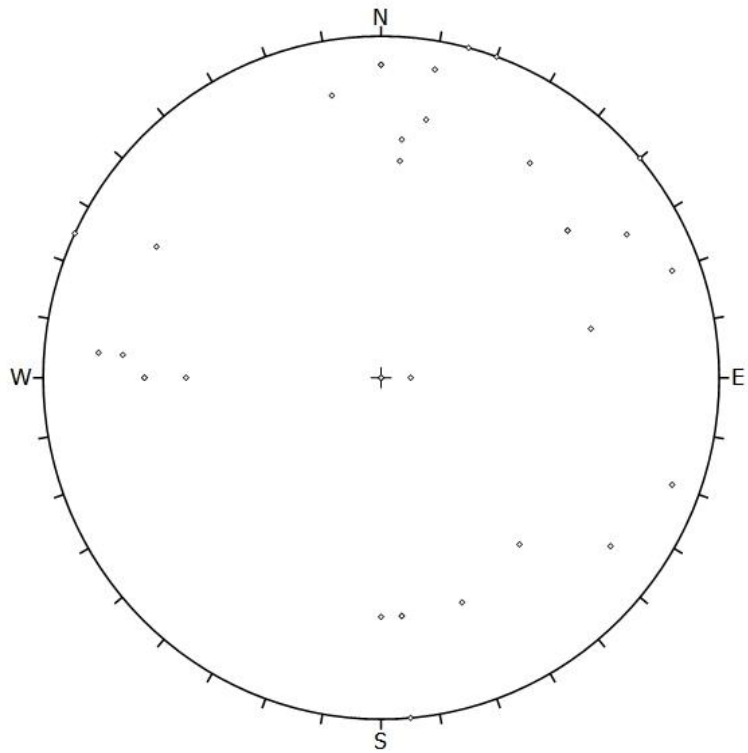
Στην παρούσα παράγραφο μελετώνται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της βραχομάζας. Μέσω της χρήσης λογισμικού πραγματοποιείται μικροτεκτονική ανάλυση των ασυνεχειών καθώς παρατίθενται και τα χαρακτηριστικά τους. Επίσης, με την χρήση του κριτηρίου Παπαλιάγκας (Papaliangas 1997) θα βρεθεί η τιμή της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών.

8.2.1 ΜΙΚΡΟΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η συμπεριφορά της βραχομάζας εξαρτάται από τις παραμέτρους αντοχής των ασυνεχειών συνεπώς, είναι απαραίτητος ο προσδιορισμός των κύριων συστημάτων ασυνεχειών. Για τη μικροτεκτονική ανάλυση της δομής των ασυνεχειών της βραχομάζας ελήφθησαν και επεξεργάστηκαν συστηματικά οι μετρήσεις προσανατολισμού των επιπέδων στρώσης (B) και των διακλάσεων (J). Τα στοιχεία της μελέτης προβλήθηκαν στο δίκτυο Schmidt από το οποίο με τη χρήση του λογισμικού Dips 6.0 προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

ΤΑΦΟΣ 3

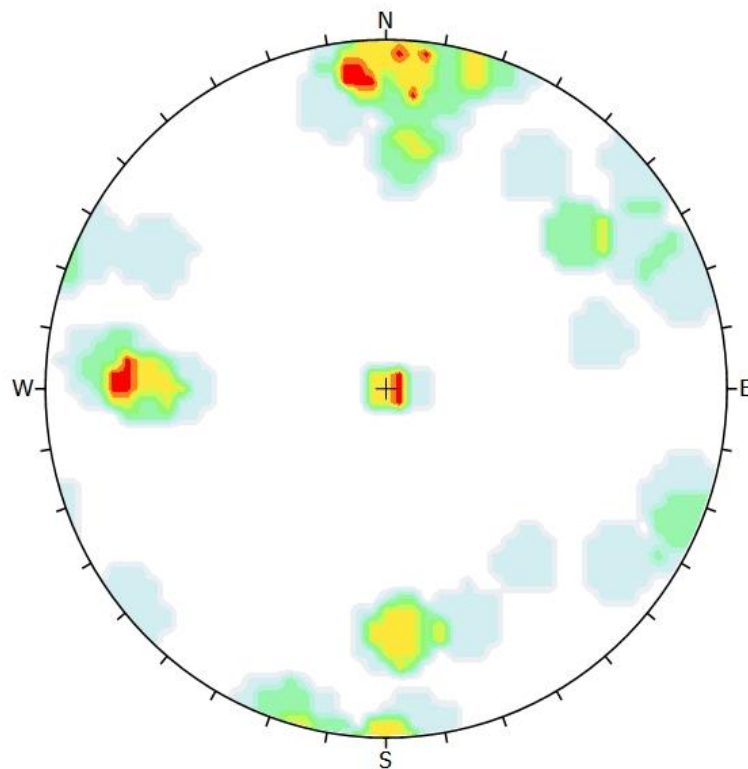
Από τις μετρήσεις του προσανατολισμού των τεκτονικών στοιχείων (ασυνεχειών) που υπάρχουν τόσο στα επιφανειακά τμήμα όσο και εντός του Τάφου 3 κατασκευάστηκε τεκτονική διάγραμμα Schmidt με την χρήση του λογισμικού της Rockscience 6.0. Στην εικόνα 1 αναπαρίσταται η διασπορά των πόλων των τεκτονικών στοιχείων, στην εικόνα 2 αναπαρίσταται η στατιστική επεξεργασία. Στην συνέχεια, στην εικόνα 3 προβάλλονται οι κύριες ασυνέχειες που εμφανίζονται.



Symbol	Feature
◉	Pole Vectors

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	35 (35 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

1

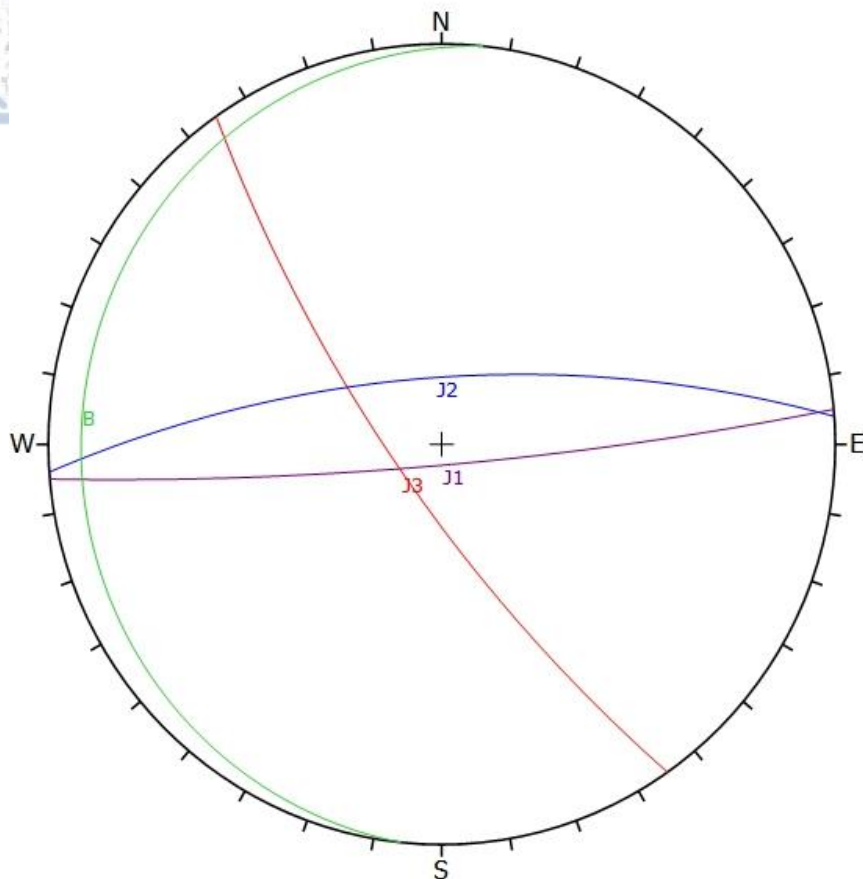


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.20
	1.20 - 2.40
	2.40 - 3.60
	3.60 - 4.80
	4.80 - 6.00
	6.00 - 7.20
	7.20 - 8.40
	8.40 - 9.60
	9.60 - 10.80
	10.80 - 12.00

Maximum Density	11.43%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Schmidt
Counting Circle Size	1.0%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	35 (35 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

2



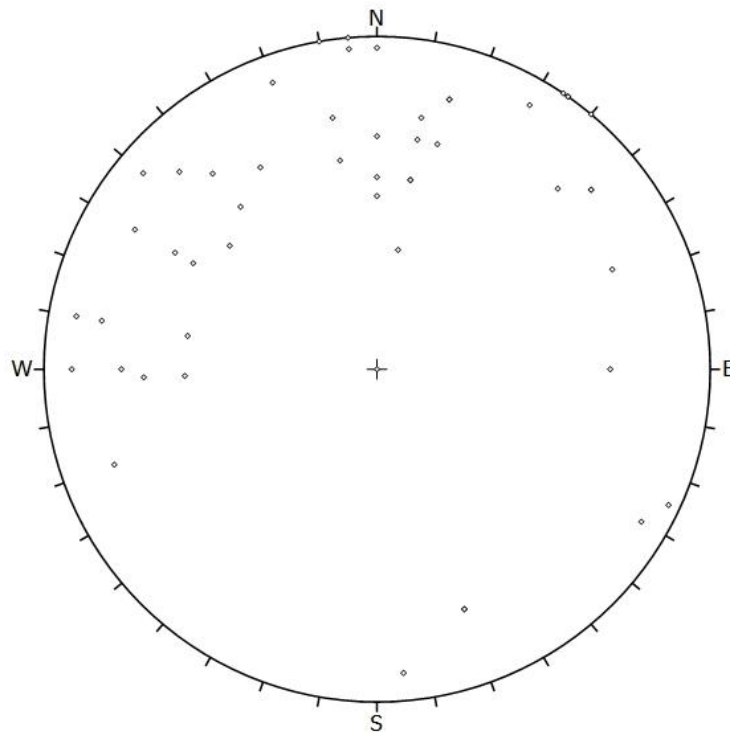
	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		84	175	J1
2		76	235	J2
3		71	356	J3
4		5	276	B
Plot Mode		Pole Vectors		
Vector Count		35 (35 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Angle		

3

Α/Α	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ	ΦΟΡΑ ΒΥΘΙΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (cm)	ΜΗΚΟΣ	ΑΝΟΙΓΜΑ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡ.
1	J1	84	175	6	B	2Α	R	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟ
2	J2	76	235	20	B	2Α		
3	J3	71	356	10	B	2Α		
4	B	5	276	0.05	B	2Α		
Είδος Ασυνέχειας		B : Στρώση, F : Ρήγμα, J : Διάκλαση, S : Σχιστότητα, Z : Ζώνη διάτμησης						
Απόσταση		Απόσταση από επόμενη ασυνέχεια ίδιου συστήματος A:<1m B: 1-3m, C:3-10m, D:10-20m,						
Μήκος		E:>20m						
Ανοιγμα		0:Καθόλου, 1Α:< 0.1mm, 1Β:0.1-1mm 2Α:1-5mm, 2Β:>5mm						
Τραχύτητα		VR:Πολύ τραχειά, R:Τραχειά, SR:Ελαφρά Τραχειά, SM:Ομαλή SL:Ολίσθηση						
Υλικό πλήρωσης		0:Κανένα, H1:Στιφρό - d:<5mm, H2:Στιφρό - d:>5mm, S1:Μαλακό-d:<5mm, S2:Μαλακό-d:>5mm						
Αποσάθρωση		UW:Χωρίς, SW:Μικρή, MW:Μέτρια, HW:Εντονη, D:Ολική						

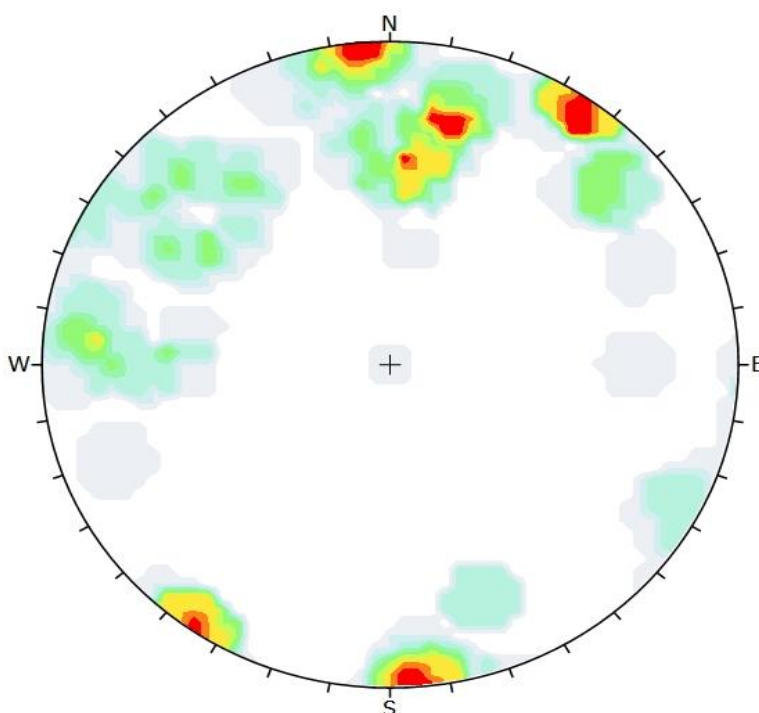
ΤΑΦΟΣ 4

Από τις μετρήσεις του προσανατολισμού των τεκτονικών στοιχείων (ασυνεχειών) που υπάρχουν τόσο στα επιφανειακά τμήμα όσο και εντός του Τάφου 4 κατασκευάστηκε τεκτονική διάγραμμα Schmidt με την χρήση του λογισμικού της Rockscience 6.0. Στην εικόνα 1 αναπαρίσταται η διασπορά των πόλων των τεκτονικών στοιχείων, στην εικόνα 2 αναπαρίσταται η στατιστική επεξεργασία. Στην συνέχεια, στην εικόνα 3 προβάλλονται οι κύριες ασυνέχειες που εμφανίζονται.



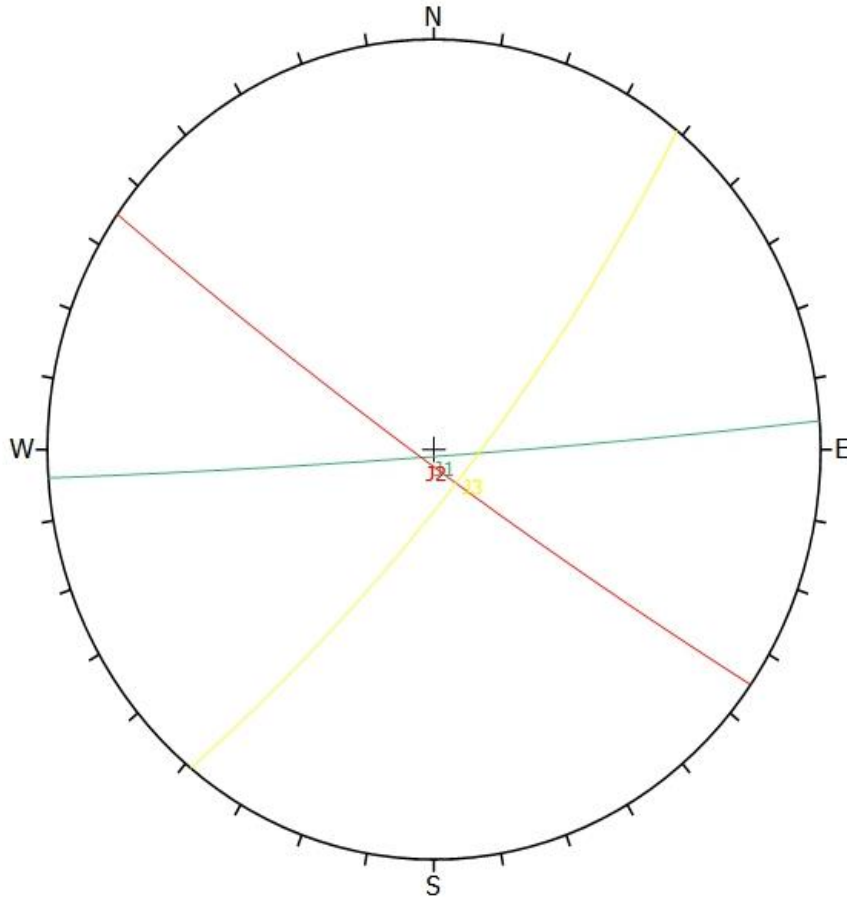
Symbol	Feature
○	Pole Vectors
Plot Mode	
Pole Vectors	
Vector Count	
51 (51 Entries)	
Hemisphere	
Lower	
Projection	
Equal Angle	

1



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.00
	1.00 - 2.00
	2.00 - 3.00
	3.00 - 4.00
	4.00 - 5.00
	5.00 - 6.00
	6.00 - 7.00
	7.00 - 8.00
	8.00 - 9.00
	9.00 - 10.00
Maximum Density	
9.80%	
Contour Data	
Pole Vectors	
Contour Distribution	
Schmidt	
Counting Circle Size	
1.0%	
Plot Mode	
Pole Vectors	
Vector Count	
51 (51 Entries)	
Hemisphere	
Lower	
Projection	
Equal Angle	

2



	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1	Green	88	176	J1
2	Red	86	215	J2
3	Yellow	79	129	J3
Plot Mode		Pole Vectors		
Vector Count		51 (51 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Angle		

3

A/A	ΕΙΔΟΣ ΑΣΥΝ.	ΚΛΙΣΗ	ΦΟΡΑ ΒΥΘΙΣΗΣ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (cm)	ΜΗΚΟΣ	ΑΝΟΙΓΜΑ	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡ.
1	J1	88	176	10	B	2A	R	ΨΑΜΜΙΤΙΚΟ
2	J2	86	215	10	B	2A		
3	J3	79	129	10	B	2A		
Είδος Ασυνέχειας		B : Στρώση, F : Ρήγμα, J : Διάκλαση, S : Σχιστότητα, Z : Ζώνη διάτμησης						
Απόσταση		Απόσταση από επόμενη ασυνέχεια ίδιου συστήματος						
Μήκος		A:<1m B: 1-3m, C:3-10m, D:10-20m, E:>20m						
Ανοιγμα		0:Καθόλου, 1A:< 0.1mm, 1B:0.1-1mm 2A:1-5mm, 2B:>5mm						
Τραχύτητα		VR:Πολύ τραχειά, R:Τραχειά, SR:Ελαφρά Τραχειά, SM:Ομαλή SL:Ολίσθηση						
Υλικό πλήρωσης		0:Κανένα, H1:Στιφρό - d:<5mm, H2:Στιφρό - d:>5mm, S1:Μαλακό-d:<5mm, S2:Μαλακό-d:>5mm						
Αποσάθρωση		UW:Χωρίς, SW:Μικρή, MW:Μέτρια, HW:Εντονη, D:Ολική						

8.2.2 ΕΥΡΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Για την εύρεση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών της βραχώδους εφαρμόστηκε το κριτήριο Papaliangas. Στην συνέχεια παρατίθεται το θεωρητικό μέρος του κριτηρίου καθώς και η εργαστηριακή διαδικασία εύρεσης της διατμητικής αντοχής.

8.2.2.1 ΚΡΙΤΗΡΙΟ PAPALIANGAS

Το κριτήριο Papaliangas αποτελεί ένα θεωρητικό κριτήριο που βασίζεται στον μηχανισμό διάτμησης ασυνεχειών και είναι ανάλογο με αυτόν που έχει μελετηθεί από τους Bowden & Tabor (1950) για την περίπτωση των μεταλλικών υλικών (Papaliangas, 1995). Η λειτουργία του μηχανισμού διάτμησης των ασυνεχειών είναι η ακόλουθη. Σε περίπτωση που εφαρμοστεί σε μια ασυνέχεια μια ορθή τάση, τα τοιχώματά της έρχονται σε επαφή μόνο σε ορισμένες περιοχές οι οποίες αποτελούν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής επιφάνειας. Η ορθή τάση στις περιοχές επαφής είναι τόσο υψηλή που προκαλεί πλαστική "συγκόλληση" των δυο τμημάτων της ασυνέχειας όπως για παράδειγμα γίνεται και στην περίπτωση των μετάλλων. Η πιο μικρή τιμή της πραγματικής ορθής τάσης που μπορεί να προκαλέσει πλαστική συμπεριφορά στο υλικό αποτελεί την τάση που αντιστοιχεί στη μετάβαση από την ψαθυρή στην πλαστική συμπεριφορά του βραχώδους υλικού. Συνεπώς, είναι αποδεκτό πως τη στιγμή της μέγιστης διατμητικής αντοχής οι περιοχές επαφής βρίσκονται στη μεταβατική φάση από την ψαθυρή στην πλαστική συμπεριφορά. Επιπλέον, κατά την ολοκλήρωση της διατμητικής μετατόπισης παρατηρούνται "κόμβοι επαφής" που έχουν αναπτυχθεί από τον παραπάνω μηχανισμό. Αυτοί οι "κόμβοι επαφής" διασπείρονται σε όλη την επιφάνεια της ασυνέχειας, ενώ η κλίση τους είναι διαφορετική σε σχέση με το μέσο επίπεδο της.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής διατμητικής δύναμης είναι η σχετική ολίσθηση των δυο τμημάτων της ασυνέχειας κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου η διεύθυνση του οποίου εξαρτάται από τη μέση κλίση των κόμβων επαφής. Άρα, η διατμητική αντίσταση σε οποιαδήποτε ορθή τάση μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από απότμηση των πλαστικών κόμβων επαφής, η οποία λαμβάνει χώρα κατά μήκος αυτού του κεκλιμένου επιπέδου και εξαιτίας αυτού προκαλείται διαστολή. Η αντίσταση αυτή περιλαμβάνει δυο επιμέρους συνιστώσες: 1) την συνιστώσα που οφείλεται στη διατμητική αντοχή του υλικού των τοιχωμάτων σε εντατική κατάσταση υψηλών τάσεων 2) την συνιστώσα που αποτελεί γεωμετρική συνιστώσα η οποία οφείλεται στη μέση κλίση των περιοχών που έρχονται σε επαφή. Θεωρείται αποδεκτό το γεγονός ότι οι κόμβοι επαφής βρίσκονται στο όριο της ψαθυρής με την πλαστική συμπεριφοράς, συνεπώς η διατμητική αντίσταση είναι ίση με την αντίσταση τριβής άρα η πρώτη συνιστώσα είναι τόσο ανάλογη της ορθής τάσης όσο και ανεξάρτητη της τραχύτητας και της κλίμακας. Η δεύτερη συνιστώσα αποδίδεται στην επιφανειακή τραχύτητα ενώ εξαρτάται από την ορθή τάση. Συνεπώς, το μέγεθος της συνιστώσας τριβής προσδιορίζεται από τη γωνία τριβής του υλικού των τοιχωμάτων. Για να προσδιοριστεί το μέγεθος της γεωμετρικής συνιστώσας εφαρμόζονται οι αρχές της «θεωρίας ορθής επαφής» κατά Greenwood & Williamson (1966), με αξιοποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω σχετικά με την περιγραφή του μηχανισμού διάτμησης, το κριτήριο Papaliangas, λαμβάνει την εξής μορφή :

$$\tau_p = \sigma_n \varepsilon \varphi (\varphi_m + \psi)$$

Όπου ορίζεται ως

τ_p : η μέγιστη διατμητική αντοχή

σ_n : η ορθή τάση

φ_m : η γωνία τριβής του υλικού των τοιχωμάτων αυτής ασυνέχειας και

ψ : η γωνία διαστολής που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική αντοχή.

Η τιμή της γωνίας μεταβάλλεται λογαριθμικά με την ορθή τάση και δίνεται από τη σχέση (Papaliangas, 1995)

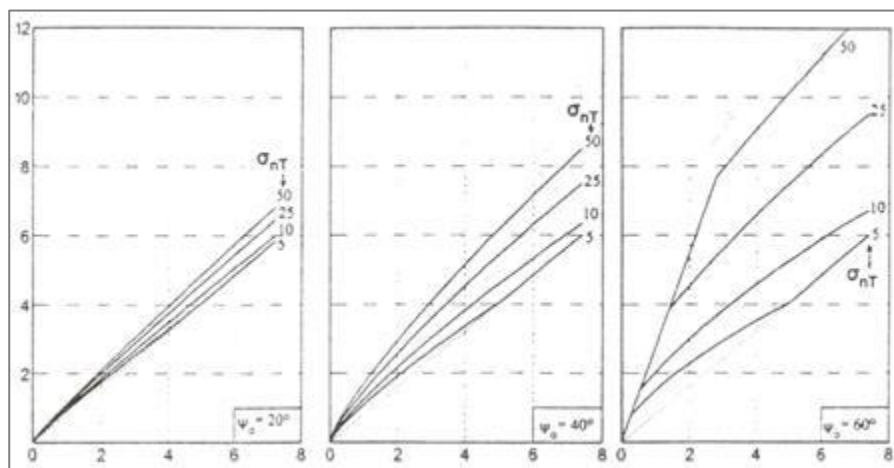
$$\varepsilon \varphi \psi = \varepsilon \varphi \psi_o \log_{10} \frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n} / \log_{10} \frac{\sigma_{nT}}{\sigma_{no}}$$

Όπου ορίζεται ως

ψ_o : η μέγιστη γωνία κλίσης των μικροεξοχών της επιφάνειας και

σ_{nT} : η ορθή τάση η οποία εμποδίζει πλήρως την ασυνέχεια να διασταλεί.

σ_{no} : εκφράζει μια μικρή τιμή της ορθής τάσης η οποία προκαλεί μηδενική παραμόρφωση στην επιφάνεια της ασυνέχειας, και μπορεί να ληφθεί π.χ. 1 kPa



ΕΙΚΟΝΑ 8.71: Περιβάλλουσες διατμητικές αντοχές σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas (Papaliangas, 1995)

Στην ΕΙΚΟΝΑ 8.71 αναπαρίστανται τρεις οικογένειες περιβαλλουσών διατμητικής αντοχής, σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas, οι οποίες αντιστοιχούν σε διαφορετική τιμή της γωνίας ψ_0 . Σε κάθε καμπύλη δίνεται η αντίστοιχη τιμή της παραμέτρου σ_{nT} . Για ευκολία στην χρήση της μεθόδου σε όλες τις περιπτώσεις η τιμή της γωνίας τριβής φ_m ισούται με 39° . Θεωρείται αποδεκτό πως η τιμή της μέγιστης γωνίας τριβής δεν μπορεί να ξεπεράσει τις 70° ($\arctan(\tau/\sigma_n) = 70^\circ$ γι' αυτό στο δεξιό διάγραμμα το αρχικό τμήμα της καμπύλης έχει αντικατασταθεί από την ευθεία $\tau = \sigma \tan 70^\circ$.

Ο προσδιορισμός των τριών βασικών παραμέτρων του κριτηρίου, δηλαδή των φ_m , ψ_o και σ_{nT} μπορεί να γίνει ως εξής:

Η γωνία ϕ_m προσδιορίζεται με δυο τρόπους :

- από τριαξονικές δοκιμές σε άρρηκτο δοκίμιο υπό πλευρική πίεση αρκετά υψηλή τέτοια ώστε να προσεγγιστεί το όριο ψαθυρής-πλαστικής συμπεριφοράς (Papaliangas, 1997)
- από δοκιμές άμεσης διάτμησης σε ασυνέχειες πετρωμάτων, αν από τη μέγιστη διατμητική αντοχή αφαιρεθεί η γεωμετρική συνιστώσα (διαστολή).

Η μέγιστη γωνία κλίσης των μικροεξοχών της επιφάνειας ψ_0 προσδιορίζεται :

- άμεσα με τη πραγματοποίηση μετρήσεων της επιφανειακής τραχύτητας.

Η γωνία αυτή είναι ισοδύναμη με τη γωνία διαστολής, εφόσον ενεργοποιείται όλη η τραχύτητα (αμελητέα επιφανειακή φθορά).

Η γωνία διαστολής προσδιορίζεται :

- εργαστηριακά από δοκιμές διάτμησης υπό ορθή τάση που προέρχεται μόνο από το ίδιο βάρος του δοκιμίου (νεκρό φορτίο).
- Στο πεδίο, η γωνία αυτή προσδιορίζεται με φωτογραμμετρικές ή προφίλομετρικές μεθόδους ή τη μέθοδο δίσκου-πυξίδας των Fecker & Rengers (1971).

Θα πρέπει να αναφερθεί πως η τιμή της γωνίας ψ_0 εξαρτάται από το βήμα της διατμητικής μετατόπισης που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της. Προτεινόμενη τιμή βήματος είναι το 0.2% L, όπου L το μήκος της ασυνέχειας, που σύμφωνα με τον Patton (1966) αντιστοιχεί στην τραχύτητα δευτέρας τάξεως.

Η ορθή τάση σ_n εκφράζει τη μετάβαση από διάτμηση με δυνατότητα διαστολής σε διάτμηση χωρίς διαστολή και προσδιορίζεται :

- πειραματικά με τη χρήση ενός διαγράμματος διαστολής - ορθής τάσης ($\tan\psi$ -log σ_n) το οποίο προκύπτει από την ίδια σειρά δοκιμών άμεσης διάτμησης, το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της γωνίας ϕ_m .

Η τιμή της γωνίας ψ_0 για κάθε δοκίμιο ξεχωριστά μπορεί να ληφθεί από μια δοκιμή άμεσης διάτμησης υπό την επίδραση μόνο του ιδίου βάρους. Η δοκιμή αυτή πραγματοποιείται πριν από την κύρια δοκιμή στην οποία θα υποβληθεί το συγκεκριμένο δοκίμιο. Για τιμές ορθής τάσης μεγαλύτερες της σ_n η τραχύτητα δεν παίζει κανένα ρόλο, ενώ η διατμητική αντοχή είναι ανάλογη της ορθής τάσης. Η αναλογία αυτή ισχύει έως ότου η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας να ισούται με τη διατμητική αντοχή του συμπαγούς πετρώματος. Αν ξεπεραστεί η τιμή τότε η διατμητική αντοχή είναι ίση με αυτή του συμπαγούς βραχώδους υλικού. Για φυσικές ασυνέχειες η σ_n είναι σαφώς μικρότερη τόσο από τη θλιπτική αντοχή όσο και από την τάση που προκαλεί την αλλαγή της συμπεριφοράς του υλικού από ψαθυρή σε πλαστική. Αν θεωρηθούν σαν τυπικές τιμές $\sigma_n = 10\text{MPa}$ και $\sigma_{no} = 1\text{kPa}$, η παραπάνω σχέση δίνει:

$$\varepsilon\psi = \frac{\varepsilon\psi_o}{4} \log_{10} \frac{\sigma_{nT}}{\sigma_n}$$

Η πρακτική σημασία των δύο σχέσεων είναι μεγάλη και με την χρήση μια απλής φυσικής παραμέτρου η οποία μπορεί να μετρηθεί άμεσα, της μέγιστης κλίσης των μικροεξοχών. Η τάση σ_{nT} προσδιορίζεται από μια σειρά δοκιμών σε δείγματα φυσικής ασυνέχειας, χωρίς να απαιτείται οποιαδήποτε ειδική προετοιμασία των επιφανειών τους.

Στους περισσότερους τύπους υγιών πετρωμάτων η τιμή της γωνίας τριβής ϕ_m σύμφωνα με τριαξονικές δοκιμές κυμαίνεται μεταξύ 33° και 43° . Οι μικρότερες τιμές αντιστοιχούν σε τύπους βράχων χαλαζιακής σύστασης ενώ οι μεγαλύτερες σε βράχους ασβεστιτικής σύστασης (Papaliangas, 1996). Βέβαια, υπάρχει πάντα η πιθανότητα να υπάρξουν περιπτώσεις με αισθητά χαμηλότερες τιμές σε περιπτώσεις πετρωμάτων όπως οι σχιστόλιθοι, φυλλίτες και γενικά πετρώματα που περιέχουν ορυκτά χαμηλής διατμητικής αντοχής ή όταν τα τοιχώματα εμφανίζουν αποσάθρωση ή είναι καλυμμένα με επιστρώσεις εδαφικών υλικών ή ορυκτών χαμηλής γωνίας τριβής.

Επίσης, μικρές τιμές γωνιών τριβής, ιδιαίτερα σε χαμηλές ορθές τάσεις προκύπτουν σε περιπτώσεις που η επιφάνεια μιας ασυνέχειας έχει λειανθεί λόγω κάποιας φυσικής ή τεχνικής διεργασίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις η τιμή της γωνίας ϕ_m προσδιορίζεται μόνο από δοκιμές άμεσης διάτμησης, γιατί οι τριαξονικές δοκιμές δεν είναι ικανές και δεν "αντιλαμβάνονται" πλήρως τα διαφοροποιημένα επιφανειακά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Το κριτήριο Papaliangas δεν μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση ασυνεχειών με υλικό πληρώσεως, για τις οποίες άλλα κριτήρια είναι πιο ενδεδειγμένα (Papaliangas 1993 και 1995).

8.2.2.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Το δοκίμιο της μελέτης διαμορφώθηκε και εκτελέστηκε η δοκιμή της άμεσης διάτμησης στο Εργαστήριο Γεωμηχανικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Αλεξάνδρειου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Θεσσαλονίκης με εργαστηριακό εξοπλισμό που περιγράφεται στη συνέχεια.

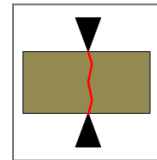
Η δημιουργία των ασυνεχειών πραγματοποιείται με δυο τρόπους 1. με υποβολή πρισμάτων πετρώματος σε κάμψη 2. με εφελκυστική διάρρηξη με τη χρήση δυο γωνιακών ελασμάτων μέσω των οποίων εφαρμόστηκε το απαιτούμενο γραμμικό φορτίο σε προ διαμορφωμένη εγκοπή κατά πλάτος του δοκιμίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι αναπτυσσόμενες ασυνέχειες να είναι οι πολύ τραχείες και να αντιπροσωπεύουν το άνω όριο της τραχύτητας που είναι δυνατό να απαντηθούν στο ύπαιθρο.

Στο υπό μελέτη δοκίμιο αφού πρώτα διαμορφώθηκε με τη βοήθεια αδαμαντοτροχού, ώστε να υπάρχει λεία βάση για την καλύτερη έδραση στην τράπεζα

και να διευκολύνεται στην χρήση το σύστημα συγκράτησης του δείγματος σε αυτή, χρησιμοποιήθηκε ο δεύτερος τρόπος ανάπτυξης των ασυνεχειών όπως φαίνεται στην ΕΙΚΟΝΑ 8.73.



ΕΙΚΟΝΑ 8.72 : Διαμόρφωση δείγματος με τη βοήθεια αδαμαντοτροχού



ΕΙΚΟΝΑ 8.73 : Εφελκυστική διάρρηξη με τη χρήση δυο γωνιακών ελασμάτων μέσω των οποίων εφαρμόστηκε το απαιτούμενο γραμμικό φορτίο σε προ-διαμορφωμένη εγκοπή κατά πλάτος του δοκιμίου

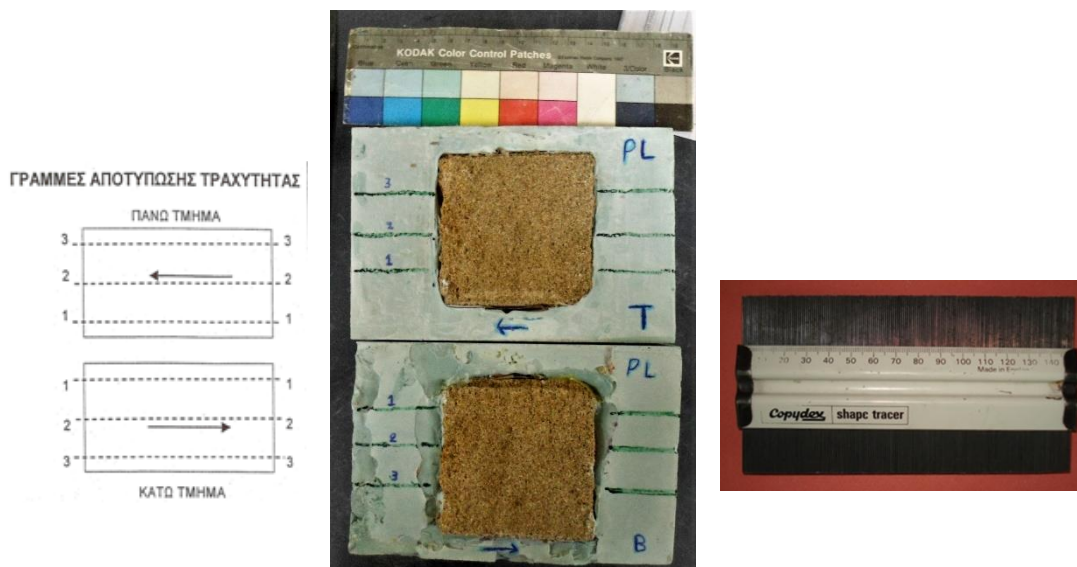
ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ

Ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής του πετρώματος όπως βρίσκεται επί τόπου και μάλιστα κατά προκαθορισμένη επιφάνεια κρίσιμη για το υπολογιζόμενο έργο (π.χ. ασυνέχειες) αποτελεί τον βασικό στόχο της δοκιμής. Η διαδικασία που εφαρμόστηκε ήταν η ακόλουθη: Αρχικά το δείγμα εγκιβωτίζεται σε ειδικά καλούπια πλήρως οριζοντιωμένα και κεντραρισμένα ώστε να υφίστανται ομοιόμορφα την τάση όταν τοποθετηθούν στην πρέσα διάτμησης. Για την επίτευξη αυτού χρησιμοποιήθηκε οδοντιατρική γύψου ταχείας πήξεως και αντοχής μεγαλύτερης από 30 MPa με αυστηρά καθορισμένες αναλογίες νερού και κονίας. Χρησιμοποιήθηκαν δυο καλούπια, το ένα χρησιμοποιείται για τον εγκιβωτισμό του κάτω τμήματος και το δεύτερο για τον εγκιβωτισμό του άνω τμήματος της ασυνέχειας.



ΕΙΚΟΝΑ 8.74 : Εγκιβωτισμός του πάνω μέρους δοκιμίου.

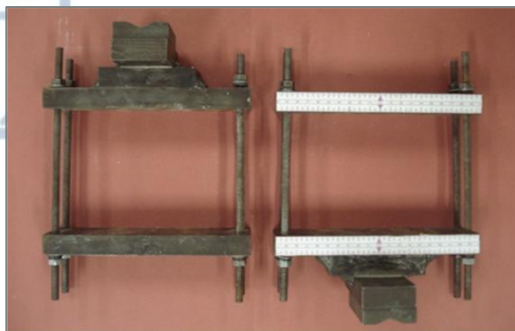
Σε δεύτερο στάδιο αφού πήξει η γύψος και δημιουργηθεί το δοκίμιο της μελέτης χαράσσονται 3 γραμμές πάνω στις οποίες λαμβάνεται η τραχύτητα του δείγματος. Η αποτύπωση της τραχύτητας της ασυνέχειας πάνω στις τρεις γραμμές που έχουν αποτυπωθεί γίνεται με την βοήθεια του προφιλόμετρου. Η αποτύπωση της τραχύτητας γίνεται πριν και μετά την εκτέλεση της δοκιμής άμεσης διάτμησης σημειώνοντας κάθε φορά την ορθή τάση που ασκήθηκε. Συνεπώς, εκτός από τον χαρακτηρισμό της ασυνέχειας, αποτυπώνονται και οι αποτμήσεις των προεξοχών στις αντίστοιχες τάσεις.



ΕΙΚΟΝΑ 8.75 : Γραμμές αποτύπωσης τραχύτητας με την χρήση προφιλόμετρου.

Αριστερά φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο σημειώνεται η τραχύτητα και δεξιά παρατίθεται το προφιλόμετρο.

Το δοκίμιο τοποθετείται στην συνέχεια σε ειδικές μήτρες ΕΙΚΟΝΑ 8.76, άνω και κάτω τμήματος πριν τοποθετηθεί στην συσκευή άμεσης διάτμησης ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή προσαρμογή του κατά τη διατμητική μετατόπιση. Στην πρώτη φάση της δοκιμής η τάση που πραγματοποιείται με μόνη ορθή δύναμη το ίδιο βάρος του δοκιμίου, χρησιμοποιούνται μήτρες από ελαφρύ υλικό plexiglass, ενώ στην συνέχεια για την εφαρμογή μεγαλύτερων ορθών τάσεων χρησιμοποιούνται χαλύβδινες μήτρες.



ΕΙΚΟΝΑ 8.76 : Μήτρες δοκιμίων.

Εκτός από την αποτύπωση της τραχύτητας πριν και μετά την εκτέλεση της δοκιμής το δοκίμιο γίνεται λήψη φωτογραφιών έχοντας αναγράψει και την τιμή της ορθής τάσης η οποία έχει ασκηθεί (post) και πρόκειται να ασκηθεί (pre) στην συνέχεια.

Στην παρούσα εργασία το φωτογραφικό υλικό που αντιστοιχεί στην δοκιμή άμεσης διάτμησης, δηλαδή η αποτύπωση της τραχύτητας και η φωτογράφιση του δοκιμίου πριν και μετά την εκτέλεση τη δοκιμής βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.

Εκτέλεση δοκιμής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών

Η εκτέλεση της δοκιμής της άμεσης διάτμησης βράχου συνίσταται από την διάταξη των παρακάτω οργάνων. Αρχικά, ο δυναμοδακτύλιος (των 2,10 ή 30kN) ο οποίος έρχεται σε επαφή μέσω χαλύβδινης σφαίρας με το άνω μεταλλικό πλαίσιο του δοκιμίου και καταγράφει την διατμητική παραμόρφωση μέσω ενός οριζόντιου μηκυνσιόμετρου. Ακόμα, υπάρχει ένα οριζόντιο μηκυνσιόμετρο το οποίο έρχεται σε επαφή με το κάτω μεταλλικό πλαίσιο του δοκιμίου και καταγράφει την οριζόντια-διατμητική μετατόπιση. Στο κάτω μεταλλικό πλαίσιο του δοκιμίου έρχεται σε επαφή το έμβολο της μηχανής TRISCAN 100 που επιβάλλει την διατμητική με σταθερή επιλεγόμενη ταχύτητα. Στο πάνω τμήμα του δοκιμίου, τοποθετούνται δύο κατακόρυφα μηκυνσιόμετρα αντί διαμετρικά στο κέντρο του δοκιμίου, πάνω σε ειδικά σχεδιασμένο κάναβο. Όλες οι τιμές συλλέγονται μέσω του καταγραφικού MPX 3000, οι οποίες παρουσιάζονται με την μορφή διαγραμμάτων με το πρόγραμμα WINHOST.



ΕΙΚΟΝΑ 8.77 : Διάταξη συσκευής άμεσης διάτμησης ασυνεχειών βράχου.

Το πρώτο βήμα της δοκιμής είναι να τεθεί σε λειτουργία: (1) η μηχανή TRISCAN 100 για την εφαρμογή της διατμητικής δύναμης (2) ο επεξεργαστής MPX 3000 (3) ο υπολογιστής στον οποίο είναι συνδεδεμένα όλα τα παραπάνω. Το δεύτερο βήμα είναι η προετοιμασία του δοκιμίου. Αρχικά, τοποθετείται το δοκίμιο σε μεταλλικά πλαίσια για ορθές τάσεις άνω των 5-6 KPa ή σε πλαίσια από plexiglass για δοκιμές σε νεκρές ορθές τάσεις (αυτές που ασκούνται μόνο από το μόνο με το βάρος του δοκιμίου).

Κατά την έναρξη της διαδικασίας της πρώτης δοκιμής άμεσης διάτμησης θα πρέπει να λειανθεί η επιφάνεια της γύψου του πάνω μέρους του δοκιμίου με την χρήση σπάτουλας ώστε η επιφάνεια να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη. Ο λόγος για τον οποίον γίνεται αυτό είναι διότι έρχονται σε επαφή με τα μηχανοσκόπια μέτρησης της ορθής μετακίνησης. Έπειτα ο διανομέας τοποθετείται στο κέντρο του πάνω μέρους του υλικού εγκιβωτισμού του δοκιμίου και σχεδιάζεται το περίγραμμα του. Στην συνέχεια, σημειώνονται δυο σημεία εκατέρωθεν και σε απόσταση 1 cm από τα άκρα του πάνω μέρους υλικού εγκιβωτισμού του δοκιμίου, στα οποία θα έρθουν σε επαφή τα δύο μηχανοσκόπια, ώστε σε κάθε δοκιμή τα μηχανοσκόπια να τοποθετούνται στην ίδια θέση. Αφού πραγματοποιηθεί η δοκιμή με το πρώτο στάδιο ορθής τάσης (ίδιο βάρος), ασκείται στη συνέχεια η επόμενη ορθή τάση, η οποία ανάλογα με την τιμή της διακρίνεται σε δυο διαφορετικές διαδικασίες:

Για τάση ≤ 100 KPa:

Ο διανομέας τοποθετείται εντός του περιγράμματος που είχε σχεδιαστεί κατά την προετοιμασία του δοκιμίου. Στην συνέχεια τοποθετείται το πλαίσιο που στο κάτω μέρος του τοποθετούνται τα ανάλογα βάρη για να επιτευχθεί η αντίστοιχη τάση.

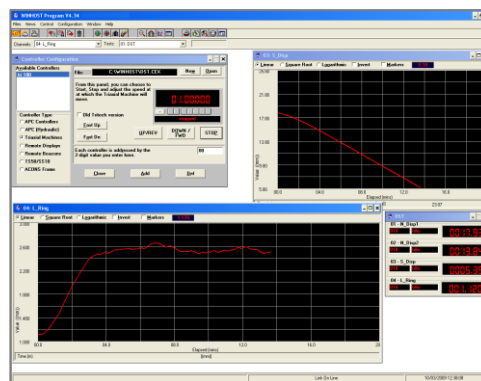
Για τάση > 100 KPa:

Το κεντράρισμα του δοκιμίου γίνεται ως προ το έμβολο της ορθής τάσης και μετά γίνεται η επιβολή της ορθής τάσης με τη βοήθεια της ανάλογης αντλίας σταθερής πίεσης (3,5 MPa -controls ή 70 MPa - ELE).

Τέλος είναι απαραίτητο να κεντράρεται το δοκίμιο ως προς την οριζόντια διεύθυνση με άξονα αυτόν που δημιουργείται από το έμβολο του πλαισίου φόρτισης και από το δυναμοδακτύλιο. Για την εξασφάλιση της οριζόντιας διεύθυνσης τοποθετούνται παράλληλα του άξονα του δοκιμίου δύο μεταλλικές μπάρες πρισματικές ράβδοι χαμηλής τριβής.

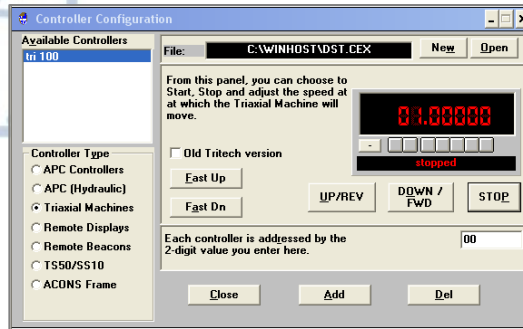
Datalogic WINHOST V 4.34

Για τις δοκιμές άμεσης διάτμησης ασυνεχειών πετρωμάτων η ψηφιοποίηση των αποτελεσμάτων των δοκιμών, πραγματοποιείται με την χρήση της εφαρμογής WINHOST V 4.34 της Datalogic η οποία χρησιμοποιεί το λειτουργικό περιβάλλον των WINDOWS. Οι τιμές των δοκιμών λαμβάνονται από την ψηφιοποίηση μέσω του επεξεργαστή MPX 3000 ο οποίος είναι συνδεδεμένος στον ηλεκτρονικό υπολογιστή και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με την μορφή διαγραμμάτων. Με αυτό τον τρόπο πραγματοποιείται η παρακολούθηση και ο έλεγχος της πορείας της δοκιμής.



ΕΙΚΟΝΑ 8.78 : Περιβάλλον WINHOST κατά την διάρκεια μιας δοκιμής άμεσης διάτμησης

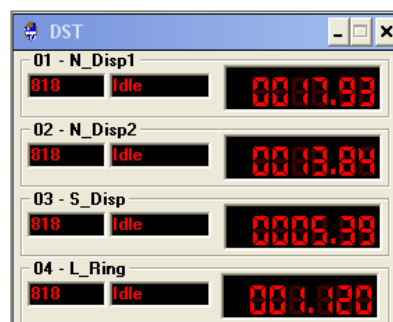
Ανοίγοντας το παράθυρο Configuration στον αρχικό κατάλογο επιλογών αναζητείται η επιλογή από τον υποκατάλογο controllers. Επιλέγοντας το ανοίγει νέο παράθυρο στο οποίο από μία δεύτερη σειρά λίστας στα αριστερά του παραθύρου θα πρέπει να επιλεγεί η κατάλληλη επιλογή controller. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται το Triaxial machines και πιο συγκεκριμένα την TRISCAN 100. Στα δεξιά του παραθύρου υπάρχει ένα πλαίσιο για την ρύθμιση της ταχύτητας (ρυθμού) με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η δοκιμή με μονάδα μέτρησης mm/min (χιλιοστά ανά λεπτό). Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με σταθερό ρυθμό το 1 mm/min. Αριστερά του πλαισίου υπάρχουν δύο κουμπιά Fast Up και Fast Dn με τα οποία μετακινείται το έμβολο της TRISCAN 100 πίσω-μπρος ώστε να τοποθετηθεί το δοκίμιο σε ευθεία με τον δυναμοδακτύλιο. Τέλος, κάτω από το πλαίσιο υπάρχουν τρία κουμπιά, από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν μονό τα δύο, το UP/REV και το STOP όπου με το πρώτο αρχίζει η δοκιμή και με το δεύτερο τερματίζεται.



ΕΙΚΟΝΑ 8.79 : Παράθυρο Controller Configuration.

Στο παράθυρο DST εμφανίζονται τα τέσσερα μηχανοσκόπια (N_Disp1, N_Disp2 , S_Disp) καθώς και ο δυναμοδακτύλιος (L_Ring) το οποία χρησιμοποιούνται κατά την εκτέλεση της δοκιμής. Τα μηχανοσκόπια (N_Disp1, N_Disp2) χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της ορθής μετακίνησης του άνω τμήματος στα δυο άκρα του για τον προσδιορισμό της διαστολής. Το μηχανοσκόπιο (S_Disp) χρησιμοποιείται για την καταγραφή της διατμητικής μετατόπισης και το (L_Ring) για την καταγραφή της παραμόρφωσης του δυναμοδακτύλιου.

Αριστερά ο αριθμός 818 που απεικονίζεται σε κάθε ένα από τα παραπάνω, αναφέρεται στον αριθμό της μέτρησης ο οποίος μεταβάλλεται μέχρι το τέλος της δοκιμής ενώ στα δεξιά είναι οι τιμές που καταγράφονται αντίστοιχα. Η καταγραφή της κάθε μέτρησης έχει ρυθμιστεί να γίνεται ανά 5 δευτερόλεπτα. Αντίστοιχα για κάθε μηχανοσκόπιο καθώς και για τον δυναμοδακτύλιο οι τιμές παρουσιάζονται συνολικά καθ' όλη την διάρκεια της δοκιμής με την μορφή διαγραμμάτων πατώντας την επιλογή Views της πάνω μπάρας των μενού και στην συνέχεια από το υπομενού την επιλογή Channels (π.χ. 01,02,03,04)



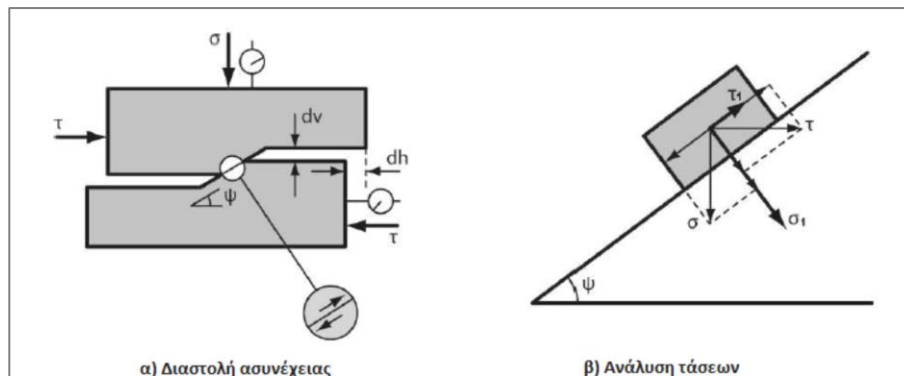
ΕΙΚΟΝΑ 8.80 : Παράθυρο DST

Υπολογισμοί

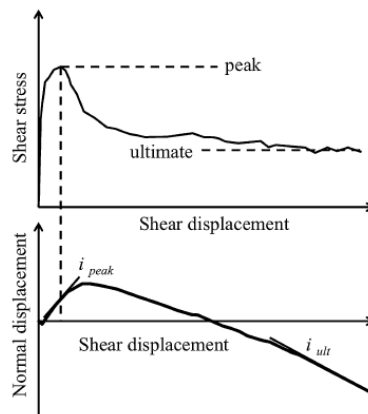
Κατά την εφαρμογή του κριτηρίου Papaliangas απαιτείται ο προσδιορισμός τριών παραμέτρων. Οι παράμετροι είναι

1. η γωνία τριβής των τοιχωμάτων των ασυνεχειών φm
2. η μέγιστη γωνία κλίσης της επιφάνειας ψo
3. η τιμή της τάσης σnT για την οποία η διάτμηση καθίσταται αδιάστατη, δηλαδή η διαστολή μηδενίζεται.

Στο πρώτο στάδιο τα δοκίμια υποβάλλονται σε άμεση διάτμηση μόνο με την επίδραση του ιδίου τους βάρους, από τις οποίες προσδιορίζεται η τιμή της μέγιστης γωνίας διαστολής που είναι πρακτικά ίση με την γωνία κλίσης ψ . Στο επόμενο στάδιο τα δοκίμια υποβάλλονται σε δοκιμές άμεσης διάτμησης σε προκαθορισμένο εύρος ορθών τάσεων. Στις δοκιμές αυτές καταγράφονται η διατμητική και ορθή μετατόπιση καθώς και η διατμητική δύναμη. Με βάση τους Hencher & Richards (1989) η διατμητική κίνηση εξομοιώνεται με την κίνηση κατά μήκος ενός κεκλιμένου επιπέδου, με γωνία κλίσης ίση με τη στιγμιαία γωνία διαστολής.



ΕΙΚΟΝΑ 8.81: Ανάγωγή ορθής και διατμητικής τάσης σε κεκλιμένο επίπεδο.



ΕΙΚΟΝΑ 8.82: Διαγράμματα διατμητικής μετατόπισης - διατμητικής τάσης και διατμητικής μετατόπισης - ορθής μετατόπισης. Υπολογίζεται η μέγιστη και η παραμένουσα διατμητική αντοχή καθώς και η αντίστοιχη διαστολή

Η ανάλυση τάσεων κατά τη διεύθυνση του κεκλιμένου επιπέδου και την κάθετό της δίνει:

$$\sigma_1 = (\sigma \cos \psi - \tau \sin \psi) \cos \psi$$

$$\tau_1 = (\tau \cos \psi - \sigma \sin \psi) \cos \psi$$

Όπου ορίζεται ως

ψ : η στιγμιαία γωνία διαστολής

τ : η τιμή της διατμητικής αντοχής που μετρήθηκε

σ : η ορθή τάση

τ_1 : διατμητική τάση κατά μήκος κεκλιμένου επιπέδου που αντιστοιχεί σε κατάσταση μηδενικής διαστολής



σ_1 : ορθή τάση κατά μήκος κεκλισμένου επιπέδου που αντιστοιχεί σε κατάσταση μηδενικής διαστολής

Η γωνία ϕ_m είναι η γωνία κλίσης της βέλτιστης ευθείας γραμμής που προσαρμόζεται στα δεδομένα ενός διαγράμματος σ - τ (ορθή-διατμητική τάση) στο οποίο αναπαρίστανται οι τιμές της διατμητικής τάσης τ_1 και της ορθής τάσης σ_1 για κάθε στάδιο.

Για την εύρεση της σ_H αναπαρίστανται τα δεδομένα από μια απλή σειρά δοκιμών άμεσης διάτμησης σε ένα ημι-λογαριθμικό διάγραμμα ορθής τάσης-ρυθμού διαστολής ($\log\sigma$ - $\tan\psi$) και προσαρμόζεται η βέλτιστη ευθεία στα δεδομένα. Το σημείο που τέμνει τον άξονα της ορθής τάσης δίνει την τιμή για την οποία η διαστολή μηδενίζεται.

8.2.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Αρχικά πριν παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμής θα πρέπει να γίνει σαφές ότι η δοκιμή εκτελέστηκε σε ένα μόνο δείγμα. Αν υπήρχαν κι άλλα δείγματα θα δινόταν η δυνατότητα να διαμορφωθεί μια σειρά από δοκίμια ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι απόρροια ενός πλήθους τιμών.

Για την εξέταση του δείγματος και στην προσπάθεια προσομοίωσης των συνθηκών εκτελέστηκαν δυο τύποι δοκιμών. Στην πρώτη ξηρή δοκιμή εφαρμόστηκαν ορθές τάσεις 5,50,75,140 kPa⁶. Ενώ στην δεύτερη υγρή δοκιμή άμεσης διάτμησης έγινε προσθήκη νερού στην ασυνέχεια πριν από κάθε δοκιμή υπό τις ορθές τάσεις 0,50,75,100 kPa. Στην συνέχεια παρατίθεται συνοπτικός πίνακας των τιμών που θα χρησιμοποιηθούν στην κινηματική εξέταση ενώ στο Παράρτημα_3 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της κάθε δοκιμής.

Η τιμή Χωρίς Διαστολή εκφράζει την συνιστώσα τριβής του υλικού των τοιχωμάτων της ασυνέχειας και είναι ανεξάρτητη της τραχύτητας και της κλίμακας. Η τιμή με Διαστολή (Μέγιστη) του υλικού των τοιχωμάτων της ασυνέχειας εκφράζει την συνιστώσα τριβής του υλικού των τοιχωμάτων της ασυνέχειας καθώς εμπεριέχει και την γεωμετρική συνιστώσα δηλαδή την επίδραση της τραχύτητας. Για την εξέταση της κινηματικής ανάλυσης του υλικού θα χρησιμοποιηθούν οι παράμετροι της Μέγιστης Διατμητικής αντοχής στην οποία συμπεριλαμβάνεται και η επίδραση της τραχύτητας γιατί από την επιτόπου παρατήρηση στο πεδίο οι επιφάνειες των ασυνεχειών ήταν αρκετά τραχείες. Στην πρώτη ξηρή δοκιμή χρησιμοποιείται η τιμή της Μέγιστης Διατμητικής Αντοχής με γωνία τριβής $\phi=53.1^\circ$. Στην δεύτερη υγρή δοκιμή χρησιμοποιείται η τιμή της Μέγιστης Διατμητικής Αντοχής με γωνία τριβής $\phi= 54,8^\circ$.

⁶ Οι τιμές των ορθών τάσεων εξαρτώνται από το βάρος του ίδιου του δείγματός, το βάρος των πλαισίων και του επιπρόσθετου φορτίου που τοποθετήθηκε για να εκτελεστεί η δοκιμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.05 : Αποτελέσματα Διατμητικής Αντοχής κατά την Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης σε ξηρό δείγμα

	ΔΙΑΤΜ. ANTOXH /SHEAR STRENGTH	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
Γωνία τριβής/phi (°)	53.1	43.1
Συνοχή/ c (kPa)	10.1	0.0

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.06 : Αποτελέσματα Διατμητικής Αντοχής κατά την Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης σε υγρό δείγμα

	ΔΙΑΤΜ. ANTOXH /SHEAR STRENGTH	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
Γωνία τριβής/phi (°)	54.8	36.6
Συνοχή/ c (kPa)	16.4	0.0

Παρατηρείται ότι οι τιμές της γωνίας τριβής (χωρίς διαστολή) στην υγρή ασυνέχεια είναι μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές με την φυσική υγρασία, ενώ συνήθως συμβαίνει το αντίστροφο. Πιθανώς το πέτρωμα έχει περίπου ενδιάμεση συμπεριφορά με το αντίστοιχο εδαφικό. Πιο συγκεκριμένα στην ξηρή ασυνέχεια υπάρχει μια διάταξη κόκκων η οποία με την παρουσία του νερού διαλύεται σε συνδυασμό με το γεγονός ότι είναι ήδη καταπονημένη επιφάνεια, από την εκτέλεση των ξηρών δοκιμών, με αποτέλεσμα να αλλάζει διάταξη της. Φυσικά, αυτό το συμπέρασμα θα μπορούσε να βγει με βεβαιότητα στην περίπτωση που η δοκιμές γινόταν σε περισσότερα δείγματα.

8.3 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Τα σύστημα ταξινόμησης της βραχόμαζας τα οποία κατασκευάστηκαν λόγω της ανάγκης για την απόδοση μιας αριθμητικής τιμής στις ιδιότητες – χαρακτηριστικά της βραχόμαζας – υλικού που επηρεάζουν την συμπεριφορά της κατά τη κατασκευή ενός τεχνικού έργου⁷. Πιο συγκεκριμένα το Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας RMR (Bieniawski), το Σύστημα ταξινόμησης βραχόμαζας Q (Barton et al – Νορβηγικό γεωτεχνικό ινστιτούτο) και ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής της βραχομάζας, (Geological Strength Index, GSI). Στην παράγραφο παρουσιάζεται ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής της βραχομάζας (GSI). (Μαρίνος,2007)

Η ανάγκη για τη κατασκευή των συστημάτων ταξινόμησης έγινε αντιληπτή από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα που αποδεικνύονταν πως οι εργαστηριακές δοκιμές και οι επί τόπου παρατήρηση στο πεδίο δε μπορούσαν να καλύψουν όλες τις απαιτούμενες

⁷ Τεχνικό έργο : Κάθε τι που δομείται ή προκύπτει από διαδικασίες κατασκευής. Ο όρος καλύπτει τόσο τα κτίρια όσο και τα υπόλοιπα έργα πολιτικού μηχανικού. Αναφέρεται στο σύνολο του δομήματος και περιλαμβάνει τόσο τα φέροντα όσο και τα μη φέροντα στοιχεία.

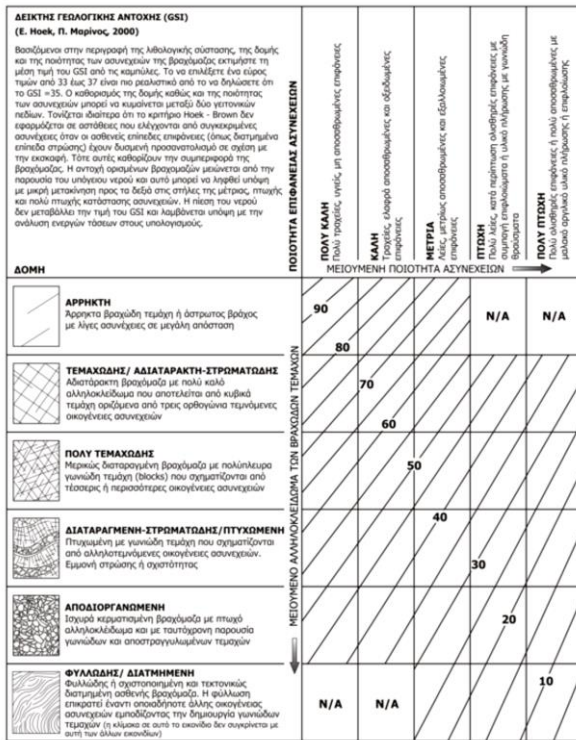
γεωτεχνικές γνώσεις για το υλικό. Φυσικά, δεν αντικαθιστά αυτές τις δυο διαδικασίες αλλά γίνεται μια προσπάθεια οργάνωσης των επί τόπου παρατηρήσεων.

8.3.1. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ GSI

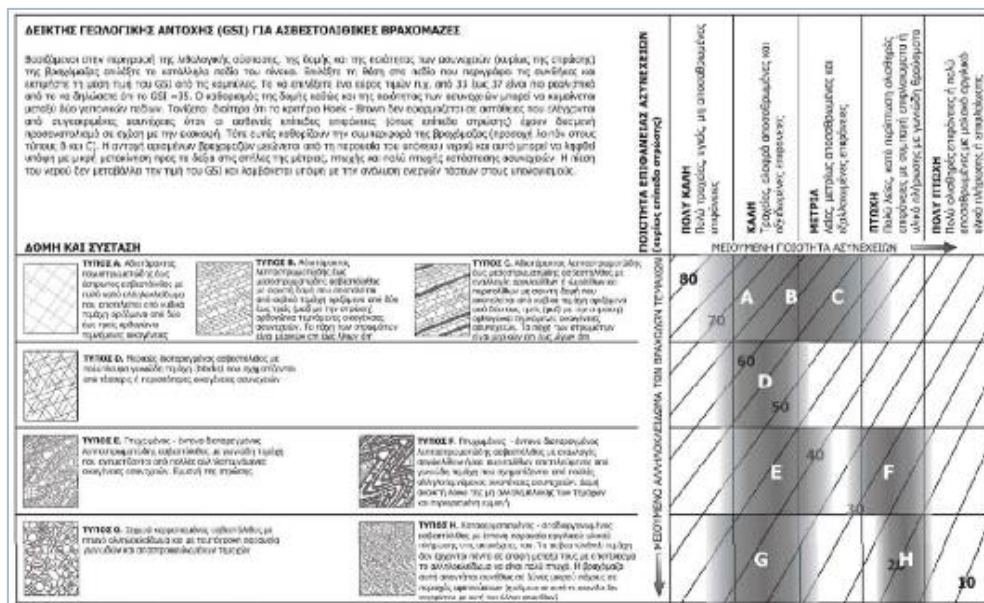
Όπως έχει αναφερθεί πιο πάνω τα συστήματα ταξινόμησης RMR & Q βασίζονται στη τιμή του δείκτη κερματισμού της βραχώμαζας, δηλαδή στο δείκτη RQD. Ο δείκτης αυτός όμως παίρνει μηδενικές τιμές για τις ασθενείς βραχώμαζες. Συνεπώς, έπρεπε να κατασκευαστεί ένα σύστημα ταξινόμησης για αυτές τις βραχώμαζες που το RQD δε θα συμπεριλαμβάνεται και η τιμή της κατάταξης του υλικού θα προκύπτει από τις γεωλογικές παρατηρήσεις (φύση υλικού, δομή κ.τ.λ.). Μέσω αυτής της τιμής θα είναι δυνατός ο υπολογισμός των ιδιοτήτων της βραχώμαζας.

Έτσι, στα μέσα της δεκαετίας του 1990 κατασκευάστηκε ένα νέο σύστημα ταξινόμησης που ονομάστηκε Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής της βραχώμαζας, (GSI). Ο δείκτης GSI βασίζεται στην αξιολόγηση της δομής της βραχώμαζας και της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών. Η εξέταση αυτών των χαρακτηριστικών της βραχώμαζας γίνεται μακροσκοπικά. Συνδυάζει λοιπόν δυο παραμέτρους τηρώντας τους γεωλογικούς περιορισμούς του σχηματισμού. Οι παράμετροι είναι η τεμαχώδης δομή του σχηματισμού καθώς και οι συνθήκες των ασυνεχειών. Φυσικά θα πρέπει να τονιστεί πως δεν αντικαθιστά τα προηγούμενα συστήματα εφόσον δε δίνει πληροφορίες για τον σχεδιασμό των μέτρων υποστήριξης, αλλά επικεντρώνεται στις ιδιότητες της βραχώμαζας (Μαρίνος,2007).

Ο δείκτης GSI είναι χρήσιμος σε ασθενείς βραχώμαζες γιατί είναι περίπλοκο να βρεθούν ποσοτικά δεδομένα. Το σύστημα αυτό δεν μπορεί να αντικαταστήσει άλλες μεθόδους εφόσον δεν παρέχει τη δυνατότητα πρόβλεψης των άμεσων μέτρων υποστήριξης της βραχώμαζας. Η μοναδική του λειτουργία είναι η εκτίμηση των ιδιοτήτων της βραχώμαζας. Βέβαια, οι ιδιότητες που θα προκύψουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχείο σε κάποιο τύπο αριθμητικής ανάλυσης. Το γεγονός της έλλειψης των αριθμητικών δεδομένων είναι πρόβλημα για τους μηχανικούς. Έγιναν κάποιες προσπάθειες για την ποσοτικοποίηση του GSI αλλά ήταν ουσιαστικά μια διαδικασία παρόμοια με αυτή του RQD που έβρισκε εφαρμογή σε καλής ποιότητας σκληρά τεμάχια βράχου (Μαρίνος,2007).



ΕΙΚΟΝΑ 8.83 : Γενικό διάγραμμα ταξινόμησης της βραχώδους GSI (Μαρίνος,2007)



ΕΙΚΟΝΑ 8.84: Διάγραμμα GSI για ασβεστολιθικές βραχώδους με ή χωρίς εναλλαγές ιλυολίθων ή αργιολίθων (Μαρίνος,2007)

8.3.3.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ GSI

Το διάγραμμα GSI βασίζεται στη μακροσκοπική εξέταση της δομής της βραχώδους και της ποιότητας των ασυνεχειών. Αρχικά, προσδιορίστηκε με βάση την μακροσκοπική παρατήρηση στο πεδίο της βραχώδους η τιμή του Δείκτη γεωλογικής αντοχής από το εξειδικευμένο διάγραμμα του GSI για ασβεστολιθικές βραχώδους με

[illegible]

ΕΙΚΟΝΑ 8.85 : Διάγραμμα GSI για ασβεστολιθικές βραχώμαζας με ή χωρίς εναλλαγές ιλυολίθων ή αργιλολίθων στο οποίο προβάλλεται η ταξινόμηση της υπο μελέτη βραχομάζα



ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

9.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

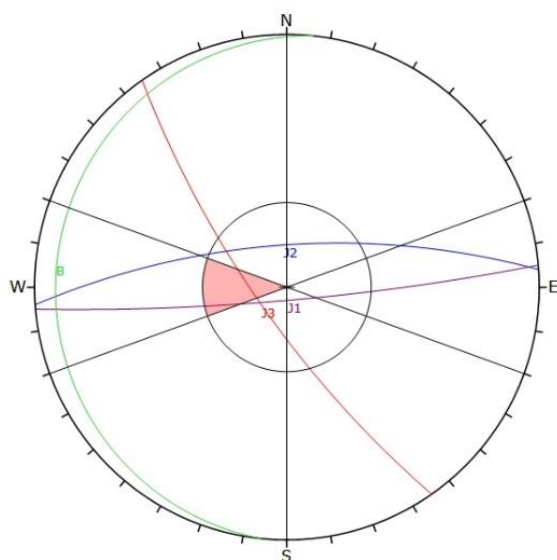
Για την μελέτη και την ανάλυση των αστοχιών χρησιμοποιείται ο συνδυασμός των μετρήσεων των τεκτονικών στοιχείων της βραχώμαζας και οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, οι οποίοι προσδιορίστηκαν από την εργαστηριακή δοκιμής της άμεσης διάτμησης, σε ξηρές και υγρές συνθήκες. Με βάση αυτά τα στοιχεία θα προσδιοριστεί η συμπεριφορά της βραχώμαζας και με την χρήση των προγραμμάτων της Rockscience 6.0 θα μελετηθούν οι πιθανές αστοχίες.

9.2 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Στην παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του λογισμικού της Rockscience Dips 6.0. με τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής δηλαδή την γωνία τριβής και συνοχής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί πραγματοποιήθηκαν δυο δοκιμές, μια σε ξηρές συνθήκες και μια σε υγρές με στόχο τον πιο ρεαλιστικό προσδιορισμό των γεωτεχνικών παραμέτρων. Αρχικά παρουσιάζεται η μελέτη του δοκιμίου σε ξηρές συνθήκες.

9.2.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 3

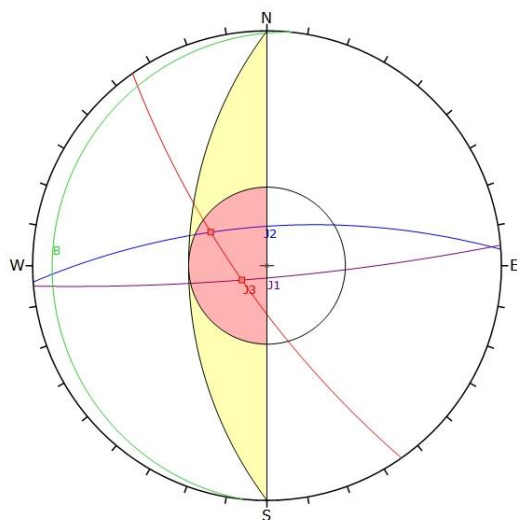
Αρχικά παρουσιάζεται η μελέτη των επίπεδων αστοχιών σε συνθήκες χωρίς νερό με κύριες παραμέτρους $\phi=53^\circ$ και στοιχεία πρανούς $90/270^\circ$. Πιο αναλυτικά θα αποτελέσματα του προγράμματος βρίσκονται στο Παράρτημα_3.



Kinematic Analysis		Rarer Sliding	
Slope Dip		90	
Slope Dip Direction		270	
Friction Angle		53°	
Lateral Limits		22°	
		Critical	Total
Rarer Sliding (All)		3	35
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	94	175	31
2	76	235	33
3	71	358	32
4	5	276	8
Plot Mode: Dip Vectors			
Vector Count: 35 (35 Strikes)			
Hemisphere: Lower			
Projection: Equal Angle			

ΕΙΚΟΝΑ 9.86:
Εξέταση επίπεδης
αστοχίας σε ξηρές
συνθήκες

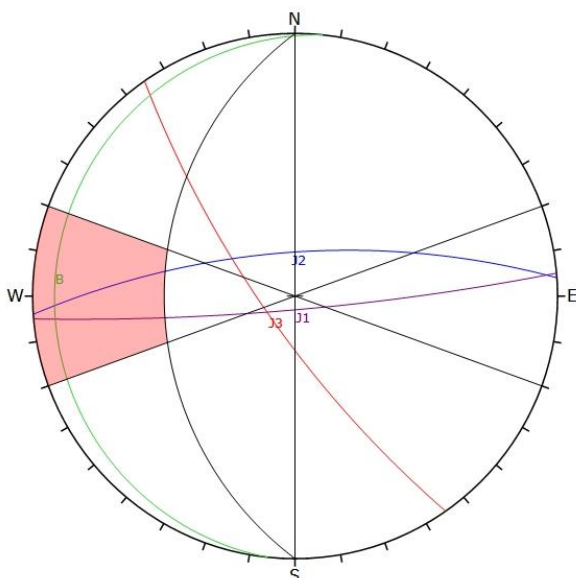
Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή *επίπεδη ολίσθηση επί των ασυνέχειών J3*. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : το επίπεδο ολίσθησης να έχει διεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο του πρανούς και διαφορά στη φορά μέγιστης κλίσης των δυο επιπέδων $\pm 20^\circ$. Επίσης, η κλίση του πρανούς να είναι μεγαλύτερη από τη κλίση του επιπέδου ολίσθησης, μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. Τέλος, η ασυνέχεια να “ξεμιτίζει” στην επιφάνεια του πρανούς.



Symbol	Feature		
	Critical Intersection		
Kinematic Analysis			
Wedge Sliding			
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	270		
Friction Angle	53°		
	Critical	Total	%
	2	6	33.33%
Wedge Sliding		2	Label
User Planes			
Color	Dip	Dip Direction	Label
1 	84	175	J1
2 	76	235	J2
3 	71	356	J3
4 	5	276	B
Plot Mode		Dip Vectors	
Vector Count		35 (35 Entries)	
Intersection Mode		User and Mean Set Planes	
Intersections Count		6	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal Angle	

ΕΙΚΟΝΑ 9.87 : Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε ξηρές συνθήκες

Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή *σφηνοειδής ολίσθηση επί των ασυνέχειών J1-J2, J2-J3*. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας σφηνοειδούς ολίσθησης είναι : η δημιουργία διέδρου από συνδυασμό δυο ασυνεχειών το οποίο ολισθαίνει κατά την ακμή του. Η γωνία του πρανούς (φπ) να είναι μεγαλύτερη από την ακμή (φτ) και οι δυο μεγαλύτερες από την γωνία τριβής της ασυνέχειας. $\phi\pi > \phi\tau > \phi$. Τέλος, η τομή να “ξεμιτίζει” στην επιφάνεια του πρανούς.



Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip		90		
Slope Dip Direction		270		
Friction Angle		53°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Topping (Alt)		5	35	14.29%

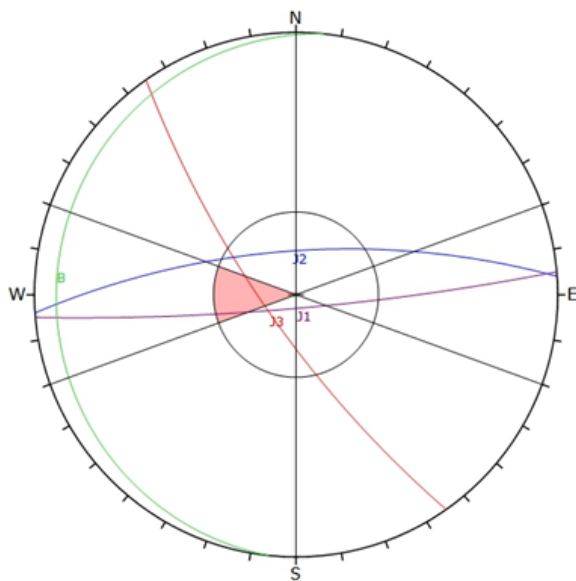
	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		84	175	J1
2		76	235	J2
3		71	356	J2
4		5	276	B

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	35 (35 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

ΕΙΚΟΝΑ 9.88: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε ξηρές συνθήκες

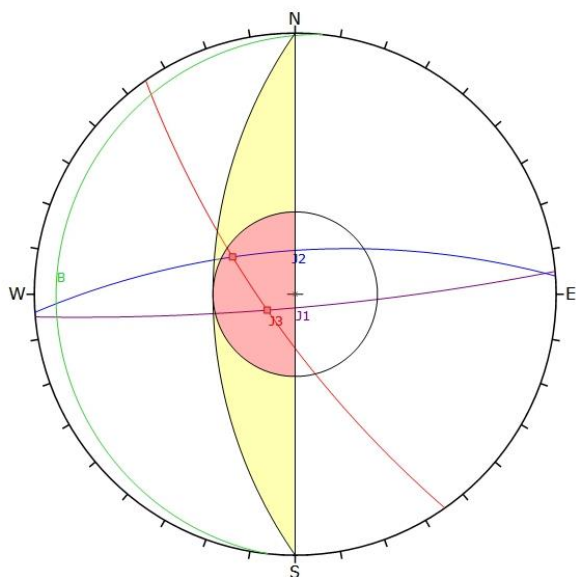
Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα δεν προκύπτει πιθανή ολίσθηση από ανατροπή. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : η φορά κλίσης της ασυνέχειας θα πρέπει να έχει αντίρροπη φορά από την κλίση του πρανούς με διεύθυνση $\pm 20^\circ$ και η κλίση της ασυνέχειας ξεπερνά τις 70° .

Στην συνέχεια παρουσιάζεται η μελέτη των επίπεδων αστοχιών σε συνθήκες με νερό με κύριες παραμέτρους $\phi=55^\circ$ και στοιχεία πρανούς $90/270^\circ$. Πιο αναλυτικά τα αποτελέσματα του προγράμματος βρίσκονται στο Παράρτημα_3.



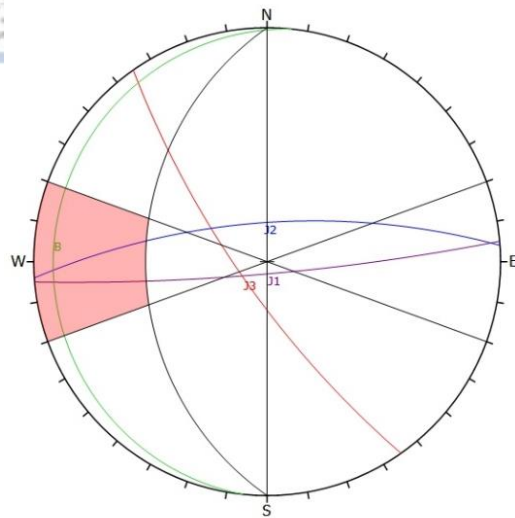
Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip	90			
Slope Dip Direction	270			
Friction Angle	55°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Planar Sliding (M)		3	35	8.57%
Color	Dip	Dip Direction	Label	
User Planes				
1		84	175	J1
2		76	235	J2
3		71	256	J3
4		5	276	J4
Plot Mode		Dip Vectors		
Vector Count		35 (35 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Angle		

ΕΙΚΟΝΑ 9.89: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε υγρές συνθήκες



Symbol	Feature			
	Critical Intersection			
Kinematic Analysis				
Wedge Sliding				
Slope Dip	90			
Slope Dip Direction	270			
Friction Angle	55°			
	Critical	Total	%	
Wedge Sliding		2	6	33.33%
User Planes				
Color	Dip	Dip Direction	Label	
1		84	175	J1
2		76	235	J2
3		71	256	J3
4		5	276	B
Plot Mode				
Dip Vectors				
Vector Count				
35 (35 Entries)				
Intersection Mode				
User and Mean Set Planes				
Intersections Count				
6				
Hemisphere				
Lower				
Projection				
Equal Angle				

ΕΙΚΟΝΑ 9.90: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές συνθήκες



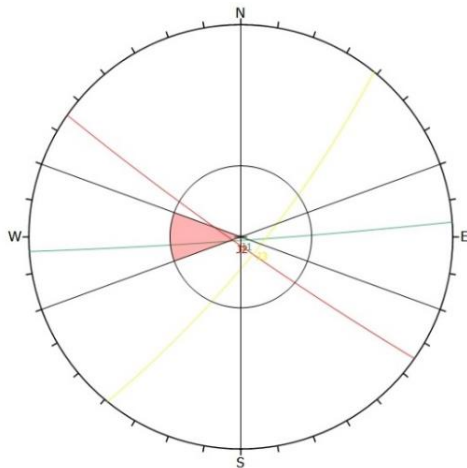
Kinematic Analysis		Flexural Toggling	
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	270		
Friction Angle	33°		
Lateral Limbs	22°		
		Critical	Total
		5	35
		14.29%	
Color	Dip	Dip Direction	Label
1	84	175	31
2	76	235	33
3	71	256	32
4	5	276	8
		Plot Mode	Side Vectors
		Vector Count	35 (35 Entries)
		Hemisphere	Lower
		Projection	Equal Angle

ΕΙΚΟΝΑ 9.91: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε υγρές συνθήκες

Παρατηρείται από τα παραπάνω τεκτονικά διαγράμματα ότι θα συμβούν οι ίδιες αστοχίες δηλαδή επίπεδες, σφηνοειδείς καθώς και ανατροπής στις ίδιες ασυνέχειες τόσο στις ξηρές όσο και στις υγρές.

9.2.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 4

Αρχικά παρουσιάζεται η μελέτη των επίπεδων αστοχιών σε συνθήκες χωρίς νερό με κύριες παραμέτρους $\phi=53^\circ$ και στοιχεία πρανούς 90/270°. Πιο αναλυτικά θα αποτελέσματα του προγράμματος βρίσκονται στο Παράρτημα_3.



Kinematic Analysis		Flexural Toggling	
Slope Dip	50		
Slope Dip Direction	270		
Friction Angle	33°		
Lateral Limbs	22°		
		Critical	Total
		1	51
		1.96%	
Color	Dip	Dip Direction	Label
1	88	176	31
2	80	235	33
3	76	256	32
		Plot Mode	Side Vectors
		Vector Count	51 (51 Entries)
		Hemisphere	Lower
		Projection	Equal Angle

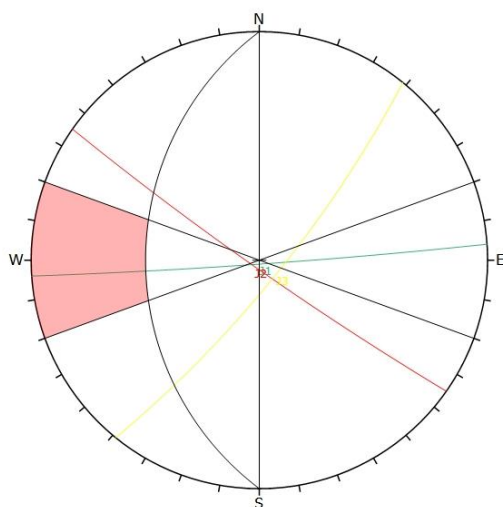
ΕΙΚΟΝΑ 9.92: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε ξηρές συνθήκες

Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή επίπεδη ολίσθηση επί των ασυνέχειών J2,J3. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : το επίπεδο ολίσθησης να έχει διεύθυνση παράλληλη προς το επίπεδο του πρανούς (διαφορά στη φορά μέγιστης κλίσης των δυο επιπέδων $\pm 20^\circ$. Επίσης, η κλίση του πρανούς να είναι μεγαλύτερη από τη κλίση του επιπέδου ολίσθησης, μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής. Τέλος, η ασυνέχεια να "ξεμιτίζει" στην επιφάνεια του πρανούς.

Symbol	Feature		
	Critical Information		
Kinematic Analysis			
Wedge Sliding	40		
Slips Dip	30		
Slips Dip Direction	270		
Friction Angle	52°		
	Critical Total %		
Wedge Sliding	1 3 33.33%		
Color	Dip Dip Direction Label		
User Planes			
1		88	176 32
2		86	215 32
3		79	129 23
Plot Mode Dip Vectors			
Vector Count	32 (32 Vectors)		
Intersection Mode	User and Planes Set Planes		
Intersection Color	User and Planes Set Planes		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

ΕΙΚΟΝΑ 9.93: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε ξηρές συνθήκες

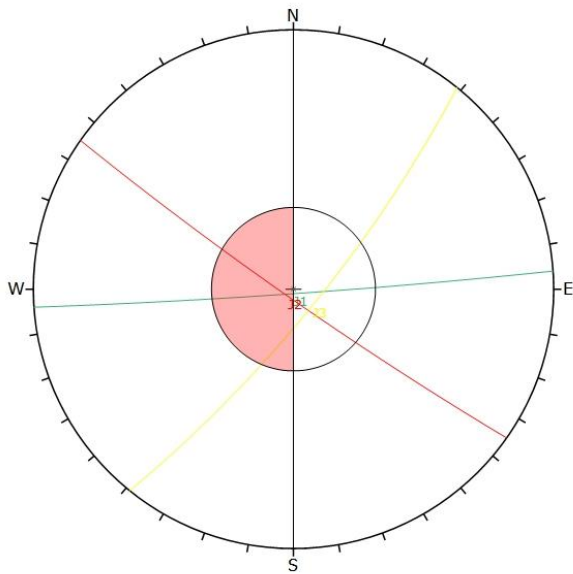
Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα προκύπτει πιθανή σφηνοειδής ολίσθηση επί των ασυνέχειών J1-J2. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας σφηνοειδούς ολίσθησης είναι : η δημιουργία διέδρου από συνδυασμό δυο ασυνεχειών το οποίο ολισθαίνει κατά την ακμή του. Η γωνία του πρανούς (φπ) να είναι μεγαλύτερη από την ακμή (φτ) και οι δυο μεγαλύτερες από την γωνία τριβής της ασυνέχειας. $\phi\pi > \phi\tau > \phi$. Τέλος, η τομή να “ξεμιτίζει” στην επιφάνεια του πρανούς.



Kinematic Analysis		Flexural Trapping	
Slope Dip		90	
Slope Dip Direction		270	
Friction Angle		52°	
Lateral Limits		20°	
Flexural Trapping (MS)		Critical	Total %
		8	51 15.69%
Color	Dip	Dip Direction	Label
User Places			
1		89	176 31
2		86	215 32
3		79	129 23
Plot Mode		Pole Vectors	
Vector Count		51 (51 Entries)	
Hemisphere		Lower	
Projection		Equal Angle	

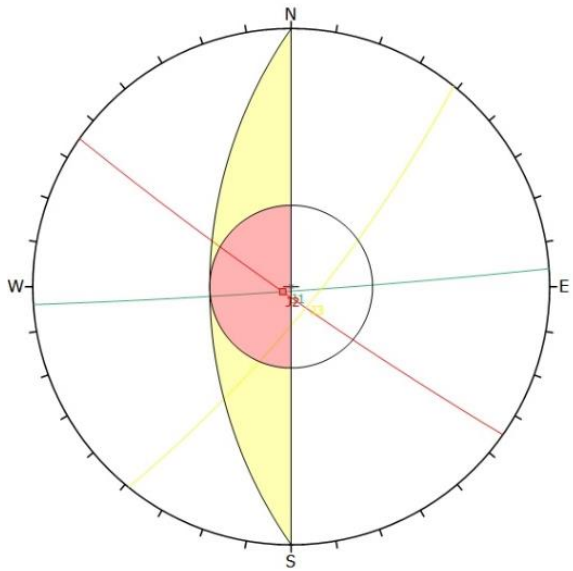
EIKONA 9.94:
Εξέταση αστοχίας
ανατροφής σε ξηρές
συνθήκες

Από τη προβολή των στοιχείων στο τεκτονικό διάγραμμα δεν προκύπτει πιθανή ολίσθηση από ανατροπή. Οι βασικές προϋποθέσεις εκδήλωσης μιας επίπεδης ολίσθησης είναι : η φορά κλίσης της ασυνέχειας θα πρέπει να έχει αντίρροπη φορά από την κλίση του πρανού με διεύθυνση $\pm 20^\circ$ και η κλίση της ασυνέχειας ξεπερνά τις 70° .



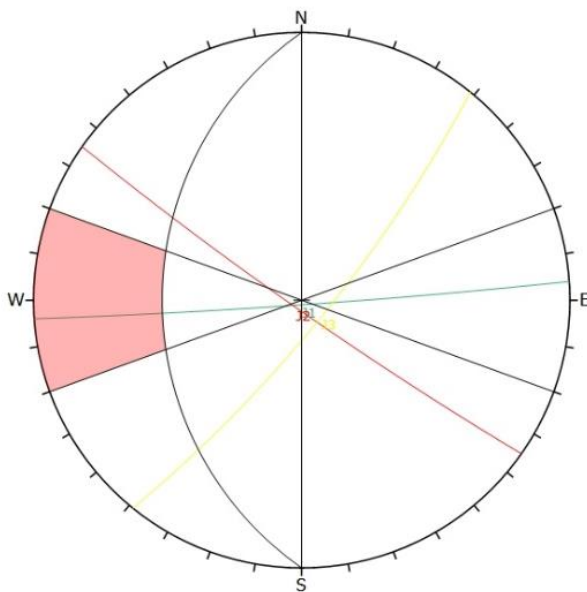
Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		90		
Slope Dip Direction		270		
Friction Angle		55°		
		Critical	Total	%
Planar Sliding (All)		28	51	54.90%
	Color	Dip	Dip Direction	Label
1		88	176	31
2		86	215	32
3		79	129	33
Plot Mode		Dip Vectors		
Vector Count		51 (51 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Angle		

ΕΙΚΟΝΑ 9.95: Εξέταση επίπεδης αστοχίας σε υγρές συνθήκες



Symbol	Feature
	Critical Intersection
Kinematic Analysis	
Wedge Sliding	
Slope Dip	
90	
Slope Dip Direction	
270	
Friction Angle	
55°	
	Critical
	Total
	%
Wedge Sliding	
	1
	3
	33.33%
User Planes	
Color	Dip
	Dip Direction
	Label
1	
	88
	176
	31
2	
	86
	215
	32
3	
	79
	129
	33
Plot Mode	
Dip Vectors	
Vector Count	
51 (51 Entries)	
Intersection Mode	
User and Mean Set Planes	
Intersection Count	
3	
Hemisphere	
Lower	
Projection	
Equal Angle	

ΕΙΚΟΝΑ 9.96: Εξέταση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές συνθήκες



Kinematic Analysis		Planar Topping		
Slope Dip		90		
Slope Dip Direction		270		
Friction Angle		55°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Planar Topping (All)		8	51	15.69%
	Color	Dip	Dip Direction	Label
1		88	176	31
2		86	215	32
3		79	129	33
Plot Mode		Pole Vectors		
Vector Count		51 (51 Entries)		
Hemisphere		Lower		
Projection		Equal Angle		

ΕΙΚΟΝΑ 9.97: Εξέταση αστοχίας ανατροπής σε υγρές συνθήκες

Παρατηρείται από τα παραπάνω τεκτονικά διαγράμματα ότι θα συμβούν οι ίδιες αστοχίες δηλαδή επίπεδες, σφηνοειδείς καθώς και ανατροπής στις ίδιες ασυνέχειες τόσο στις ξηρές όσο και στις υγρές.

9.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Στην παράγραφο θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των λογισμικών της Rockscience, το Rockplane 6.0. για τις επίπεδες αστοχίες, το Swedge 6.0 για τις σφηνοειδείς αστοχίες, το RockTopples 1.0 για τις αστοχίες ανατροπής, με τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής δηλαδή την γωνία τριβής και συνοχής.

Ως Συντελεστής Ασφαλείας F ορίζεται ο λόγος του συνόλου των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι στην ολίσθηση και που οφείλονται στην διατμητική αντοχή του εδάφους (Βάρος (κάθετη συνιστώσα στην επιφάνεια), Τριβή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης, Συνοχή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης) προς τις αντίστοιχες δυνάμεις που ωθούν στην ολίσθηση (Βάρος (παράλληλη συνιστώσα με την επιφάνεια ολίσθησης, Πίεση νερού μέσα στις ασυνέχειες, Δύναμη σεισμού, Εξωτερικό βάρος πάνω στο υπό ολίσθηση μπλοκ).

Όταν ο συντελεστής ασφαλείας F παίρνει τιμή ίση με 1, τότε το πρανές βρίσκεται σε οριακή κατάσταση ευστάθειας. Η αποδεκτή τιμή του συντελεστής ασφαλείας είναι η τιμή μεγαλύτερη της μονάδας και έχει σκοπό να εξασφαλίσει ένα επαρκές περιθώριο ασφάλειας μεταξύ του πραγματικού φορτίου και του φορτίου αστοχίας, ώστε να περιληφθούν παράγοντες που δεν έχουν ληφθεί υπόψη στην ανάλυση όπως:

1. Πιθανότητα απρόβλεπτης αύξησης κάποιων φορτίων
2. Πιθανότητα απρόβλεπτης μείωσης εδαφικών παραμέτρων (ανομοιομορφία εδάφους, ανακρίβεια των μεθόδων μέτρησης κλπ.)
3. Πιθανό σφάλμα και διάφορες παραδοχές που εισάγονται από τα χρησιμοποιούμενα αναλυτικά προσομοιώματα των υπολογισμών.

Οι τιμές για να θεωρηθεί αποδεκτός ο Συντελεστή Ασφαλείας για την ευστάθεια των πρανών είναι της τάξης του 1.3 – 1.5. Φυσικά, η τιμή του συνήθως καθορίζεται με τις εκάστοτε επιβαλλόμενες συνθήκες (σεισμικές φορτίσεις, παρουσία υπεδαφικών νερών κλπ.).

9.3.1 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 3

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας για τους τρεις τύπους αστοχίας. Να σημειωθεί ότι παρατίθενται μόνο τα αποτελέσματα με την χρήση των παραμέτρων της άμεσης διάτμησης από την ξηρή δοκιμή. Παρατηρήθηκε ότι οι ίδιες αστοχίες θα σημειωθούν και κατά την χρήση των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής από την υγρή δοκιμή.

Από την ανάλυση ευστάθειας με εφαρμογή των παραμέτρων του μέγιστου σεισμού με σεισμική επιτάχυνση 0.25 και ποσοστό νερού πλήρωσης στις ασυνέχειες τις βραχομάζας 20% τα αποτελέσματα από τα αντίστοιχα λογισμικά είναι τα εξής. Αναμένεται μια πιθανή επίπεδη αστοχία με συντελεστή ασφαλείας $F = 0.881721$ και όγκο υλικού $1.54947 \text{ m}^3/\text{m}$. Όσον αφορά την πιθανή εκδήλωση

σφηνοειδούς αστοχίας με συντελεστή ασφαλείας $F=0$ και όγκο υλικού 0.321733 m^3 . Δεν αναμένεται αστοχία ανατροπής. Ο μηδενικός συντελεστής ασφαλείας δηλώνει την κρίσιμη κατάσταση στην οποία είναι εκτεθειμένο το μνημείο σε αυτήν την περίπτωση που θα συμβεί ο μέγιστος σεισμός και θα είναι οι ασυνέχειες πληρωμένες με νερό.

9.3.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΑΦΟΥ 4

Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας για τους τρεις τύπους αστοχίας. Να σημειωθεί ότι παρατίθενται μόνο τα αποτελέσματα με την χρήση των παραμέτρων της άμεσης διάτμησης από την ξηρή δοκιμή. Παρατηρήθηκε ότι οι ίδιες αστοχίες θα σημειωθούν και κατά την χρήση των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής από την υγρή δοκιμή.

Από την ανάλυση ευστάθειας με εφαρμογή των παραμέτρων του μέγιστου σεισμού με σεισμική επιτάχυνση 0.25 και ποσοστό νερού πλήρωσης στις ασυνέχειες τις βραχομάζας 20% τα αποτελέσματα από τα αντίστοιχα λογισμικά είναι τα εξής. Αναμένονται δυο πιθανές επίπεδες αστοχίες μια με συντελεστή ασφαλείας $F=0$ και όγκο υλικού $0.314671 \text{ m}^3/\text{m}$ και μια δεύτερη με συντελεστή ασφαλείας $F=0$ και όγκο υλικού $0.874711 \text{ m}^3/\text{m}$. Δεν αναμένεται η εκδήλωση σφηνοειδούς αστοχίας και αστοχίας ανατροπής. Ο μηδενικός συντελεστής ασφαλείας δηλώνει την κρίσιμη κατάσταση στην οποία είναι εκτεθειμένο το μνημείο σε αυτήν την περίπτωση που θα συμβεί ο μέγιστος σεισμός και θα είναι οι ασυνέχειες πληρωμένες με νερό.

10.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο με βάση την μελέτη που διεξήχθη και τις φθορές, αστοχίες που παρατηρήθηκαν στον αρχαιολογικό χώρο τόσο στους υπό μελέτη Τάφους όσο και στον ευρύτερο χώρο παρατίθενται τα μέτρα προστασίας που προτείνονται καθώς και κάποιες προτάσεις για περεταίρω μελέτη. Όλα τα μέτρα και οι προτάσεις έχουν ως γνώμονα τόσο την προστασία του μνημείου όσο και την μη υποβάθμιση της εικόνας του αρχαιολογικού χώρου.

10.2 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Όσον αφορά τις επιπτώσεις την εμφάνιση κυψελοειδούς φθοράς που σχετίζεται με την κρυστάλλωση των αλάτων θα πρέπει να μελετηθούν εκτενέστερα και να προταθούν λύσεις από εξειδικευμένους επιστήμονες και συντηρητές των μνημείων. Ο λόγος είναι ότι θα προταθούν κατάλληλα κονιάματα για την επούλωση των ρωγμών με στόχο την αποφυγή διείσδυσης όμβριων υδάτων από τις ρωγμές. Εντούτοις προτείνεται η εφαρμογή ακρυλικού πολυμερούς στα φυσικά πρανή των λατομείων, μέσω ψεκασμού σε υδάτινο αιώρημα το οποίο έχει την ιδιότητα να συσσωματώνει και να αυξάνει την συνεκτικότητα των κόκκων σε ένα λεπτό, αδιαπέρατο στρώμα στην επιφάνεια του πρανούς με αποτέλεσμα να αυξάνει την αντοχή σε τριβή άρα και την αντοχή σε υδατική και αιολική διάβρωση χωρίς να αλλοιώνει τη φυσική όψη του πρανούς.

Το μέτρο αυτό εφαρμόστηκε με επιτυχία στο νησί Ventotene, ένα μικρό ηφαιστιογενές νησί, περί τα 50km ανοιχτά των ακτών της Ιταλίας, δυτικά της Νάπολι. Το υλικό ψεκάστηκε σε κατακόρυφα πρανή τόφφων που υπόκεινται ρωμαϊκού τείχους του παλαιού λιμανιού του νησιού, με στόχο να περιοριστεί το φαινόμενο της διάβρωσης και κατ' επέκταση η υποσκαφή της θεμελίωσης του μνημείου.

Ο τρόπος εφαρμογής του μέτρου θα γίνει επί των φυσικών πρανών, μέσω ψεκασμού, ακρυλικού πολυμερούς σε υδάτινο αιώρημα τύπου Sikagard®-905 W ή Sikagard®-907 W. Η διαδικασία εφαρμογής αρχικά θα γίνει σε μία στρώση. Η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής των δύο αυτών υλικών θα αξιολογηθεί πριν την εκτεταμένη εφαρμογή τους, μέσω δοκιμών σε δοκίμια από το υλικό των πρανών, τόσο σε υδραυλική όσο και σε αιολική διάβρωση, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Ανάλογα με την παρατήρηση της όψης των πρανών και της εξέλιξης της διάβρωσης και αποκάλυψης νέων επιφανειών, η εφαρμογή (ψεκασμός) του εν λόγω υλικού θα πρέπει να επαναλαμβάνεται σε χρονικά διαστήματα της τάξης των λίγων ετών, ανάλογα και με τις συστάσεις του κατασκευαστή.



ΕΙΚΟΝΑ 10.98: Λιθόκτιστο τείχος του ρωμαϊκού λιμένα της νήσου Ventotene στην στέψη του πρανούς από τόφφους, πριν την εφαρμογή των έργων αποκατάστασης (Από *Bosco et al.* 2013).

Όσον αφορά την παροχέτευση των όμβριων υδάτων από το αίθριο των τάφων προτείνεται η χρήση συστήματος καναλιών με σχάρες που θα οδηγούν εκτός του χώρου τα νερά. Οι σχάρες προτείνεται να καλυφθούν με χαλίκι που θα προέρχεται από την θραύση ίδιου ή παρόμοιου δομικού λίθου με στόχο να μην υποβαθμίζεται η εικόνα του μνημείου.

Για την επίτευξη της ευστάθειας του εξωτερικού πρανούς του Λατομείου 4, το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το βόρειο πρανές του Τάφου 4, προτείνεται η τοποθέτηση ανοξείδωτων συρματοκιβωτίων. Τα συρματοκιβώτια είναι ορθού τετραγωνικού σχήματος κιβώτια-κλουβιά κατασκευασμένα από μεταλλικό, εξαγωνικής οπής πλέγμα το οποίο πληρώνεται με βραχώδη υλικά. Η διαδοχική καθ' ύψος και κατά πλάτος τοποθέτηση οδηγεί στην διαμόρφωση της κατασκευής αντιστήριξης. Μέσω αυτού του μέτρου επιτυγχάνεται ενίσχυση του πρανούς, ευκαμψία, διαπερατότητα. Είναι ένα μέτρο οικολογικής κατασκευής το οποίο μπορεί να αφομοιωθεί στο περιβάλλον.

Για την τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων θα πρέπει να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία. Αρχικά θα πρέπει να κατασκευαστεί μια στρώση έδρασης-στράγγισης στην βάση πριν την τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων, η οποία βελτιώνει την διαπερατότητα του εδάφους και προστατεύει από την τριχοειδή υγρασία και τα επιφανειακά νερά του υπεδάφους. Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί η πρώτη σειρά συρματοκιβωτίων με λίθους και κροκάλες από την περιοχή με στόχο την εναρμόνιση με το περιβάλλον. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στόχος είναι να μην υποβαθμιστεί η εικόνα του μνημείου συνεπώς πριν την τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων το πλέγμα θα πρέπει να βαφεί στο ίδιο χρώμα με το πέτρωμα, καθώς και τα πετρώματα που θα τοποθετηθούν να είναι μέρος του περιβάλλοντος χώρου. Λόγω του μικρού όγκου των

πιθανών ασταθών τεμαχών δεν απαιτούνται μεγάλης έκτασης επεμβάσεις με συρματοκιβώτια. Εναλλακτικά, αντί για συρματοκιβώτια, θα μπορούσε να γίνει στοχευμένη κατασκευή ξερολιθιών σε ύψος και πλάτος ικανό για την αντιμετώπιση των πιθανών αστοχιών.

Προτείνεται να ελέγχουν και να μελετηθούν οι ήδη ανοιχτές ασυνέχειες με στόχο να σφραγιστούν με κάποιο ειδικό υλικό-κονίαμα μέσω του οποίου θα αποτραπεί η περαιτέρω διάνοιξή τους και θα προληφθεί η αποκόλληση τεμάχους σε περίπτωση εκδήλωσης σεισμικής ενέργειας. Όπως αναφέρθηκε και στην ανάλυση ευστάθειας των τάφων υπάρχει η πιθανότητα εκδήλωσης αστοχιών, αλλά ο όγκος που θα αστοχήσει είναι πολύ μικρός. Βέβαια σε έναν αρχαιολογικό χώρο που κινείται σημαντικός αριθμός επισκεπτών, ακόμα και η πιο μικρή πιθανότητα εκδήλωσης αστοχίας θα πρέπει να μηδενιστεί.

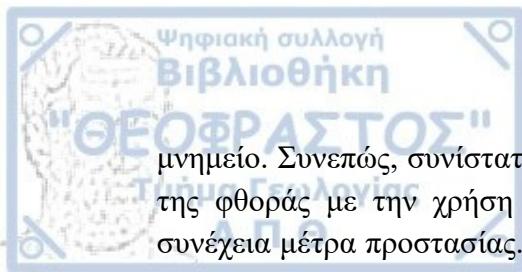
10.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην συνέχεια παρατίθενται οι προτάσεις για επιπλέον μελέτη του μνημείου και αφορούν ένα εύρος στοιχείων που θα πρέπει να συλλεχθούν. Οι προτάσεις αυτές προέκυψαν κατά την διάρκεια μελέτης του μνημείου. Αρχικά, για να θεωρηθεί πιο ολοκληρωμένη η μελέτη που διεξήχθη θα πρέπει να ληφθεί μια σειρά δειγμάτων από όλες τις πλευρές του μνημείου ώστε να εκτελεστούν δοκιμές άμεσης διάτμησης και να προκύψουν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών από ένα πλήθος τιμών με στόχο την επιβεβαίωση των ήδη υπάρχοντων τιμών. Ο λόγος που γίνεται αυτή η πρόταση είναι γιατί το μνημείο εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες με διαφορετική επίδραση της βροχής, της ηλιοφάνειας, του ανέμου επάνω στην επιφάνεια του. Συνεπώς θα πρέπει για κάθε πλευρά όχι μόνο των υπό μελέτη Τάφων αλλά όλου του αρχαιολογικού χώρου να προταθούν μέτρα προστασίας εφόσον αποτελεί έναν μείζον σημασίας χώρο για την ιστορία της Πάφου και ολόκληρης της Κύπρου.

Η υγρασία είναι ένας βασικός παράγοντας φθοράς των δομικών υλικών και στην επαρχία της Πάφου τα ποσοστά υγρασίας είναι αυξημένα καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Προτείνεται η ανίχνευση της κατανομής της υγρασίας στο δομικό υλικό του μνημείου επί τόπου με την χρήση της θερμογραφίας υπέρυθρης ακτινοβολίας. Μέσω της χαρτογράφησης των διαφόρων θερμοκρασιών στην επιφάνεια μπορεί να περιγραφούν οι τρόποι και η έκταση διακίνησης της υγρασίας στους τάφους.

Το είδος και το μέγεθος των σεισμικών βλαβών που μπορεί να υποστεί το μνημείο εξαρτώνται και από τις μηχανικές ιδιότητες του εδάφους στο οποίο θεμελιώνεται. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, δηλαδή το βάθος του υδροφόρου στρώματος που στην περίπτωση αυτή είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια, καθώς και η σύσταση του εδάφους επηρεάζουν την ισχυρή σεισμική κίνηση. Συνεπώς, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν διατρήσεις σε κοντινή περιοχή από τον αρχαιολογικό χώρο με στόχο την λεπτομερή μελέτη του εδάφους θεμελίωσης.

Η μικρή απόσταση από την θάλασσα και σε συνδυασμό με τους ανέμους που πνέουν στην περιοχή μεγεθύνουν το πρόβλημα της φθοράς που έχει υποστεί το



μνημείο. Συνεπώς, συνίσταται να μελετηθεί το βάθος της φθοράς, καθώς και ο τύπος της φθοράς με την χρήση της μεθόδου των υπερήχων ώστε να προταθούν στην συνέχεια μέτρα προστασίας. Επίσης, με την μέθοδο των οπτικών ινών είναι δυνατή η αναγνώριση των τύπων φθοράς, ταξινομώντας τους, σε συνδυασμό με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, στις βασικές κατηγορίες της κυψέλωσης και της κρούστας. Μέσω αυτής της μεθόδου είναι δυνατή και η εκτίμηση της δράσης του περιβάλλοντος στην επιφάνεια του μνημείου δηλαδή εκτίμηση της επίδρασης του αστικού περιβάλλοντος ή του θαλάσσιου στο δομικό υλικό του μνημείου.

Φυσικά, μια πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να μελετηθεί είναι η Μικροζωνική μελέτη της περιοχής της Πάφου, καθώς και η εμφάνιση επιφανειακών ρηγματίων στην ευρύτερη περιοχή του αρχαιολογικού χώρου στην ξηρά και στον θαλάσσιο χώρο. Η νοτιοδυτική πλευρά της Κύπρου αποτελεί μια περιοχή που έχει πολλές φορές στην πορεία των χρόνων επηρεαστεί από ισχυρούς σεισμούς. Συνεπώς, γίνεται κατανοητό ότι το μνημείο είναι εκτεθειμένο σε σεισμικές δράσεις. Μέσω της μελέτης αυτής δύναται να προταθούν αντίστοιχα μέτρα προστασίας αυτού.

Το θέμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει τίτλο «Τεχνικογεωλογική θεώρηση για την ευστάθεια των βραχωδών υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών, καθώς και χαρακτηρισμός των λατομικών υλικών του αρχαιολογικού χώρου των «Τάφων των Βασιλέων» στην Πάφο, ΝΔ, Κύπρος». Ο αρχαιολογικός χώρος περιλαμβάνεται στον κατάλογο της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς της Ουνέσκο. Οι Τάφοι των Βασιλέων είναι ταφικά μνημεία εξολοκλήρου λαξευμένα στον βράχο και περιλαμβάνονται στα πιο σημαντικά έργα που έχουν διασωθεί από την αρχαιότητα, αφού είναι από τα λίγα μνημεία Ελληνιστικής αρχιτεκτονικής που μπορεί κάποιος να δει στην Πάφο. Από την Ελληνιστική ως την Ρωμαϊκή εποχή ο χώρος λειτούργησε ως λατομείο. Κατά την διάρκεια αυτών των χρόνων έγινε εκτεταμένη απόληψη δομικών λίθων για την οικοδόμηση πολλών αρχαίων οικοδομημάτων στην πόλη της Πάφου και της ευρύτερης περιοχής.

Οι στόχοι που είχαν τεθεί στην παρούσα διατριβή αφορούσαν πρώτον τον χαρακτηρισμό ιστολογικά και ορυκτολογικά του πετρώματος, ώστε να ταξινομηθούν πετρολογικά με σκοπό σε κάθε προσπάθεια συντήρησης ή αποκατάστασης να χρησιμοποιούνται ίδιοι ή παρόμοιων χαρακτηριστικών δομικοί λίθοι. Δεύτερον η διερεύνηση των υφιστάμενων φθορών και η αναγνώριση των αστοχιών που σχετίζονται με την ποιότητα των ασβεστολιθικών υλικών. Τρίτο στόχο αποτελεί η τεχνικογεωλογική διερεύνηση των σχηματισμών για την ευστάθεια τόσο των υπόγειων θαλάμων που αντιστοιχούν στα ταφικά μνημεία όσο και των επιφανειακών τμημάτων που αντιστοιχούν στα λατομεία, τα οποία συνθέτουν τον αρχαιολογικό χώρο ώστε στην συνέχεια να προταθούν κατάλληλα μέτρα προστασίας έναντι πιθανών αστοχιών.

Για την επίτευξη των στόχων κατά την διάρκεια των εργασιών πεδίου στον αρχαιολογικό χώρο πάρθηκαν οι μετρήσεις του προσανατολισμού των βασικών τεκτονικών ασυνεχειών του βράχου καθώς και φωτογραφικό υλικό από τις θέσεις φθοράς και αστοχιών του ευρύτερου χώρου. Τέλος, πάρθηκε δείγμα για τις εργαστηριακές δοκιμές και την πετρολογική μελέτη.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την γεωλογία της Κύπρου, τα τεκτονικά, σεισμικά και υδρολογικά, υδρογεωλογικά στοιχεία της Κύπρου με ιδιαίτερη έμφαση στην νοτιοδυτική πλευρά του νησιού στην οποία βρίσκεται η περιοχή της Πάφου. Στην συνέχεια αναζητήθηκε η ιστορική εξέλιξη της περιοχής της Πάφου και του αρχαιολογικού χώρου των Τάφων των Βασιλέων.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με τα καταστροφικά για ένα μνημείο φαινόμενα της Διάβρωσης και της Αποσάθρωσης

δομικών υλικών τους. Μέσω αυτής εντοπίστηκε και δόθηκε ερμηνεία για τις θέσεις φθοράς που συναντώνται στον ευρύτερο χώρο του μνημείου.

Το υπό μελέτη δείγμα χαρακτηρίζεται μικροσκοπικά ως βιογενής ασβεστόλιθος. Το μέγεθος των κόκκων κυμαίνεται από 0,5 mm ως και 2 mm,. Το κύριο συστατικό του είναι οι βιοκλάστες σε ποσοστό που ξεπερνά το 50% ενώ το συγκολλητικό υλικό είναι σπαρτικό. Τα μη ασβεστιτικά συστατικά του πετρώματος είναι χαλαζίας και πλαγιόκλαστο. Σύμφωνα με τον Folk (1959) το εξεταζόμενο δείγμα ταξινομείται ως βιοσπαρίτης, ενώ κατά Dunham (1962) ως κοκκόλιθος.

Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής μελέτης είναι σε πολύ καλή συμφωνία με την μικροσκοπική μελέτη. Διαπιστώθηκε ότι ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος αποτελείται από 95,7% κ.β. ασβεστίτη, 3,8% κ.β. χαλαζία και 0,5% κ.β. αργιλικά ορυκτά.

Το δείγμα το οποίο πάρθηκε χρησιμοποιήθηκε πρωταρχικά για τον προσδιορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής δηλαδή την συνοχή και τη γωνία τριβής. Η εύρεση των παραμέτρων έγινε μέσω της δοκιμής της Άμεσης διάτμησης και σύμφωνα με το κριτήριο Papaliangas. Πραγματοποιήθηκε μια ξηρή δοκιμή (δηλαδή με την φυσική υγρασία της ασυνέχειας) και μια υγρή δοκιμή σε ορθή τάση 5,50,75,140 kPa. 0,50,75,100 kPa. Ο δεύτερος σκοπός λήψης του δείγματος ήταν για την ορυκτολογική και ιστολογική μελέτη με στόχο την ταξινόμηση των πετρωμάτων κατά Folk (1959) και κατά Dunham (1962). Επίσης, έγινε προσδιορισμός ποιοτικά και ποσοτικά της ορυκτολογικής σύστασης του εξεταζόμενου δείγματος μέσω της μεθόδου της περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD).

Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από το πεδίο και ειδικά λογισμικά εντοπίστηκαν οι θέσεις στις οποίες μπορεί να προκληθεί αστοχία. Πιο συγκεκριμένα από τον συνδυασμό των μετρήσεων των ασυνεχειών και τον προσδιορισμό των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών με την χρήση των προγραμμάτων της Rocscience 6.0 μελετήθηκε η ευστάθεια και η συμπεριφορά των υπόγειων και επιφανειακών εκσκαφών. Το λογισμικό Dips 6.0. με τις παραμέτρους της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών, χρησιμοποιήθηκε για την κινηματική ανάλυση. Για την ανάλυση ευστάθειας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής λογισμικά: Rockplane 6.0. για τις επίπεδες αστοχίες, το Swedge 6.0 για τις σφηνοειδείς αστοχίες, το RockTopple 1.0 για τις αστοχίες ανατροπής. Αποτέλεσμα της εξέτασης είναι ο εντοπισμός θέσεων στις οποίες μπορεί να εκδηλωθούν επίπεδες και σφηνοειδείς αστοχίες δηλαδή στην βόρεια πλευρά του Λατομείου 3 και νότια πλευρά του Λατομείου 4.

Πραγματοποιήθηκε γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας με βάση τον Γεωλογικό Δείκτη Αντοχής (Geological Strength Index, GSI) ώστε να εκτιμηθεί η ποιότητα του σχηματισμού. Σύμφωνα με την ταξινόμηση η τιμή που αποδόθηκε στην υπό μελέτη βραχόμαζα ανήκει στο εύρος τιμών του τύπου A και είναι 65-75. Δεν τίθεται θέμα αστάθειας έναντι περιστροφικής ολίσθησης λόγω της υψηλής τιμής του GSI και μέτριας αντοχής του σχηματισμού.

Στα πλαίσια της διατριβής τα μέτρα προστασίας του μνημείου τα οποία προτείνονται έχουν δυο σκοπούς να μην υποβαθμιστεί η εικόνα του μνημείου και να είναι όσο το δυνατόν καλύτερη η προστασία του.

Οι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή του μνημείου είναι κατά κύριο λόγο βόρειοι, ενώ κατά την διάρκεια του χρόνου παρατηρούνται και δυτικής-νοτιοδυτικής διεύθυνσης οι οποίοι μεταφέρουν σωματίδια θαλασσινού νερού που περιέχουν άλατα και προξενούν την κυψελοειδή φθορά στο μνημείο. Στο Λατομείο 3 το οποίο βρίσκεται νοτιότερα και είναι πιο εκτεθειμένο σε σχέση με τον υπόλοιπο αρχαιολογικό χώρο το φαινόμενο είναι πιο έντονο. Προτείνεται η εγκατάσταση συστήματος ανεμογράφων στον χώρο του μνημείου ώστε να διαπιστωθούν και να μετρηθούν οι ριπές των ανέμων για να αναπτυχθεί ένα κατάλληλο σύστημα ανάσχεσης αυτών των ριπών. Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ξερολιθιές για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος ή όπου κρίνεται αναγκαίο να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της κατάχωσης επιλεγμένων χώρων του μνημείου. Εναλλακτικά θα μπορούσε να επιλεγεί η λύση της δενδροφύτευσης με φυτά τα οποία ευδοκούν στην Κύπρο με στόχο την ανάσχεση των ριπών του ανέμου. Όσον αφορά την εμφάνιση κυψελοειδούς φθοράς που σχετίζεται με την κρυστάλλωση των αλάτων προτείνεται η εφαρμογή στα φυσικά πρηνή των λατομείων, μέσω ψεκασμού, διαλύματος ακρυλικού πολυμερούς σε υδατίνο αιώρημα το οποίο έχει την ιδιότητα να συσσωματώνει και να αυξάνει την συνεκτικότητα των κόκκων σε ένα λεπτό, αδιαπέρατο στρώμα. Προτείνεται να γίνει αξιολόγηση της συμπεριφοράς του ακρυλικού πολυμερούς από την εφαρμογή του σε μνημεία άλλων χωρών της Μεσογείου, όπως π.χ. στην Ιταλία. Παρόλα αυτά επειδή η χρήση του ακρυλικού πολυμερούς μπορεί δυνητικά να επιβαρύνει ένα μνημείο, το μέτρο χρήζει περαιτέρω συζήτησης και κρίνεται σκόπιμο να υπάρξει τεκμηριωμένη άποψη των αρχαιολόγων και συντηρητών του μνημείου πριν την τελική απόφαση για την εφαρμογή του.

Κατά τις εργασίες υπαίθρου παρατηρήθηκε μια παρέμβαση στο μνημείο που αφορά την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων περιμετρικά των τάφων. Η παρέμβαση αυτή αξιολογείται ως ιδιαίτερα επιτυχημένη και προτείνεται, σε συνέχεια αυτού του μέτρου, τα λιμνάζοντα νερά τα οποία συναντώνται κατά τους χειμερινούς μήνες εντός των τάφων να απομακρύνονται από τον αίθριο χώρο των τάφων μέσω συστημάτων καναλιών με σχάρες. Οι σχάρες προτείνεται να καλυφθούν με χαλίκι που θα προκύψει από την θραύση ίδιων ή παρόμοιων δομικών λίθων με του εν λόγω αρχαιολογικού χώρου με στόχο να μην υποβαθμίζεται η εικόνα του μνημείου.

Η πλήρωση των ανοιχτών ρωγμών με κονιάματα είναι ένα δεύτερο μέτρο που έχει εφαρμοστεί σε ορισμένα σημεία των μνημείων και κρίνεται ως ιδιαίτερα αποτελεσματικό. Προτείνεται να επεκταθεί η επέμβαση αυτή σε όλες τις ρωγμές που παρατηρούνται σε όλο τον αρχαιολογικό χώρο για την προστασία από την εισροή όμβριων υδάτων, ενώ παράλληλα αποτελεί και έναν έμμεσο για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των ρωγμών, π.χ. εάν παρατηρείται μετατόπιση σε κάποιο σημείο των τάφων. Σε περίπτωση που οι τάφοι υποστούν κάποια μετακίνηση για οποιονδήποτε λόγο θα είναι δυνατός ο προσδιορισμός της διεύθυνσης μετακίνησης.

Όσον αφορά τη σύσταση του κονιάματος για τις εργασίες αποκατάστασης και τη σφράγιση των ρωγμών προτείνεται αυτό να αποτελείται από λευκό τσιμέντο και ασβέστη, όσον αφορά τα πουζολανικά υλικά και κονιοποιημένο ασβεστόλιθο παρόμοιο με αυτόν του αρχαιολογικού χώρου, όσον αφορά το αδρανές υλικό. Η αναλογία πουζολανικών υλικών : αδρανούς προτείνεται να είναι περίπου 1 : 2,5, ενώ η αναλογία νερού : κονίας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0,6 : 1 και 0,7 : 1 ή και μεγαλύτερη, ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (θερμοκρασία και υγρασία της ατμόσφαιρας) την περίοδο εφαρμογής και την εργασιμότητα που θέλουμε να επιτύχουμε για την αποτελεσματική εφαρμογή του κονιάματος (παχύρευστο ή λεπτόρευστο). Η υφή του κονιάματος και τα χαρακτηριστικά του μετά την σκλήρυνση, προκειμένου να είναι αποδεκτή η μακροσκοπική του ενσωμάτωση στο μνημείο (τραχύτητα, πορώδες, αντοχή, χρώμα κ.ά.) ρυθμίζονται από τα χαρακτηριστικά του κονιοποιημένου ασβεστόλιθου (κυρίως από το μέγεθος τεμαχιδίων και την κοκκομετρική τους διαβάθμιση). Ιδιαίτερα για το χρώμα του κονιάματος, το οποίο αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρος για τη χρωματική εναρμόνιση αυτού με τους δομικούς λίθους και θα οδηγήσει σε επιτυχή συντήρηση ή αισθητική υποβάθμιση του μνημείου, προτείνεται, εάν η απόχρωση (τόνος χρώματος) δεν επιτευχθεί από το προτεινόμενο μίγμα, να γίνει σταδιακή προσθήκη ώχρας ή κίτρινης άμμου μέχρι την επίτευξη του επιδιωκόμενου αποτελέσματος. Η μελέτη των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών της κονίας (μέγεθος τεμαχιδίων και κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, αναλογία νερού : κονίας, πορώδες και μηχανικές αντοχές του παραγόμενου κονιάματος), καθώς και το χρώμα του κονιάματος με την προσθήκη ώχρας ή κίτρινης άμμου προτείνεται να αποτελέσουν αντικείμενο περαιτέρω μελέτης. Από αυτή τη μελέτη θα προκύψει το καταλληλότερο κονίαμα για την αποκατάσταση των φθορών και την πλήρωση των ρωγμών στους Τάφους των Βασιλέων.

Σχετικά με την επίτευξη της ευστάθειας των πρανών, κυρίως στο χώρο του Λατομείου 4, προτείνεται η χρήση ανοξειδωτων συρματοκιβωτίων υψηλής αντοχής. Το πλέγμα αυτών πρέπει να βαφεί σε χρώμα όμοιο με το περιβάλλον πέτρωμα και επιπλέον το πέτρωμα που θα χρησιμοποιηθεί για την πλήρωσή τους να προέρχεται από τον περιβάλλοντα χώρο ή να είναι παρόμοιων χαρακτηριστικών από άλλη θέση. Εναλλακτικά, προτείνεται η κατασκευή ξερολιθίων σε ύψος και πλάτος που θα είναι αποτελεσματικό στην αντιμετώπιση των αστοχιών στις θέσεις που διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σοβαρή πιθανότητα αυτές να εκδηλωθούν.

Τέλος, προτείνεται η σύσταση μιας διεπιστημονικής ομάδας στην οποία θα συμμετέχουν οι κατάλληλες ειδικότητες και συγκεκριμένα αρχαιολόγοι, συντηρητές, μηχανικοί και γεωλόγοι για τη διαρκή αξιολόγηση της κατάστασης του μνημείου και των εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης που απαιτούνται. Στόχος αυτής της ομάδας θα είναι να αποφασίζονται από κοινού τα βέλτιστα, κατά περίπτωση, μέτρα προστασίας του μνημείου.



ΞΕΝΗ

ANASTASAKIS G., KELLING G., (1990) «*Tectonic connection of the Hellenic and Cyprus arcs and related geotectonic elements*», ELSEVIER, Marine Geology, 261-277

BODWEN F.P & TABOR D. (1950). «The Friction and Lubrication of Solids» Claredon Press. Oxford

CAGNAN Z., TANIRCAN G., (2010) «*Seismic hazard assessment for Cyprus*», Seismology, 14, Springer, 225-246

CHRISTARAS, B. (1998) *Non-destructive methods used for the estimation of the damage (weathering and cracks) of the building and ornamental stones.* PACT 55 (Revue du Conseil de l' Europe), pp. 213-219) and also (c) MOROPOULOU, A., KOU, M

CHRISTARAS, B. & TSIOURVA TH. (1998) *Non-destructive evaluation of the performance of mortars on historical masonries,* PACT 55 (Revue du Conseil de l' Europe), pp. 243-266)

BOSCO, CROCE, PALMA, PINGITORE & RAMONDINI, (2013, «Restoration Projects and remedial Works in the Historical Island of Ventotene» Proceedings of Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites, Naples 2013

GREENE GW. (1954), «Test hammer provides new method of evaluating hardened concrete.» J Am Concr. Inst;26(3):249–56 [Title No. 51–11].

HARRISON R., TSIOLAKIS E, STONE B., LORD A., McGEEHIN J., MAHAN S., CHIRICO (2014) «*Late Pleistocene and Holocene uplift history of Cyprus implication for active tectonics along the southern margin of the Anatolian microplates*», Geological Society, London, Special Publications

HENCHER S., RICHARDS L. (2014). «Assessing the Shear Strength of Rock Discontinuities at Laboratory and Field Scales», Rock Mechanics and Rock Engineering, 48, 883-905

KALOGERAS I., STAVRAKAKIS G., SOLOMI K., (1999) «*The October 9, 1996 earthquake in Cyprus: seismological, macroseismic and strong data*», Annali di Geofisica, vol.42, 85-97

KINNAIRD T., (2008) «*Tectonic and sedimentary response to oblique and incipient continental – continental collision the easternmost Mediterranean (Cyprus)*», University of Edinburgh

KYRIAKIDES N., LYSANDROU V., AGAPIOU A., ILLAMPAS R., (2016) «*Correlating damage condition with historical seismic activity in underground*



sepulchral monuments of Cyprus», ELSEVIER, Journal of archaeological science: Reports

LAMPRINI DIMITRAKI, VASSILIOS CHRISTARAS , VASSILIOS MARINOS ,MARIA CHATZIANGELOU (2016), «*The use of ultrasonic velocity for determining mechanical characteristics of limestones.*» DGEITS ed

MARINOS, P AND HOEK, E. (2000) «*GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation.*» Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne. 1422-1442

MART Y., RYAN W.,(2002) «*The tectonics of Cyprus Arc: a model of complex continental collision*», Israel Journal Earth Sciences, vol. 51, 117-134

McCALLUM J., SCRUTTON R., ROBERTSON A., FERRARI W., (1993) «*Seismostratigraphy and Neogene-Recent depositional history of the south central continental margin of Cyprus*», ELSEVIER, Marine and Petroleum Geology, vol.10

MOROPOULOU A, LABROPOULOS K., DELEGOU E., KAROGLU M., BAKOLAS A., (2013) «*Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage*», Construction and Building Materials 48, ELSEVIER, 1222-1239

MOROPOULOU, A., TSIOURVA TH., THEOULAKIS, P., CHRISTARAS, B. & KOU, M (1998). «*Non-destructive evaluation of pilot scale treatments for porous stone consolidation in the Medieval City of Rhode.*» PACT 56 (Revue du Conseil de l' Europe), pp. 259-278.

MORRIS A., ANDERSON M., ROBERTSON A., (1998) «*Multiple tectonic rotations and transform tectonism in an intraoceanic suture zone, SW Cyprus*», Teconophysics 299, ELSEVIER, 229-253

OROWAN E., (1960). «*Mechanism of seismic faulting*» Geol. Soc. Amer. Memoirs 79, 323-345.

PAPADIMITRIOU E., KARAKOSTAS V., (2006) «*Earthquake generation in Cyprus revealed by the evolving stress field*», Teconophysics 423, ELSEVIER, 61-72

PAPALIANGAS T. HENCHER S. & LUMSDEN A. (1995). «*A comprehensive peak shear strength criterion for rock joints*» Proc. 8th Int. Congress ISRM, Tokyo, 1,359-366

PAPALIANGAS T. LUMSDEN A. & HENCHER S. (1996). «*Prediction of in situ peak shear strength of rock joints. EUROCK' 96*» Proc. Int. Symp on Prediction and Performance in Rock Mechanics and Rock Engineering. Barla G(ed.), 1 ,143-149. Rotterdam : Balkema.

PAPALIANGAS T. (1997) «*Origin and Magnitude of Shear Resistance of Rocks*» 3rd Hellenic conference on geotechnical engineering. 1, 145-152





PAPALIANGAS T. (1997) «A New Peak Shear Strength Criterion for Rock Joints» 3rd Hellenic conference on geotechnical engineering, 1, 153-159

PAPALIANGAS T. MANOLOPOULOU S. LUMSDEN A. HENCHER S. (1997) «Applications of a New Peak Shear Strength Criterion for Rock Joints» 3rd Hellenic conference on geotechnical engineering, 1, 161-168

PAPAZACHOS B., PAPAIOANNOU Ch., (1999) «Lithospheric boundaries and plate motions in the Cyprus area», *Tectonophysics* 308, ELSEVIER, 193-204

PROPLAN LDT, (2009) «Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκού πάρκου στην περιοχή Ματσκοριδίκια στην Τιμή της επαρχίας της Πάφου», Μελέτη έργου, Πάφος

TERZAGHI K. (1925). «The physical causes of proportionality between pressure and frictional resistance, from *Erdbaumechanik*» transl. by A. Casagrande in: *From theory to practice in soil mechanics*. Wiley and Sons.

WDOWINSKI S., AVRAHAM Z., ARVIDSSON R., EKSTROM G., (2006) «*Seismotectonics of the Cyprian Arc*», *Geophysics* 164, Journal compilation, 176-181

ZOMENIA Z., (2012) « *Quaternary Marine terraces on CyprusQ Constraints on uplift and pedogenesis and the geoarchaeology of Palaiopafos*», Oregon State University

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

ΑΓΓΕΛΑΚΟΠΟΥΛΟΥ Ε., ΜΟΥΝΔΟΥΛΑΣ Π., (2004), «Διάλεξη-Παθολογία των κατασκευών 'Κονιάματα αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών'», *Επιστημονικά Υπεύθυνη: Αντωνία Μοροπούλου, Τμ. Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επισήμης και Τεχνικής των υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα*

ΑΝΑΣΤΑΣΟΠΟΥΛΟΣ Γ. (2008), «Μεθοδολογίες ελέγχου δοκιμής ακεραιότητας σπογγωδών οστών», Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών & Αεροναυπηγών, Εργ. Στοιχείων Μηχανών, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΑΝΔΡΕΟΥ Α., ΙΩΑΝΝΟΥ Ι., ΧΑΤΖΗΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ Κ., ΤΣΙΚΟΥΡΑΣ Β., (2008), «Φυσικοχημικός χαρακτηρισμός και μελέτη της διαβρεκτικότητας του ασβεστιτικού ψαμμίτη της Κύπρου», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών υλικών και στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα

ΒΕΛΛΕΜΠΗ Φ., ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ Α., ΑΠΟΣΤΟΛΙΔΗΣ Π., ΠΙΤΙΛΑΚΗΣ Κ., ΜΙΧΑΗΛΙΔΗΣ Π., ΕΥΘΥΜΙΟΥ Μ., ΚΑΛΛΙΟΓΛΟΥ Π., (2006), «Σεισμική απόκριση εδαφικών σχηματισμών στην Πάφο (Κύπρος)», 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη

ΘΕΟΔΟΥΛΟΥ Θ. (2006), «Η ναυτική δραστηριότητα στην κλασική Κύπρο και το λιμενικό δίκτυο στα τέλη του 4^{ου} αι. π.Χ.», Διδακτορική Διατριβή, Φιλοσοφική Σχολή, Τμήμα Ιστορίας & Αρχαιολογίας, Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λευκωσία



ΘΕΟΥΛΑΚΗΣ Π., (1993), «Μελέτη των αιτιών και των μηχανισμών διάβρωσης του ψαμμίτη του κάστρου και της Μεσαιωνικής πόλης της Ρόδου», Τμ. Χημικών Μηχανικών, Τομέας Επισήμης και Τεχνικής των υλικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

ΚΚΑΛΛΑΣ Χ., (2009), «Μελέτη της σεισμικότητας και της ενεργού τεκτονικής του ευρύτερου Κυπριακού χώρου», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Α.Π.Θ

ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Κ., (2004), «Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Λάρνακας – Βασιλικού, Κύπρος», Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Γεωφυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΜΑΝΤΙΚΟΣ Θ., (2012), «Διερεύνηση ποιοτικών χαρακτηριστικών δομικών λίθων μνημείων Ρόδου και σύγκριση παραμέτρων συνθετικού λίθου που χρησιμοποιείται στη συντήρηση», Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

ΜΑΡΙΝΟΣ Β. (2007), «Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.

ΜΑΤΙΚΑΣ Θ., ΑΓΓΕΛΗΣ Δ. (2015), «Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι», Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ Α., «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης: κριτήρια, Μεθοδολογία και τεχνικές αποτίμησης και σχεδιασμού», Επιστημονικές ημερίδες για την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς: Προβλήματα φθοράς και παθολογίας μνημείων: Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης Ι, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (2010), «Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη

ΜΠΙΡΟΣ Δ., (2014), «Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση γνευσιακών βραχομαζών στην ευστάθεια τεχνητών πρανών οδοποιίας. Τύποι βραχώζας-Μηχανισμοί αστοχίας-Αναλύσεις ευστάθειας», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΠΑΠΑΛΙΑΓΚΑΣ Θ., «Η εφαρμογή ενός νέου κριτηρίου διατμητικής αντοχής ασυνεχειών στην ευστάθεια βραχωδών πρανών», Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης

ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ Χ., (2008), «Εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας της Πάφου με χρήση ενός υβριδικού μοντέλου σεισμικών πηγών και τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων», 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας

ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟΥ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ (2015), ΘΑΛΗΣ – ΑΕΙΣ «Επιστημονική Υποστήριξη στην λήψη αποφάσεων για αειφόρα και συμβατικά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης και προστασίας της πολιτιστικής κληρονομιάς» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



ΠΟΓΙΑΤΖΗΣ Λ., (2011), «Υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής Κιτι-Περβολια, Κύπρου», Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας & Γεωφυσικής, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΡΗΓΑΣ Μ.. (2008), «Συμβολή στην υδρογεωλογική έρευνα της δυτικής και κεντρικής Μεσαόριας (Κύπρος) με επεξεργασία γεωηλεκτρικών δεδομένων», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωφυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΡΟΥΣΣΟΥ Ι., «Ορυκτοπετρογραφική μελέτη των λίθινων μνημείων του αρχαιολογικού χώρου της Ελευσίνας : ταυτοποίηση των λιθότυπων και διερεύνηση των αιτιών διάβρωσής τους», Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Ορυκτών Πρώτων Υλών, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Θ., ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Π.,(1994) «Διάβρωση και Προστασία Υλικών», Αθήνα

ΣΚΟΥΛΙΚΙΔΗΣ Θ., (2000) «Διάβρωση και Συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο

ΣΤΑΜΑΤΟΥΛΗΣ Σ. (2013), «Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι σε Υφιστάμενες Κατασκευές», Σχ. Τεχνολογικών Εφαρμογών – Τμ. Πολιτικών Δομικών Έργων, Τομέας Δομοστατικός, ΑΤΕΙ Πειραιά

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΟΙΚΗΣΕΩΣ ΛΕΥΚΩΣΙΑ, (2003), «Τοπικό σχέδιο Πάφου, Πρόνοιες και μέτρα πολιτικής», Τυπογραφείο Α. Αλωνεύτης για την Κυπριακή Δημοκρατία, Λευκωσία

ΤΣΙΚΡΙΚΗΣ Α.,(2015), «Πειραματική συσχέτιση μεταξύ γωνίας τριβής ασυνεχειών πετρωμάτων και συντελεστή m_i του κριτηρίου Hoek&Brown », Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΥΦΑΝΤΗΣ Δ.Κ., (2000), «Υλικά: Διάβρωση και Προστασία», Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα

ΧΑΤΖΗΟΡΔΑΝΗ Ι. (2008), «Βιώσιμη διαχείριση υδατικών πόρων της Κύπρου», Μεταπτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β., (2003), «Φυσικοί δομικοί λίθοι», Προστασία μνημείων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο





ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

Τμήμα Αρχαιοτήτων, Κυπριακή Δημοκρατία

www.mcw.gov.cy

Τμήμα Γεωλογικής επισκόπησης, Κυπριακή Δημοκρατία

www.moa.gov.cy

Διαδικτυακή πύλη της Κυπριακή Δημοκρατία

www.cyprus.gov.cy

Κυπριακός Οργανισμός Τουρισμού

www.visitcyprus.com

Υπουργείο Παιδείας και Πολιτισμού- Πολιτιστικές Υπηρεσίες

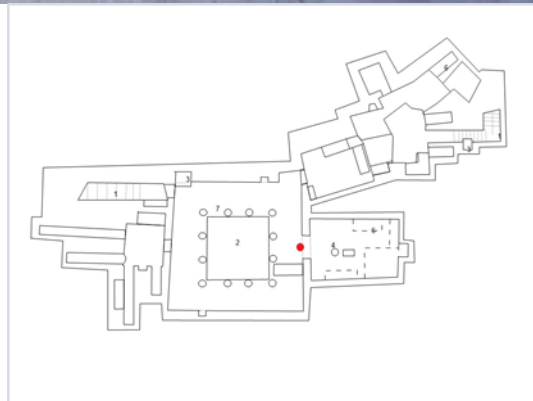
filmingincyprus.gov.cy

e-periodiko (εικόνα βιβλιογραφίας)

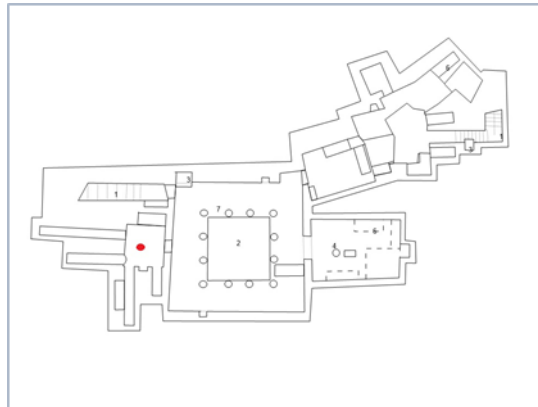
schoolpress.sch.gr



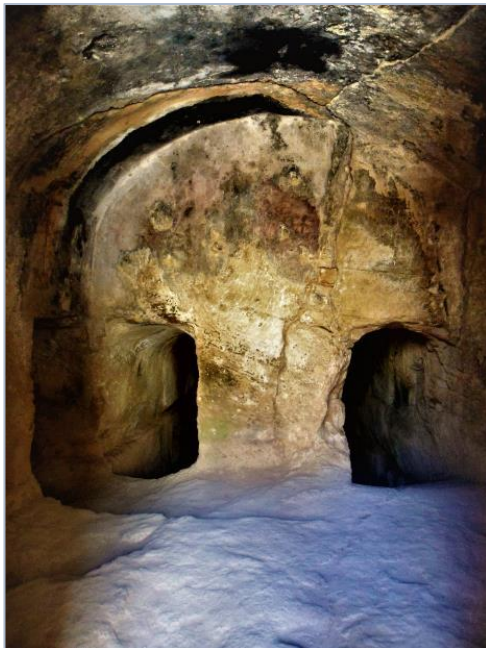
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ. 98: Άποψη της νότιας πλευράς του Τάφου 3



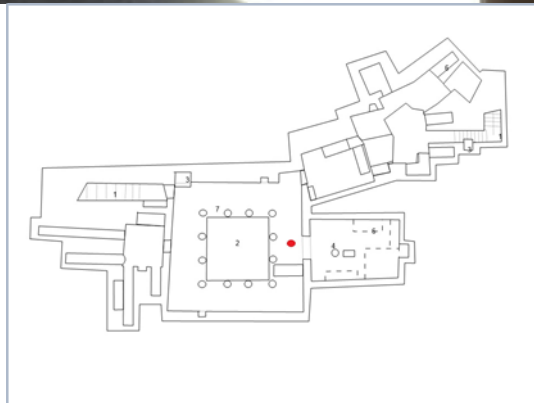
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.99: Άποψη της εισόδου του Θαλάμου στην δυτική πλευρά του Τάφου 3



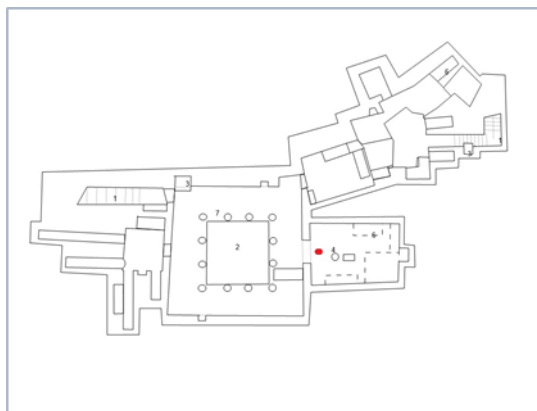
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.100: Άποψη του θαλάμου της δυτικής πλευράς του Τάφου 3



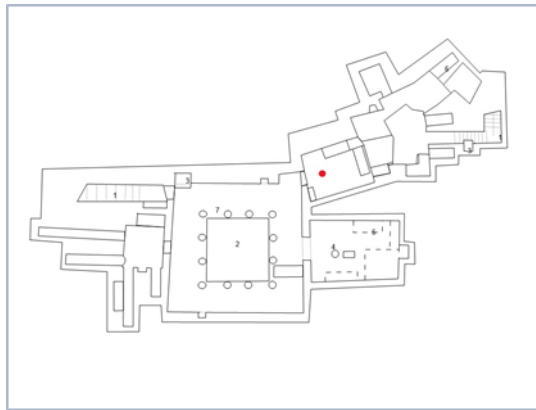
ΕΙΚΟΝ ΠΑΡ.101: Άποψη του θαλάμου της δυτικής πλευράς του Τάφου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.102: Άποψη της εισόδου του ανατολικού θαλάμου του Τάφου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.103: Άποψη του πρώτου εσωτερικού του θαλάμου του Τάφου 3 στην ανατολική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.104: Άποψη του δεύτερου εσωτερικού του θαλάμου του Τάφου 3
στην ανατολική πλευρά

ΕΙΚΟΝΕΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.105 : Δυτική είσοδος Λατομείου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.106 : Τμήμα του βόρειου πρανούς στο Λατομείον 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.107: Τμήμα του βόρειου πρανούς στο Λατομείον 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.108 : Τμήμα του βόρειου πρανούς στο Λατομείον 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ. 109 : Τμήμα ανατολικού πρανούς του Λατομείου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.110 : Ανατολική είσοδος του Λατομείου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.111 : Νότια πλευρά του Λατομείου 3



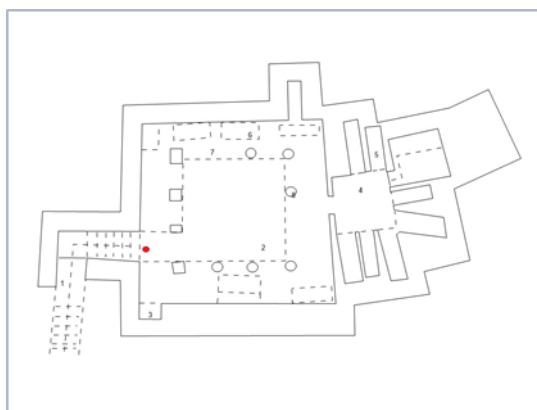
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.112 : Πανοραμική άποψη της νότιας πλευράς του Λατομείου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.113: Πανοραμική άποψη της βόρειας πλευράς του Λατομείου 3



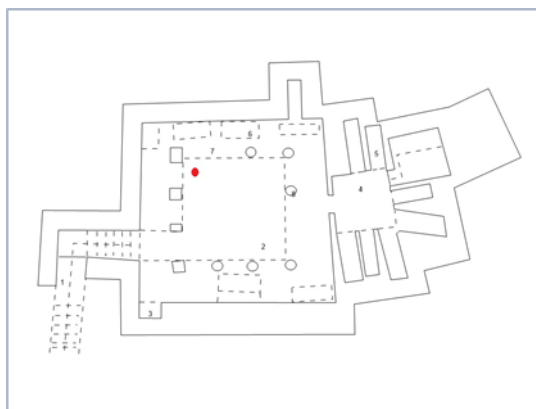
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.114 : Άποψη της απόστασης περίπου 150m του μνημείου από την παραλιακή ζώνη της Πάφου, λήψη από την δυτική πλευρά του Λατομείου 3



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.115: Άποψη της δυτική πλευράς του Τάφου 4 στην οποία απεικονίζεται η κλιμακωτή είσοδος του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.116: Άποψη της δυτική πλευράς του Τάφου 4 στην οποία απεικονίζεται Λακκοειδής τάφος



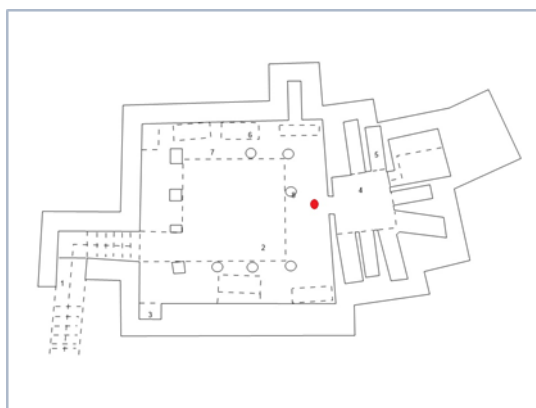
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.117: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς του Τάφου 4



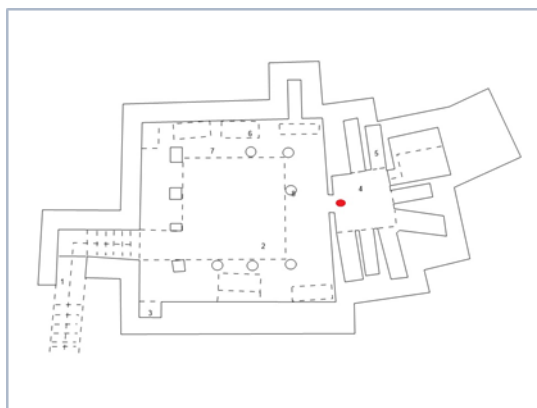
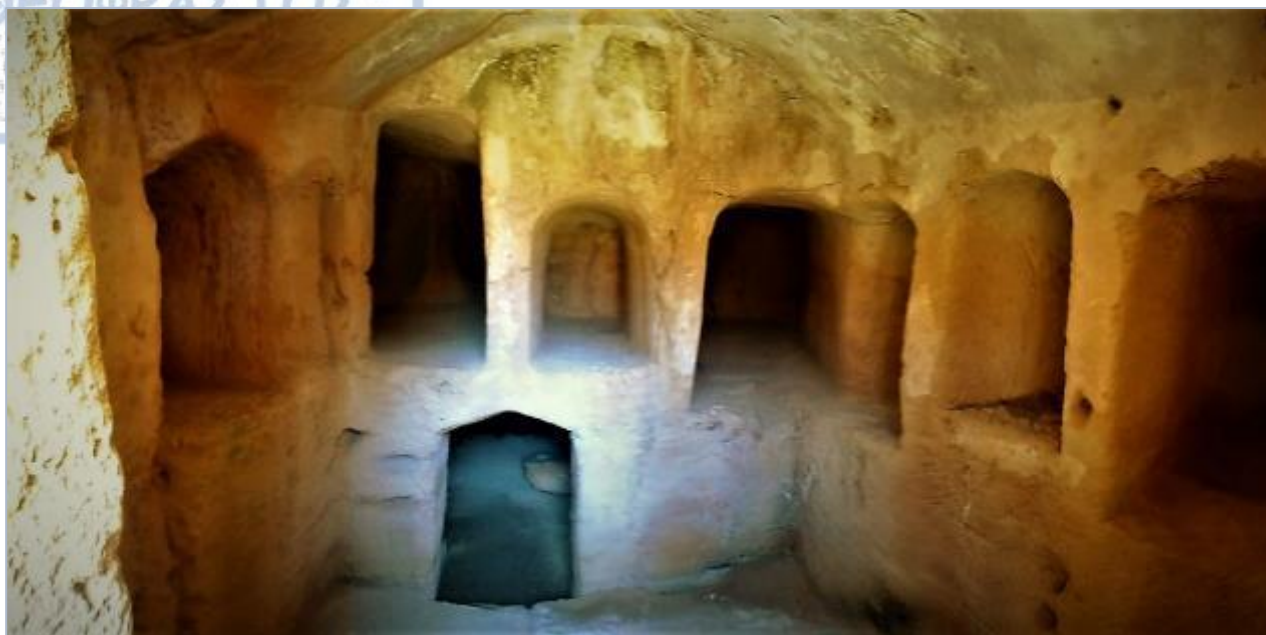
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.118: Άποψη της βορειοδυτικής πλευράς του Τάφου 4



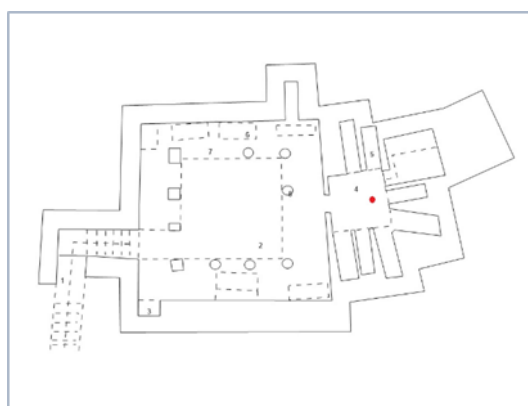
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.119: Άποψη της βόρειας πλευράς του Τάφου 4 στην οποία εμφανίζονται Λακκοειδείς τάφοι



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.120: Άποψη της ανατολικής εισόδου του Θαλάμου του Τάφου 4



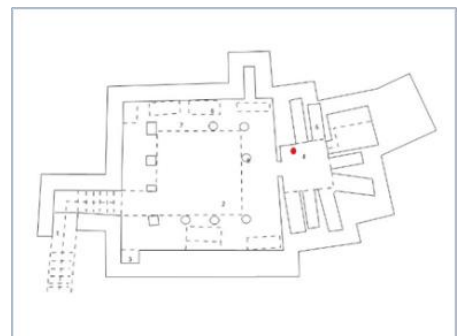
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.121: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου του Τάφου 4



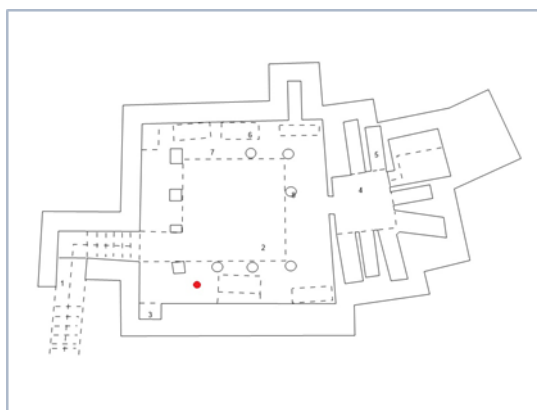
ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.122: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου του Τάφου 4 με ύψος κατασκευής του θαλάμου 1,65m



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.123: Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου του Τάφου 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.124 : Άποψη του εσωτερικού του ανατολικού Θαλάμου του Τάφου 4
με ύψος κατασκευής του θαλάμου 1.65 m



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.125 : Λακκοειδής Τάφος στην νότια πλευρά του Τάφου 4

ΕΙΚΟΝΕΣ ΛΑΤΟΜΕΙΟΥ 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.126 : Περιοχή πάνω από τον Τάφο 4 σε επαφή με το Λατομείο 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ. 127: Απεικόνιση της εισόδου του Λατομείου 4, λήψη από την δυτική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.128 : Απεικόνιση της εισόδου του Λατομείου 4, λήψη από την δυτική πλευρά



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.129 : Τμήμα του νότιου πρανούς του Λατομείου 4 σε επαφή με τον Τάφο 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.130 : Τμήμα του νότιου πρανούς του Λατομείου 4 σε επαφή με τον Τάφο 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.131 : Τμήμα του νότιου πρανούς του Λατομείου 4 σε επαφή με τον Τάφο 4



ΕΙΚΟΝΑ ΠΑΡ.132 : Τμήμα του νότιου πρανούς του Λατομείου 4 σε επαφή με τον Τάφο 4

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 _ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΗΣ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΞΗΡΗ ΔΟΚΙΜΗ

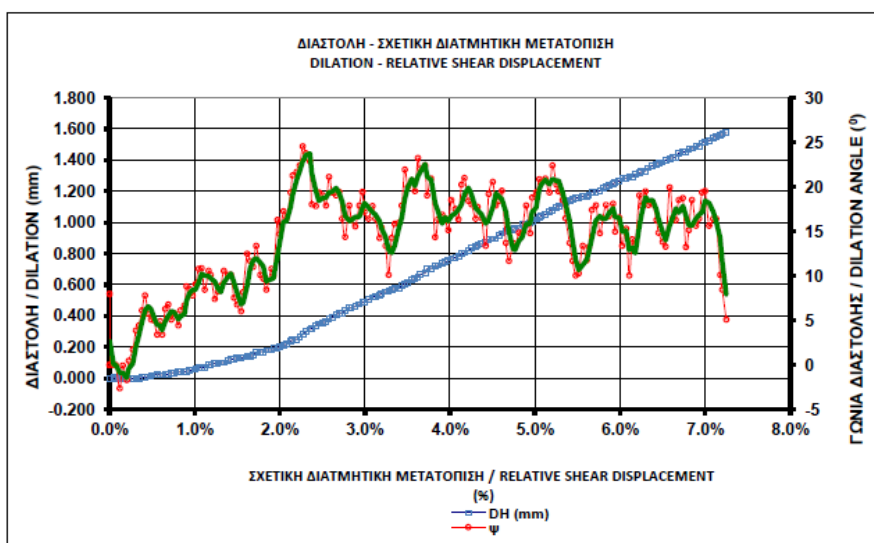
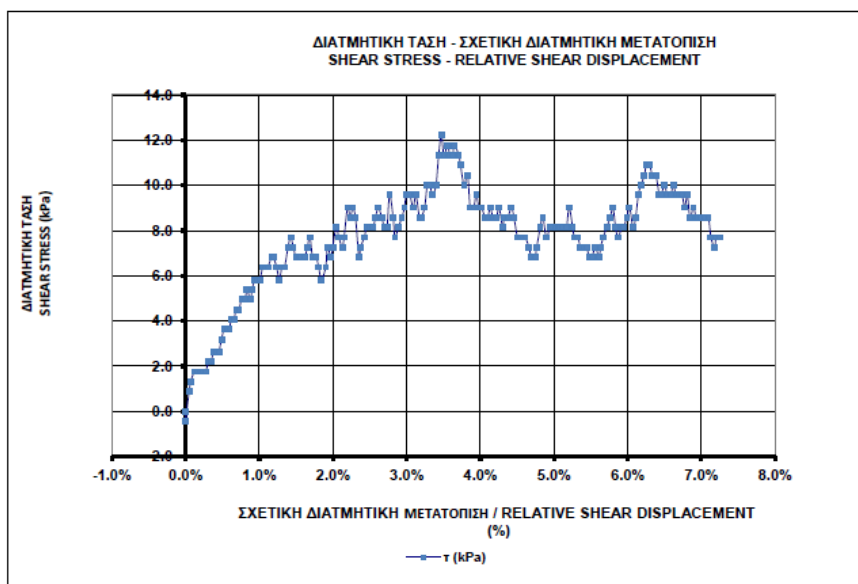
1. Στάδιο μελέτης ξηρής δοκιμής και μηδενική ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	5.83 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	12.21	10.01	9.02
τ_m (kPa)	0.00	6.87	3.73
ψ (°)	21.93	2.93	24.5
ψ_m (°)	0.00	49.68	32.59
$\Delta H/L_0$ (%)	0.000%	3.280%	2.270%
k_s (MPa)	-	0.305	-



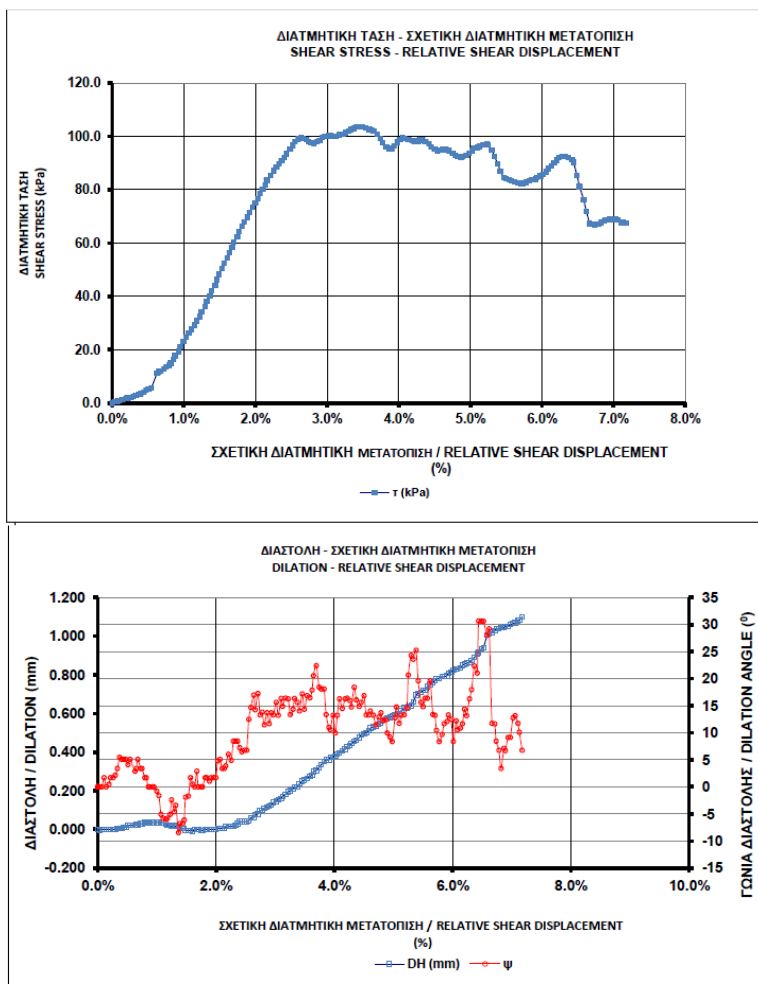
2. Στάδιο μελέτης ξηρής δοκιμής και 50 kPa ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ
DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	50.00 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	104.75	97.05	90.12
τ_m (kPa)	54.17	74.03	29.23
ψ (°)	17.19	2.29	30.66
ϕ_m (°)	47.29	55.97	30.31
$\Delta H/L_0$ (%)	3.458%	2.519%	6.441%
k_s (MPa)	-	3.852	-



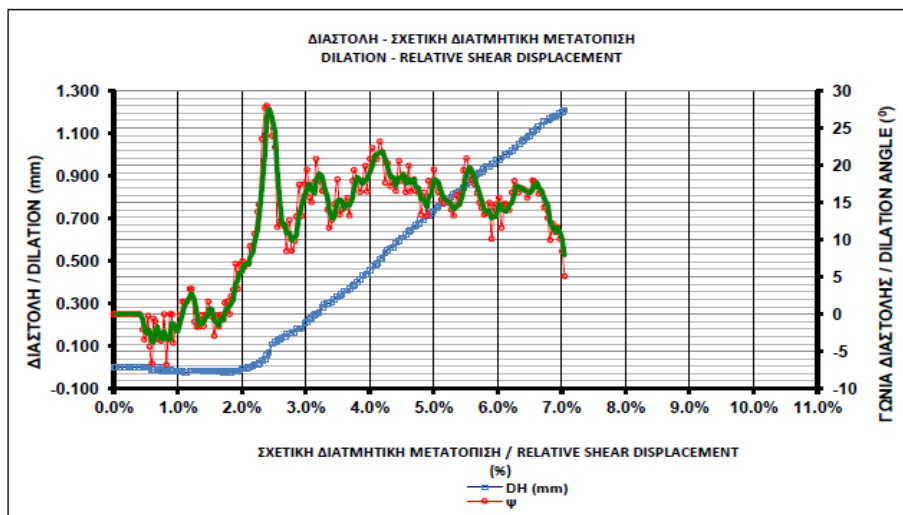
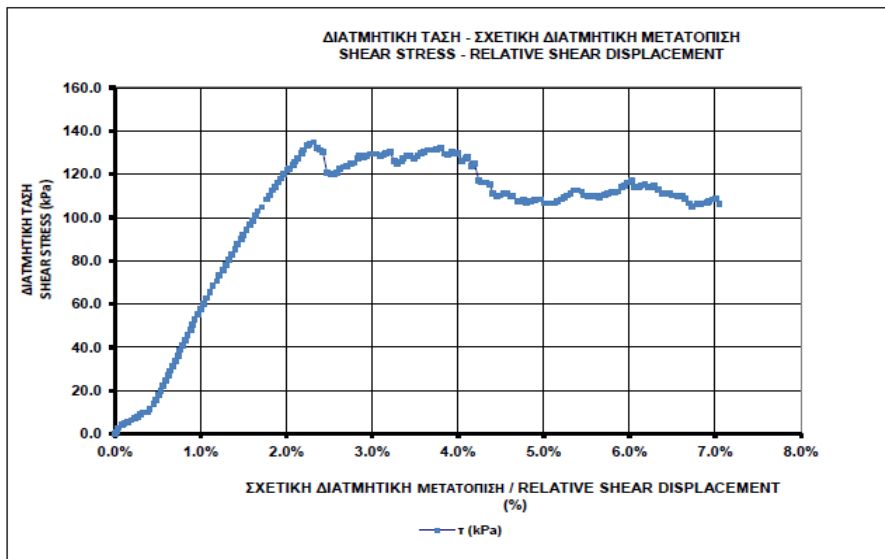
3. Στάδιο μελέτης ξηρής δοκιμής και 75 kPa ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	75.00 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	134.79	110.25	131.16
τ_m (kPa)	57.29	110.25	47.26
ψ (°)	23.53	1.69	28.02
Φ_m (°)	37.37	55.77	32.21
$\Delta H/L_0$ (%)	2.317%	1.806%	2.389%
k_s (MPa)	-	6.104	-



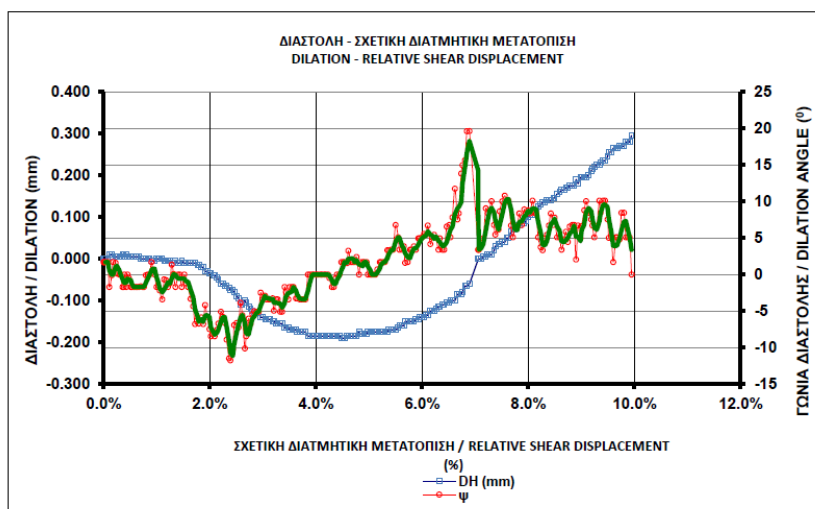
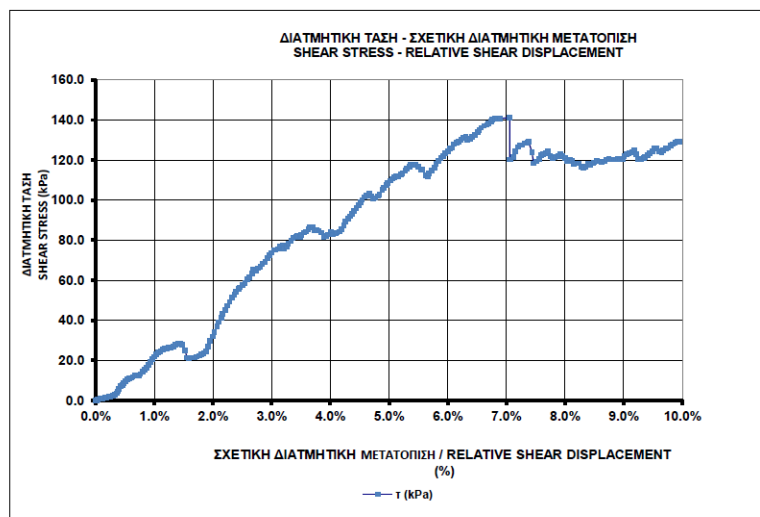
4. Στάδιο μελέτης ξηρής δοκιμής και 100 kPa ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ
DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	100.00 kPa

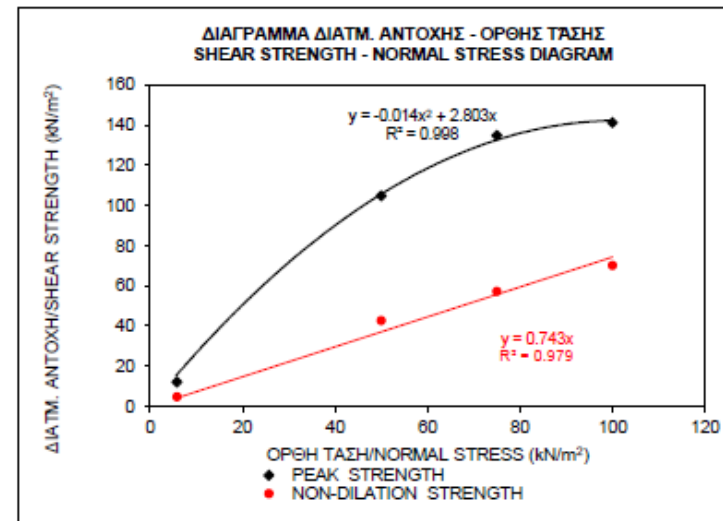
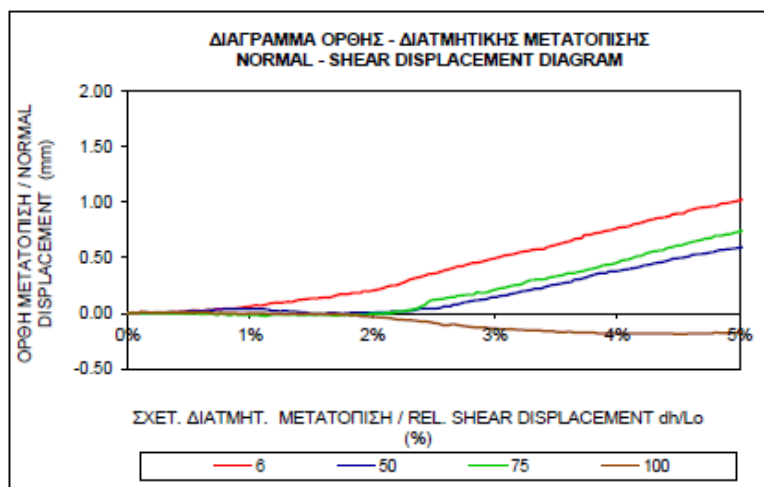
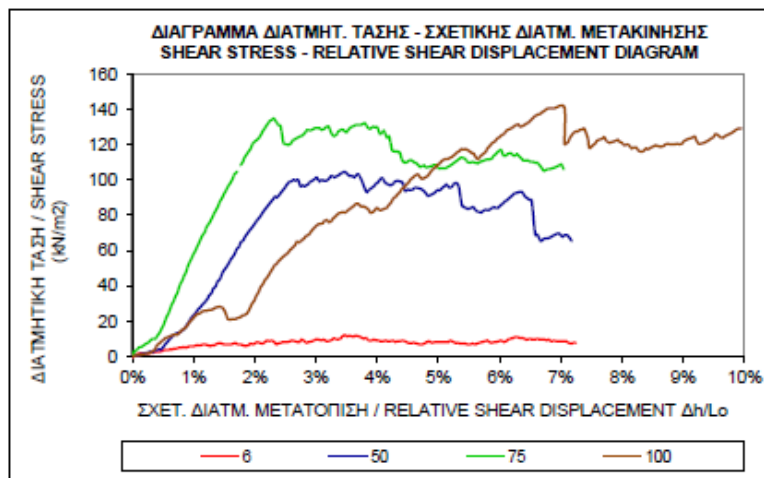
ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ _m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	141.17	129.29	140.73
τ _m (kPa)	124.76	129.29	69.97
ψ (°)	3.40	8.54	19.62
Φ _m (°)	51.29	52.28	34.98
ΔH/L ₀ (%)	7.059%	9.947%	6.892%
k _s (MPa)	-	1.300	-



ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΥ- DIRECT SHEAR TEST OF ROCK JOINT
ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version (2014)

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE: PL

ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ/SAMPLE LENGTH (mm): 84.15

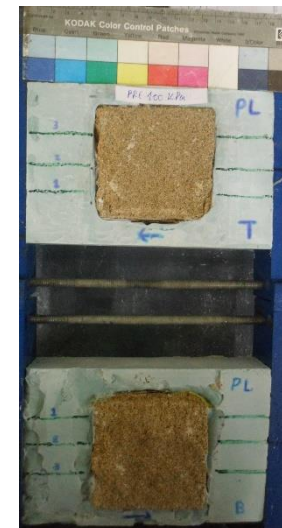
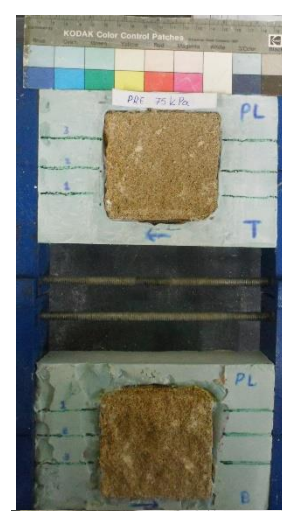
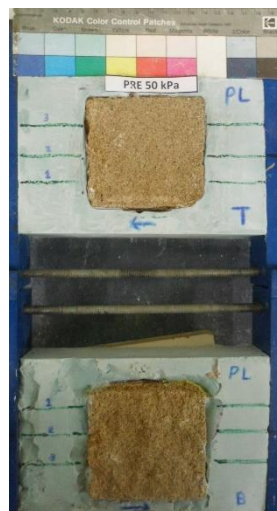


	ΔΙΑΤΜ. ΑΝΤΟΧΗ /SHEAR STRENGTH	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
Γωνία τριβής/phi (°)	54.8	36.6
Συνοχή/ c (kPa)	16.4	0.0

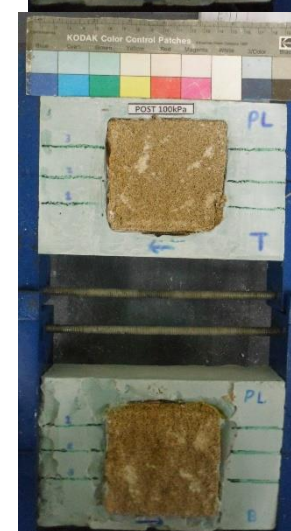
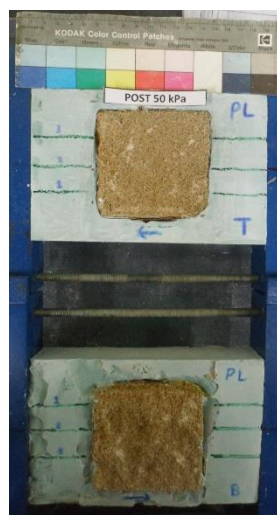
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ/ NORMAL STRESS (MPa)	ΔΙΑΤΜ. ΑΝΤΟΧΗ/SHEAR STRENGTH (MPa)	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
5.83	12.21	4.88
50.00	104.75	42.79
75.00	134.79	57.29
100.00	141.17	70.19

ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

PRE

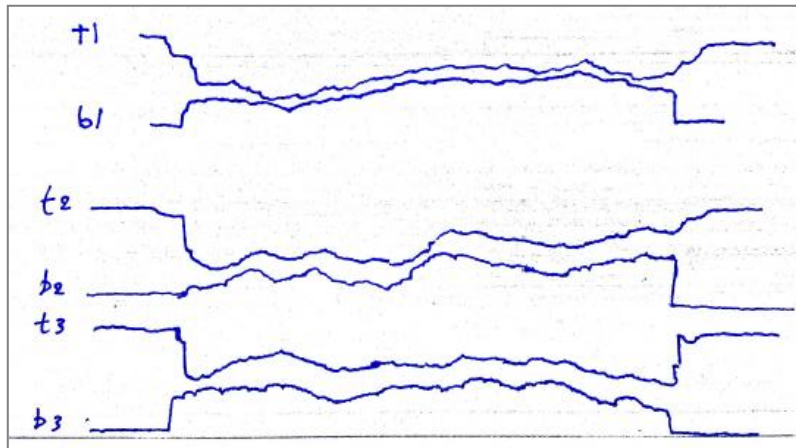


POST

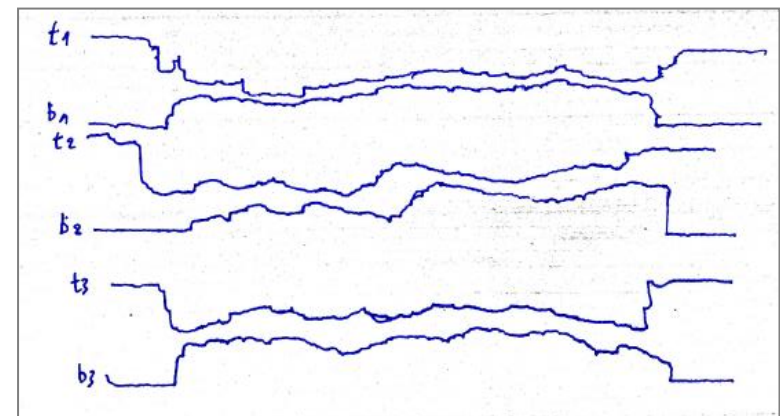


ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

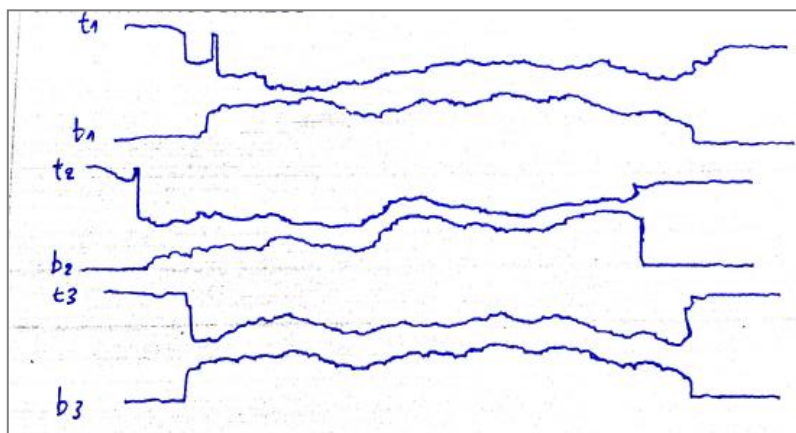
PRE DL



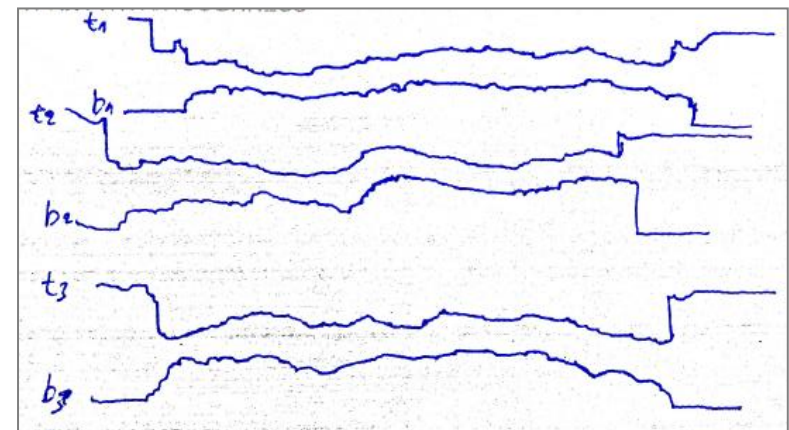
PRE 50kPa



PRE 75kPa



PRE 100 kPa



ΥΓΡΗ ΔΟΚΙΜΗ

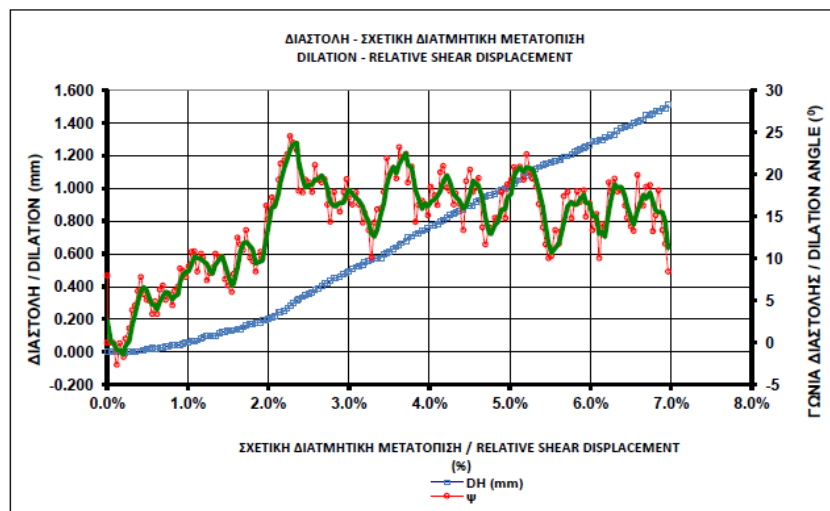
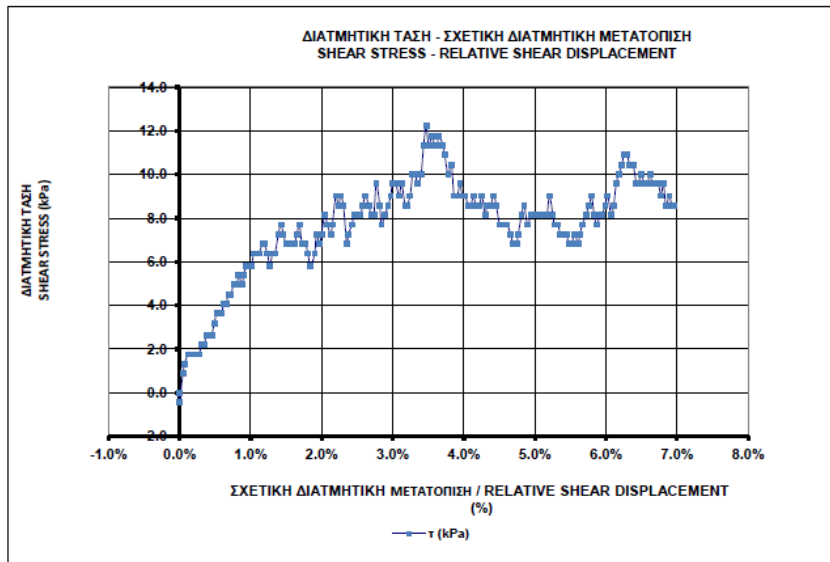
1. Στάδιο μελέτης υγρής δοκιμής και μηδενική ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	5.83 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	12.21	10.01	9.02
τ_m (kPa)	0.00	6.87	3.73
ψ (°)	21.93	2.93	24.5
φ_m (°)	0.00	49.68	32.59
$\Delta H/L_0$ (%)	0.000%	3.280%	2.270%
k_s (MPa)	-	0.305	-



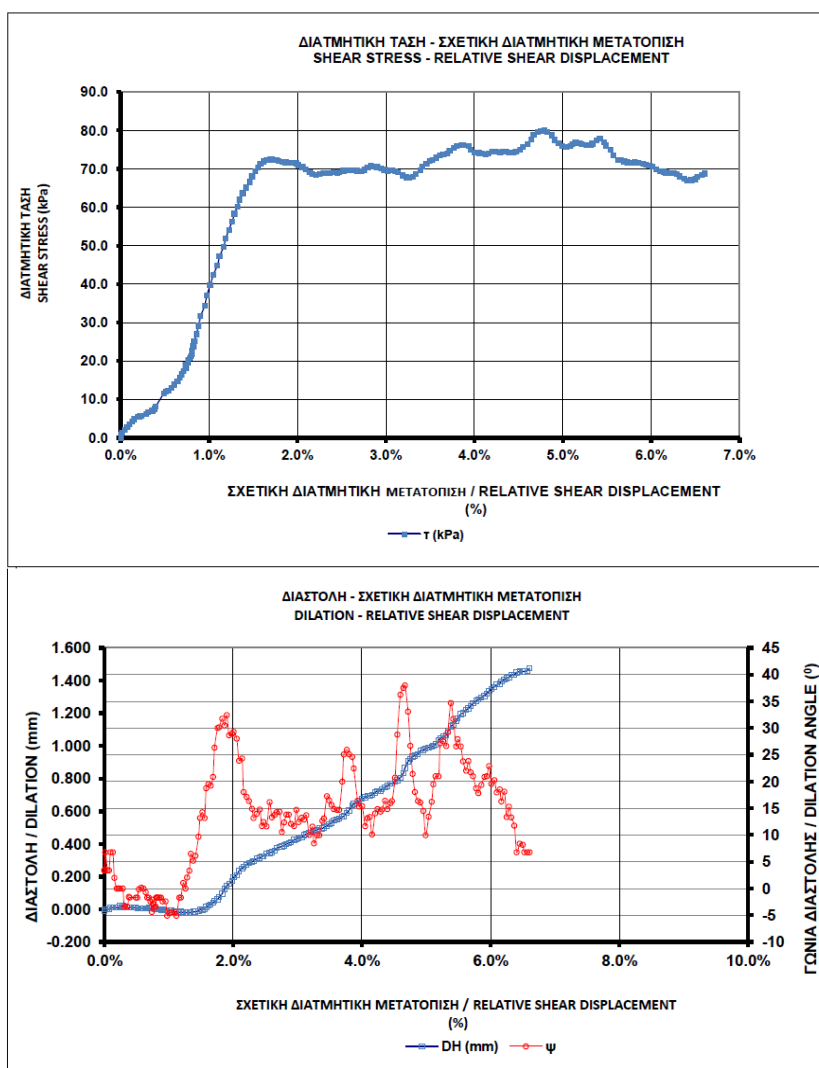
2. Στάδιο μελέτης υγρής δοκιμής και 50 kPa ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ
DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	50.00 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ _m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	81.09	47.42	78.34
τ _m (kPa)	30.84	56.67	17.68
ψ (°)	26.68	1.11	37.98
φ _m (°)	31.66	48.58	19.48
ΔH/L ₀ (%)	4.753%	1.117%	4.670%
k _s (MPa)	-	4.245	-



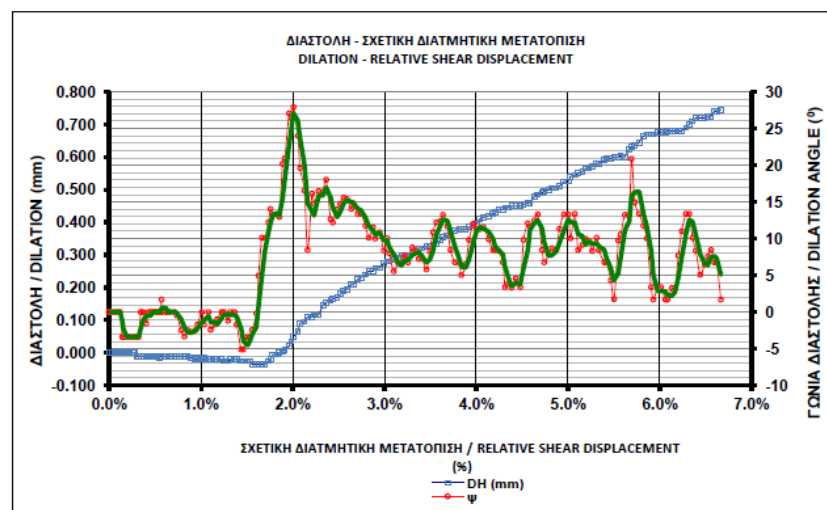
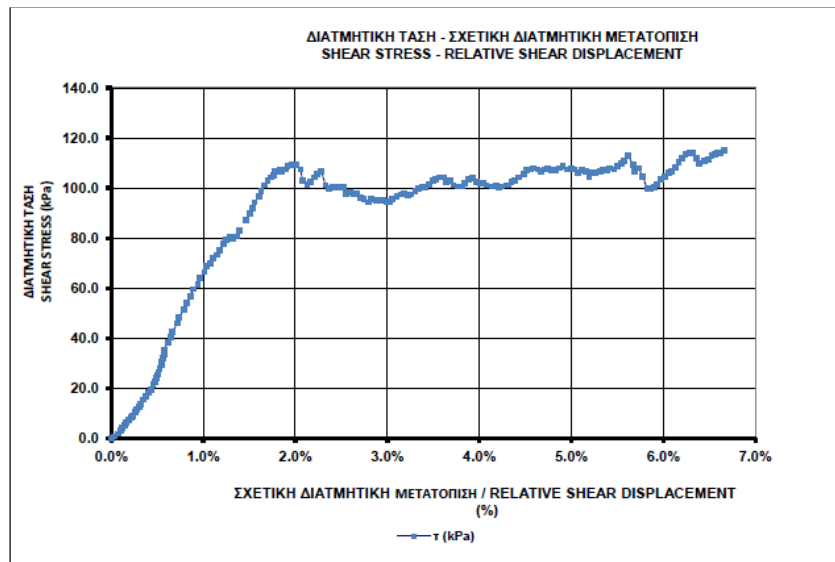
3. Στάδιο μελέτης υγρής δοκιμής και 75 kPa ορθή τάση

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ
DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	75.00 kPa

ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	115.20	115.20	109.26
τ_m (kPa)	108.05	108.05	39.25
ψ (°)	1.70	5.78	27.91
ϕ_m (°)	55.23	55.23	27.62
$\Delta H/L_0$ (%)	6.667%	6.667%	2.008%
k_s (MPa)	-	1.728	-



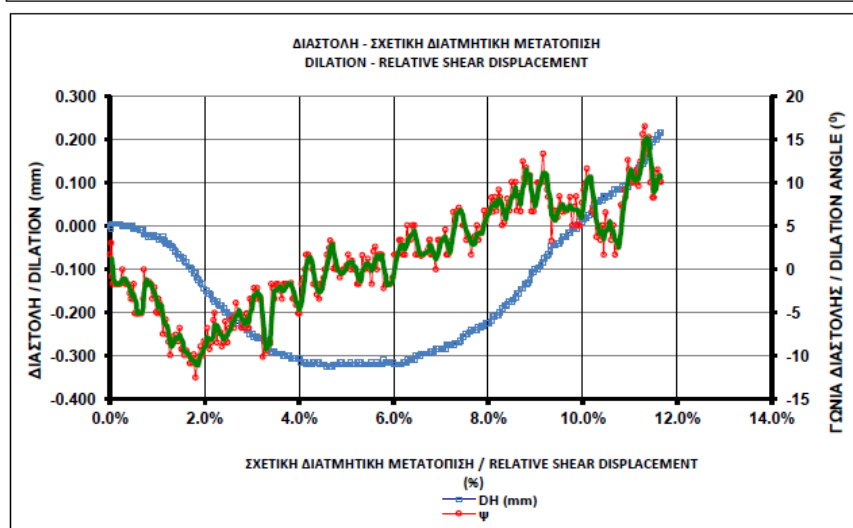
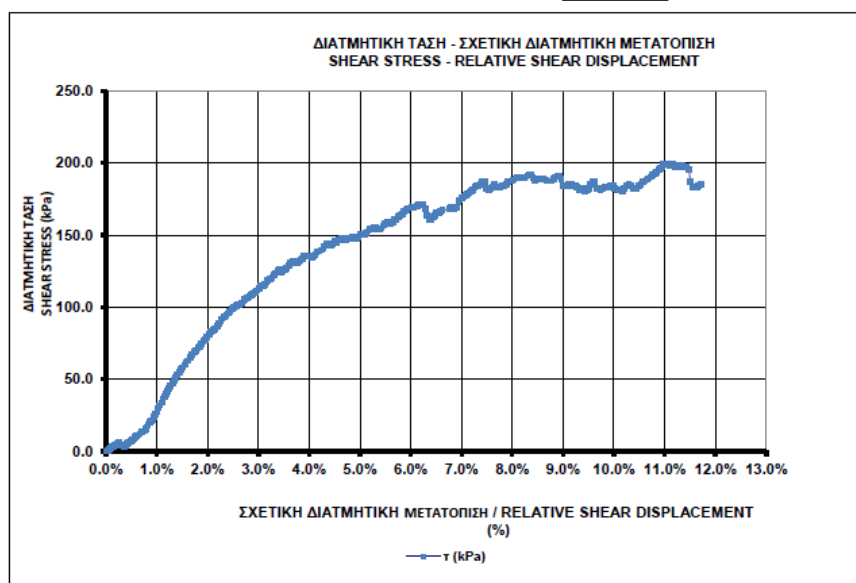
4. Στάδιο μελέτης υγρής δοκιμής και 140 kPa ορθή τά

ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ
DIRECT SHEAR TEST OF JOINTS

ΔΟΚΙΜΙΟ / SAMPLE : PL

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ / SAMPLE CHARACTERISTICS	
ΜΗΚΟΣ / LENGTH	84.2 mm
ΠΛΑΤΟΣ / WIDTH	85.5 mm
ΥΨΟΣ / HEIGHT	- mm
ΒΑΡΟΣ / WEIGHT	3560 gr
ΕΜΒΑΔΟ / AREA	7190.62 mm ²
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ / NORMAL STRESS	140.00 kPa

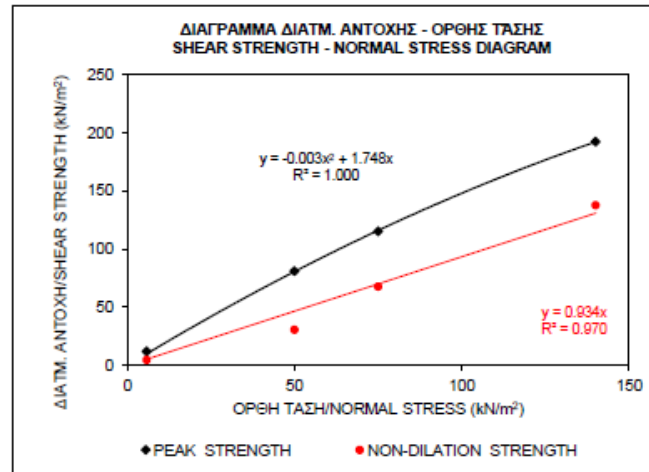
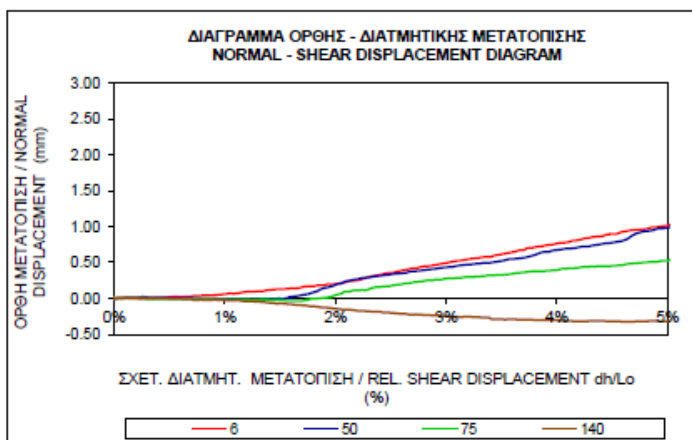
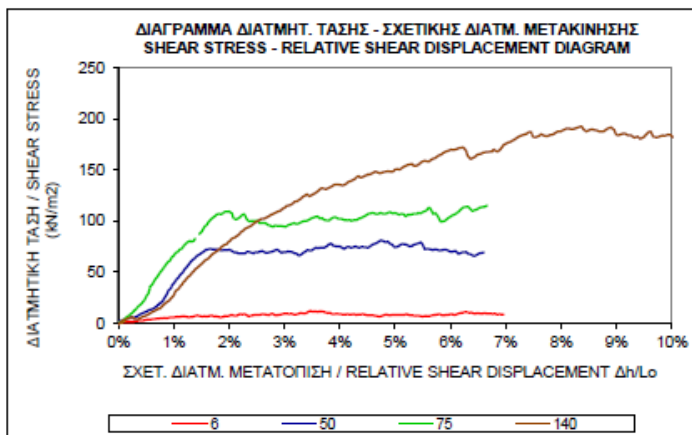
ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ / MAXIMUM VALUES			
	τ (kPa)	τ_m (kPa)	ψ (°)
τ (kPa)	192.12	168.02	185.29
τ_m (kPa)	158.10	178.54	115.64
ψ (°)	5.44	5.16	13.37
ϕ_m (°)	48.47	51.90	39.56
$\Delta H/L_0$ (%)	8.342%	5.930%	9.162%
k_s (MPa)	-	2.833	-



ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ ΒΡΑΧΟΥ- DIRECT SHEAR TEST OF ROCK JOINT
ISRM Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: Revised Version (2014)

ΔΕΙΓΜΑ/SAMPLE: PL

ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ/SAMPLE LENGTH (mm): 84.15



	ΔΙΑΤΜ. ΑΝΤΟΧΗ /SHEAR STRENGTH	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
Γωνία τριβής/φ (°)	53.1	43.1
Συνοχή/ c (kPa)	10.1	0.0

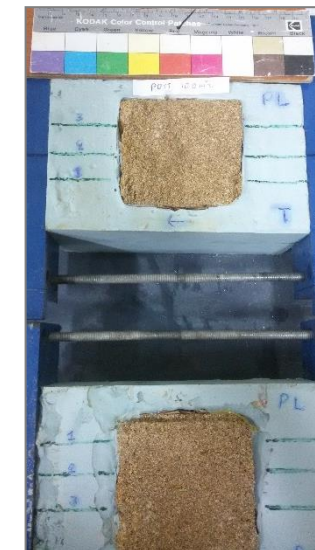
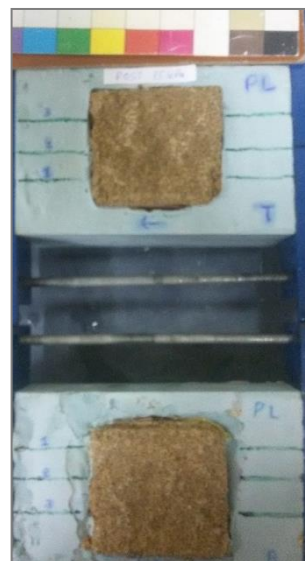
ΟΡΘΗ ΤΑΣΗ/ NORMAL STRESS (kPa)	ΔΙΑΤΜ. ΑΝΤΟΧΗ/SHEAR STRENGTH (kPa)	
	ΜΕΓΙΣΤΗ/PEAK	ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗ/ NON-DILATION
5.83	12.21	4.88
50.00	81.09	30.84
75.00	115.20	67.84
140.00	192.12	137.63

ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

PRE



POST



ΕΙΚΟΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΥΓΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ

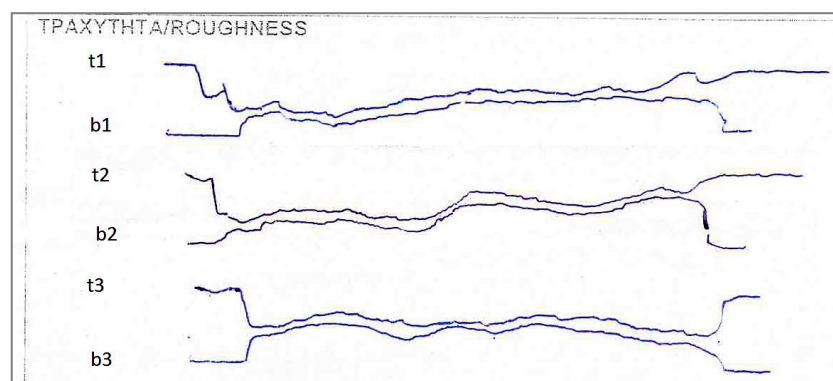
PRE 50kPa



PRE 75 kPa



PRE 140 kPa





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3 ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΞΗΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΦΟΣ 3

General Settings:

Data Format: Dip / Dip Direction

Magnetic Declination (E pos): 0°

Multiple Data Flag (Quantity): OFF

Extra Data Columns: 0

Poles: 35

Entries: 35

Traverses:

No traverse information available.

Global Mean

	Dip	Dip Direction
Unweighted	34.88	203.32
Weighted	34.88	203.32

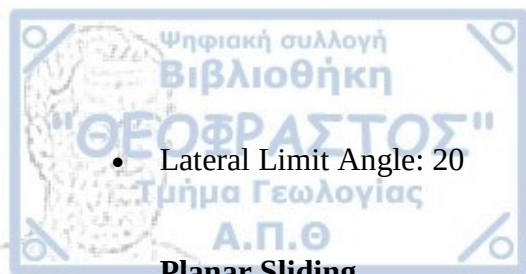
Global Best Fit

User Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
1	84	175	J1
2	76	235	J3
3	71	356	J2
4	5	276	B

Kinematic Analysis:

- Slope Dip: 90
- Slope Dip Direction: 270
- Friction Angle: 53



- Lateral Limit Angle: 20

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	8.57%	35

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	24	68.57%	35

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)

Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	110	18.61%	64	10.83%	591
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	5	14.29%	35

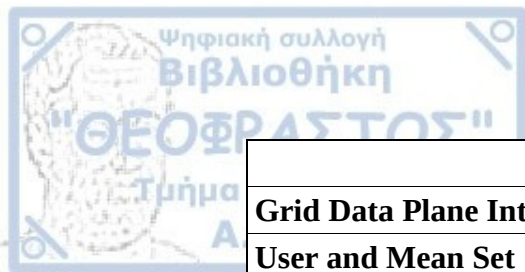
Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	6	17.14%	35

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical	%	Critical	%	Total
-------------------	----------	---	----------	---	-------



	1		2		
Grid Data Plane Intersections	77	13.03%	146	24.70%	591
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΓΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΦΟΣ 3

General Settings:

Data Format: Dip / Dip Direction

Magnetic Declination (E pos): 0°

Multiple Data Flag (Quantity): OFF

Extra Data Columns: 0

Poles: 35

Entries: 35

Traverses:

No traverse information available.

Global Mean

	Dip	Dip Direction
Unweighted	34.88	203.32
Weighted	34.88	203.32

Global Best Fit



User Planes

ID	Dip	Dip Direction	Label
1	84	175	J1
2	76	235	J3
3	71	356	J2
4	5	276	B

Kinematic Analysis:

- Slope Dip: 90
- Slope Dip Direction: 270
- Friction Angle: 55
- Lateral Limit Angle: 20

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	3	8.57%	35

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	24	68.57%	35

Wedge Sliding

Critical 1 = Wedge Sliding (Both Planes)

Critical 2 = Wedge Sliding (One Planes)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	110	18.61%	61	10.32%	591
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	2	33.33%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted)	No results				

Intersections

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	5	14.29%	35

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	6	17.14%	35

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	77	13.03%	150	25.38%	591
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
User Plane Intersections	1	16.67%	0	0.00%	6
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΞΗΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΦΟΣ 4

General Settings:

Data Format: Dip / Dip Direction

Magnetic Declination (E pos): 0°

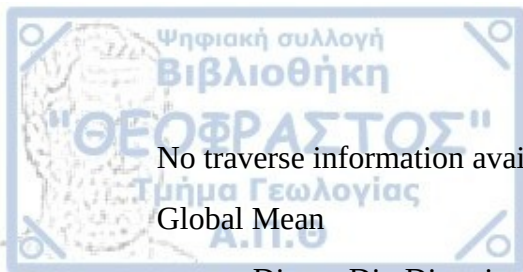
Multiple Data Flag (Quantity): OFF

Extra Data Columns: 0

Poles: 51

Entries: 51

Traverses:



No traverse information available.

Global Mean

Dip Dip Direction

Unweighted 62.26 171.10

Weighted 62.26 171.10

Global Best Fit

User Planes

ID Dip Dip Direction Label

1 88 176 J1

2 86 215 J2

3 79 129 J3

Kinematic Analysis:

- Slope Dip: 90
- Slope Dip Direction: 270
- Friction Angle: 53
- Lateral Limit Angle: 20

Planar Sliding

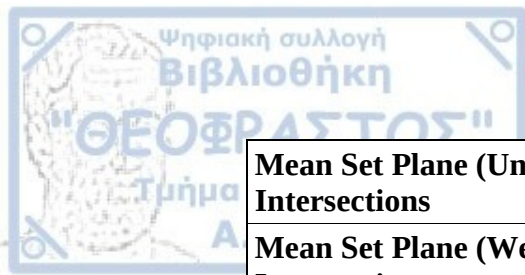
Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	1.96%	51

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	28	54.90%	51

Wedge Sliding

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	209	16.46%	108	8.50%	1270
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3



Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results

Flexural Toppling

Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	8	15.69%	51

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	3	5.88%	51

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)

Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	163	12.83%	538	42.36%	1270
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
User Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΓΡΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΤΑΦΟΣ 4

General Settings:

Data Format: Dip / Dip Direction

Magnetic Declination (E pos): 0°

Multiple Data Flag (Quantity): OFF

Extra Data Columns: 0

Poles: 51



No traverse information available.

Global Mean

Dip Dip Direction

Unweighted 62.26 171.10

Weighted 62.26 171.10

Global Best Fit

User Planes

ID Dip Dip Direction Label

1 88 176 J1

2 86 215 J2

3 79 129 J3

Kinematic Analysis:

- Slope Dip: 90
- Slope Dip Direction: 270
- Friction Angle: 55
- Lateral Limit Angle: 20

Planar Sliding

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	1	1.96%	51

Planar Sliding (No Limits)

Planar Sliding	Critical	%	Total
All Vectors	28	54.90%	51

Wedge Sliding

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	194	15.28%	113	8.90%	1270
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
User Plane Intersections	1	33.33%	0	0.00%	3
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				

Flexural Toppling

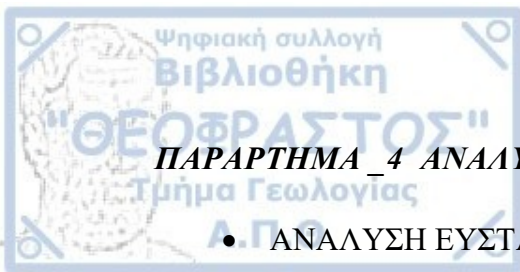
Flexural Toppling	Critical	%	Total
All Vectors	8	15.69%	51

Direct Toppling

Base Plane	Critical	%	Total
All Vectors	3	5.88%	51

Critical 1 = Direct Toppling (Intersection)
Critical 2 = Oblique Toppling (Intersection)

Intersection Type	Critical 1	%	Critical 2	%	Total
Grid Data Plane Intersections	163	12.83%	550	43.31%	1270
User and Mean Set (Unweighted) Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
User and Mean Set (Weighted) Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
User Plane Intersections	1	33.33%	1	33.33%	3
Mean Set Plane (Unweighted) Intersections	No results				
Mean Set Plane (Weighted) Intersections	No results				



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ _4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

• ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΑΦΟΣ 3_ ΕΠΙΠΕΔΗ ΑΣΤΟΧΙΑ

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic

Normal Force 2.52111 kN/m

Driving Force 39.7793 kN/m

Resisting Force 35.0742 kN/m

Factor of Safety 0.881721

Geometry

Slope Height 3 m

Wedge Weight 38.7369 kN/m

Wedge Volume 1.54947 m³/m

Wedge Height 3 m

Unit Weight 25 kN/m³

Slope Angle 90 °

Failure Plane Angle 71 °

Upper Face Angle 0 °

Bench Width Not Present

Waviness 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face (1.83697e-016 , 3)

Intersection point (C) of failure plane and upper face (1.03298 , 3)

Failure plane length (Origin --> C) 3.17286 m

Slope length (Origin --> B) 3.00001 m

Tension Crack Not Present

Strength

Shear Strength Model Mohr-Coulomb

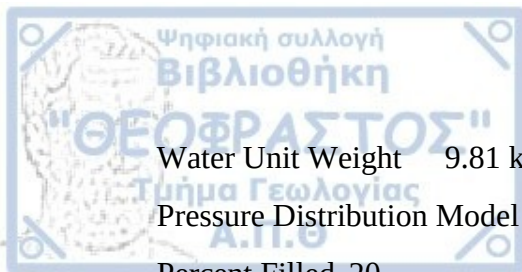
Friction Angle 53 °

Cohesion 10 kN/m²

Shear Strength 11.0545 kN/m²

Shear Resistance 35.0742 kN/m

Water Pressure



Water Unit Weight 9.81 kN/m³

Pressure Distribution Model Peak Pressure - Mid Height

Percent Filled 20

Water Force on Failure Plane 0.933773 kN/m

Seismic Force

Direction Horizontal

Seismic Coefficient 0.25

Seismic Force 9.68421 kN/m

- ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΑΦΟΣ 3_ ΣΦΗΝΟΕΙΔΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑ

- 1) Project Summary

Analysis Results

Analysis type - Deterministic

Safety Factor 0

Wedge height (on slope) [m] 3

Bench width (on upper face) [m] 0.651576

Wedge volume [m³] 0.321733

Wedge weight [kN] 8.04333

Wedge area (joint1) [m²] 0.986502

Wedge area (joint2) [m²] 1.75615

Wedge area (slope) [m²] 1.48133

Wedge area (upper face) [m²] 0.321733

Effective Normal and Strength Properties

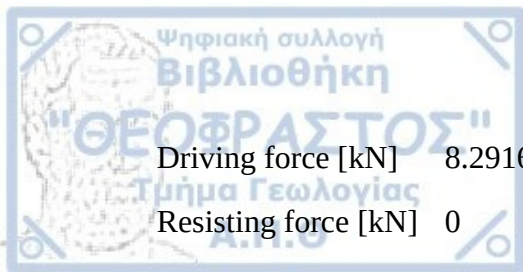
Joint 1 Joint 2

Effective Normal force [kN] 0.000 0.000

Effective Normal stress [kPa] 0.000 0.000

Shear Strength [kPa] 0.000 0.000

Strength due to Waviness [kPa] 0.000 0.000



Driving force [kN] 8.29169

Resisting force [kN] 0

Water Pressures/Forces

Average pressure [kPa] Force [kN]

Joint 1 0.078 0.077

Joint 2 0.078 0.138

Seismic Force

Seismic force [kN] 2.01083

Failure Mode

Contact lost on both joints

Joint Sets 1&2 line of Intersection

Plunge [deg] Trend [deg] Length [m]

75.945 240.176 3.093

Trace Lengths

Slope Face [m] Upper Face [m]

Joint 1 3.017 0.654

Joint 2 3.271 1.136

Persistence

Joint 1 [m] 3.09258

Joint 2 [m] 3.27118

Intersection Angles

Slope Face Upper Face

Joint 1 & Joint 2 17.471 60.000

Joint 1 & Crest 96.023 85.000

Joint 2 & Crest 66.506 35.000

Dip and Dip Direction

Dip [deg] Dip Direction [deg]

Joint Set 1 84.000 175.000

Joint Set 2 76.000 235.000



Slope 90.000 270.000

Upper Face 0.000 270.000

Joint Set 1 Data

Cohesion [kPa] 53

Friction Angle [deg] 10

Waviness Angle [deg] 0

Joint Set 2 Data

Cohesion [kPa] 53

Friction Angle [deg] 10

Waviness Angle [deg] 0

Slope Data

Slope height [m] 3

Rock unit weight [kN/m³]: 25

Water pressures in the slope YES

Overhanging slope face NO

Externally applied force YES

Tension crack NO

Water Pressure Data

Water unit weight [kN/m³]: 9.81

Pore Pressure Distribution Model Peak Pressure - Beneath Crest

Water Depth Model Percent Filled

Percent Filled 20

Hu: 1

Seismic Data

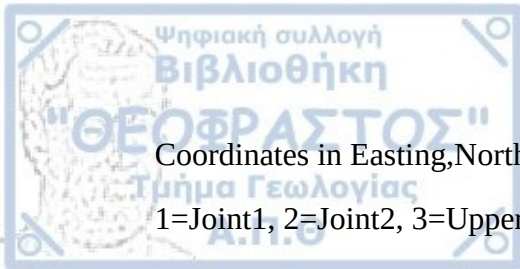
Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal

Seismic coefficient: 0.25

Trend [deg]: 240.176

Plunge [deg]: -0

Wedge Vertices



Coordinates in Easting,Northing,Up Format

1=Joint1, 2=Joint2, 3=Upper Face, 4=Slope

Point	East	North	Up
124	0.000	0.000	0.000
134	0.000	0.317	3.000
234	-0.000	1.304	3.000
123	0.652	0.374	3.000

- ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΑΦΟΣ 4_ ΕΠΙΠΕΔΗ ΑΣΤΟΧΙΑ

1) Project Summary

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic

Normal Force 0 kN/m

Driving Force 7.98479 kN/m

Resisting Force 0 kN/m

Factor of Safety 0

Geometry

Slope Height 3 m

Wedge Weight 7.86677 kN/m

Wedge Volume 0.314671 m³/m

Wedge Height 3 m

Unit Weight 25 kN/m³

Slope Angle 90 °

Failure Plane Angle 86 °

Upper Face Angle 0 °

Bench Width Not Present

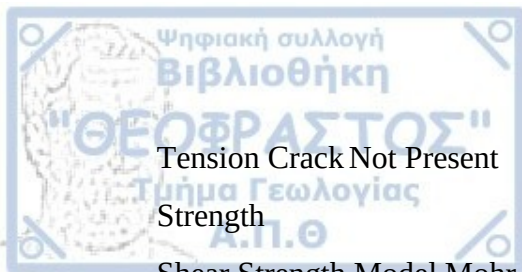
Waviness 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face (1.83697e-016 , 3)

Intersection point (C) of failure plane and upper face (0.20978 , 3)

Failure plane length (Origin --> C) 3.00733 m

Slope length (Origin --> B) 3.00001 m



Tension Crack Not Present
Strength

Shear Strength Model Mohr-Coulomb

Friction Angle 53 °

Cohesion 10 kN/m²

Shear Strength 0 kN/m²

Shear Resistance 0 kN/m

Water Pressure

Water Unit Weight 9.81 kN/m³

Pressure Distribution Model Peak Pressure - Mid Height

Percent Filled 20

Water Force on Failure Plane 0.885056 kN/m

Seismic Force

Direction Horizontal

Seismic Coefficient 0.25

Seismic Force 1.96669 kN/m

2) Project Summary

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic

Normal Force 0 kN/m

Driving Force 22.5092 kN/m

Resisting Force 0 kN/m

Factor of Safety 0

Geometry

Slope Height 3 m

Wedge Weight 21.8678 kN/m

Wedge Volume 0.874711 m³/m

Wedge Height 3 m

Unit Weight 25 kN/m³

Slope Angle 90 °

Failure Plane Angle 79 °



Upper Face Angle 0 °

Bench Width Not Present

Waviness 0 °

Intersection Point (B) of slope and upper face (1.83697e-016 , 3)

Intersection point (C) of failure plane and upper face (0.583141 , 3)

Failure plane length (Origin --> C) 3.05615 m

Slope length (Origin --> B) 3.00001 m

Tension Crack Not Present

Strength

Shear Strength Model Mohr-Coulomb

Friction Angle 53 °

Cohesion 10 kN/m²

Shear Strength 0 kN/m²

Shear Resistance 0 kN/m

Water Pressure

Water Unit Weight 9.81 kN/m³

Pressure Distribution Model Peak Pressure - Mid Height

Percent Filled 20

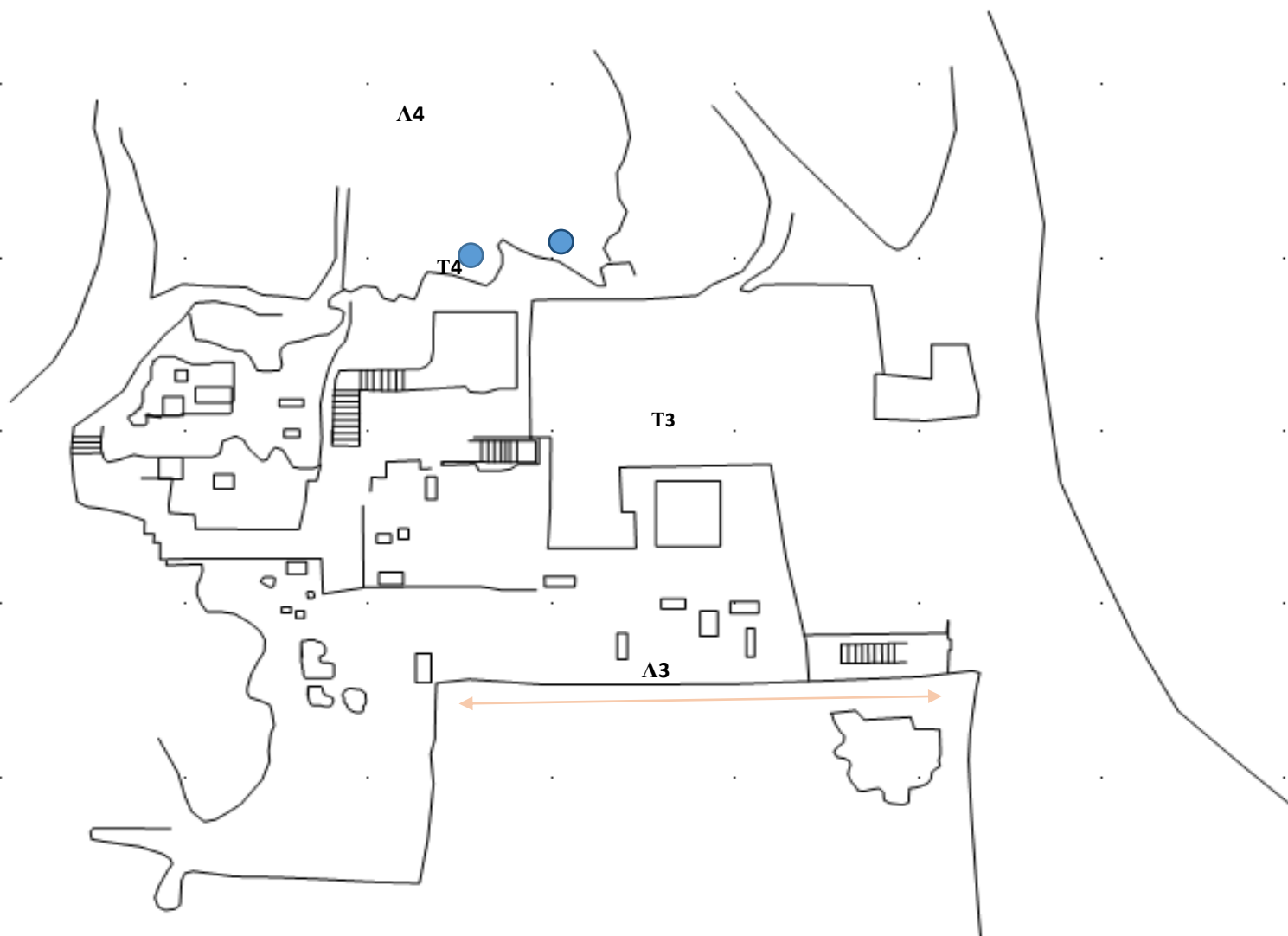
Water Force on Failure Plane 0.899425 kN/m

Seismic Force

Direction Horizontal

Seismic Coefficient 0.25

Seismic Force 5.46695 kN/m



ΕΙΚΟΝΑ 133: Σκαριφηματική αποτύπωση του υπό μελέτη αρχαιολογικού χώρου στο οποίο αναπαρίστανται οι πιθανές αστοχίες και οι θέσεις τοποθέτησης των μέτρων προστασίας. Αναπαρίστανται το Λατομείο 3 & 4 καθώς και οι αντίστοιχοι Τάφοι. Η κλίμακα είναι περίπου 1cm 3m. Με μπλε βούλα στο Λατομείο 4 σημειώνονται οι θέσεις εμφάνισης επίπεδων αστοχιών και αντιμετώπιση και αποκατάσταση της ευστάθειας με την τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων. Με ροζ γραμμή στο Λατομείο 3 σημειώνεται η πλευρά στην οποία προτείνεται η εφαρμογή ακρυλικού πολυμερούς για την αντιμετώπιση της κυψελοειδούς φθοράς