



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών & Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχειακών και Έργων Τέχνης**

**ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΤΑΛΟΙΠΑ ΤΟΥ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ
ΣΤΟΝ ΠΕΙΡΑΙΑ**

**Φοιτήτρια: Σμαραγδάκη Ηρώ
Επιβλέπων Καθηγητής : Θεουλάκης Παναγιώτης**

Αθήνα, 2022



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών & Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

**« ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ
ΠΑΘΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΑΤΑΛΟΙΠΑ ΤΟΥ
ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΗΣ ΠΛΑΤΕΙΑΣ ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ ΣΤΟΝ
ΠΕΙΡΑΙΑ»**

**« IDENTIFICATION OF BUILDING MATERIALS AND
PATHOLOGY STUDY IN THE ARCHITECTURAL REMAINS OF
THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF TERPSITHEA SQUARE IN
PIRAEUS»**

Επιβλέπων Καθηγητής: Θεουλάκης Παναγιώτης

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία μου εξετάστηκε επιτυχώς από την
κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Όνοματεπώνυμο Εξεταστή	Βαθμίδα/Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
Θεουλάκης Παναγιώτης	Καθηγητής Α' Βαθμίδας	
Στεφανής Αλέξιος-Νικόλαος	Επίκουρος Καθηγητής	
Λαμπρόπουλος Βασίλειος	Καθηγητής Α' Βαθμίδας	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Σμαραγδάκη Ηρώ του Παύλου, με αριθμό μητρώου 17061 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Σμαραγδάκη Ηρώ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για τη συμβολή τους στην πτυχιακή μου εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω:

- Τον επιβλέποντα κ. Θεουλάκη Παναγιώτη, καθηγητή της σχολής Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, αρχικά για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και την υπομονή, που έκανε κατά την διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής μου εργασίας. Όπως επίσης και για τον χρόνο που αφιέρωσε επί τόπου στον Αρχαιολογικό Χώρο, ώστε να μου μεταδώσει με σαφή και κατανοητό τρόπο πολύτιμες πληροφορίες, πως λειτουργεί ένας συντηρητής στο πεδίο, αλλά και στο εργαστήριο συντήρησης, όπως και για την συμβολή του στην κατανόηση των υλικών, καθώς και για την παθολογία. Όλα αυτά είναι στοιχεία που έκαναν την συνεργασία μας πολύ εποικοδομητική και ωφέλιμη που με εφοδίασε με γνώσεις, για τη μετέπειτα πορεία μου ως συντηρήτρια αρχαιοτήτων.
- Την Προϊστάμενη του τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, της Εφορείας Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων την κα Παναγοπούλου Τατιάνα, αρχικά για την δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, καθώς και για τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε για τον αρχαιολογικό χώρο της πλατείας Τερψιθέας. Επίσης, για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε για να καταλάβω πως λειτουργεί ένας συντηρητής στο πεδίο, αλλά και στο εργαστήριο καθώς και την έντυπη ύλη που μου παρείχε που αυτά λειτούργησαν ως πυξίδα τόσο για την κατανόηση του αρχαιολογικού χώρου όσο και για την ορθή καθοδήγηση για την υλοποίηση την πτυχιακής μου εργασίας.
- Την κ. Άννα Κουκούλη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε για την εξαγωγή αποτελεσμάτων στην Περιθλασιμετρία Ακτίνων Χ (XRD) καθώς και για την κατανόηση τους. Αλλά και την βοήθεια κατανόησης αφενός στο πώς να χρησιμοποιώ τον τροχό λείανσης αφετέρου πως μπορώ να προετοιμάσω κατάλληλα τα δείγματα και, κυρίως, για το πνεύμα συνεργασίας που διαμορφώθηκε μεταξύ μας.
- Τον κ. Αλέξη Στεφανή για την βοήθεια που μου παρείχε για την εξαγωγή, κατανόηση των αποτελεσμάτων στο ποροσίμετρο υδραργύρου, καθώς και για την άψογη συνεργασία που είχαμε.
- Τον κ. Θανάση Καραμπότσο που με βοήθησε για την υλοποίηση της μεθόδου με το Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης που μαζί με τον κ. Θεουλάκη με βοήθησαν να κατανοήσω την μεθοδολογία εξαγωγής αποτελεσμάτων.
- Τέλος, οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την κατανόηση, την υπομονή και τη συνεχή υποστήριξη τους.

Αθήνα, 2022

Σμαραγδάκη Ηρώ

Περίληψη

Ο Αρχαιολογικός χώρος στην πλατεία Τερψιθέας βρίσκεται μεταξύ των οδών Καραϊσκου, Σκουζέ, Περικλέους και Γλάδστωνος, στον Πειραιά και περιλαμβάνει τμήματα της κλασικής και ρωμαϊκής πόλης.

Στο νότιο τμήμα του χώρου έχει αποκαλυφθεί αρχαίος δρόμος και εκατέρωθεν αυτού, τα οικοδομικά τετράγωνα της αρχαίας πόλης, εκ των οποίων το ένα σχεδόν ολόκληρο. Στον ανατολικό τομέα του οικοδομικού τετραγώνου και στο χώρο που καταλάμβαναν τέσσερις οικίες κλασικών χρόνων, οικοδομείται στα ρωμαϊκά χρόνια έπαυλη, η οποία αναπτύσσεται γύρω από μια μεγάλη περίστυλη αυλή. Η αυλή είναι στρωμένη με βοτσαλωτό δάπεδο και περιβάλλεται από στεγασμένο διάδρομο, στο οποίο ανοίγονται πάνω από οκτώ δωμάτια.

Ο αρχαιολογικός χώρος περιλαμβάνει τοιχοποιίες πάνω στις οποίες σώζονται κατά τόπους σπαράγματα των αυθεντικών αρχαίων επιχρισμάτων και υπόγειες δεξαμενές νερού, κεραμικούς αγωγούς και βοτσαλωτά δάπεδα.

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν οι παράγοντες φθοράς που επηρεάζουν έναν αρχαιολογικό χώρο σε αστικό περιβάλλον που γειτνιάζει με την θάλασσα, εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες. Καθώς η διατήρηση ενός μνημείου σχετίζεται άμεσα με τα δομικά στοιχεία από τα οποία είναι κατασκευασμένο, θα γίνει προσπάθεια ταυτοποίησης, των υλικών κατασκευής για την συνολική μελέτη της παθολογίας των αρχιτεκτονικών καταλοίπων του χώρου.

Abstract

The archaeological site of Terpsithea Square is located between Karaiskou Street, Skouze Street, Perikleous Street, and Gladstone Street, in Piraeus, and includes parts of the Classical and Roman town.

In the southern part of the site, an ancient road has been revealed, and on either sides of it, the building blocks of an ancient town have also been revealed, one of which almost in its entirety. In the eastern section of the building block, and in the area that was occupied by four dwellings of the Classical period, a mansion is built in the Roman period, which spans over a big colonnaded courtyard. The courtyard is paved with pebble flooring, and is surrounded by a sheltered corridor, to which, more than eight rooms are opened.

The archaeological site includes masonries, on which, fragments of authentic ancient coatings and underground water tanks, ceramic pipelines, and pebble flooring survive in some places.

In this thesis, the deterioration factors will be studied, which affect an archaeological site in an urban setting that is adjacent to the sea, and exposed to weather conditions. Since the preservation of a monument is directly linked to the building materials that it is made of, it will be attempted to identify the building materials towards a comprehensive study of the pathology of the architectural ruins on site.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	14
2. Στοιχεία για το Μνημείο	16
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία	16
2.2. Ιστορικό.....	21
2.3. Πρώτα Σωστικά Μέτρα	28
3. Αρχιτεκτονική.....	32
3.1. Γενικές παρατηρήσεις	32
3.2. Δομικά υλικά.....	34
3.3. Πολεοδομική οργάνωση των κατοικιών στον Πειραιά	36
4. Πετρώματα –Παράγοντες Ποικιλομορφίας-Στοιχεία για την Γεωλογία της Πειραιϊκής Χερσονήσου.....	39
4.1. Γενικές παρατηρήσεις	39
4.2. Ιζηματογενή πετρώματα.....	42
4.3. Κλαστικά ιζήματα	42
4.4. Χημικά ιζήματα	44
4.5. Οργανικά ή βιογενή ιζήματα	45
4.6. Μεταμορφωμένα πετρώματα	45
4.7. Παράγοντες Ποικιλομορφίας του Εδάφους της Πειραιϊκής Χερσονήσου	46
4.8. Στοιχεία για τη Γεωλογία της Πειραιϊκής Χερσονήσου	49
5. Παθολογία των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων του Αρχαιολογικού Χώρου της Πλατείας Τερψιθέας στον Πειραιά	50
5.1. Γενικές παρατηρήσεις	50
5.2. Τύποι φθοράς.....	50
5.2.1 Crack & Deformation – Ρωγμές & Παραμορφώσεις	52
5.2.2. Detachment & Fragmentation –Αποσπάσεις & Κατακερματισμός.....	54
5.2.3. Features induced by material loss & Differential erosion – Μορφές Φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού & Διαφορική Διάβρωση.....	55
5.2.4. Features Induced by Material Loss – Μορφές φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού - Ελλείπον Τμήμα	61
5.2.5. Features Induced by Material Loss – Μορφές Φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού.....	62
5.2.6 Discoloration & Deposit – Χρωματικές Αλλοιώσεις & Αποθέσεις	64
5.2.7. Biological Colonization – Βιολογική Αποίκιση/Βιοδιάβρωση	66
5.3. Συμπεράσματα.....	72
6. Το περιβάλλον του Αρχαιολογικού Χώρου	73
6.1. Γενικές παρατηρήσεις	73

6.2. Επίδραση των Θερμοκρασιακών Μεταβολών του Περιβάλλοντος	78
6.3. Δράση Διαλυτών Αλάτων	81
6.4. Βιολογικοί Παράγοντες Φθοράς	83
6.5. Παρουσία ακατάλληλων υλικών από προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης.	85
6.6. Ανθρωπογενής Παράγοντας	86
6.7. Ενδογενείς Παράγοντες Φθοράς	86
6.8. Συμπέρασμα	88
7. Εργαστηριακό Μέρος.....	89
7.1. Μεθοδολογία	89
7.2. Δειγματοληψία	89
8. Εργαστηριακές Τεχνικές και Τεχνικές Ανάλυσης-Θεωρητικό Μέρος	102
8.1. Οπτική Μικροσκοπία (OM)	102
8.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) – Φασματοσκοπία διασπειρόμενης ενέργειας (EDS)	102
8.3. Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD).....	103
8.4. Ποροσιμετρία Υδραργύρου (MIP)	104
9. Αποτελέσματα.....	106
10. Γενικά Συμπεράσματα	150
11. Προτάσεις Συντήρησης.....	152
Βιβλιογραφία.....	154
Παράρτημα -Κάτοψη Αρχαιολογικού χώρου	161
Παράρτημα Σύγκρισης	163

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1. Τρόπος Ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων.....	41
Πίνακας 6.1. Οργανισμοί και αλλοίωση.....	83
Πίνακας 7.1. Δείγματα.....	99
Πίνακας 9.1. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	110
Πίνακας 9.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	111
Πίνακας 9.3. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	119
Πίνακας 9.4. Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων.....	120
Πίνακας 9.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	126
Πίνακας 9.6. Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων.....	129
Πίνακας 9.7. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	134
Πίνακας 9.8. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	136
Πίνακας 9.9. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	144
Πίνακας 9.10. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.....	146

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1. Η πλατεία Τερψιθέας.....	16
Εικόνα 2.2. Η πλατεία Τερψιθέας το 1890.	17
Εικόνα 2.3. Αριστερά πως ήταν το κυκλοφορικό σύστημα της πλατείας κατά το παρελθόν. Δεξιά πως είναι σήμερα.	18
Εικόνα 2.4. Η Τερψιθέα το 1884 όπως είχε σχεδιαστεί. Έμοιαζε με την Πλατεία Συντάγματος αφού χωρίζονταν σε άνω και κάτω τμήμα που ενώνονταν με σκαλάκια. Επί της Λεωφόρου Σωκράτους περνούσε αρχικά ιππήλατος και αργότερα ατμήλατος σιδηρόδρομος.....	18
Εικόνες 2.5. Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας.....	19
Εικόνα 2.6. Εκπαιδευτήρια «Πλάτων».....	20
Εικόνα 2.7. Βοτανικός κήπος.....	20
Εικόνα 2.8. Αγαλμά Ηρώς Κωνσταντοπούλου.....	21
Εικόνα 2.9. Ανασκαφή αρχαιολογικού χώρου.....	21
Εικόνα 2.10. Με κόκκινα στίγματα απεικονίζονται οι εκατοντάδες αρχαίες δεξαμενές του Πειραιά (Eickstedt,1991), με πράσινο στίγμα η δεξαμενή της ΧΟΝ και με μπλε, τμήμα υπόγειας σήραγγας του ρωμαϊκού υδραγωγείου (Curtius & Kaupert, 1931).....	22
Εικόνα 2.11. Εκμετάλλευση βρόχινου νερού στις κατοικίες.....	23
Εικόνα 2.12. Απόσταση αρχαιολογικού χώρου Τερψιθέας με την δεξαμενή που βρέθηκε.(75μ.).....	23
Εικόνα 2.13 Δεξαμενή.....	23
Εικόνα 2.14. Κατάλοιπα του υπογείου συστήματος ύδρευσης.	25
Εικόνα 2.15. Ο παράλληλος προς την οδό Σκουζέ αποχετευτικός αγωγός.....	25
Εικόνα 2.16. Σχεδιαστική απόδοση «ιπποδάμειων» οικιών.	26
Εικόνα 2.17. Η περίστυλη αυλή.....	27

Εικόνα 2.18 Φωτογραφική τεκμηρίωση σωστικών μέτρων.	32
Εικόνα 3.1 Αρχαίος Πειραιάς με έκταση 1.0km ²	36
Εικόνα 3.2. Χάραξη παράλληλων δρόμων που τέμνονται κάθετα δημιουργώντας «οικοδομικά τετράγωνα».....	37
Εικόνα 3.3. Νησίδα με 8 οικοπέδα αναπαράσταση κατοικιών.	38
Εικόνα 5.1 Ρωγματώσεις.....	53
Εικόνα 5.2. Ρηγματώσεις.....	53
Εικόνα 5.3. Μικρορωγμές.....	54
Εικόνα 5.4. Απόσπαση & Κατακερματισμός.....	54
Εικόνα 5.5. Διάρρηξη.....	55
Εικόνα 5.6. Διαφορική Διάβρωση.....	55
Εικόνα 5.7. Διαφορική διάβρωση.....	56
Εικόνα 5.8. Αποφλοίωση.....	57
Εικόνα 5.9. Αποφλοίωση.....	57
Εικόνα 5.10. Αποφλοίωση/απολέπιση.....	58
Εικόνα 5.11. Αποφλοίωση/Απολέπιση/Αποσάθρωση.....	58
Εικόνα 5.12. Κυψελοειδής διάβρωση.....	59
Εικόνες 5.13. Τα φαινόμενα της Αποφλοίωσης, Αποσάθρωσης, Απολέπισης, Κυψελοειδούς Φθοράς, εμφανίζονται σε μεγάλη ένταση και στην πλειονότητα των περιπτώσεων παρατηρείται παράλληλη παρουσία τους.....	59
Εικόνα 5.14. Ζαχαροειδής αποσάθρωση.....	60
Εικόνα 5.15. Κρούστα αλάτων.....	60
Εικόνα 5.16. Απώλεια υλικού.....	61
Εικόνες 5.17. Απώλεια Υλικού – Ελλείπον Τμήμα.....	61
Εικόνα 5.18 α,β . Διάτρηση..... Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.	
Εικόνα 5.19. Βελονοειδή σκασίματα.....	63
Εικόνα 5.20. Χρωματική αλλοιώσεις και αποθέσεις.....	64
Εικόνα 5.21. Μαύρη Κρούστα.....	65
Εικόνες 5.22. Βιοαποίκιση – βιοδιάβρωση.....	67
Εικόνα 5.23. Βιοδιάβρωση.....	68
Εικόνα 5.24. Βιοδιάβρωση.....	68
Εικόνες 5.25. Φυτά που αναπτύσσονται σε τοιχοποιία.....	71
Εικόνα 5.26. Βιοαποίκιση.....	70
Εικόνα 5.27. Βιοαποίκιση.....	70
Εικόνες 5.28. Διάβρωση.....	70
Εικόνα 6.1. Σωματιδιακή ρύπανση μέσω αερολυμάτων.....	74
Εικόνα 6.2. Μορφολογία του Πειραιά.....	75
Εικόνα 6.3. Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας.....	75

Εικόνες 6.4. Δράση νερού.....	77
Εικόνα 6.5. Κλιματικά δεδομένα Πειραιά.....	79
Εικόνα 6.6. Αεροφωτογραφία όπου φαίνεται η απόσταση από την θάλασσα. (204 μ.) ..	82
Εικόνα 6.7. Αλσύλλιο.....	84
Εικόνα 9.1. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	107
Εικόνα 9.2. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	107
Εικόνα 9.3. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	108
Εικόνα 9.4. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	108
Εικόνα 9.5. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	108
Εικόνα 9.6. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	109
Εικόνα 9.7. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	109
Εικόνα 9.8. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	110
Εικόνα 9.9. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	111
Εικόνα 9.10. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	116
Εικόνα 9.11. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	116
Εικόνα 9.12. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	116
Εικόνα 9.13. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	117
Εικόνα 9.14. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	117
Εικόνα 9.15. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	118
Εικόνα 9.16. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	119
Εικόνα 9.17. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	119
Εικόνα 9.18. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	120
Εικόνα 9.19. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	124
Εικόνα 9.20. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	124
Εικόνα 9.21. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	124
Εικόνα 9.22. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	125
Εικόνα 9.23. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	125
Εικόνα 9.24. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	126
Εικόνα 9.25. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	126
Εικόνα 9.26. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	128
Εικόνα 9.27. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	129
Εικόνα 9.28. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	132
Εικόνα 9.29. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	132
Εικόνα 9.30. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	132
Εικόνα 9.31. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	133
Εικόνα 9.32. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	133
Εικόνα 9.33. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	134

Εικόνα 9.34. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	134
Εικόνα 9.35. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος	135
Εικόνα 9.36. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	136
Εικόνα 9.37. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	139
Εικόνα 9.38. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	139
Εικόνα 9.39. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	139
Εικόνα 9.40. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	140
Εικόνα 9.41. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	142
Εικόνα 9.42. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	142
Εικόνα 9.43. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	142
Εικόνα 9.44. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	143
Εικόνα 9.45. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.	144
Εικόνα 9.46. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	144
Εικόνα 9.47. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος	145
Εικόνα 9.48. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.	146
Εικόνα 9.49. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	148
Εικόνα 9.50. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	148
Εικόνα 9.51. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος	148
Εικόνα 9.52. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος	149

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Επέκταση δεξαμενών..	24
Σχήμα 2.2. Σύστημα δύο συγκοινωνούντων δεξαμενών της νοτιοδυτικής πλευράς.....	26
Σχήμα 2.3. Η δεξαμενή της βορειοανατολικής κατοικίας.....	27
Σχήμα 3.1. Κατόψεις κατοικιών.....	34
Σχήμα 4.1. Τρόπος Ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων.	51
Σχήμα 4.2. Απλοποιημένη κατάταξη τυπικών πυριγενών πετρωμάτων, η ορυκτολογική τους σύνθεση και το χρώμα των ορυκτών τους.	41
Σχήμα 4.3. Ο ιστός των κλαστικών ιζημάτων.....	43
Σχήμα 5.1. Τύποι Φθοράς	51
Σχήμα 5.2. Θραύση- Διαχωρισμός	52
Σχήμα 5.3. Βελανοειδή σκασίματα.....	63
Σχημα 5.4. Ποσοστιαία Αποτίμηση φθορών στον Αρχαιολογικό Χώρο της πλατείας Τερψιθέας.....	72
Σχήμα 6.1. Εκτίμηση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή του Πειραιά.	80
Σχήμα 6.2 Μέση συνολική βροχόπτωση στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά.	80
Σχήμα 6.3. Διάβρωση ασβεστόλιθων και μαρμάρων σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα	86
Σχήμα 7.1. Φωτογράφιση και αποτύπωση των θέσεων δειγματοληψίας.	91

Σχήμα 7.2-7.8. Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση.....	92-98
Σχήμα 9.1. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.....	113
Σχήμα 9.2.Αποτέλεσμα MIP	122
Σχήμα 9.3. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.....	130
Σχήμα 9.4. Αποτέλεσμα MIP	137
Σχήμα 9.5. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.....	130
Σχήμα 9.6. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.....	137

1. Εισαγωγή

Η κατανόηση και η ερμηνεία των διάφορων φθορών απαιτεί εκτός από μελέτη των υλικών δόμησης, τη γνώση των συνθηκών του περιβάλλοντος, αλλά και τη διερεύνηση των οικοδομικών καταλοίπων. Επίσης, η επεξεργασία των βασικών στόχων της επέμβασης, για την συντήρηση του δομικού υλικού, γίνεται με βάση, όχι μόνον τον τρόπο με τον οποίο εκδηλώνεται η παθολογία, αλλά και των μηχανισμών δράσης των παραγόντων φθοράς.

Οι στόχοι της παρούσας μελέτης είναι:

- Η αναγνώριση δηλαδή η διάκριση και η καταγραφή των μορφών φθοράς, όπως αυτή εκδηλώνεται στα διάφορα υλικά και στοιχεία των αρχιτεκτονικών καταλοίπων του αρχαιολογικού χώρου της Πλατείας Τερψιθέας.
- Ο χαρακτηρισμός και η αναγνώριση των δομικών υλικών με την βοήθεια των μικροσκοπικών εξετάσεων και εργαστηριακών αναλύσεων, με στόχο την συμπλήρωση της ταυτότητας των υλικών και τη διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς. Η αναγνώριση των αυθεντικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί θα συμβάλλει τόσο στην επιλογή των υλικών αποκατάστασης, όσο και στη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί κατά τις εργασίες συντήρησης.
- Η ερμηνεία και η αιτιώδης συσχέτιση των μορφών φθοράς με τους παράγοντες του μικροκλίματος όπου βρίσκεται το μνημείο θα συμβάλλουν στον εντοπισμό της φθοράς των λίθων αλλά και των κονιαμάτων.
- Η διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς των διαφόρων υλικών δόμησης, που οφείλονται, εν γένει στην ιδιοσυστασία και στα χαρακτηριστικά της μικροδομής τους.
- Ο καθορισμός των βασικών στόχων της επέμβασης για τη συντήρηση και την προστασία των υλικών δόμησης, μέσω και της άρσης των παραγόντων φθοράς και της αναχέτισης των διεργασιών που προκαλούν την καταστροφή των υλικών.

1. Introduction

In addition to studying the building materials, an understanding and interpretation of the various types of deterioration requires knowledge of environmental conditions, as well as an investigation of the building ruins. Furthermore, it is attempted to go through the key objectives of the intervention, regarding the maintenance of the building material, not only according to how the pathology is manifested, but also according to the mechanisms, through which, the deterioration factors act.

The objectives of this study are the following:

- To identify, i.e. distinguish and list the types of deterioration, as it is manifested in various materials and components of architectural ruins at the architectural site of Terpsithea Square.
- To classify and identify the building materials by using microscopic examinations and laboratory analyses, in order to complete the identity of the materials and investigate the deterioration mechanisms. To identify the authentic materials that have been used, which will contribute both to selecting the restoration materials and methodology to be followed during maintenance works.
- To identify and interpret the causal relationship between the types of deterioration and microclimate factors at the location of the monument, which will contribute to identifying the deterioration of the stones, as well as of the mortars.
- Besides, to investigate the deterioration mechanisms of various building materials, which are due, in general, to the distinctness and special characteristics of their microstructure.
- Finally, to set the key objectives of the intervention towards the preservation and protection of the building materials, also by eliminating the deterioration factors and stopping the processes that cause damage to the materials.

2. Στοιχεία για το Μνημείο

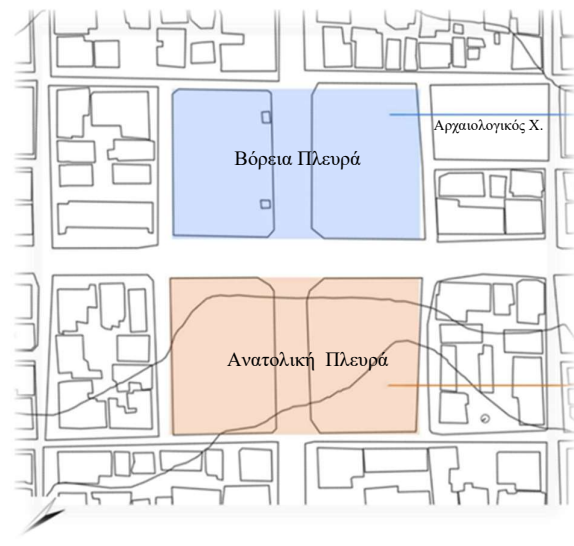
2.1. Εισαγωγικά στοιχεία

Από τις πιο σημαντικές πλατείες στο κέντρο του Πειραιά είναι η Πλατεία Τερψιθέας. Η ορθότερη απόδοση σήμερα που θα μπορούσε να δοθεί θα ήταν «οι πλατείες της Τερψιθέας» διότι χωρίζονται οριζόντια από την Ηρώων πολυτεχνείου και κάθετα από την 2ας Μεραρχίας (πρώην Αιγέως) με αποτέλεσμα να σχηματίσουν τέσσερις διαφορετικές πλατείες που έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όμως είναι συμμετρικά οικοδομικά τετράγωνα (Μιλέσης, 2012)

Στην ανατολική και νότια πλατεία (άνω πλατείες) βρίσκεται ένα άγαλμα ενός στρατιώτη και ένα άγαλμα μιας κοπέλας που εκτελέστηκε. Υπάρχει και ο αρχαιολογικός χώρος που βρίσκεται στο διπλανό τετράγωνο (Ανάγνου et al., 2017). (Εικόνα 2.1).

Η βόρεια και η δυτική πλατεία (οι κάτω πλατείες), οι οποίες διαφοροποιούνται από τις άλλες, λόγω της υψομετρικής διαφοράς (περίπου 6 μέτρα) λειτουργούν περισσότερο ως χώροι ψυχαγωγίας και παιχνιδιού (Ανάγνου et al., 2017) (Εικόνα 2.1).

Η αρχική ονομασία της πλατείας υπήρξε πλατεία Βαρβάκη. Στην κάτωθι ασπρόμαυρη φωτογραφία εποχής, η οποία τοποθετείται στο πρώτο μισό της δεκαετίας του 1890, με γωνία λήψης από την οδό Καραϊσκού, διακρίνουμε τους κήπους της Τερψιθέας και στο βάθος το λιμάνι του Πειραιά (MLP, 2011) (Εικόνα 2.2).



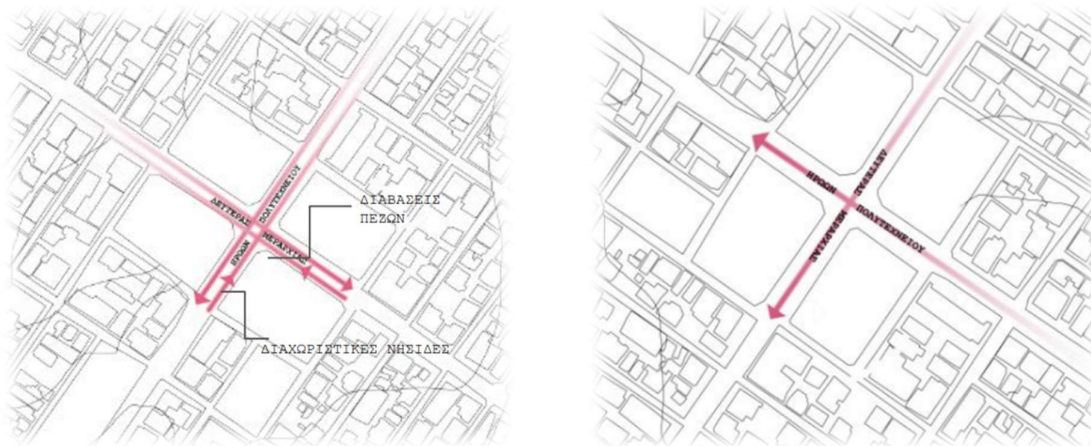
Εικόνα 2.1_Η Πλατεία Τερψιθέας. Πηγή: (Ανάγνου et. al., 2017)



Εικόνα 2.2. Η πλατεία Τερψιθέας το 1890. Πηγή: Μιλέσης, 2012.

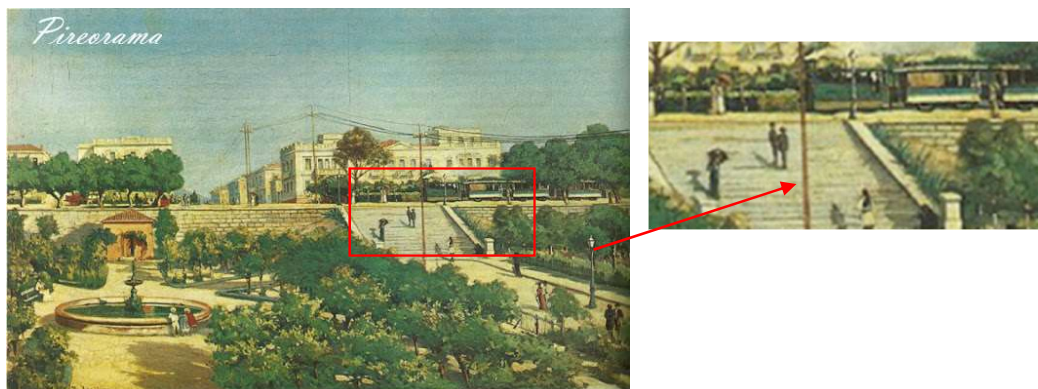
Μέχρι το 1970 η οδός 2^{ης} Μεραρχίας ήταν ένας άξονας προορισμένος για τους πεζούς, ενσωματωμένος στις δύο πλατείες και το ίδιο έτος γίνεται πλέον δρόμος. Μετά το 1970 η Ηρώων Πολυτεχνείου και η Δευτέρας Μεραρχίας είναι δρόμοι διπλής κατεύθυνσης. Σήμερα η οδός Ηρώων Πολυτεχνείου (φορά από την ακτή Μιαούλη προς την ακτή Μουτσοπούλου.) και 2ας Μεραρχίας (φορά εισόδου προς το κέντρο του Πειραιά) είναι σήμερα δρόμοι μονής κατεύθυνσης. Τα σχέδια της Πλατείας Τερψιθέας οφείλονται στους αρχιτέκτονες - πολεοδόμους Κλεάνθη και Σάουμπερτ και χρονολογούνται από το 1835. Η θέση της ήταν σε κομβικό σημείο της πόλης, καθώς συνέδεε δύο διαφορετικά λιμάνια: το εμπορικό λιμάνι και το Πασαλιμάνι, το τουριστικό λιμάνι του Πειραιά. Παράλληλα όμως, ένωνε και δύο αλλιότικους κόσμους: αυτόν του λιμανιού (της Τρούμπας) και αυτόν της αστικής τάξης της πόλης.¹ Παλαιότερα, μέχρι το 1968, επί της πλατείας Τερψιθέας υπήρχε το μνημείο του Αφανούς Ναύτη, ενώ η δυτική πλευρά προς το λιμάνι είχε το ίδιο σχέδιο με το υφιστάμενο σήμερα της πλατείας Συντάγματος της Αθήνας. Επί της λεωφόρου Σωκράτους περνούσε αρχικά υπηλάτος και αργότερα ατιμήλατος σιδηρόδρομος (Τσιπουροκατάσταση, 2019). Δεξιά κι αριστερά το συγκρότημα των πλατειών της Τερψιθέας περικλείονται από δύο μικρούς δρόμους σχεδόν πεζόδρομους θα λέγαμε την Γλάδστωνος και την Παλαιολόγου (Μιλέσης, 2012) (Εικόνα 2.3).

¹ Πηγή [Πειραιάς - Περιβαλλοντικός Σύνδεσμος ΠΕ.ΣΥ.Δ.Α.Π. \(pesydap.gr\)](http://www.pesydap.gr)



Εικόνα 2.3. Αριστερά πως ήταν το κυκλοφορικό σύστημα της πλατείας κατά το παρελθόν. Δεξιά πως είναι σήμερα. Πηγή: Ανάγνου et al., 2017.

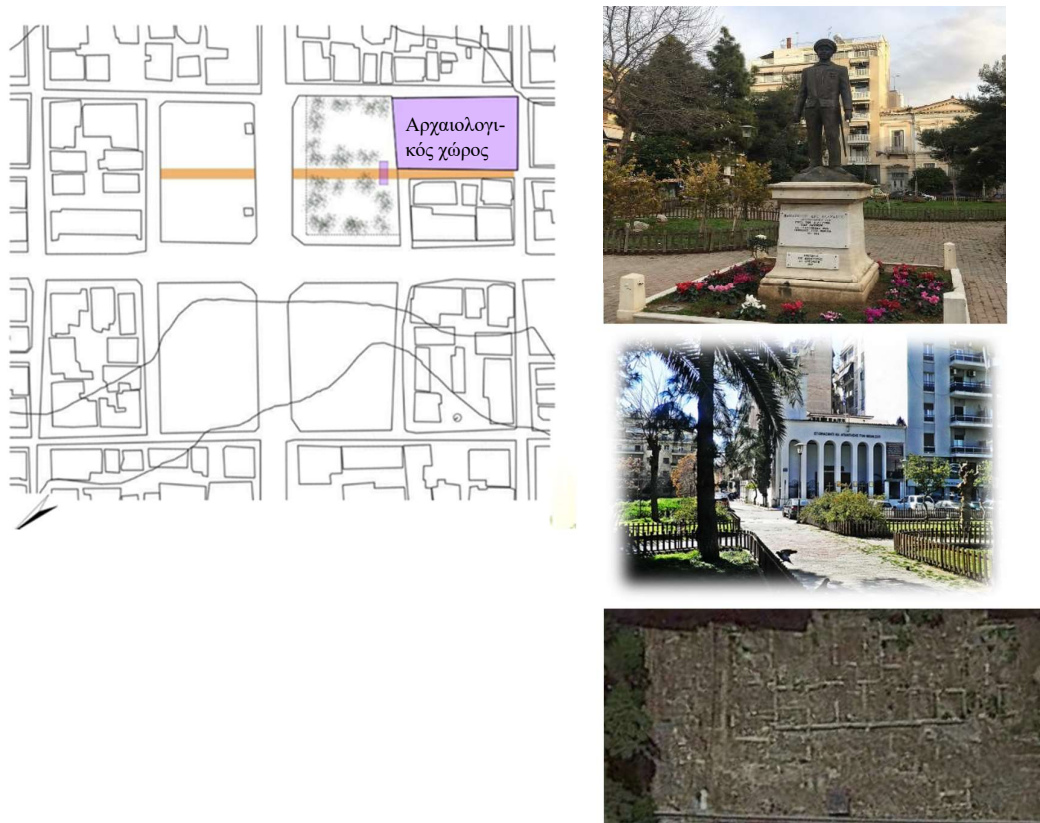
Αναλυτικότερα, θα λέγαμε, ότι η ανατολική Τερψιθέα (η άνω πλατεία δηλαδή) είναι αυτή που κοιτάει προς το Πασαλιμάνι, ενώ η δυτική πλευρά (η κάτω) αυτή που κοιτάει προς εμπορικό λιμάνι. Λέμε πάνω και κάτω πλευρά γιατί κάποτε όταν η πλατεία ήταν μία υπήρχαν μαρμάρινα σκαλάκια που χώριζαν την πάνω και την κάτω πλευρά της (Εικόνα 2.4). (Μιλέσης, 2012)



Εικόνα 2.4. Η Τερψιθέα το 1884 όπως είχε σχεδιαστεί. Έμοιαζε με την Πλατεία Συντάγματος αφού χωρίζονταν σε άνω και κάτω τμήμα που ενώνονταν με σκαλάκια. Επί της Λεωφόρου Σωκράτους περνούσε αρχικά ιππήλατος και αργότερα ατμήλατος σιδηρόδρομος. Πηγή: Μιλέσης, 2012.

Εάν προσπαθούσαμε να εξερευνήσουμε οπτικά την πλατεία Τερψιθέας με τη φορά του δείκτη ενός ρολογιού, τότε φανταστείτε έναν τεράστιο λεπτοδείκτη να μας δείχνει ακριβώς. Αυτό το «ακριβώς» πέφτει πάνω στο άγαλμα του ήρωα των μίων Παναγιώτη Βλαχάκου². Στο «και πέντε» (λίγο πιο δεξιά). Το πρώτο κτίριο που υπάρχει επί της πλατείας είναι η Ευαγγελική εκκλησία Πειραιά η οποία βρίσκεται επί ενός μικρού δρόμου την Γλάδστωνος. Ακριβώς δίπλα βρίσκεται και ο αρχαιολογικός χώρος της Πλατείας Τερψιθέας (Μιλέσης, 2012) (Εικόνα 2.5).

² Πολλοί είναι αυτοί που τον γνωρίζουν ως τον ήρωα του πολεμικού μας ναυτικού αντιπλοίαρχο Βλαχάκο, λίγοι όμως γνωρίζουν ότι υπήρξε ναυτοπρόσκοπος στον Πειραιά (1ο σύστημα v/p Πειραιά) και για αυτό τον λόγο δύο φορές τον χρόνο (28η Οκτωβρίου και 25η Μαρτίου) όλοι οι πρόσκοποι Πειραιά μετά την παρέλαση βρίσκονται κάτω από το άγαλμά του για να του αποδώσουν τιμές και να βγάλουν τις απαραίτητες φωτογραφίες εκεί ως δείγμα ότι δεν τον ξεχασαν (Μιλέσης, 2012).



Εικόνα 2.5. Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας. Πηγή: Ανάγνου *et al.*, 2017; Μιλέσης, 2012

Στο «και τέταρτο» στη δυτική πλατεία παρατηρούμε ότι το πλέον εγκαταλειμμένο κτήριο των ιδιωτικών εκπαιδευτηρίων «Πλάτων» του Παπαϊωάννου³ (Εικόνα 2.6), καθώς και το διαμορφωμένο χώρο για τα παιδιά (Μιλέσης, 2012).

³ «Το σχολείο αυτό (επί της Γλάδστωνος κι αυτό αλλά κάτω από την Ηρώων Πολυτεχνείου) κάποτε θεωρείτο ένα από τα καλύτερα ιδιωτικά σχολεία στον Πειραιά αλλά ο οικονομικός μαρασμός του Πειραιά που τον χτύπησε πολλά χρόνια πριν από την έλευση του μνημονίου, έκλεισε το σχολείο αυτό όπως και τα περισσότερα στην περιοχή του Πειραιά. Κάτω από την ηρώων πολυτεχνείου, η κάτω πλευρά της Τερψιθέας, σώθηκε χάρη στον αγώνα των κατοίκων της περιοχής, όταν το 1999 απέτρεψαν τον Δήμο που επιθυμούσε την ανέγερση γκαράζ χωρητικότητας 450 θέσεων. Πριν όμως ο Δήμος να προβεί στην επίσημη δήλωση περί ανέγερσης του γκαράζ τότε, είχε φροντίσει περίτεχνα να εγκαταλείψει τους κήπους της Τερψιθέας στην τύχη τους και σωροί σκουπιδιών είχαν συσσωρευτεί στα παρτέρια τους ώστε να προκληθεί δυσφορία στον κόσμο και να καταπιεί εύκολα το γκαράζ.» (Μιλέσης, 2012).



Εικόνα 2.6. Εκπαιδευτήρια «Πλάτων». Πηγή: Μιλέσης, 2012; Ανάγνου et al., 2017.

Στο «παρά είκοσι», στη βορινή πλατεία (στην τρίτη από τις τέσσερις πλατείες που απαρτίζουν την Τερψιθέα), είναι η πιο πράσινη από όλες. Κάποτε η Πλατεία Τερψιθέας ήταν καταπράσινη, ένας μικρός βοτανικός κήπος. Ήταν μια μικρογραφία του Εθνικού κήπου που υπάρχει σήμερα στην Αθήνα. Σήμερα ελάχιστα δένδρα έχουν μείνει και βρίσκονται σε αυτό το σημείο (Εικόνα 2.7). Έχει τοποθετηθεί και μια πλάκα το 2004 με αφιέρωση στο «παγκόσμιο Στεφάνι Ελιάς» (Μιλέσης, 2012).



Εικόνα 2.7. Βοτανικός κήπος. Πηγή: Μιλέσης, 2012; Ανάγνου et al., 2017.

Στο τελευταίο σημείο (θέση παρά πέντε) μας πριν ολοκληρώσουμε την πλήρη περιστροφή της πλατείας βρίσκουμε το άγαλμα της 17χρονης Ηρούς Κωνσταντοπούλου. Εκτελέστηκε στην Καισαριανή το 1944 από τους Γερμανούς⁴ (Μιλέσης, 2012) (Εικόνα 2.8).



Εικόνα 2.8. Άγαλμα Ηρούς Κωνσταντοπούλου. Πηγή: Μιλέσης, 2012; Ανάγνου et al., 2017.

2.2. Ιστορικό

Η ανασκαφή του αρχαιολογικού χώρου ενός οικοδομικού τετραγώνου δίπλα στην πλατεία Τερψιθέας, οριζόμενου από τις οδούς Καραϊσκού –Σκουζέ- Περικλέους, ιδιοκτησίας του Οργανισμού Σχολικών Κτηρίων για την ανέγερση της Ραλλείου Σχολής, ακριβώς λόγω της συγκυρίας του μεγέθους του-σχεδόν δύο στρέμματα-και της απουσίας νεότερων υπόγειων κατασκευών (με εξαίρεση τη γωνία μόνο των οδών Καραϊσκού -Σκουζέ) και ογκωδών θεμελίων, προσέφερε πολύτιμα στοιχεία για την αποκατάσταση του πολεοδομικού σχεδίου του αρχαίου Πειραιά (Εικόνα 2.9)⁵.

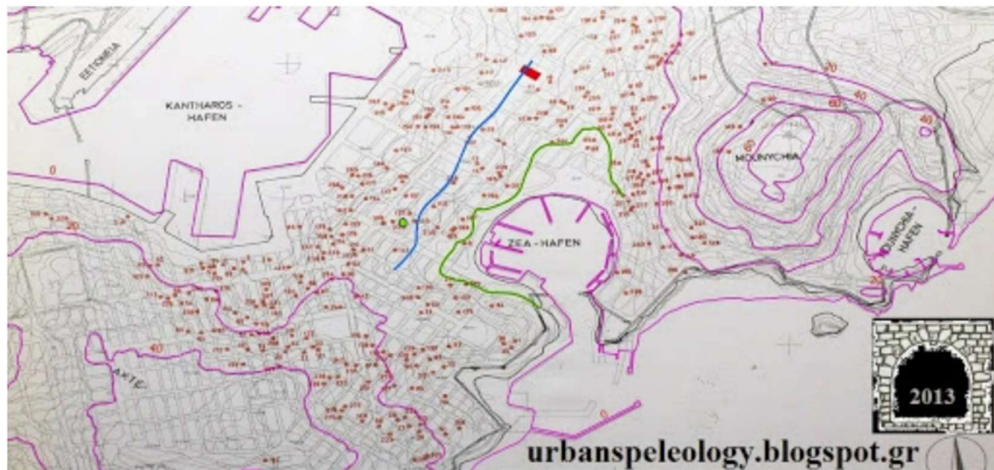


Εικόνα 2.9. Ανασκαφή αρχαιολογικού χώρου.

⁴ Εκτελέστηκε στην Καισαριανή το 1944 από τους Γερμανούς, αφού πρώτα βασανίστηκε στην οδό Μέρλιν. Ήταν μέλος της ΕΠΟΝ και μόλις που είχε προλάβει να τελειώσει τις γυμνασιακές της σπουδές. Η ζωή και η δράση της γυρίστηκαν ταινία με τίτλο «17 σφαίρες για έναν άγγελο» (Μιλέσης,2012).

⁵ Βλ. Παράρτημα : Κάτοψη Αρχαιολογικού Χώρου -Αεροφωτογραφία

Για παράδειγμα, στα ρωμαϊκά χρόνια αυξήθηκαν, ιδιαίτερα, οι ανάγκες σε νερό, ζήτηση που καλύφθηκε με τη μεταφορά νερού στην πόλη. Ο αρχαίος Πειραιάς διέθετε ένα πολύ καλά μελετημένο σύστημα ύδρευσης, με το οποίο αξιοποιούνταν κάθε σταγόνα διαθέσιμου νερού. «Στον Πειραιά, επειδή δεν υπήρχε υδροφόρος ορίζοντας, αξιοποιούνταν κάθε σταγόνα νερού. Το βρόχινο νερό συγκεντρωνόταν σε δεξαμενές, καθάριζε και αντλούνταν από φρεάτια η ύδρευση του Πειραιά δεν βασιζόταν σε δημόσιες κρήνες» εξηγεί η κ. Δημάκη. Από την έρευνα στο έργο της επέκτασης του Μετρό στον Πειραιά εντοπίστηκαν συνολικά 115 κατασκευές σχετιζόμενες με το αρχαίο υδρευτικό σύστημα, 43 πηγάδια και φρεάτια, 34 δεξαμενές, 32 σήραγγες και 6 φρεάτια (Αξιώτη, 2009) (Εικόνα 2.10).



Εικόνα 2.10. Με κόκκινα στίγματα απεικονίζονται οι εκατοντάδες αρχαίες δεξαμενές του Πειραιά (Eickstedt, 1991), με πράσινο στίγμα η δεξαμενή της ΧΟΝ και με μπλε, τμήμα υπόγειας σήραγγας του ρωμαϊκού υδραγωγείου (Curtius & Kaupert, 1931). Πηγή: Hellinon, 2014.

Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη συνεχή προσπάθεια των κατοίκων της πόλης για την εξασφάλιση του αναγκαίου πόσιμου νερού (Λουκίδης, 2020). Βάσει αυτού, μπορούμε να υποθέσουμε βάσιμα ότι:

- Υπήρχε σημαντικός αριθμός κατοικιών στην πόλη και ανάλογος αριθμός κατοίκων.
- Υπήρχε μεγάλη οργάνωση και καθαριότητα. Σε αυτό συνηγορεί ότι η πόλη διέθετε και αξιόλογο αποχετευτικό δίκτυο.

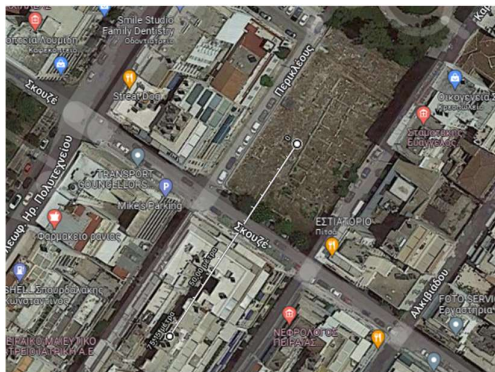
Με την εγκατάστασή τους στη νεοϊδρυθείσα πόλη, οι κάτοικοι αρχικά προσπάθησαν να εξασφαλίσουν την υδροδότησή τους από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, διανοίγοντας πηγάδια, όπως αποδεικνύει η εύρεση ημιτελών πηγαδιών, με κεραμική που χρονολογείται στα τέλη του 5ου και στον 4ο αι. π.Χ. Ενδεχομένως ο υδροφόρος ορίζοντας να μην ήταν επαρκής και έτσι στράφηκαν σε άλλη μέθοδο προμήθειας νερού, κατασκευάζοντας πλέον υπόγειες δεξαμενές περισυλλογής των ομβρίων. Η μεγάλη έκταση της ανασκαφής και η ταυτόχρονη εύρεση μεγάλου αριθμού δεξαμενών, επέτρεψε την τυπολογική τους κατάταξη και εξέλιξη της στο χρόνο (Εικόνα 2.11) (Λουκίδης, 2020).



Εικόνα 2.11. Εκμετάλλευση βρόχινου νερού στις κατοικίες.

Πηγή: Mammassis et al., 2015.

Για παράδειγμα, βρέθηκαν σημαντικά στοιχεία για την ύδρευση και την αποχέτευση κατά την ανασκαφή στο οικόπεδο της πλατείας Τερψιθέας, όπου έχει βρεθεί ένα οικοδομικό τετράγωνο κατοικίας. Και μια δεξαμενή σώζεται σε πολύ καλή κατάσταση και σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο υπόγειο του διώροφου κτιρίου της Χριστιανικής Οργάνωσης Νέων (ΧΟΝ), στην οδό Περικλέους 11, κοντά στο Αρχαιολογικό Μουσείο Πειραιά (Εικόνες 2.12-2.13). (Μαλαγκονιάρης, 2017).



Εικόνα 2.12. Απόσταση αρχαιολογικού χώρου Τερψιθέας με την δεξαμενή που βρέθηκε. (75μ.).

Πηγή: www.googlemaps.gr

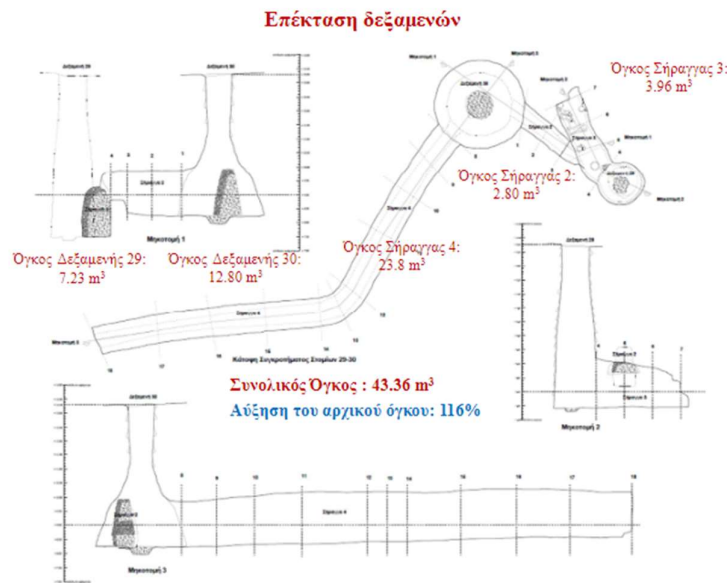


Εικόνα 2.13. Δεξαμενή.

Πηγή: Μαλαγκονιάρης, 2017.

Κατά την ελληνιστική περίοδο, με τις κοινωνικές αλλαγές και τα μεγαλύτερα σπίτια, αυξήθηκαν και οι ανάγκες σε νερό. Προκειμένου να ικανοποιηθεί η ζήτηση διανοίχθηκαν αδιέξοδες σήραγγες σε υπάρχουσες δεξαμενές ή συνενώθηκαν δεξαμενές, αυξάνοντας αθροιστικά την δυνατότητα αποθήκευσης νερού (Σχήμα 2.1). Με την επέκταση των δεξαμενών επιτυγχάνεται (Mammassis et al., 2015):

- Μείωση των υπερχειλίσεων και αύξηση του αξιοποιούμενου νερού.
- Αύξηση της πιθανότητας κάλυψης της ημερήσιας ζήτησης.
- Αύξηση του όγκου της δεξαμενής, με καλύτερη στατική επάρκεια.



Σχήμα 2.1. Επέκταση δεξαμενών. Πηγή: Mamassis et al., 2015.

Συνεπώς, η ανασκαφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε δύο φάσεις έως το 2001, αποκάλυψε τμήματα της Κλασικής και Ρωμαϊκής πόλης. Αποκαλύφθηκε σε μήκος 33μ., με κατεύθυνση παράλληλη με την οδό Σκουζέ, ένας αρχαίος δρόμος πλάτους 5,20μ. και τα εκατέρωθεν αυτού οικοδομικά τετράγωνα εκ των οποίων το ένα σχεδόν ολόκληρο. (Εικόνα 2.15). Η αποκάλυψη ενός δεύτερου, παράλληλου προς τον αρχαίο δρόμο, που οριοθετεί το οικοδομικό τετράγωνο της αρχαίας πόλης από το βορρά, επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό των διαστάσεων των οικοπέδων του Ιπποδάμειου οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και τον καθορισμό του μέτρου του ποδός που είχε χρησιμοποιηθεί. Επιβεβαιώνεται έτσι ότι οι διαστάσεις των οικοπέδων που αποτελούσαν τα Ιπποδάμεια οικοδομικά τετράγωνα ήταν 40 × 70 πόδες των 0,3275 μ., δηλαδή το μέτρο του ποδός που αποδεδειγμένα χρησιμοποιήθηκε κατά την οικοδόμηση της Σκευοθήκης του Φίλωνος (Steinhauer, 1994). Το πιο ενδιαφέρον στοιχείο της ανασκαφής υπήρξε η αποκάλυψη, στον άξονα του προαναφερθέντος (πλάτους 5,20μ.) δρόμου, τμήματος ενός κεντρικού αποχετευτικού αγωγού σκαμμένου στον βράχο (Εικόνα 2.15). Παρείχε σημαντικές πληροφορίες για την αποκατάσταση του πολεοδομικού ιστού του αρχαίου Πειραιά, για την εξέλιξη του συστήματος ύδρευσης και αποχέτευσης της αρχαίας πόλης με ενδιαφέροντα στοιχεία για την τυπολογία των αρχαίων δεξαμενών. (Εικόνα 2.14)

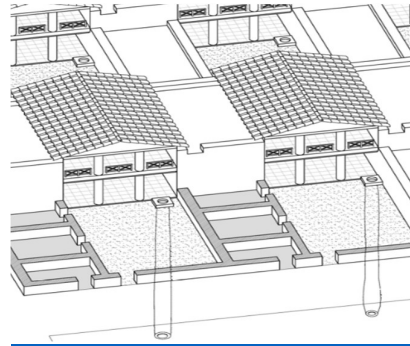


Εικόνα 2.14. Κατάλοιπα του υπογείου συστήματος ύδρευσης.



Εικόνα 2.15. Ο παράλληλος προς την οδό Σκουζέ αποχετευτικός αγωγός. Πηγή: Αξιώτη, 2009.

Σύμφωνα με την Αξιώτη (2009), « ο αγωγός, που αποκαλύφθηκε σε μήκος 33μ. (όσο και το αποκαλυφθέν μήκος του αρχαίου δρόμου), είχε πλάτος 0,55μ. ύψος 1,10μ. και κατεύθυνση προς το λιμάνι Ζέας. Συγκέντρωνε τα νερά από τις υδρορροές των παρακείμενων οικιών μέσω ενός συστήματος τριών ανά οικοδομή φρεατίων και αυλακιών. Το σύστημα των φρεατίων ανανεώθηκε κατά τη ρωμαϊκή εποχή, κατά την οποία το πλάτος του δρόμου περιορίστηκε στα 3μ., με τη εις βάρος του επέκταση του προς το νότο του οικοδομικού τετραγώνου. Το μέγεθος και ο μελετημένος σχεδιασμός του τεχνικού αυτού έργου δίνουν πολλά νέα στοιχεία για μια λίγο πολύ άγνωστη και παραμελημένη πλευρά της αρχαίας πολεοδομίας, που θα μπορούσαν να ζηλέγουν οι νεότερες, συχνά πλημμυρισμένες, πόλεις μας. Στην Εικόνα 2.16 δίνεται η σχεδιαστική απόδοση «Ιπποδάμειων» οικιών και στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται ένα σύστημα δύο συγκοινωνούντων δεξαμενών της νοτιοδυτικής πλευράς.



Εικόνα 2.16. Σχεδιαστική απόδοση «Ιπποδάμειων» οικιών (βάσει των Hoepfner & Schwandert, 1994) με τα υπόγεια συστήματα ύδρευσης.

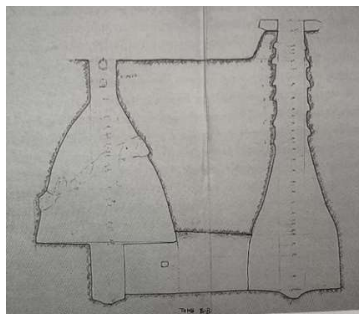
Από το οικοδομικό τετράγωνο των κλαστικών χρόνων διατηρούνται σε άριστη κατάσταση και μεγάλο μήκος -18 και 34μ. αντίστοιχα ο νότιος εξωτερικός τοίχος και η μεσοτοιχία, κτισμένα από καλοδουλεμένες λιθόπλινθους. Επίσης, διακρίνονται ίχνη των εσωτερικών χωρισμάτων και το δάπεδο ενός των ανδρώνων. Τα υπόγεια συστήματα των δεξαμενών που αποκαλύφθηκαν, εκτός από πολύτιμες πληροφορίες για το σχέδιο των σπιτιών της Ιπποδάμειας χάραξης, δίνουν ενδιαφέροντα στοιχεία και για την τυπολογία των αρχαίων δεξαμενών και την εξέλιξη του συστήματος ύδρευσης.(Εικόνα 2.16)

Η ανασκαφικά τεκμηριωμένη γνώση των διαστάσεων των πειραϊκών οικιών (12-13 × 18-20 μ.) επιβεβαιώνεται με την εύρεση της γωνίας της μεσοτοιχίας της νοτιοδυτικής οικίας του οικοδομικού τετραγώνου, από την οποία σώζεται ο διάδρομός της εισόδου. Στην αυλή της οικίας αυτής σώζεται το εξαιρετικά ευρηματικό σύστημα συγκοινωνούντων κωδωνόσχημων δεξαμενών, διαμέτρου 4μ. και 2,80μ. κατασκευασμένων σε διαφορετικά επίπεδα (Σχήμα 2.2).

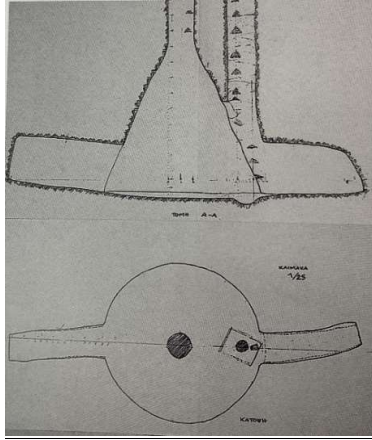
Ένας αγωγός πλάτους 0,70μ. και μήκους 4,50μ.σκαμμένος σε βάθος 1,70μ. στο δάπεδο της μεγαλύτερης δεξαμενής, οδηγούσε με ελαφρά κλίση στη βαθύτερα σκαμμένη μικρότερη, από όπου γινόταν η άντληση. Το βελτιωμένο αυτό σύστημα εξυπηρετούσε την αποτελεσματικότερη καθίζηση και διευκόλυνε την άντληση σε καιρούς λειψυδρίας.

Λιγότερο πρωτότυπη, αλλά εντυπωσιακή ως προς το μέγεθος, με διάμετρο 5μ. και βάθος 8,50μ., είναι η δεξαμενή της βορειοδυτικής οικίας του προς την Τερψιθέα τμήματος του αρχαίου οικοδομικού τετραγώνου. Την οικία παρά την οδό Σκουζέ, νότια του αρχαίου δρόμου, εξυπηρετούσε ένα σύστημα δεξαμενών, διαμέτρου 2,30μ.βάθος δε 5,10μ.,τις οποίες συνέδεε αγωγός μήκους 10μ. και πλάτος 0,75μ.,με αυλάκι στη μέση του πυθμένα. Το ύψος του αγωγού έφθανε το 1,95μ.

Το σύστημα ύδρευσης της προς την πλατεία Τερψιθέας βορειοανατολικής οικίας του οικοδομικού τετραγώνου αποτελείται από μια μεγάλη δεξαμενή, διαμέτρου 5μ. και βάθους 6,80μ.,με δύο τυφλούς αγωγούς ύψος 1,60μ.,μήκους 2,90-3,20μ., και πλάτος 0,75-1,10μ., διατεταγμένους αξονικά, μέσα στην περίμετρο της οποίας ανοίχτηκε ένα πηγάδι (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.2. Σύστημα δύο συγκοινωνούντων δεξαμενών της νοτιοδυτικής πλευράς. Πηγή: Αζιώτη, 2009.



Σχήμα 2.3. Η δεξαμενή της βορειοανατολικής κατοικίας. Πηγή: Αξιώτη, 2009.

Το σωζόμενο σήμερα επίχρισμα καθώς και το ορθογώνιο διάτρητο κάλυμμα του φρέατος ανήκουν προφανώς σε μεταγενέστερη ρωμαϊκή χρήση της δεξαμενής. Την απόπειρα διανοίξεως ενός δευτέρου αποχετευτικού αγωγού, κατά μήκος της οδού του πλαισίωνε το οικοδομικό τετράγωνο από βορρά, καθιστά πολύ πιθανή η αποκάλυψη κατά μήκος και εκείνης μιας σειράς τριών φρεατίων στη ίδια ευθεία, τα οποία επικοινωνούσαν με αγωγούς μεταξύ των και με φρεάτια της παρακείμενης οικίας. Η τάση για εξαγορές και ενοποιήσεις οικοπέδων, που άρχισε στα ελληνιστικά χρόνια και ολοκληρώθηκε στα ρωμαϊκά, επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα της ανασκαφής αυτής.

Στον ανατολικό τομέα του Ιπποδάμειου οικοδομικού τετραγώνου, στον χώρο που κατελάμβαναν στα κλασικά χρόνια τέσσερις οικίες, στρωμένη με βοτσαλωτό δάπεδο, όπως και ο στεγασμένος χώρος που την περιβάλλει» (Αξιώτη, 2009) (Εικόνα 2.17).



Εικόνα 2.17. Η περίστυλη αυλή έπαυλης. Πηγή: Αξιώτη, 2009.

Στο διάδρομο ανοίγονταν πολλά, πάνω από οκτώ, ως επί το πλείστον ευρύχωρα δωμάτια. Δεκάδες νομίσματα, που βρέθηκαν πάνω στο δάπεδο και μέσα στο εντυπωσιακό στρώμα των κεραμίδων της στέγης που το κάλυπτε, χρονολογούν την καταστροφή στα χρόνια της επιδρομής των Ερούλων, το 267μ.Χ. Οι πληροφορίες που δίνει το 1881 ο Milchhofen για το ανασκαφέν οικόπεδο, που τότε ονομαζόταν «οικόπεδο Σκυλίτση» (Milchhofen, 1881), επιβεβαιώνεται απολύτως από τα ευρήματα. Σημειώνει λοιπόν ότι « σώζονται σε πολύ καλή κατάσταση εκτεταμένα ερείπια αρχαίων σπιτιών και πολλές, τουλάχιστον οκτώ, δεξαμενές και

πηγάδια και ότι το οικοπέδο διασχίζει ένας μεταγενέστερος υπόγειος αγωγός», αναφερόμενος προφανώς στο Αδριάνειο Υδραγωγείο, η πορεία του οποίου μέσα από το ανασκαφέν οικοπέδο, με κατεύθυνση παράλληλη προς τη σημερινή οδό Περικλέους, σημειώνεται στους χάρτες του Kaupert και του Judeich.(Curtius, Kaupert 1881).

Με το Αδριάνειο Υδραγωγείο συνδέονται πιθανότατα δύο φρέατα επίσκεψης και εξαερισμού σε απόσταση 25μ. μεταξύ τους, τα οποία ερευνήθηκαν μέχρι το βάθος των 11μ. Προφανώς στην ύπαρξη ενός τόσο μεγάλου αριθμού δεξαμενών στον χώρο αυτό οφείλεται και η παλαιότερη ονομασία της περιοχής ως «Πηγάδια Τερψιθέας».Την πληροφορία του Milchhofer, ότι στην περιοχή μαρτυρείται η λατρεία της ανασκαφής : οκτώ αναθηματικοί ναΐσκοι της Κυβέλης, πέντε μαρμάρινα αγάλματα της Αφροδίτης (Milchhofer,1881), πήλινα ειδώλια Ερώτων και μια αναθηματική επιγραφή της Μύρνας, ιέρειας της Αφροδίτης. Τέλος, ένα σύνολο 1.935 νομισμάτων, χρονολογούμενων από το 5ο π.Χ. έως και τον 4ο αιώνα μ.Χ., μαρτυρούν για έντονη εμπορική δραστηριότητα στην περιοχή αυτής της αρχαίας πόλης.

Η οριστική λύση στο πρόβλημα της οικοδομής ή όχι της Ραλλείου Σχολής πάνω στα κατάλοιπα της αρχαίας πόλης, που περιέγραφα, δόθηκε στις 3.12.2003, με την Δημοσίευση της Απόφασης του Συμβουλίου της Επικρατείας (Απόφαση αρ.3487/2003 του Ε' Τμήματος του Συμβουλίου της Επικράτειας] εξασφαλίστηκε η διατήρηση του συνόλου των αποκαλυφθέντων καταλοίπων του πολεοδομικού ιστού του αρχαίου Πειραιά, ακέραιου, ορατού και επισκέψιμου (Αξιώτη, 2009).

2.3. Πρώτα Σωστικά Μέτρα

Τα πρώτα σωστικά μέτρα που πραγματοποιήθηκαν, με βάση την Τεχνική Έκθεση της κ. Παναγοπούλου Αικατερίνης και του κ. Παπαϊωάννου Ελευθέριου που πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2009 με θέμα : «*Άμεσων Σωστικών Επεμβάσεων Συντήρησης στις Λιθοδομές και στα Επιχρίσματα του Αρχαιολογικού Χώρου της Πλατείας Τερψιθέας στον Πειραιά*» [Αριθμός πρωτοκόλλου: 515099/369104/8981],⁶ είχαν σκοπό την ανάσχεση των φαινομένων φθοράς, χωρίς να προκληθεί μορφολογική αλλοίωση στο μνημείο καθώς και την εφαρμογή σωστικών επεμβάσεων στις περιοχές του μνημείου που κρίθηκε απαραίτητο κατά προτεραιότητα.

«Για την αντιμετώπιση των φθορών στους λίθους και στις λιθοδομές, πραγματοποιήθηκαν :

1. Ο εντοπισμός των σημείων όπου η ανάπτυξη βλάστησης είναι άμεσα επικίνδυνη για την ακεραιότητα των λιθοδομών, ιδιαίτερα αν πρόκειται για δέντρα που εφάπτονται σε αυτές. Προτείνεται η απομάκρυνση τους να γίνει με μεγάλη προσοχή αποκόπτοντας τμηματικά τους κορμούς και χωρίς να δημιουργούνται πιέσεις με μοχλούς ή παρόμοιες μεθόδους και εργαλεία επάνω στα ευρήματα, προκειμένου να μην προκληθούν περαιτέρω φθορές σε αυτά.
2. Απομάκρυνση εξωγενών υλικών και χωμάτων χωρίς πρόσφυση στο αρχαίο υλικό με χρήση μαλακής βούρτσας, πουάρ και μικρής σκούπας. Ο καθαρισμός των φερτών υλικών και των σαθρών προϊόντων διάβρωσης από τις επιφάνειες των λίθων θα γίνει με χρήση νερού, τρεχούμενου ή σε επιθέματα, σε συνδυασμό με οδοντιατρικές βούρτσας φυσικής τρίχας.
3. Στις περιοχές όπου κριθεί απαραίτητο έγινε αρμολόγημα για την σταθεροποίηση των θέσεων των λίθων και την συμπλήρωση των κενών που έχουν προκληθεί από την απώλεια του συνδετικού υλικού γύρω από αυτούς, με την εφαρμογή σταθεροποιημένου κονιάματος(ασθενούς/θυσιαζόμενου)από εδαφικό υλικό με την παρακάτω σύσταση:

⁶ Αριθμός Έγκρισης Τεχνικής Έκθεσης : ΥΠΠΟΑ/ΓΔΑΠΚ/ΕΑΠΝ/ΤΣΑΕΤ/515099/369104/8981/69/17-10-19 ΑΔΑ! ΨΑΕ 44653Π4-Η1Π

- 38%κ.β. εδαφικό υλικό κοσκινισμένο έως 2mm(Χώμα από την ανασκαφή αν υπάρχει διαθέσιμο, ή εναλλακτικά από κοντινό οικόπεδο της περιοχής προκειμένου να προσομοιάζει όσο το δυνατόν σε σύσταση και χρώμα με το αυθεντικό).
 - 12%κ.β. λευκό τσιμέντο Portland
 - 50%κ.β. άμμος νταμαρίσια κοσκινισμένη έως 2,8mm
4. Απομάκρυνση του χώματος από τα διάκενα των λίθων, και τους αρμούς και αντικατάσταση του με το ίδιο κονίαμα με σκοπό να απομακρυνθούν και οι εναπομείναντες σπόροι φυτών και να περιοριστεί η ανάπτυξη της βλάστησης. Στις περιπτώσεις όπου έχουν αναπτυχθεί φυτά σε ρωγμές των λίθων προτείνεται η απομάκρυνση των φυτών και ο καθαρισμός των ρωγμών, η περιδέση των λίθων με μιάντες σύφιξης ή άλλη κατάλληλη μέθοδο. Στην συνέχεια σφράγιση των αρμών με κονίαμα για να μην αναπτυχθεί εκ νέου χλωρίδα, έως και την τελική συγκόλληση των λίθων αυτών στα πλαίσια συστηματικής συντήρησης.
 5. Σε περιπτώσεις καθιζήσεων ή διαταράξεων λίθων να γίνει, όπου είναι εφικτό, αντιπαραβολή της υπάρχουσας κατάστασης, με παλαιό φωτογραφικό ή σχεδιαστικό υλικό προκειμένου να γίνει επαναφορά των λίθων στην αρχική τους θέση. Η εργασία αυτή πρέπει να πραγματοποιηθεί μόνο όπου δεν υπάρχει αμφιβολία για την ορθότητα της διόρθωσης αυτής. Η στερέωση των λίθων αυτών θα πραγματοποιηθεί με το ίδιο κονίαμα όπως περιγράφεται παραπάνω στην πρόταση 3.
 6. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει απώλεια μέρους του συνδετικού υλικού ή του εδάφους κάτω από τους λίθους προτείνεται η συμπλήρωση με το ίδιο υλικό όπως και στην πρόταση 3 με την διαφορά πως μπορεί επικουρικά και για την μεγαλύτερη αντοχή σε δύναμη αλλά και στον χρόνο, να γίνει εφαρμογή δύο διαδοχικών στρωμάτων εδαφικού κονιάματος με την χρήση υαλοπλέγματος κατασκευών μοτίβων 10X10mm ενδιάμεσα.
 7. Οι λίθοι οι οποίοι έχουν αποκολληθεί ήδη από την λιθοδομή και βρίσκονται στο έδαφος θα πρέπει να καταγραφούν φωτογραφικά ή και σχεδιαστικά, πριν από, ή παράλληλα, από την έναρξη οποιασδήποτε από τις παρακάτω εργασίες και να αριθμηθούν και να καταδειχθούν επάνω στο φωτογραφικό ή σχεδιαστικό υλικό ώστε να γίνει προσπάθεια σε δεύτερη φάση να τοποθετηθούν στην αρχική τους θέση.
- Όσον αφορά την μεθοδολογία εδαφικού κονιάματος πραγματοποιήθηκαν το 2009 τα εξής:
- Αρχικά πρέπει να κοσκινιστούν τα υλικά με κόσκινα κατάλληλου ανοίγματος οπής.
 - Οι ζυγισμένες ποσότητες των υλικών να αναδευτούν χειροκίνητα και να τοποθετηθούν σε ξηρό μέρος μέχρι τη χρήση τους. Η προσθήκη του τσιμέντου και η εκ νέου ανάδευση και μίξη με τα άλλα υλικά, θα γίνει λίγο πριν την προσθήκη νερού.
 - Η προσθήκη του νερού να πραγματοποιηθεί τμηματικά μέχρι τη δημιουργία μιας εύπλαστης, μαλακής και σταθερής μάζας.
 - Η εφαρμογή του κονιάματος να γίνει με τα χέρια στα σημεία που πρέπει, αφού προηγηθεί προσεκτική διαβροχή της επιφάνειας που θα εφαρμοστούν.
 - Η συμπίεση του υλικού μετά την αρχική ξήρανση να πραγματοποιηθεί με εργαλεία χειρός(μεταλλικές σπάτουλες).Αυτό θα βοηθήσει στην ενδυνάμωση του υλικού.
 - Για την εξομάλυνση της επιφάνειας και την αισθητικά απόδοση 'χωμάτινης' υφής να γίνει αφαίρεση του λεπτόκοκκου υλικού επιφανειακά, επίσης με εργαλεία χειρός, ώστε να διορθωθεί το ανάγλυφο της επέμβασης που με την συμπίεση έχει λειανθεί.
 - Μετά την ολοκλήρωση των επεμβάσεων οι περιοχές στις οποίες εφαρμόστηκε το αργιλοκονίαμα να καλυφθούν με βρεγμένες λινάτσες, οι οποίες στην συνέχεια να σκεπαστούν με νάilon και να διατηρηθούν υγρές για 10 μέρες προκειμένου να εξασφαλιστεί η σωστή πήξη του κονιάματος.
- Όσον αφορά την κατάσταση διατήρησης των επιχρισμάτων:

Τα επιχρίσματα είναι τοποθετημένα στην επιφάνεια των λιθοδομών και σώζονται τμηματικά. Η κακή κατάσταση διατήρησης των λιθοδομών που αποτελεί το υποστήριγμα των επιχρισμάτων επιφέρει φθορές και στα επιχρίσματα. Οι παράγοντες φθοράς όπως και στην περίπτωση των λιθοδομών είναι οι ίδιοι δηλαδή τα όμβρια ύδατα ατμοσφαιρικοί ρύποι και η ανάπτυξη της χλωρίδας. Οι φθορές που έχουν προκληθεί είναι:

1. Επικαθήσεις ρύπων στην επιφάνεια του επιχρίσματος
2. Παρουσία διαλυτών και αδιάλυτων αλάτων στην επιφάνεια του επιχρίσματος
3. Βιολογική προσβολή, μικροοργανισμοί
4. Αποκόλληση υποστρώματος από το υποστήριγμα
5. Απώλειες κονιάματος
6. Τμηματική σαθροποίηση κονιαμάτων

Όσον αφορά τις προτεινόμενες σωστικές επεμβάσεις συντήρησης των επιχρισμάτων πραγματοποιήθηκε :

- Περιμετρική συγκράτηση των ορίων των επιχρισμάτων

Για την προστασία των κατεστραμμένων ορίων των επιχρισμάτων και για την σφράγιση των ρωγμών πρέπει να παρασκευαστεί κονίαμα που θα έχει καλή πρόσφυση με το υποστήριγμα, καλή συνεκτικότητα και συνάφεια με τις ιδιότητες των αυθεντικών υλικών κατασκευής και μέτρια μηχανική αντοχή λόγω της επιβάρυνσης από τις καιρικές συνθήκες. Για τους παραπάνω λόγους η προτεινόμενη σύσταση του κονιάματος είναι η εξής:

- 100γρ. κονιάς υδραυλική άσβεστο NHL3.5 (Chaux Blanche)
- 400γρ. αδρανών(ασβεστολιθική άμμος, ποταμίσις άμμος, κεραμάλευρο)
- Απιονισμένο νερό

Τα αδρανή ,ασβεστολιθική άμμος, ποταμίσις άμμος, κεραμάλευρο θα είναι κατάλληλης διαβάθμισης και χρώματος ώστε να δοθεί μια ουδέτερη απόχρωση στο παρασκευαζόμενο κονίαμα. Η επιλογή του χρώματος του κονιάματος θα γίνει κατόπιν δειγμάτων.

Όσον αφορά την στερέωση των έντονα αποκολλημένων τμημάτων του υποστρώματος με το υποστήριγμα, καθώς και η πλήρωση των κενών στην εσωτερική δομή του επιχρίσματος θα πραγματοποιηθούν με την εφαρμογή ενέματος. Παρακάτω προτείνονται οι αναλογίες του ενέσιμου κονιάματος:

- 100γρ υδραυλική άσβεστος NHL3.5 (Chaux Blanche)
- 25γρ. ποζολάνη (Θηραϊκή Γη)
- 25γρ. λεπτόκοκκα αδρανή
- 2 γρ. γλυκονικό νάτριο
- Απιονισμένο νερό ανάλογα τη ρευστότητα ανά περιοχή εφαρμογής.

Κατά την διάρκεια της επέμβασης θα πραγματοποιηθεί ελεγχόμενη μηχανική πίεση τοπικά με συστήματα εφαρμογής πίεσης (κόντρες). Ανάμεσα στα σημεία επαφής των μηχανισμών και των επιφανειών των επιχρισμάτων θα παρεμβάλλονται αφρώδη μαλακά υλικά και μεμβράνη πολυεστέρα τύπου Melinex.Οι επιφάνειες ανάλογα την περίπτωση και την κατάσταση διατήρησης μπορεί να σπλιστούν με βαμβακερό ύφασμα αραιής ύφανσης με υλικό συγκόλλησης Paraloid B72». (Παναγοπούλου & Παπαϊωάννου, 2009). Η φωτογραφική τεκμηρίωση των σωστικών μέτρων απεικονίζεται στην Εικόνα 2.18.



Κατάσταση διατήρησης του επιχρίσματος.

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Κατάσταση διατήρησης της στρωματογραφίας του επιχρίσματος

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



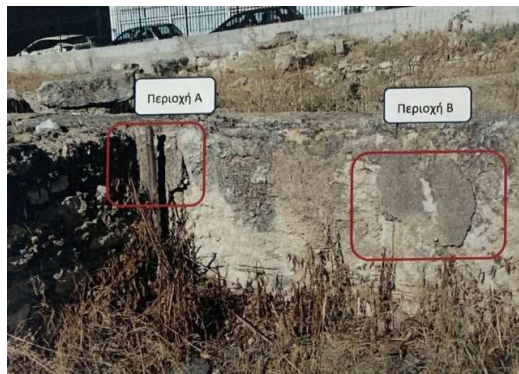
Κατάσταση Διατήρησης Επιχρισμάτων

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Κατάσταση Διατήρησης Επιχρισμάτων

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Κατάσταση Διατήρησης επιχρίσματος

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Λεπτομέρεια περιοχής Α, κατάσταση διατήρησης της στρωματογραφίας. (αριστερά). Λεπτομέρεια περιοχής Β, αποκόλληση επιχρίσματος. (δεξιά).

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Αποκόλληση επιχρίσματος.

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Λεπτομέρεια αποκόλλησης επιχρίσματος.

Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων

Εικόνα 2.18. Φωτογραφική τεκμηρίωση σωστικών μέτρων.

3. Αρχιτεκτονική

3.1. Γενικές παρατηρήσεις

Στην κλασική περίοδο ο αρχαίος ελληνικός οικισμός ήταν ένα οχυρωμένο οικοδομικό σύνολο που είχε ως προορισμό να καλύπτει συλλογικές ανάγκες των κατοίκων: αμυντικές, οικιστικές, κοινωνικό-πολιτικές και οικονομικές (Λάββας, 2002). Το οικιστικό σύνολο αποτελούνταν από τείχη, ιερά οικοδομήματα, αγορά με τα δημόσια κτήρια και τους ελεύθερους χώρους, κατοικίες. Όπως γράφει ο καθηγητής Γ. Λάββας, η αρχαία ελληνική πόλη της κλασικής περιόδου αποτελούσε το παράδειγμα της ανθρωποκεντρικής αναφοράς, παρέχοντας στους κατοίκους της όχι μόνο τη δυνατότητα εποπτείας του συνόλου αλλά και της λειτουργικότητας, για την άμεση επικοινωνία τους χωρίς τη βοήθεια των μεταφορικών μέσων. Οι προτάσεις των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων (Πλάτωνα, Αριστοτέλη), του ιστορικού Ξενοφώντα και του, κατά δύο γενιές αρχαιότερου, Ιππόδαμου του Μιλήσιου για το ιδεώδες μέγεθος του πληθυσμού μιας πόλης κυμαινόταν μεταξύ 5.000 έως 10.000 κατοίκων. Η έκταση ενός μέσου σε μέγεθος οικισμού δεν θα ξεπερνούσε τα 180 εκτάρια (1 εκτάριο ισούται με 10 στρέμματα).

Μεγάλη αλλαγή της κλασικής περιόδου υπήρξε ο κανονικός σχηματισμός των πόλεων με βάση σχέδιο, αντί της μέχρι τότε δυναμικής, αυθόρμητης εξέλιξης. Οι πόλεις με σχέδιο αποτελούσαν, σύμφωνα με τον Tomlinson, «μία εξαιρετικά τολμηρή καινοτομία» (Tomlinson, 2005 Κωνσταντίνου, 2019).

Από την άλλη, η αρχιτεκτονική την περίοδο των Ρωμαίων ήταν από την αρχή ως το τέλος μια τέχνη διαμόρφωσης του χώρου με βάση την τυπολογία. Βασιζόταν στην οργάνωση και στην ωφελιμότητα δίνοντας όμως ευκαιρίες για αισθητικά αποτελέσματα. Σε μια τέτοια χρηστική αρχιτεκτονική οι τοπικές κουλτούρες και τα διαθέσιμα τοπικά υλικά έπαιζαν σημαντικό ρόλο και οι μέθοδοι με τις οποίες χρησιμοποιούνταν προκάλεσε κάποιες από τις ουσιαστικές ιδιότητές της.

Η ρωμαϊκή αρχιτεκτονική αποτελεί συνδυασμό αρχιτεκτονικών στοιχείων από τους διάφορους λαούς που κατέκτησαν τα οποία συνένωναν δημιουργώντας μια δική τους αρχιτεκτονική. Μέσα σε αυτό το μείγμα αρχιτεκτονικών στοιχείων, οι Ρωμαίοι δανείστηκαν κι πρόσθεσαν περισσότερα στοιχεία από τους προκατόχους τους. Από τους Ετρούσκους πήραν στοιχεία που αφορούσαν την πολεοδομία, την τοιχοποιία και την τοξωτή ασπίδα, ενώ από τους Έλληνες πήραν τους αρχιτεκτονικούς ρυθμούς, κυρίως τον κορινθιακό συνδυασμένο με ιωνικά στοιχεία, και αρχιτεκτονικούς τύπους όπως κατοικία με αίθριο κτλ.

Ήταν μια εποχή στην οποία η Ρωμαίοι είχαν την τάση δημιουργίας έργων μεγάλης κλίμακας που εξυπηρετούσε τις ανάγκες των πολιτών και του κράτους, ενώ ταυτόχρονα εξέφραζαν και το μεγαλείο της Ρώμης. Τα έργα αυτά είχαν ως σκοπό να εξυπηρετήσουν μεγάλο αριθμό ατόμων, για αυτό και τα ελληνικά ιδεώδη του μέτρου και της αρμονίας παραγκωνίστηκαν. Η ποιότητα επισκιάστηκε από την ποσότητα με μοναδικό σκοπό την δημιουργία κολοσσιαίων έργων χωρίς την κλασική, ελληνική προσωπικότητα. (Μπούρας, 1999).

Τα ρωμαϊκά έργα μεγάλης κλίμακας περιλάμβαναν δρόμους, συστήματα αποχέτευσης, υδραγωγεία, γέφυρες, συγκροτήματα κατοικιών και πληθώρα δημόσιων κτιρίων, επισκιάζοντας τους ναούς και άλλους θρησκευτικούς χώρους, που κατείχαν ιδιαίτερη θέση στην ελληνική αρχιτεκτονική. (Hopour-Fleming, 1998). Η ρωμαϊκή αρχιτεκτονική δεν ήταν κατεξοχήν δημιούργημα των Ρωμαίων, οι Ετρούσκοι και οι Έλληνες συνέβαλαν κατά κύριο λόγο στη διαμόρφωσή της. Τα έργα, όμως, με ωφελμιστικό χαρακτήρα ήταν καθαρά δημιούργημα των Ρωμαίων (Tablot, 1953).

Η επικράτηση των χυτών τοιχοποιιών και θόλων, με όλα τα επακόλουθα στον τομέα των μορφολογιών και των υλικών είναι χαρακτηριστική μιας εποχής που είχε ως πρωταρχικό στόχο την εξυπηρέτηση των μαζών και παράλληλα τη μείωση της δαπάνης και σε δεύτερο επίπεδο την καλλιτεχνική δημιουργία. Αυτό διακρίνεται καθαρά στα μεγάλα τεχνικά έργα, όπως είναι οι γέφυρες και τα υδραγωγεία. Παράλληλα, όμως πρέπει να τονιστεί η θετική συμβολή των Ρωμαίων στη δημιουργία εσωτερικού χώρου (Κωνσταντίνου, 2019).

Συμπερασματικά, στον Πειραιά το κάθε οικοδομικό τετράγωνο το αποτελούσαν οκτώ ίδια σπίτια 250⁷ τετραγωνικών μέτρων το καθένα. Ο πυρήνας των μακρόστενων οικοπέδων ήταν μια αυλή νότια της οποίας βρίσκονταν δύο μικρά δωμάτια, και βόρεια από αυτήν δύο μεγάλες αίθουσες καθεμία με τον προθάλαμό της. Ο κύριος χώρος της κατοικίας ήταν η εστία, που πάντα ήταν αναμμένη. Για να διασφαλιστεί η λειτουργία αυτή στο χώρο αυτό υπήρχε ψηλό ταβάνι, δημιουργώντας πάνω από το διπλανό χώρο έναν όροφο με δωμάτιο και θάλαμο. Ο ανδρώνας, επίσης σημαντικός χώρος της κατοικίας, ήταν σχεδιασμένος για να χωράει επτά ανάκλιτρα. Στο χώρο αυτό συζητούνταν θέματα που αφορούσαν την πολιτεία, ενώ ο ανδρώνας ως θεσμός ενίσχυε την τάση για καταξίωση της ύπαρξης του πολίτη μέσα από τη δημόσια ζωή. Η ομοιομορφία όλων των κατοικιών του Πειραιά, αποδεικνύει την ισότητα των πολιτών. Οι περισσότεροι εύποροι δεν επιδίωκαν να κατοικούν σε μεγαλύτερο και περισσότερο πολυτελές σπίτι από τους άλλους (Σχήμα 3.1) (Μαυρίκη, 2011).

⁷ Το μέτρο που ισχύει ακόμα και σήμερα υπήρξε καθοριστικό για ολόκληρη την Κλασική περίοδο (Ζάννιο Πειραματικό Λύκειο Πειραιά ' Ιπποδάμειο Πολεοδομικό Σύστημα' Ερευνητική εργασία Πηγή <http://zanneiolykeio.gr/wp-content/project/ippodameio.pdf>).



A: ανδρώνας L: καταστήματα NR: βοηθητικό δωμάτιο VR: προθάλαμος V: αποθήκη προμηθειών

Σχήμα 3.1. Κατόψεις κατοικιών. Πηγή: Μαυρίκη, 2011.

Την έβδομη δεκαετία του 5ου π.Χ. αι. έμοιαζε με «σύγχρονη συνοικία οικιών σε παράταξη», σύμφωνα με τον Hoerfner. Ο Hoerfner ερμηνεύει το γεγονός των πανομοιότυπων κατοικιών του Πειραιά ως ένα τρόπο για την ενίσχυση του κοινωνικού συνόλου, για την καταξίωση της ύπαρξης του πολίτη μέσα από τη δημόσια ζωή: «Οι ιστορικοί απορρίπτουν κάθε συσχετισμό με κοινωνικές ιδεολογίες σοσιαλιστικού τύπου, που θα είχαν στόχο την ισότητα των πολιτών σε κάθε επίπεδο, ισχυριζόμενοι ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις για κάτι τέτοιο εκείνη την εποχή. Αυτό είναι ασφαλώς σωστό, και η αιτία πρέπει να αναζητηθεί αλλού» (Hoerfner, 2004).

3.2. Δομικά υλικά

Κατά την κλασική περίοδο (480 π.Χ. έως το 323 π.Χ.), ο ψημένος πηλός, είχε μεγάλη εφαρμογή, καθώς χρησιμοποιούνταν όχι μόνο σε κεραμίδια, αλλά και σε στοιχεία επενδύσεως των ξύλινων μερών, σε μετόπες και σε επίκρανα παραστάδων. Στα κλασικά χρόνια συνεχιζόταν η ευρεία χρήση του οπτού πηλού σε κεραμίδια, υδρορροές, πηλοσωλήνες, ανθήμια, καθώς και σε αλλά ευπαθή στην υγρασία αρχιτεκτονικά μέλη. Ο άψητος πηλός εφαρμοζόταν πολύ κυρίως σε τείχη, αλλά και σε σπίτια και κτίρια με δευτερεύουσα σημασία. Εκτός από αυτά τα δύο βασικά οικοδομικά υλικά, σημαντική ήταν και η χρήση των πετρωμάτων στα μεταγενέστερα χρόνια. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε ο παρόλιθος και ο ασβεστόλιθος, ενώ στη συνέχεια, μετά τον 6ο αιώνα, κυριάρχησε το μάρμαρο στη γλυπτική και στη ζωγραφική κυρίως διακόσμηση του οικοδομήματος, ιδιαίτερα σε σημεία που ήταν εκτεθειμένα στην υγρασία (Θεοδώρου et al., 2012).

Κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους (30 π.Χ. έως το 324 π.Χ.), γινόταν ευρεία χρήση πολλών δομικών υλικών. Οι Ρωμαίοι έχοντας δανειστεί αρχιτεκτονικά στοιχεία από Έλληνες και Ετρούσκους συνέχισαν να χρησιμοποιούν και τα βασικά δομικά υλικά που χρησιμοποιούσαν οι λαοί αυτοί. Στην συνέχεια, οι ίδιοι, προσέθεσαν νέα υλικά φθάνοντας στο σημείο να κατασκευάζουν οικοδομήματα μεγάλης κλίμακας, όπως ο αρχαιολογικός χώρος της πλατείας Τερψιθέας, με ιδιαίτερα ρωμαϊκά γνωρίσματα τα οποία κατασκευάστηκαν με χρήση των, επίσης νέων οικοδομικών τεχνικών που εφηύραν. Τα ρωμαϊκά δομικά υλικά μπορούν να διαχωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες στα φυσικά και τα συνθετικά. Τα κύρια φυσικά υλικά ήταν τα πετρώματα, οι λίθοι, τα μάρμαρα, τα μέταλλα και το ξύλο, ενώ τα συνθετικά ήταν οι πλίνθοι και τα κονιάματα (Ulrich & Quenemoen, 2014, pp160). Τα πιο διαδεδομένο υλικό δόμησης των πρώτων ρωμαϊκών χρόνων ήταν οι λίθοι, οι οποίοι προέρχονται από την επεξεργασία πετρωμάτων. Τα πετρώματα χωρίζονται ανάλογα με την σκληρότητα τους σε μαλακά, σε ημίσκληρα και σε σκληρά, ενώ παράλληλα χωρίζονταν και σε μικρότερες κατηγορίες ανάλογα με το χρώμα τους (κόκκινα, μαύρα, λευκά) (Λέφας, 1996, σελ. 133). Βασική αντίθεση των Ρωμαίων με τους Έλληνες προκατόχους τους, οι οποίοι δομούσαν εν ξηρό, ήταν η χρήση κονιαμάτων και χυτών μειγμάτων. Τα κονιάματα πρωτοεμφανίστηκαν στα τέλη του 3^{ου} με αρχές 2^{ου} αιώνα π.Κ.Ε. και διακρίνονταν σε ασβεστοκονιάματα και σε υδραυλικά κονιάματα, ενώ η χρήση τους ήταν πολύ διαδεδομένη σε ολόκληρη τη Ρωμαϊκή επικράτεια. Ταυτόχρονα διαδεδομένη ήταν και η χρήση χυτών μιγμάτων καθώς η γρήγορη και εύκολη εφαρμογή τους βοηθούσε στην ταχεία ανέγερση των κρατικών έργων. Τα κονιάματα είχαν ως βάση τον ασβέστη και αναμιγνύονταν είτε με άμμο, είτε με ηφαιστειακή τέφρα τύπου θηραϊκής γης(ποζολάνη) και χρησιμοποιούνταν ως συνδετικά, για να δέσουν την τοιχοποιία και να καλύψουν τα κενά ανάμεσα στα άλλα οικοδομικά υλικά ή ως επιχρίσματα. Στα μείγματα ασβέστης-άμμου και ασβέστη – ποζολάνης πρόσθεταν πολλές φορές και άλλα αδρανή υλικά σε μικρότερες ποσότητες, όπως χαλίκια και θρυμματισμένα κεραμικά με αποτέλεσμα την δημιουργία κονιαμάτων σε διάφορες αποχρώσεις (Ulrich & Quenemoen, 2014). Ήδη από τους πρώτους αιώνες μ.Κ.Ε. παρατηρούνται πιο σύνθετα κονιάματα με την ανάμειξη του ασβέστη, τόσο με άμμο, όσο και ποζολάνη, και την προσθήκη κεραμιδόσκονης. Ο ασβέστης προερχόταν συνήθως από καμένα λευκό πέτρωμα, ασβέστη ή τραβερτίνη και μπορούσε να είναι είτε σκληρός και κατάλληλος για δέσιμο των υλικών, είτε μαλακός και κατάλληλος για επιχρίσματα. (Λέφας, 1996). Η άμμος διακρινόταν σε ορυκτή άμμο, άμμο θαλάσσης, άμμο από ποτάμι και σε άμμο από προερχόμενη από μέρη με χαλίκια. Η ορυκτή άμμος θεωρείτο η καταλληλότερη για δομικές κατασκευές λόγω της ιδιότητας της να στεγνώνει γρήγορα και διαχωριζόταν σε μαύρη υπόλευκη, κόκκινη και σε λιγνίτη σε σκόνη . (Λέφας, 1996). Η ηφαιστειακή τέφρα τύπου θηραϊκής γης ήταν ένα φυσικό είδος κονιάς. Με την ανάμειξη της με τον ασβέστη και μικρότερες πέτρες μπορούσε να δημιουργηθεί πολύ ισχυρό κονίαμα, το οποίο είχε την δυνατότητα να στεγνώνει μέσα στο νερό (Λέφας, 1996). Για αυτό το λόγο, η χρήση της γινόταν κυρίως σε υδραυλικά κονιάματα για δεξαμενές νερού και λουτρά.

Είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι, οι λίθοι προέρχονταν από την κατεργασία πετρωμάτων, τα οποία εξορύσσονται από λατομεία που κατασκευάζονταν ειδικά για την ανάγκη αυτή. Από τα μαλακά πετρώματα παράγονταν λίθοι εύκολα κατεργάσιμοι, που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε εσωτερικούς χώρους ή ως φέροντα στοιχεία. Η χρήση τους σε εξωτερικούς χώρους ήταν μηδαμινή καθώς, πιθανή βροχή ή έκθεση τους στην υπερβολική ζέστη, προκαλούσε ρηγματώσεις. Αντίθετα, από τα σκληρά πετρώματα παράγονταν σκληροί λίθοι, οι οποίοι είχαν μεγάλη αντοχή στις καιρικές συνθήκες, αλλά δεν άντεχαν στην φωτιά. (Λέφας, 1996, σελ. 133). Για αυτούς τους λόγους όσοι λίθοι προορίζονταν για κτίσιμο, έπρεπε να λατομούνται δύο χρόνια πριν, και συγκεκριμένα το καλοκαίρι, και να τοποθετούνται στα θεμέλια, ενώ οι υπόλοιποι χρησιμοποιούνταν κανονικά για κτίσιμο. (Λέφας, 1996, σελ. 134). Τα βότσαλα της θάλασσας ή του ποταμού αποτελούσαν το ιδανικό υλικό για δόμηση λόγω του μεγέθους και της κανονικότητας τους, αλλά η στρογγυλότητα τους σήμαινε ότι δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κονίαμα (Adam, 1994, pp21). Γενικά η ρωμαϊκή αρχιτεκτονική

χαρακτηριζόταν από την εκτεταμένη χρήση λίθων. Οι λίθοι χρησιμοποιούνταν μόνο στην ευρύτερη περιοχή από την οποία εξάγονταν και για την κατασκευή τοιχοποιιών (Adam,1994).

3.3. Πολεοδομική οργάνωση των κατοικιών στον Πειραιά

Η έννοια της σχεδιασμένης πόλης έχει την απαρχή της γύρω στο 466 π. Χ., όταν ο αρχιτέκτονας Ιππόδαμος σχεδίασε τη γενέτειρά του Μίλητο, την οποία είχαν προηγουμένως καταστρέψει οι Πέρσες. Το σχέδιο χαρακτηριζόταν από γεωμετρικότητα, με σύστημα δρόμων παράλληλων και κάθετων μεταξύ τους. Το σύστημα που εισηγήθηκε ο Ιππόδαμος για τον τόπο της καταγωγής του και εφαρμόστηκε στη Μίλητο έλαβε το όνομά του, «ιπποδάμειο», και επρόκειτο να διαμορφώνει κατά περιόδους την πόλη από την αρχαιότητα μέχρι τα χρόνια του εποικισμού της δύσης. Ο Ιππόδαμος δεν ήταν ο εφευρέτης του σχεδίου που πρότεινε την οργάνωση του χώρου της πόλης με ένα οδικό δίκτυο αποτελούμενο από παράλληλες και κάθετες αρτηρίες, αφού αυτό εφαρμόστηκε νωρίτερα σε ελληνικές αποικίες της Ιταλίας, όπως στη Νεάπολη και ακόμα παλαιότερα στη Μ. Ασία, την Αίγυπτο, τη Μέση Ανατολή κ.α. Ωστόσο ήταν αυτός που το καθιέρωσε, κυρίως για τις νέες πόλεις της εποχής, οι οποίες διαφοροποιήθηκαν από τις παλαιότερες, κτισμένες με αυθόρμητη εξέλιξη. Το ιπποδάμειο σύστημα χρησίμευσε ως υπόδειγμα για όλες τις ελληνικές πόλεις που οικοδομήθηκαν από τον 5ο αι. και μετά. Επισημαίνεται ότι γενική αρχή του ιπποδάμειου συστήματος δεν ήταν μόνο η εφαρμογή γεωμετρικού συστήματος διάταξης των δρόμων, αλλά και η λειτουργική οργάνωση της πόλης.

Ο Πειραιάς ανοικοδομήθηκε μετά το 460 π.Χ., με πολεοδομικό σχέδιο, πάνω στα σχέδια του Ιππόδαμου από τη Μίλητο.⁸ Βασίζονταν στη χάραξη παράλληλων δρόμων, που τέμνονται κάθετα, ώστε να δημιουργούνται οικοδομικά τετράγωνα, χαραγμένα με ακρίβεια, που χωρίζονταν σε οικόπεδα ίσου εμβαδού (Φαβέων, 2015) (Εικόνα 3.1.).

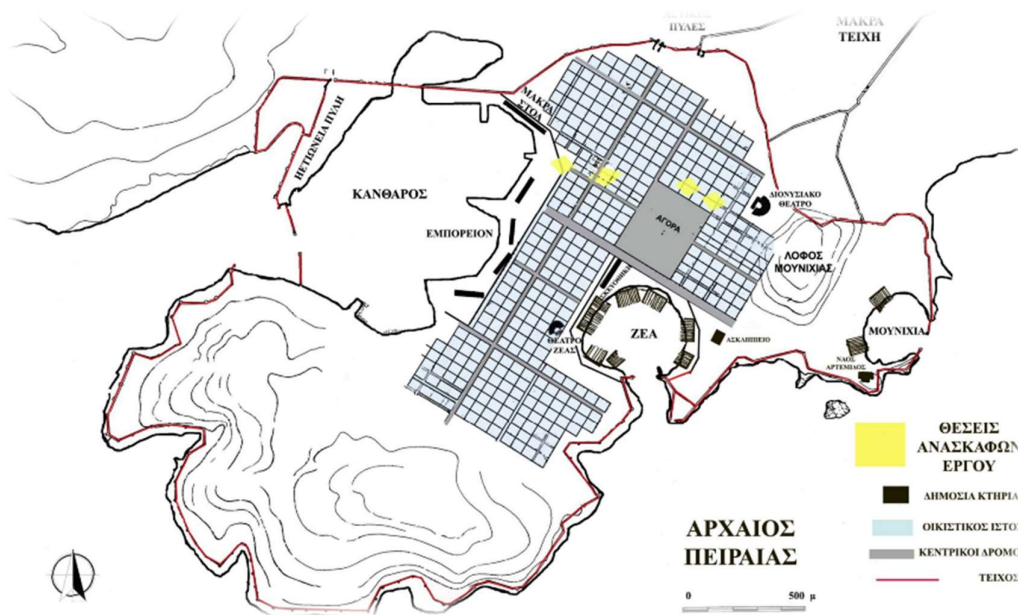


Εικόνα 3.1. Αρχαίος Πειραιάς με έκταση 1.0 km² Πηγή: Mamassis et al., 2015.

⁸ Ο Ιππόδαμος ο Μιλήσιος εφάρμοσε στον Πειραιά το γνωστό Ιπποδάμειο σύστημα με τους παράλληλους και κάθετους δρόμους. Κυρίως οφείλεται σε αυτόν η οργάνωση των εμπορικών και πολεμικών λιμανιών και η δημιουργία μιας σύγχρονης πόλης από άποψη κυκλοφορίας και κατανομής στον ελεύθερο χώρο των διαφόρων λειτουργιών και εγκαταστάσεων, όπως ναύσταθμων, αγορών, ιερών, δημόσιων κτιρίων, ιδιωτικών κατοικιών κλπ. Οι δρόμοι έχουν κατεύθυνση από τα νότια προς τα βόρεια με μία μικρή κλίση προς τα δυτικά. Ο εμπνευστής του συστήματος, Ιππόδαμος, γεννήθηκε το 498 π.Χ. στη Μίλητο και πέθανε το 408 π.Χ. Σπούδασε αρχιτεκτονική και αστρονομία και είναι ο πρώτος που συνέλαβε «την πόλεων διαίρεσιν», δηλαδή την αναγκαιότητα πολεοδομικού σχεδίου. (Λουκίδης,2022)

Η πολεοδομική οργάνωση του αρχαίου Πειραιά, του μοναδικού με βεβαιότητα αποδιδόμενου και σωζόμενου έργου του Ιπποδάμου του Μιλησίου, αποτελεί ένα από τα θέματα που από ετών απασχολούν την έρευνα, και έναν-το σπουδαιότερο ίσως στόχο της ανασκαφικής έρευνας σήμερα. Είναι ευτύχημα για την έρευνα ότι τα ερείπια της αρχαίας πόλης του Πειραιά, ειδικά αυτά που σώζονται σε μεγάλη έκταση ώστε να επιτρέπουν την αποκατάσταση του πολεοδομικού σχεδίου, προσφέρουν μια μοναδική τεκμηρίωση του έργου του μεγάλου αυτού δημιουργού, που αλλιώς θα παρέμενε ένα μεγάλο αλλά κενό όνομα (Αξιώτη,2003).

Η απόπειρα αποκατάστασης του πολεοδομικού ιστού του αρχαίου Πειραιά από τους Hoerpfner και Schwandner (Hoerpfner & Schwandner,1994), με βάση τα δεδομένα της παλαιότερης ανασκαφής του Δημοτικού Θεάτρου και νεότερων ανασκαφών της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας, συνίστατο στην εφαρμογή πάνω στον αρχαιολογικό χάρτη ενός σχήματος απλών μαθηματικών αναλογιών, σύμφωνα με το οποίο ο οικιστικός χώρος του Πειραιά μοιράστηκε σε οικοδομικά τετράγωνα. διαστάσεων 160 × 14 ποδών (δηλαδή αναλογία 6 προς 7), τα οποία αποτελούνταν από 8 οικοπέδα σε δύο σειρές των 4 οικοπέδων (σε αναλογία 2 προς 1).Ομάδες 5X7 οικοδομικών τετραγώνων αποτελούνταν από συνοικίες (Εικόνα 3.2).

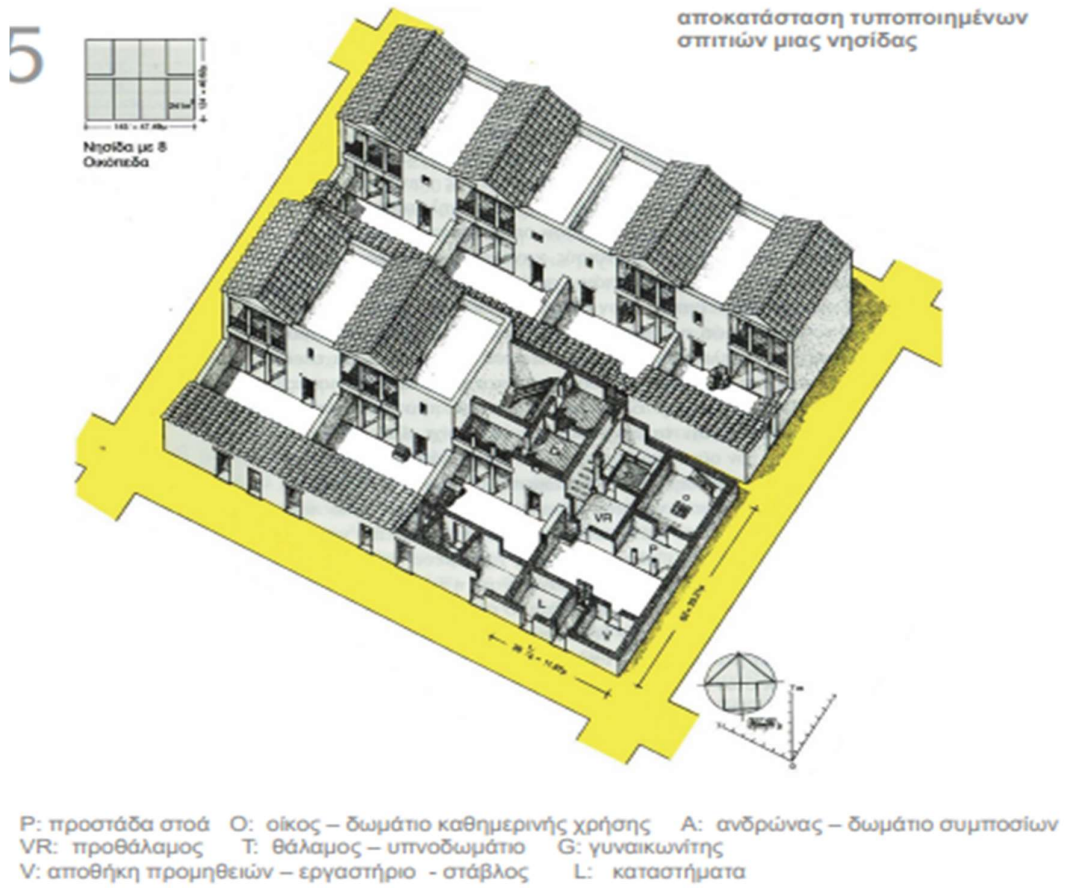


Εικόνα 3.2. Χάραξη παράλληλων δρόμων που τέμνονται κάθετα δημιουργώντας «οικοδομικά τετράγωνα». Πηγή: Πέππας, χ.χ.

Τα οικοδομικά τετράγωνα και τις συνοικίες χώριζαν δρόμοι διαφορετικού, ανάλογα διαβαθμισμένου πλάτους : οι δρόμοι που όριζαν οικοδομικά τετράγωνα και εξυπηρετούσαν την κυκλοφορία μεταξύ τους είχαν κατά μέσον όρο πλάτος 5,20 μ. Ο μέσος όρος του πλάτους των κεντρικών δρόμων που όριζαν τις συνοικίες ήταν 8,20 μ. Οι πλατείες οδοί, με ένα πλάτος 15μ. ήταν οι κεντρικοί οδικοί άξονες που όριζαν τους βασικούς τομείς της πόλης, όπως το εμπόριο, ο ναύσταθμος και η αγορά, και τους συνέδεαν μεταξύ τους και με τις εισόδους της πόλης (Αξιώτη, 2009).

Η αρχή της ισονομίας που κυριάρχησε στη σχεδίαση της πόλεως είχε ως συνέπεια την επιβολή ενός συγκεκριμένου προτύπου σπιτιού: είχαν ομοιόμορφη κάτοψη και διαφοροποιούνταν μόνο σε σχέση με τη θέση τους στο οικοδομικό τετράγωνο. Ανθρωπογενείς καταστροφές αλλά και μεγάλα οικοδομικά προγράμματα ανοικοδόμησης διαφοροποίησαν την εικόνα. Από τον 3^ο αι. π.Χ. έχουμε πολυτελέστερα σπίτια που προκύπτουν από τη συνένωση

περισσότερων από ένα οικοπέδων, ενώ κατά τη ρωμαϊκή περίοδο χτίστηκαν πλούσιες ρωμαϊκές επαύλεις με περίστυλο αίθριο (Φαβέων, 2015) (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3. Νησίδα με 8 οικόπεδα αναπαράσταση κατοικιών. Πηγή: Μαυρίκη, 2011

4. Πετρώματα –Παράγοντες Ποικιλομορφίας-Στοιχεία για την Γεωλογία της Πειραιϊκής Χερσονήσου

4.1. Γενικές παρατηρήσεις

Τα πετρώματα είναι τα βασικά υλικά του στερεού φλοιού της γης και τα πρωτογενή δομικά υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Αποτελούνται από ένα ή περισσότερα ορυκτά, χαμηλής ή υψηλής καθαρότητας και τα οποία της προσδίδουν χαρακτηριστικές φυσικοχημικές ιδιότητες. Πέτρα είναι το κατεργασμένο από τον άνθρωπο πέτρωμα. Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι :

- Ορυκτολογική σύνθεση. Όσο ευκρινέστερη είναι η διάκριση των συστατικών (ορυκτών), τόσο εμφανέστερες είναι οι διαφορές στη συμπεριφορά τους.
- Ο ιστός. Δηλαδή ο προσανατολισμός στο χώρο των ορυκτών συστατικών, είτε πρόκειται για κρυστάλλους ή θραύσματα.
- Η υφή. Η γεωμετρική διεύθυνση των συστατικών κόκκων.
- Η μακροδομή σχηματισμού της γεωλογικής μάζας. Αφορά στα μακροχαρακτηριστικά της γεωλογικής μάζας του πετρώματος, όπως η διάταξη των πετρωμάτων, η σχιστότητα, οι πτυχές, η λατυποπαγής ανάπτυξη και άλλα.
- Το χρώμα τους. Οφείλεται κυρίως σε οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου και του μαγνησίου, ενώσεις του θείου, του αργιλίου, και του χαλκού αλλά και διάφορες οργανικές προσμίξεις. Δεν αποτελεί κριτήριο της ποιότητας ενός πετρώματος. Παρέχει ένα αδρό κριτήριο για τον αρχικό ποιοτικό προσδιορισμό των ορυκτών.(Βλαχοκόστα,2011)

Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση την γεωλογική διεργασία από την οποία δημιουργούνται (Winkel,&Springer,1997):

- Πυριγενή
- Ιζηματογενή
- Μεταμορφωμένα

Πυριγενή πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία δημιουργούνται μετά από στερεοποίηση του μάγματος (Λεγάκης, 1997) . Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται βαθυγενή ή πλουτωνίτες, και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία οδηγεί στην δημιουργία μέσο/χονδρόκοκκων κρυστάλλων συχνά ορατών με γυμνό μάτι. Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες και οι γάββροι. Αντίθετα όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα από στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται ηφαιστίτες ή εκρηξιγενή. Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα και σχηματίζονται υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες. Τέτοια πετρώματα είναι ο βασάλτης, και ο ρυόλιθος. Όταν η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, τα πετρώματα ονομάζονται υποηφαιστικά, ενώ όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα φλεβικά πετρώματα (Μοροπούλου&Μπατής, 2016)

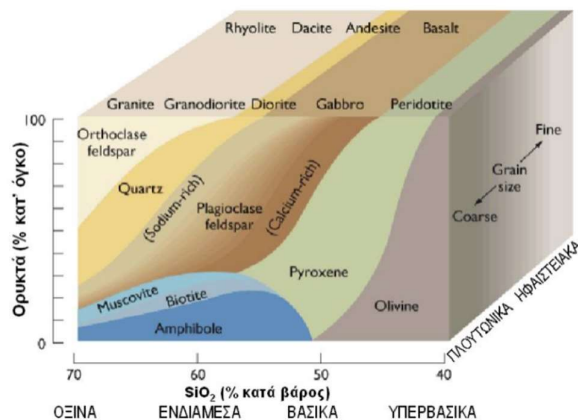
Τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν τους ακόλουθους τύπους ιστών (Winkel,&Springer,1997) :

- Ολοκρυσταλλικός ή γρανιτικός ιστός: Όταν κατά τον σχηματισμό πλουτωνιτών η στερεοποίηση του μάγματος γίνεται με βραδύ ρυθμό, τα ορυκτά κρυσταλλώνονται πλήρως σχηματίζοντας ευμεγέθεις κρυστάλλους, ορατούς με γυμνό μάτι όπως π.χ. ο γρανίτης.

- Υαλώδης ιστός: Στα ηφαιστειακά πετρώματα, η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης και σχηματίζονται υαλώδεις μάζες. Γνωστό παράδειγμα είναι ο οψιδιανός.
- Αφυρικός ιστός: ίδια περίπτωση με την προηγούμενη, για ηφαιστειακά πετρώματα, αλλά αντί για τον σχηματισμό υαλωδών μαζών έχουμε τον σχηματισμό μικροκρυσταλλικών μαζών.
- Πορφυριτικός ιστός: είναι η περίπτωση που μέσα σε υαλώδη ή μικροκρυσταλλική μάζα βρίσκονται μικροί ή μεγάλοι και καλά μορφοποιημένοι κρύσταλλοι, οι οποίοι σχηματίζονται πριν την έκχυση της λάβας και οι οποίοι ονομάζονται φαινοκρύσταλλοι. Η διαφορά των κρυστάλλων είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών συνθηκών κρυστάλλωσης. Τέτοια διαφοροποίηση στην κρυστάλλωση μπορεί να οφείλεται για παράδειγμα σε επανατήξη του γρανίτη και ανάπτυξη μεγάλων κρυστάλλων, ή σε κρυστάλλωση σε δύο στάδια, το πρώτο αργά σε μεγάλα βάθη και το δεύτερο απότομα με μετατόπιση του μάγματος, ή διάβρωση των υπερκείμενων πετρωμάτων.
- Πηγματικός ιστός: Η κρυσταλλική μάζα είναι συνήθως χονδρόκοκκη σε φλέβες και ρηγματώσεις του όγκου του πετρώματος, παρόλο που έχει συμβεί ταχεία κρυστάλλωση. Παρόλο που η ύπαρξη τέτοιων φλεβών θεωρείται διακοσμητική, επιφέρει αρκετά προβλήματα γιατί ευνοεί τον διαχωρισμό των μεγάλων κρυστάλλων αστρία, μαρμαρυγία και αμφιβόλων, ενώ μπορεί να λάβει χώρα και αποκόλληση της φλέβας από τον κύριο όγκο του πετρώματος.
- Απλιτικός ιστός: Εμφανίζεται σε ανοιχτού χρώματος, σακχαροειδούς κοκκοδιαβάθμισης πέτρωμα σε φλέβες, που αποτελείται κυρίως από ανοιχτόχρωμα ορυκτά (αστρίους και χαλαζία) με ταυτόχρονη απουσία σκουρόχρωμων ορυκτών.

Ένας τρόπος ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων (εκτός των ηφαιστειακών) (Σχήμα 4.1) είναι ο χρωματικός δείκτης, Χ.Δ., ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό των έγχρωμων συστατικών του πετρώματος (Σολδάτος & Χριστοφίδης, 2004):

- 0-5% Ολολευκοκρατικά
- 5-35% Λευκοκρατικά
- 36-65% Μεσοκρατικά
- 69-95% Μελανοκρατικά
- 96-199% Ολομελανοκρατικά.



Σχήμα 4.1. Τρόπος ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων

Τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων διακρίνονται σε:

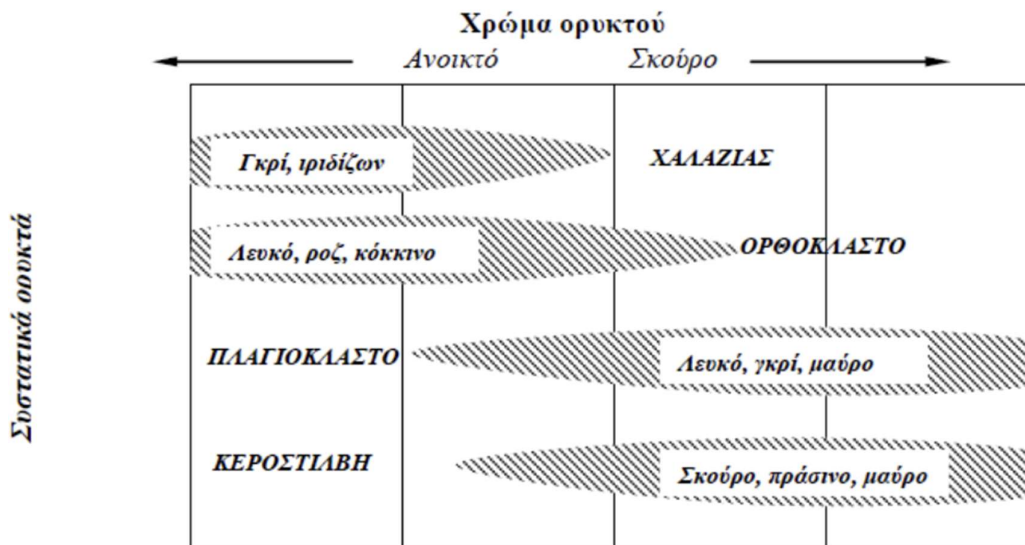
- Έγχρωμα ή φεμικά εξαιτίας του σιδήρου και του μαγνησίου που συνήθως είναι άφθονα σε αυτά τα ορυκτά. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι μαρμαρυγίες και οι αμφίβολοι.
- Λευκά ή σαλικά λόγω της αφθονίας τους σε πυρίτιο και άργιλο. Τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι ο χαλαζίας και οι άστριοι.

Ο βασικότερος τρόπος ταξινόμησης πυριγενών πετρωμάτων είναι ο καθορισμός της σύστασης τους σε χαλαζία, αστριοειδών και η ποσοτική αναλογία αλκαλιούχων αστρίων προς πλαγιόκλαστα, ενώ μια πολύ γενική χημική ταξινόμηση μπορεί να γίνει με βάση το ποσοστό του SiO₂ (Πίνακας 4.1, Σχήμα 4.2) (Μοροπούλου & Μπατής,2016):

- >63% Όξινα
- 63-52% Ενδιάμεσα
- 52-45% Βασικά
- <45% Υπερβασικά

Πίνακας 4.1. Τρόπος ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων

<i>Χονδρόκοκκα</i>	ΓΡΑΝΙΤΗΣ	ΣΥΗΝΙΤΗΣ ΜΟΝΖΟΝΙΤΗΣ	ΔΙΟΡΙΤΗΣ "ΜΑΥΡΟΣ ΓΡΑΝΙΤΗΣ"	ΓΑΒΒΡΟΣ
<i>Λεπτόκοκκα</i>	ΡΥΟΛΙΘΟΣ, ΤΡΑΧΕΙΤΗΣ		ΑΝΔΕΣΙΤΗΣ	ΒΑΣΑΛΤΗΣ
<i>Μικτά</i>	ΓΡΑΝΙΤΗΣ ΑΣΤΡΙΤΗΣ	ΠΟΡΦΥΡΙΤΗΣ	"ΠΟΡΦΥΡΙΤΗΣ"	



Σχήμα 4.2. Απλοποιημένη κατάταξη τυπικών πυριγενών πετρωμάτων, η ορυκτολογική τους σύνθεση και το χρώμα των ορυκτών τους

4.2. Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα δημιουργούνται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (αέρας ή νερό) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν (Λεγάκης, 1997). Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, η διαστρωμάτωση υλικών και τα απολιθώματα που βρίσκονται μέσα στα ιζήματα. Οι διαδικασίες σχηματισμού πετρωμάτων είναι οι ακόλουθες (Σολδάτος & Χριστοφίδης, 2004):

- Διάβρωση και αποσάθρωση: Καταστροφή προϋπάρχοντων πετρωμάτων από φυσικοχημικές και βιολογικές διεργασίες
- Μεταφορά: Τα υλικά αποσάθρωσης μεταφέρονται με τον άνεμο και το νερό σε περιοχές απόθεσης οι οποίες μπορεί να είναι είτε κοντά είτε μακριά από την περιοχή παραγωγής των προϊόντων αποσάθρωσης.
- Απόθεση: Τα υλικά που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση εναποτίθενται σε διαδοχικά στρώματα
- Διαγένεση: διαδικασία μετατροπής ενός χαλαρού ιζήματος σε συμπαγές πέτρωμα με την βοήθεια της πίεσης των υπερκείμενων στρωμάτων και της φυσικής συνδετικής ύλης.

Ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η όλη διαδικασία δημιουργίας των ιζηματογενών πετρωμάτων υπάρχουν τα ακόλουθα (Μοροπούλου & Μπατής, 2016):

- Οργανικά ή βιογενή ιζήματα: Συσσώρευση οργανικής προέλευσης υλικού. Τυπικά πετρώματα αυτού του είδους είναι η τύρφη, ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, ο κοραλλιογενής και ο κελυφογενής.
- Μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα: Συγκέντρωση θραυσμάτων ή φερτών υλικών διαφόρων μεγεθών, σχημάτων, και σύνθεσης, τα οποία είναι προϊόντα της αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του είδους είναι ο ψαμμίτης, τα λατυποπαγή και τα κροκαλοπαγή.
- Χημικά ιζήματα: Απόθεση ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες. Τυπικά πετρώματα αυτού του είδους είναι ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης, ο όνυχας, το ορυκτό άλας και ο γύψος

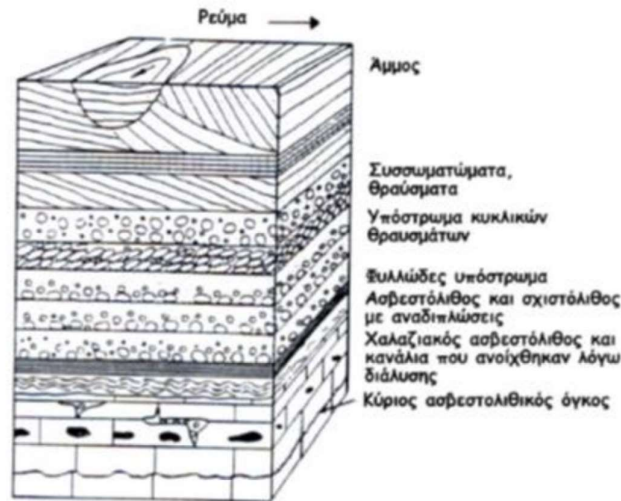
4.3. Κλαστικά ιζήματα

Τα περισσότερα ορυκτά υλικά που περιέχονται στα κλαστικά ιζήματα προέρχονται από πρωτογενή μαγματικά πετρώματα ή την αποσάθρωση με μηχανικές διεργασίες προϋπάρχοντων ιζηματογενών ή μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων (Μοροπούλου & Μπατής, 2016)

Η υφή των κλαστικών ιζημάτων αποτελείται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Μοροπούλου & Μπατής, 2016) :

- Ταξινόμηση: βαθμός ομοιότητάς του μεγέθους των κόκκων που επηρεάζεται από τους μηχανισμούς μεταφοράς.
- Στρογγυλότητα: αντιπροσωπεύει τον βαθμό τριβής των κόκκων (μεγάλη στρογγυλότητα υποδεικνύει ότι ο κόκκος έχει υποστεί μεγάλη τριβή).
- Τάξη: αντιπροσωπεύει την διεύθυνση στον χώρο των κόκκων και σχετίζεται με τα διαστήματα ανάμεσα στους κόκκους

Ο ιστός των κλαστικών ιζημάτων (Σχήμα 4.3) αναφέρεται στον προσανατολισμό των κόκκων και είναι ισοτροπικός ή στρωσιγενής ανάλογα με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας των υλικών (Μοροπούλου & Μπατής, 2016).



Σχήμα 4.3. Ο ιστός των κλαστικών ιζημάτων.

Τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα αποτελούνται από συνδετικό υλικό και κόκκους. Το συνδετικό υλικό προέρχεται από της διάλυση ορυκτών από το νερό. Το διαλυμένο υλικό μεταφέρεται στους πόρους (διάκενα μεταξύ των κόκκων) του κλαστικού ιζήματος και με σταδιακή αφυδάτωση εναποτίθεται άμορφο συνδετικό υλικό μεταξύ των κόκκων, το οποίο στη συνέχεια και με τη διαδικασία γήρανσης κρυσταλλώνεται (Μοροπούλου & Μπατής, 2016).

Η αντοχή και ανθεκτικότητα του λίθου εξαρτάται από την σύνθεση του συνδετικού υλικού και το ποσοστό του όγκου που καταλαμβάνει (Μοροπούλου & Μπατής, 2016) :

- Πυριτικό συνδετικό υλικό: Συνήθως περιέχει λεπτοκρυσταλλικό χαλαζία. Τα πετρώματα με πυριτικό συνδετικό υλικό παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές, ιδιαίτερα όταν πληρωθούν όλοι οι πόροι και δεν δημιουργείται στρώμα αργίλου γύρω από τους κόκκους.
- Ανθρακικό συνδετικό υλικό: Το πλέον διαδεδομένο στα ιζηματογενή πετρώματα με μορφή κυρίως ασβεστίτη και δολομίτη. Παρουσιάζει ικανοποιητική ανθεκτικότητα
- Σιδηροξειδία και υδροξειδία: Συνδετικό υλικό από λειμωνίτη ή αιματίτη. Παρουσιάζει ελάχιστη ανθεκτικότητα.
- Αργίλικό συνδετικό υλικό: Ιδιαίτερα διαδεδομένο. Ικανοποιητική συμπεριφορά σε ξηρά κλίματα και ελάχιστη αντοχή στα υγρά λόγω εξαλλοίωσης, διόγκωσης, κ.α.

Τα κυριότερα ιζηματογενή πετρώματα είναι τα ακόλουθα (Winkel&Springer,1997 ;Λεγάκης,1997; Σολδάτος&Χριστοφίδης, 2004):

- ≈ Κροκαλοπαγή: Συμπαγή πετρώματα που σχηματίζονται από συγκόλληση κροκάλων (αποστρογγυλεμένα θραύσματα πετρωμάτων) διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων που συνδέονται (συχνά ισχυρά)μεταξύ τους με συνδετικό υλικό που αποτελείται από μικρούς κόκκους και άμμο.
- ≈ Λατυποπαγή: Ιζηματογενή πετρώματα από χονδρόκοκκα ή μεσόκοκκα γωνιώδη θραύσματα.
- ≈ Ψαμμίτης: Συμπαγές πέτρωμα που προκύπτει από δια γένεση της άμμου και αποτελείται από κόκκους μεγέθους άμμου, κυρίως χαλαζία, αστρίων, μοσχοβίτη, αλλά συχνά και ασβεστίτη, μαρμαρυγία και κεροστίλβη.

- ≈ Πηλόλιθος: Το αφθονότερο κλαστικό ιζηματογενές πέτρωμα στην επιφάνεια της Γης. Αποτελείται από αργιλικά ορυκτά, χαλαζία, αστρίους, ασβεστίτη και οργανική ύλη. Το μέγεθος των συστατικών του κυμαίνεται από 1/250 έως 1/16 mm.
- ≈ Άργιλος: Κλαστικό ίζημα που αποτελείται κυρίως από ορυκτά της αργίλου (καολίνη, μοντοριλλονίτης, ιλλίτης) και χλωρίτη. Το μέγεθος των κόκκων των ορυκτών είναι μικρότερο των 1/500 mm. Συνήθως η άργιλος έχει χαλαρή έως ημισυμπαγή υφή. Η διαγένεση της αργίλου οδηγεί στη σχιστή άργιλο ενώ η μεταμόρφωση σε αργιλικό σχιστόλιθο.
- ≈ Μάργα: Ιζηματογενής σχηματισμός που χημικά και ορυκτολογικά κυμαίνεται μεταξύ ασβεστόλιθους και αργίλου.

4.4. Χημικά ιζήματα

Τα χημικά ιζήματα είναι το αποτέλεσμα απόθεσης ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες (π.χ. εξάτμιση νερού). Στη φύση η διαφοροποίηση μεταξύ κλαστικών και χημικών ιζημάτων δεν είναι εύκολη. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν συνήθως προσμίξεις ενώ αναμιγνύονται με άργιλο σε διάφορες αναλογίες (Μοροπούλου & Μπατής, 2016). Τα κυριότερα χημικά ιζηματογενή πετρώματα είναι τα ακόλουθα (Winkel, & Springer, 1997; Λεγάκης, 1997; Σολδάτος & Χριστοφίδης, 2004):

- ≈ Ασβεστόλιθος: Ο ασβεστόλιθος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο πέτρωμα στην Ελλάδα και αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (CaCO_3) με λιγότερο από 5% αργιλικές προσμίξεις. Η απόθεση του ασβεστίτη είναι είτε χημική, π.χ. καθίζηση λόγω κορεσμού στο υδατικό διάλυμα, είτε βιογενής από τα σκελετικά στοιχεία ζωικών ή φυτικών οργανισμών. Οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο εύρος χρώματα και σύστασης που εξαρτώνται από την διαδικασία σχηματισμού τους.
- ≈ Δολομίτης: Πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, και σχηματίζεται όταν ένα μέρος Ca του ασβεστίτη αντικατασταθεί από Mg (δολομιτώση). Οι δολομίτες σχηματίστηκαν κατά την Παλαιozoική περίοδο, αντίθετα από τους ασβεστόλιθους που είναι πιο πρόσφατοι. Παρουσιάζουν σακχαροκοκκώδη μορφή και είναι σκληρότεροι, βαρύτεροι και πιο ψαθυροί από τους κλασσικούς ασβεστόλιθους. Υπάρχουν όλα τα ενδιάμεσα πετρώματα μεταξύ ασβεστόλιθου και δολομίτη.
- ≈ Τραβερίτης: Πέτρωμα ανθρακικό, με ανοιχτό, καστανοκίτρινο χρώμα και πορώδη υφή. Είναι προϊόν χημικής ιζηματοποίησης κυρίως σε πηγές. Το πορώδες οφείλεται στην απόθεση CaCO_3 γύρω από φυτικά μέρη (τα οποία απορροφούν CaCO_2 και μειώνουν την διαλυτότητα του στο νερό), τα οποία μετά την αποσύνθεση τους απομακρύνονται και αφήνουν τους πόρους στο πέτρωμα. Στη Β. Ελλάδα τραβερίνες υπάρχουν στην περιοχή της Έδεσσας Νάουσας και Σκρά Κιλκίς. Οι ιταλικοί τραβερίνες από το Τινόλι ήταν συνηθισμένο δομικό υλικό στην αρχαία Ρώμη (Κολοσσαίο, κ.α.)
- ≈ Όνυχας-μάρμαρο (αλάβαστρο): Ανακρυσταλλωμένη ποικιλία τραβερίνη, λεπτόκοκκη και διαφανής με απαλούς τόνους χρώματος (πράσινο, κρεμ, χρυσό-καφέ) που οφείλεται στην ύπαρξη σιδήρου και στους διαφόρους βαθμούς οξειδωσης. Το γεγονός ότι λεπτές τομές του είναι διαφανείς, επέτρεψε την χρήση του όνυχα-μαρμάρου σαν υποκατάστατο υαλοπινάκων, κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου. Για παράδειγμα, τα παράθυρα στον ναό της Αγίας Σοφίας είναι από όνυχα-μάρμαρο.

4.5. Οργανικά ή βιογενή ιζήματα

Τα πιο γνωστά οργανικά ή βιογενή ιζήματα είναι τα εξής (Μοροπούλου & Μπατής, 2016):

- Οργανογενείς ασβεστόλιθοι: Πολλοί θαλάσσιοι οργανισμοί, παραλαμβάνουν από το νερό το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και σχηματίζουν προστατευτικά κελύφη και όστρακα. Με τον θάνατο των οργανισμών αυτών τα ασβεστολιθικά τους μέρη συσσωρεύονται στο πυθμένα και σχηματίζουν ασβεστόλιθους ιδιαίτερων τύπων. Τέτοιοι ασβεστόλιθοι είναι ο κογχυλιογενής και ο κοραλλιογενής ασβεστόλιθος.
- Κιμωλία: Η κιμωλία (κρητίς) είναι λευκό, λεπτομερές, στιφρό, ασβεστολιθικό πέτρωμα που σχηματίζεται από λείψανα τρηματοφόρων. Παρουσιάζει μια σειρά ιδιαίτερων χαρακτηριστικών όπως λευκό χρώμα, υψηλό πορώδες, χαμηλές τιμές αντοχών και εύκολη τριβή.
- Κερατόλιθοι: Οι κερατόλιθοι είναι σκληρά, συμπαγή πετρώματα που αποτελούνται κυρίως από κρυπτοκρυσταλλικό και άμορφο διοξείδιο του πυριτίου ενώ υπάρχουν και ξένες προσμίξεις αιματίτη, ασβεστίτη, και αργιλικών ορυκτών. Οι κερατόλιθοι είναι σχετικά ανθεκτικοί στην φθορά, τουλάχιστον σε σχέση με τον ασβεστόλιθο.

4.6. Μεταμορφωμένα πετρώματα

Μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές χωρίς όμως να υποστούν τήξη (Λεγάκης, 1997; Σολδάτος & Χριστοφίδης, 2004). Τα πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται σε αυξημένες πιέσεις και θερμοκρασίες, και στην δράση θερμών διαλυμάτων και αερίων όταν βρεθούν λόγω γεωλογικών διεργασιών σε μεγάλα βάθη (π.χ. λόγω εναπόθεσης πάνω από αυτά νέων ιζηματογενών πετρωμάτων ή λόγω μετακινήσεων των γεωλογικών πλακών) και ανακρυσταλλώνονται σε πιο σταθερές ορυκτές φάσεις. Αναπτύσσονται έτσι νέα ορυκτά που χημικά προσομοιάζουν το μητρικό υλικό αλλά είναι πιο σταθερά στις νέες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η διαδικασία είναι αργή και συχνά λαμβάνουν χώρα αναδιπλώσεις (λόγω κίνησης των μαζών). Η θερμότητα που οφείλεται στην γειτνίαση με πυριγενείς μάζες, ή στη γεωθερμική δραστηριότητα, επιφέρει πλαστικότητα στα πετρώματα, επιτρέποντας την μοριακή διάχυση από το ένα στρώμα στο άλλο, διαδικασία που διαρκεί εκατομμύρια χρόνια.

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν συνήθως σχιστοφυή ιστό ο οποίος είναι αποτέλεσμα της στρωσιφυούς συγκέντρωσης ορυκτών στα πετρώματα (φυλλόμορφα και ινόμορφα). Τα αρχικά πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα μεταμορφωμένα ονομάζονται πρωτόλιθοι. Όταν οι πρωτόλιθοι είναι πυριγενή πετρώματα το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα ορθο-, ενώ αντίστοιχα όταν οι πρωτόλιθοι είναι ιζηματογενείς το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα παρα-

Σε σχέση με τις αλλαγές στον ιστό, την ορυκτολογική και την χημική σύσταση που υπόκεινται τα μεταμορφωμένα πετρώματα παρουσιάζονται οι ακόλουθες μεταμορφώσεις (Σολδάτος & Χριστοφίδης, 2004):

- Ισοφασική: Μεταβολή μόνο του ιστού του προϋπάρχοντος πετρώματος. Για παράδειγμα, ο γρανίτης (ολοκρυσταλλικός) μεταμορφώνεται σε γνεύσιο (σχιστοφυής) περιέχοντας τα ίδια ορυκτά.
- Αλλοφασική: αλλαγή της ορυκτολογικής σύστασης. Για παράδειγμα η άργιλος (αργιλικά ορυκτά) μεταμορφώνεται σε γνεύσιο (χαλαζίας, άστριοι, μαρμαρυγίες)
- Ισοχημική: η χημική σύσταση του πετρώματος παραμένει η ίδια. Για παράδειγμα, ο ασβεστόλιθος (περιέχει ασβεστίτη) μεταμορφώνεται μέσω ανακρυστάλλωσης του ασβεστίτη σε μάρμαρο (ίδια ορυκτολογική και χημική σύνθεση)
- Αλλοχημική: Αλλαγή της χημικής σύστασης του πετρώματος. Για παράδειγμα μεταμόρφωση ασβεστόλιθου σε skarn (ασβεστοπυριτικά ορυκτά).

Ανάλογα με την ένταση της δράσης των παραγόντων μεταμόρφωσης (πίεση, θερμοκρασία, θερμά διαλύματα και αέρια)υπάρχουν οι ακόλουθοι βαθμοί μεταμόρφωσης:

- Χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση
- Μέσου βαθμού μεταμόρφωση
- Υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης.

Τα κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα εξής(Μοροπούλου&Μπάτης,2016):

- Μάρμαρο: Πρόκειται για μονόμεικτο πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη, προϊόν ανακρυστάλλωσης ασβεστόλιθων. Έχει σκληρότητα 3 κατά Mohs, και ειδικό βάρος 2.7 g/cm^3 . Εκτός από τον ασβεστίτη το μάρμαρο μπορεί να περιέχει δολομίτη, ορυκτό σκληρότερο (3.5-4 κατά Mohs) και βαρύτερο (2.9 g/cm^3). Η παρουσία στο δολομίτη καθιστά την κατεργασία του μαρμάρου πιο δυσχερή και επιταχύνει την φθορά του. Επίσης, πολύ συχνά περιέχει και άλλες προσμίξεις (αιματίτης, σιδηροπυρίτης, κ.α.) που διασχίζουν με την μορφή φλεβών την μάζα του μαρμάρου. Τα μάρμαρα διακρίνονται σε λεπτοκοκκώδη (διάμετρος κρυστάλλου ασβεστίτη $d = 0.01-0.005 \text{ mm}$), μεσοκοκκώδη ($d=0.6-2\text{mm}$) και χονδροκοκκώδη ($d=2-6\text{mm}$) ανάλογα με το μέγεθος των κρυστάλλων του ασβεστίτη. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα στους παράγοντες φθοράς, εξαιτίας της μικροδομής που παρουσιάζει (περίπου 0.3%). Ωστόσο, καταστρέφεται εύκολα από φωτιά όπως και οι κοινοί ασβεστόλιθοι, γιατί περίπου στους 900°C , αποσυντίθεται το ανθρακικό ασβέστιο σε CaO και CO_2 . Το χρώμα του μπορεί να είναι λευκό, γκρι, ροζ ή πράσινο, με διάφορες μπάντες και φλέβες. Τα πιο γνωστά ελληνικά μάρμαρα είναι το μάρμαρο Πάρου και το Πεντελικό μάρμαρο.
- Γνεύσιος: Πέτρωμα με γρανιτική όψη, μεσόκοκκο αλλά με έντονη παράλληλη διεύθετη των κόκκων και συγκέντρωση των ορυκτών σε ζώνες. Χαρακτηρίζεται από έντονη σχιστότητα. Τα κυριότερα συστατικά του είναι χαλαζιάς, αστρίοι και μαρμαρυγίες, αλλά μπορεί να υπάρχουν και άλλα ορυκτά όπως κεροστίλβη, κ.α.. Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε συμπίεση όταν η φόρτιση γίνει κάθετα στον άξονα των κόκκων αλλά στερεί όταν η φόρτιση γίνει παράλληλα με τους κόκκους. Μπορεί να προέλθει είτε από γρανίτη (όρθο-) είτε από αργιλικά πετρώματα (παρα-).
- Σχιστόλιθος: Παρόμοιος με τον γνεύσιο αλλά είναι μικρότερου βαθμού μεταμόρφωσης. Περιέχει μικρότερα ποσοστά αστρίων και χαλαζία, αλλά μεγαλύτερες ποσότητες μαρμαρυγιών και κεροστίλβης. Υπόκειται σε εύκολη διάτμηση με χρήση σχετικά μικρού φορτίου.
- Σερπεντίτης: Συχνά αποκαλείται και σερπεντίτης-μάρμαρο. Αποτελείται από το ορυκτό σερπεντίτη ($\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$), ενώ περιέχει και τάλκη, αμφίβολο και χλωρίτη. Το πέτρωμα έχει πράσινο χρώμα με λευκές φλέβες ασβεστίτη ή ανθρακικού μαγνησίου.

4.7 Παράγοντες Ποικιλομορφίας του Εδάφους της Πειραιϊκής Χερσονήσου

Η ποικιλομορφία του εδάφους της Πειραιϊκής Χερσονήσου οφείλεται στην παρουσία μιας σειράς στοιχείων, τα οποία λειτουργούν ως βασική παράγοντες στην διαμόρφωσή του.

Με τον όρο **Ασβεστόλιθο** εννοούμε το πέτρωμα που για κύριο συστατικό του έχει το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), με την μορφή, κυρίως, Ασβεστίτη, ενώ περιέχει οξειδία και υδροξείδια αργίλου και σιδήρου καθώς και κελύφη και το σκελετό φυτικών και ζωικών οργανισμών. Είναι σύνηθες στα πετρώματα αυτά να συναντάται και **Δολομίτης** ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) με διάφορα ποσοστά, οπότε μιλάμε για Δολομιτικούς Ασβεστόλιθους ή Δολομίτες. Ο ασβεστόλιθος από την Πειραιϊκή Ακτή ανήκει σε αυτή την κατηγορία.

Με τον όρο **Μάρμα** εννοούμε πετρώματα που περιέχουν Ασβεστίτη σε ποσοστό 35-65%, ενώ Αργίλο σε ποσοστό αντίστοιχα, 65-35%. Οι πολύ μαλακές ποιότητες λίθου της Πειραιϊκής Χερσονήσου ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, οι οποίες όμως σε πολλές

περιπτώσεις περιέχουν δολομίτη, κυρίως με την μορφή λεπτών στρώσεων. Γενικά η μάργα είναι γεωλογικό υλικό που ανήκει στην ευρύτερη κατηγορία των αργιλικών ημίβραχων⁹, με ιδιαίτερο χαρακτηριστικό την σημαντική παρουσία ανθρακικών ορυκτών.¹⁰

Η ποικιλομορφία του εδάφους του Πειραιά οφείλεται στην παρουσία μιας σειράς στοιχείων, τα οποία λειτουργούν ως βασικοί παράγοντες στην διαμόρφωσή του. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση των συστατικών αυτών και του τρόπου, με τον οποίο το καθένα συμμετέχει:

- Ασβεστίτης και Άργιλος

Το ποσοστό με το οποίο συμμετέχουν αυτά τα δύο συστατικά σε ένα πέτρωμα, καθορίζει την βασική σύσταση και δομή του. Στον παρακάτω πίνακα (Μπαρδάνης,1997) αναφέρονται τα ποσοστά αυτά και σε ποια κατηγορία κατατάσσεται το κάθε πέτρωμα:

Περιεχόμενα Ποσοστά %		Πετρώματα
CaCO ₃	ΑΡΓΙΛΟΥ	
100-95	0-5	Ασβεστόλιθος
95-80	5-20	Μαργαϊκός Ασβεστόλιθος
80-65	20-35	Ασβεστολιθική Μάργα
65-35	35-65	Μάργα
35-20	65-80	Αργιλούχος Μάργα
20-5	80-95	Μαργαϊκή Άργιλος
5-0	95-100	Σχιστή Άργιλος

- Δολομίτης

Στους τυπικούς ασβεστόλιθους συναντάμε μαγνήσιο (Mg) εγκλεισμένο στους κρυστάλλους του ασβεστίτη¹¹ είτε του δολομίτη CaCO₃*MgCO₃. Αν το ποσοστό του δολομίτη σε έναν ασβεστόλιθο είναι χαμηλό, 5-10% τότε ο λίθος ονομάζεται **Μαγνησιούχος Ασβεστόλιθος**.(Λαμπρόπουλος,1993) Αν το ποσοστό αυτό είναι μεγαλύτερο από 10%, τότε ο Δολομίτης σχηματίζει κρυστάλλους, και το πέτρωμα ονομάζεται **Δολομιτικός Ασβεστόλιθος**¹²

Ο Δολομίτης, σε ένα πέτρωμα υπάρχει ως πρωτογενής, μετά από απευθείας καθίζηση, και ως δευτερογενής, μετά την διέλευση διαλυμάτων πλούσιων σε Mg, στο πέτρωμα και την αντικατάσταση του ασβεστίου. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται Δολομιτώση (Ρογκενμπουγκε&Καραχάλιος, 1994).

Στον πίνακα που προηγήθηκε είναι συγκεντρωμένες ονομασίες που μπορούν να πάρουν οι λίθοι της Πειραιϊκής και που προσδιορίζουν το ποσοστό Αργίλου και ασβεστίτη στο πέτρωμα. Κατά αντίστοιχο τρόπο υπάρχει μια σειρά ονομασιών ανάλογα με το ποσοστό του Δολομίτη στο πέτρωμα :

⁹ Με τον όρο Αργιλικός Ημίβραχος(απόδοση στα ελληνικά του Clay Shales) χαρακτηρίζουμε ένα μεγάλο φάσμα γεωλογικών υλικών που βρίσκεται ανάμεσα στους μαλακούς βράχους και στις σκληρές αργίλους (Καβουνίδης, 1985).

¹⁰ ΠΡΟΣΟΧΗ : Ο όρος Μάργα έχει χρησιμοποιηθεί, γενικά, για τον χαρακτηρισμό του εδάφους του Πειραιά. Έτσι, ο όρος ‘Μάργα του Πειραιά αναφέρεται κατά κύριο λόγο στους ιζηματογενείς μαλακούς βράχους του κατώτερου Πλειόκαινου. Το σύστημα περιλαμβάνει σε εναλλασσόμενες στρώσεις ασβεστιτική μάργα, μαργαϊκός ασβεστόλιθος, ασβεστιτικό ή και μαργαϊκό ψαμμίτη, κροκαλοπαγές, ακόμα δε ιλυόλιθο, κμωλία, άργιλο, αργιλοϊλύ, αμμοϊλύ κτλ. σε λεπτές εν στρώσεις. Στη Μάργα του Πειραιά, από τα ‘συστατικά’ που προαναφέρθηκαν κυριαρχούν η μάργα και ο τα μαργαϊκός ασβεστόλιθος. (Κωστόπουλος, 1985; Σωτηρόπουλος, 1985).

¹¹ Αντικαθιστώντας το Ca²⁺

¹² Εξαιτίας του ότι οι Μάργες είναι και αυτές ασβεστιτικής σύστασης, μπορούμε να αναφερόμαστε και σε δολομιτικές μάργες. Όπως επισημάνθηκε ήδη, οι λίθοι της Πειραιϊκής ανήκουν σε αυτές τις κατηγορίες πετρωμάτων.

Ποσοστό Δολομίτη	Όνομασία Λίθου
0-5%	Ασβεστόλιθος
5-10%	Ασβεστόλιθος Μαγνησιούχος
10-50%	Ασβεστόλιθος Δολομιτικός
50-90%	Δολομιτικός Ασβεστόλιθος
90-100%	Δολομίτης

Ανάλογα βέβαια με τις συστάσεις των πετρωμάτων, είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε συνθετότερα ονόματα, που συνδυάζουν στοιχεία και από τους δύο πίνακες (Μπαρδάνης, 1997).

• Απολιθώματα

Ένας άλλος βασικός παράγοντας για τα πετρώματα της περιοχής είναι η παρουσία απολιθωμάτων. Σημαντικές πληροφορίες για το περιβάλλον στο οποίο δημιουργήθηκε το πέτρωμα και τις συνθήκες γένεσής του, είναι η κατάσταση των απολιθωμάτων. Σχετικά, γίνεται η εξής διάκριση, για το απολιθώμα, με κριτήριο το βαθμό και τη μορφή διατηρήσεως του (Folk, 1961):

- Ολόκληρο, συνδεδεμένο στη θέση ανάπτυξης
- Ολόκληρο, συνδεδεμένο, αλλά όχι στη θέση ανάπτυξης
- Ολόκληρο, αποσυνδεδεμένο
- Σπασμένο σε ποικίλο βαθμό

Τους απολιθωματοφόρους λίθους της Πειραϊκής μπορούμε να τους κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος των απολιθωμάτων:

- Σε αυτούς που το μήκος των απολιθωμάτων είναι της τάξης των 2-4 χιλιοστών και ουσιαστικά μιλάμε για μικρά απολιθώματα, και
- Σε αυτούς που το μήκος των απολιθωμάτων είναι σχετικά μεγάλο, της τάξης του εκατοστού ή και μεγαλύτερο.

Απολιθωματοφόροι λίθοι, υπάρχουν τόσο μαργαϊκής σύστασης, όσο και ασβεστολιθικής¹³, ενώ και για τα δύο αυτά είδη πρέπει να σημειωθεί πως τα απολιθώματα συναντώνται σε πυκνές στρώσεις, σχετικά μεγάλης έκτασης, ή και ως μικρότερες φλεβώσεις, πάλι όμως μεγάλης πυκνότητας.

Είναι καλό σε αυτό το σημείο να αναφερθεί ότι οι διάφορες προσμίξεις που περιέχονται στους ιζηματογενείς λίθους είναι ιδιαίτερος καθοριστικός για την συμπεριφορά και την αντοχή τους στο περιβάλλον. Το συναντάμε στα πετρώματα, με την μορφή φλεβώσεων αλλά και διάσπαρτα στην μάζα τους. Συνήθεις προσμίξεις είναι οι αργυλοπυριτικές, καθώς και τα οξειδία και τα υδροξείδια των μετάλλων. Σε σχέση με ολόκληρο τον λίθο, η διάβρωση στις περιοχές των προσμίξεων είναι κατά κανόνα εντονότερη. Το ποσοστό των προσμίξεων (πάχος και φλεβώσεων) και η πυκνότητα τους στον λίθο καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την συμπεριφορά του λίθου στους παράγοντες διάβρωσης.

Όπως θα δούμε και στη συνέχεια της εργασίας παρουσιάζει μια ποικιλομορφία όσον αφορά τον βαθμό φθοράς του. Το φαινόμενο αυτό καθορίζεται από παράγοντες όπως είναι η ποιότητα του λίθου, η ετερογένεια του υλικού και η θέση στην οποία βρίσκεται ο κάθε λιθοπλίνθος. Χαρακτηριστικό, λοιπόν είναι ο Ακτίτης λίθος είναι σαφώς πιο ανθεκτικός και παρουσιάζει μικρότερο βαθμό διάβρωσης από τον λίθο της Μουνυχίας¹⁴. Ακόμη, λίθοι με

¹³ Μάλλον τα απολιθώματα είναι πιο συχνά στους σκληρούς ασβεστολιθικούς λίθους παρά σε αυτούς με μαργαϊκή σύσταση, κάτι όμως που προκύπτει μόνο από οπτική παρατήρηση και δεν αποτελεί μη αμφισβητήσιμη πληροφορία (Μπαρδάνης, 1997).

¹⁴ Στην Πειραϊκή χερσόνησο συναντάμε πολλά είδη λίθων, λόγω της ποικιλομορφίας του εδάφους. Συμβατικά όμως μπορούμε να κάνουμε διάκριση δύο βασικών κατηγοριών. Αυτές είναι: 1) οι σκληροί λίθοι, ασβεστολιθικής σύστασης, που συναντώνται κυρίως στην περιοχή της Ακτής και 2) οι μαλακοί λίθοι, μαργαϊκής - αργιλικής σύστασης, που βρίσκονται κυρίως στην περιοχή της

διαφορές στην σύσταση και τον αριθμό των προσμίξεων-φλεβώσεων, παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά απέναντι στους παράγοντες διάβρωσης. Όλα τα δομικά υλικά παρουσιάζουν συνεχή συμπτώματα φθοράς ως αποτέλεσμα της έκθεσης τους στην ατμόσφαιρα. Η φθορά αυτή είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών μηχανικών και βιολογικών παραγόντων και εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και από την φύση του ίδιου του υλικού. Τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα είναι περίπλοκα και συνήθως αλληλεξαρτώμενα καθώς είναι τόσοι πολλοί οι παράγοντες που υπεισέρχονται για τον καθορισμό τους. Από την επίσκεψη στον αρχαιολογικό χώρο διαπιστώθηκε ότι η διάβρωση των λίθων εμφανίζεται με την μορφή εκτεταμένων και ακανόνιστων αποσαθρώσεων που οδηγεί σε σημαντική απώλεια υλικού και σταδιακά, σε σοβαρή αλλοίωση της μορφής των λίθων αυτών. Οι φθορές που θα αναλυθούν εκτεταμένα παρακάτω σχετίζονται τόσο με το είδος του λίθου καθώς και με τις μεταβαλλόμενες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας αλλά και με άλλους παράγοντες που θα αναλυθούν ενδελεχώς στη συνέχεια (Μπαρδάνης, 1997).

4.8. Στοιχεία για τη Γεωλογία της Πειραιϊκής Χερσονήσου

Το έδαφος της Πειραιϊκής Χερσονήσου κατατάσσεται στα ιζηματογενή πετρώματα. Η παρατήρηση της ευρύτερης περιοχής και ο συνυπολογισμός της γενικότερης μορφής του εδάφους με την κλίση που παρουσιάζει και την ύπαρξη του Κηφισού ποταμού εξηγούν-δικαιολογούν αυτόν τον γεωλογικό σχηματισμό.

Ιστορικές πηγές αναφέρονται την ύπαρξη του Πειραιά, αρχικά, ως νησιού. Η άποψη αυτή είχε διατυπωθεί στην αρχαιότητα. Μάλιστα πίστευαν από εκείνα τα χρόνια πως το όνομα Πειραιάς προέρχεται από το 'πέραν', που σημαίνει αντικρινή στεριά ή ακόμα αναφέρεται και στο πρόσωπο αντίκρυ. Έτσι ολόκληρη η περιοχή μεταξύ Ν. Φαλήρου, Β.Α. Καστέλας, και του «Κωφού Λιμένος» ήταν καλυμμένη από θάλασσα. Η θάλασσα αυτή ζώνη (λιμνοθάλασσα) ονομαζόταν στην αρχαιότητα Αλίπεδον, και έφτανε μέχρι την περιοχή του Άγιου Ιωάννη Ρέντη, χωρίζοντας έτσι την Πειραιϊκή από την υπόλοιπη Αττική (Χαραλαμπάκης, 1952).

Σχετικά με την ενοποίηση της Πειραιϊκής με την Αττική, ο Πλούταρχος γράφει πως την εποχή του Κίμωνα έγινε πρόσχωση της λιμνοθάλασσας, με χαλίκια και ογκόλιθους, ώστε να εξυπηρετηθεί η οικοδόμηση των «Μακρών Τειχών». Χωρίς να μπορούμε να αμφισβητήσουμε αυτή την πληροφορία και να αγνοήσουμε την σημασία της ενέργειας αυτής στην εξέλιξη της μορφολογίας της περιοχής, φανταζόμαστε πως ιδιαίτερο ρόλο, θα διαδραμάτισαν ο Κηφισός καθώς και άλλοι χείμαρροι της περιοχής, οι οποίοι, μεταφέροντας αποθέτοντας υλικό, συνέβαλαν στην πρόσχωση της θάλασσας και την τελική ενοποίηση της νήσου και της ηπειρωτικής γης. Τέλος, σημαντικός παράγοντας στην διαδικασία αυτή πρέπει να ήταν οι ανοδικές ηπειρωτικές κινήσεις, που πραγματοποιήθηκαν στο χώρο της Αττικής στους ιστορικούς χρόνους, για τις οποίες όμως δεν μπορούμε να γνωρίζουμε περισσότερες πληροφορίες (Χαραλαμπάκης, 1952).

Η διαδικασία της ιζηματογένεσης και της δημιουργίας τέτοιων πετρωμάτων είναι κάτι που ασφαλώς έλαβε χώρα στην περιοχή της Πειραιϊκής πριν από ένα πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα, στην κλίμακα του γεωλογικού χρόνου. Οι γεωλογικές μελέτες το εντάσσουν στον Καινοζωικό αιώνα στην τριτογενή περίοδο, στην υποπερίοδο του νεογενούς και συγκεκριμένα στο Πλειόκαινο, δηλαδή πρέπει να σχηματίστηκε πριν από 5 έως 2 εκατομμύρια χρόνια. Ηλικιακά το πέτρωμα θεωρείται νέο σε σύγκριση με το σύνολο των 4500 εκατομμυρίων χρόνων, διάστημα στο οποίο εντάσσονται οι τέσσερις γεωλογικοί αιώνες (Μπαρδάνης, 1997).¹⁵

Μουνυχίας(σημερινής Καστέλας). Για τους λίθους της Πειραιϊκής από την αρχαιότητα χρησιμοποιήθηκε ο όρος Ακτίτης λίθος ή Ακτίτης πέτρα. Η ονομασία αυτή προέρχεται ακριβώς, από το όνομα του δυτικού τμήματος της Πειραιϊκής χερσονήσου, της Ακτής. Όπως αναφέρει και ο Wycherley, είναι λογικό, εφόσον στην περιοχή της Ακτής συναντάμε κυρίως τα σκληρά πετρώματα, οι Αθηναίοι τα ονόμαζαν Ακτίτη λίθο από σκληρό ασβεστόλιθο (Wycherley, 1978 Μπαρδάνης, 1997).

¹⁵ Οι τέσσερις γεωλογικοί αιώνες είναι: ο Αρχαϊκός ή Αρχαιοζωϊκός ή Αζωϊκός (4000-245 εκατ. Χρόνια πριν), ο Παλαιοζωϊκός (245-161 εκατ. Χρόνια πριν), ο Μεσοζωϊκός (161-62 εκατ. Χρόνια πριν), ο Καινοζωϊκός (άρχισε πριν 64 εκατ. Χρόνια). (Δεμίρης, χ.χ.).

5. Παθολογία των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων του Αρχαιολογικού Χώρου της Πλατείας Τερψιθέας στον Πειραιά

5.1. Γενικές παρατηρήσεις

Με σκοπό να κατανοήσουμε την σημασία της φθοράς και της διάβρωσης των δομικών υλικών, ένας ορισμός, ο οποίος θεωρείται αποδεκτός από μια σειρά διεθνών οργανισμών, όπως το RILEM, UNESCO και ICOMOS, αναφέρει πως «διάβρωση είναι κάθε αυθόρμητη και κατ' επέκταση βεβιασμένη, χημικής, ηλεκτροχημικής, φυσικής, μηχανικής, βιολογικής φύσης διεργασία αλλοίωσης της επιφάνειας (εξωτερικής και εσωτερικής) των υλικών που οδηγεί σε απώλεια υλικού» (Παπανικολάου, 2016), ενώ «φθορά ορίζεται ως η απομείωση στο χρόνο, των φυσικών-χημικών-μηχανικών ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών, της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής των υλικών (Παπανικολάου, 2016).

Η φθορά των δομικών υλικών είναι μια διεργασία που μπορεί να είναι τόσο βραδεία όσο και τα διάφορα γεωλογικά φαινόμενα, ή τόσο ταχεία. Τα φαινόμενα της φθοράς είναι ποικιλόμορφα, εκδηλώνονται στις διεπιφάνειες περιβάλλοντος-υλικών και είναι συνάρτηση τόσο ενδογενών όσο και εξωγενών παραγόντων (Καραγιάννης, 2017).






5.2. Τύποι φθοράς

Η μακροσκοπική παρατήρηση που πραγματοποιήθηκε στον αρχαιολογικό χώρο της Πλατείας Τερψιθέας, οδηγεί στον εντοπισμό και στην διάκριση των τύπων φθοράς. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι πως σχεδόν ποτέ δεν συναντάμε σε ένα σημείο, μόνο ένα φαινόμενο φθοράς (Σχήμα 5.1). Οι διάφοροι μηχανισμοί της διάβρωσης, που θα προσπαθήσουμε να αναλύσουμε παρακάτω, δρουν παράλληλα. Κατά συνέπεια και τα φαινόμενα που οφείλονται σε αυτούς παρουσιάζονται ταυτόχρονα. Εξάλλου κάθε μηχανισμός είναι δυνατόν να εκφράζεται μέσω περισσότερων από μιας τυπολογίας φθοράς. Η παρατήρηση τους, κάτω από αυτές τις συνθήκες, δεν είναι πάντα εύκολη, εξαιτίας του ότι πολλές φορές τα «συμπτώματα» – ενδείξεις ενός φαινομένου διάβρωσης αλλοιώνονται από αυτά ενός άλλου. Η παράλληλη παρουσία φαινόμενων φθοράς επιτυγχάνει την καταστροφή των λίθων. Τα φαινόμενα αυτά, ουσιαστικά, αλληλοσυνδέονται μεταξύ τους.

Παρακάτω, θα αναλυθούν οι φθορές (Σχήμα 5.2), σύμφωνα με το ICOMOS-ISCS : 'Illustrated glossary on stone deterioration patterns Glossaire illustré sur les formes d'altération de la pierre' (μετάφραση και επιμέλεια στα ελληνικά από Σακκή, 2011).

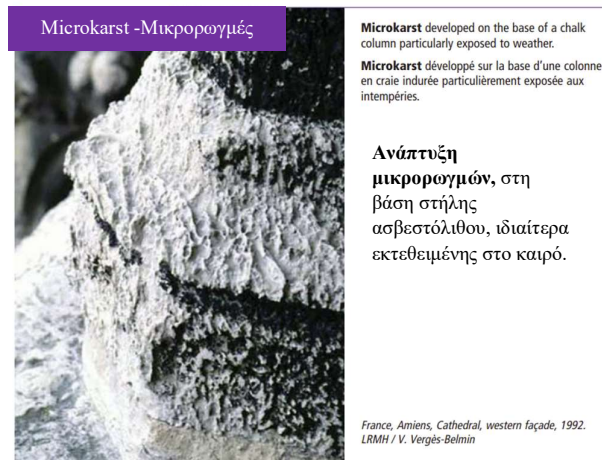
GENERAL TERMS . ΓΕΝΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

ALTERATION . ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ
 DAMAGE . ΒΛΑΒΗ
 DECAY . ΦΘΟΡΑ (ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ)
 DEGRADATION . ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ (ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ)
 DETERIORATION . ΦΘΟΡΑ (ΕΠΙΔΕΙΝΩΣΗ)
 WEATHERING . ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΠΕΡΙΒΑΛΜΟΝΤΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

				
CRACK & DEFORMATION ΡΩΓΜΗ & ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	DETACHMENT ΑΠΟΣΠΑΣΗ	FEATURES INDUCED BY MATERIAL LOSS ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡ. ΠΟΥ ΠΡΟΚΛΗΘΗΚΑΝ ΑΠΟ ΑΠΟΛΕΤΗ ΧΑΛΙΚΟΥ	DISCOLORATION & DEPOSIT ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ & ΙΖΗΜΑ	BIOLOGICAL COLONIZATION ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΙΚΙΣΗ
CRACK . ΡΩΓΜΗ Fracture . Επίσχιση/Θραύση Star crack . Αστροειδής Ρωγμή Hair crack . Τριχοειδής Ρωγμή Crazele . Κρακελάρισμα Splitting . Απόσχιση	BLISTERING . ΦΟΥΣΚΩΜΑ BURSTING . ΔΙΑΡΡΗΣΗ DELAMINATION . ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ Exfoliation . Απολέπιση	ALVEOLIZATION . ΚΥΨΕΛ ΔΙΑΒΡΩΣΗ Coving . Κηρύθρα EROSION . ΔΙΑΒΡΩΣΗ Differential erosion . Διαφορική Διάβρωση Loss . Απώλεια : ■ of components . συστατικών ■ of matrix . μήτρας Rounding . Σφαιρική Διάβρωση Roughening . Τραχεία Διάβρωση	CRUST . ΚΡΟΥΣΤΑ Black crust . Μαύρη Κρούστα Salt crust . Κρούστα από αλάτι DEPOSIT . ΙΖΗΜΑ DISCOLOURATION . ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΟΙΩΣΗ Colouration . Χρωματισμός Bleaching . Αποχρωματισμός Moist area . Υγρή Περιοχή Staining . Λέκασμα	BIOLOGICAL COLONIZATION . ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΑΠΟΙΚΙΣΗ ALGA . ΑΛΓΗ LICHEN . ΛΕΙΧΗΝΕΣ MOSS . ΒΡΥΑ MOULD . ΜΟΥΧΛΑ PLANT . ΦΥΤΑ
DEFORMATION . ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	DISINTEGRATION . ΚΟΚΚΩΔΗΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ Crumbling . Θρυμματισμός Granular disintegration . Αποσάθρωση Υποστρώματος ■ Powdering, Chalking . σε μορφή πούδρας, κιμωλίας ■ Sanding . Αμμιώδης Αποσάθρωση ■ Sugaring . Ζαχαρώδης Αποσάθρωση	MECHANICAL DAMAGE . ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΒΛΑΒΗ Impact damage . Βλάβη λόγω Πράκρουσης Cut . Κόψιμο Scratch . Εκδορά Abrasion . Λείανση Keying . Εσοχές	EFFLORESCENCE . ΕΞΑΝΘΗΣΗ ENCRUSTATION . ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ Concretion . Σύμπτυξη/ Εναπόθεμα	
	FRAGMENTATION . ΚΑΤΑΚΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ Splintering . Διάσχιση/ Απόσχιση Chipping . Θρυμματισμός/ Απόσπαση	MICROKARST . ΜΙΚΡΟΡΩΓΜΕΣ	FILM . ΜΕΜΒΡΑΝΗ GLOSSY ASPECT . ΣΤΙΛΙΓΝΗ ΟΨΗ GRAFFITI . ΓΚΡΑΦΙΤΙ	
	PEELING . ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ SCALING . ΠΕΡΙΜΕΤΡ. ΑΠΟΛΕΠΙΣΗ Flaking . Ξεφλούδισμα Contour scaling . Απολέπιση κατά μήκος	MISSING PART . ΕΛΕΙΨΕΙΣ ΚΟΜΜΑΤΙ Gap . Κενό	PATINA . ΠΑΤΙΝΑ Iron rich patina . Πάτινα πλούσια σε σίδηρο Oxalate patina . Οξάλική Πάτινα	
		PERFORATION . ΔΙΑΤΡΗΣΗ PITTING . ΒΕΛΟΝΙΣΜΟΣ	SOILING . Ακαθαρσία SUBFLORESCENCE . ΚΡΥΠΤΟΕΞΑΝΘΗΣΗ	

Σχήμα 5.1. Τύποι φθοράς.

5.2.1 Crack & Deformation – Ρωγμές & Παραμορφώσεις



Σχήμα 5.2. Θραύση- Διαχωρισμός-Μικρορωγμές.

Ως ρωγή ορίζεται η μεμονωμένη σχισμή, ορατή με γυμνό μάτι, η οποία οφείλεται στο διαχωρισμό του ενός μέρους από το άλλο. Στις συγκριμένες περιπτώσεις, η ρωγή εμφανίζεται με τη μορφή «θραύσης», δηλαδή ρωγμής που σχίζει όλο το κομμάτι του λίθου, καθώς επίσης και με την μορφή «splitting», δηλαδή διαχωρισμού, ο οποίος ορίζεται ως τον διαχωρισμό κατά μήκος των αδύναμων σημείων του λίθου, όπως σημεία με μικρορωγμές ή αργυλοπυριτικά, σε περίπτωση που τα δομικά στοιχεία έχουν κατακόρυφο προσανατολισμό (Σακκή, 2011).

Ρωγμές και διαχωρισμός που παρουσιάζονται σε ανάγλυφες λίθινες επιφάνειες, αποκαλούνται με όρους της γεωλογίας: «άρθρωση», στην περίπτωση που δεν έχει μετατοπιστεί το κομμάτι από την αρχική του θέση και «απώλεια», στην περίπτωση που υπάρχει μετατόπιση. Ρωγμές μπορούν να προκληθούν, λόγω καιρικών συνθηκών, που θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω, ελαττωμάτων του λίθου, στατικών προβλημάτων, οξειδωμένων συνδέσμων, σκληρού κονιάματος σε αρμολόγημα και δονήσεων λόγω σεισμών, φωτιάς ή παγετού.

Πιο συγκεκριμένα όσον αφορά τις :

- Ρωγματώσεις

Πρόκειται για διακοπές της συνέχειας του ιστού του λίθου κάθετα ή οριζόντια. Εμφανίζονται ως:

≈ μεμονωμένες ρωγμές

≈ πλέγμα ρωγμών

(Παπασταματίου ,2007)

Στην εξέλιξη της, μια επιφανειακή ρωγμή μπορεί να οδηγήσει σε ρήγμα ή σε δημιουργία θραυσμάτων, που θα αποχωριστούν και θα καταρρεύσουν (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1. Ρωγματώσεις.

- Ρηγματώσεις

Το ρήγμα έχει μεγάλο εύρος (άνοιγμα), εισχωρεί σε μεγάλο βάθος και εσωτερικά έχει κατεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια. Δημιουργεί συνήθως σοβαρά στατικά προβλήματα, αλλά και δημιουργία μεγάλων ή μικρότερων θραυσμάτων (Εικόνα 5.2) (Παπασταματίου, 2007)



Εικόνα 5.2. Ρηγματώσεις.

- Μικρορωγμές


Ως μικρορωγμές ορίζεται το σύμπλεγμα αλληλένδετων ρωγμών της κλίμακας του χιλιοστού έως εκατοστού, που μερικές φορές μοιάζει με υδρογραφικό δίκτυο. Ο σχηματισμός των μικρορωγμών οφείλεται στη μερική και/ή επιλεκτική διαλυτοποίηση του ασβεστιτικού επιφανειακού στοιχείου που εκτίθεται στα υδάτινα κατακρημνίσματα. (Σακκή, 2011) (Εικόνα 5.3).



Εικόνα 5.3. Μικρορωγμές.

5.2.2. Detachment & Fragmentation – Αποσπάσεις & Κατακερματισμός

Splintering- Αποκόλληση



The **splintering** of this limestone block has resulted in a succession of cupule-like depressions on the stone surface.

Les **esquilles** détachées de ce bloc calcaire laissent une surface affectée de multiples dépressions en forme de cupules.

Η **Αποκόλληση** μικρών τμημάτων από τον ασβεστόλιθο έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαδοχικών κοιλωμάτων στην

Egypt, Karnak temple, block fields, KDC Olching / S. Simon

Εικόνα 5.4. Αποσπάσεις & Κατακερματισμός.

Αποκόλληση, ορίζεται ως το πλήρες ή μερικό σπάσιμο του λίθου σε κομμάτια ποικίλων διαστάσεων που έχουν ακανόνιστο σχήμα, πάχος και όγκο. (Εικόνες 5.4-5.5)

Το υπόστρωμα στις δύο πλευρές του αποκολλημένου τμήματος της επιφάνειας παραμένει φαινομενικά σε καλή κατάσταση. Ο θρυμματισμός μπορεί σε κάποιες περιπτώσεις να επηρεάσει ολόκληρο το λίθινο αντικείμενο με την παρουσία ασυνεχειών στην επιφάνεια του. Επίσης, μπορεί να παρατηρηθεί, όταν οι λίθοι υποβάλλονται σε μεγάλα φορτία.

Οι υποκατηγορίες είναι: (α) η αποκόλληση αιχμηρών, πολύ λεπτών κομματιών από το λίθο τα οποία έχουν διασπαστεί από το κύριο σώμα, (β) το θρυμματίσμα σε μικρά κομμάτια σε μορφή χαλικιού (Σακκή, 2011).



Εικόνα 5.5. Αποκόλληση

5.2.3. Features induced by material loss & Differential erosion – Μορφές Φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού & Διαφορική Διάβρωση



Εικόνα 5.6. Διαφορική Διάβρωση.

Ο όρος αυτός περιλαμβάνει περιπτώσεις που ένας λιθόπλινθος παρουσιάζει διαφορετικούς τρόπους φθοράς εξαιτίας ανομοιογένειας του υλικού του. Στους Πειραιϊκούς λίθους¹⁶ που είναι ετερογενείς, με πολλές στρώσεις ποικίλων υλικών, ο τύπος αυτός διάβρωσης συναντάται σε μεγάλη κλίμακα. (Εικόνα 5.6)

Οι διαφορετικής σκληρότητας στρώσεις των λίθων δεν διαβρώνονται, υπό τις ίδιες συνθήκες, με τον ίδιο τρόπο. Κύριο αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η δημιουργία επιφανειών με έντονο ανάγλυφο. Χαρακτηριστικό τόσο για τον Ακτίτη λίθο¹⁷, όσο και για τον λίθο Μουνυχίας¹⁸ είναι πως τα δολομιτικά στρώματα είναι κάπως ανθεκτικά. Αντιθέτως τα καθαρά ασβεστιτικά και πολύ περισσότερο τα μαργαϊκά, επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις συνθήκες διάβρωσης. Διακρίνουμε λοιπόν, λίθους που τα μαργαϊκά στρώματα έχουν διαβρωθεί κατά αρκετά εκατοστά περισσότερο από τα άλλα. Η διαφορά αυτή ξεπερνά

¹⁶ Αναφέρεται στα πετρώματα της Πειραιϊκής Χερσονήσου, των οποίων η εξόρυξη και χρήση είναι γνωστές από τους αρχαίους χρόνους. (Μπαρδάνης, 1997)

¹⁷ Η ονομασία αυτή προέρχεται κυρίως από το όνομα του δυτικού τμήματος της χερσονήσου, της Ακτής. Το όνομα αυτό αρχικά χαρακτηρίζει ολόκληρη της Αττικής, ενώ αργότερα δόθηκε στην μεγάλη χερσόνησο του Πειραιά, μεταξύ του λιμανιού της Ζέας, και του μεγάλου λιμένας. Ο όρος Ακτίτης λίθος χρησιμοποιείται κυρίως για ασβεστολιθικά πετρώματα και κάποιες φορές χαρακτηρίζει τόσο τα σκληρά ασβεστολιθικά πετρώματα, όσο και τις μαλακές μάργες, ανεξάρτητα με το ποιο μέρος της Πειραιϊκής προέρχονται. (Μπαρδάνης, 1997)

¹⁸ Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για τους μαλακούς μαργαϊκούς λίθους που προέρχονται από την Μουνυχία δηλαδή την σημερινή Καστέλα.

σε πολλές περιπτώσεις και τα πέντε ή και δέκα cm, ενώ η μαργαϊκοί όγκοι, δίχως την παρουσία δολομιτικών στρώσεων, εξαλλοιώνονται σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό.

Ένας άλλος τρόπος εκδήλωσης του φαινομένου είναι, η όχι κατά στρώματα διάβρωση του υλικού που την συναντάμε κυρίως στους λίθους της Μουνηχίας, αλλά ο σχηματισμός μεγάλου ανάγλυφου με την παρουσία κοιλοτήτων και στρογγυλών εξογκωμάτων, φαινόμενο αρκετά χαρακτηριστικό για τον Ακτίτη λίθο (Μπαρδάνης, 1997).

Όπως παρατηρείται και από την παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 5.7), ο όρος διαφορική διάβρωση είναι συνώνυμος με την δημιουργία ανάγλυφου, για παράδειγμα το σχηματισμό ανωμαλιών στην επιφάνεια του λίθου. Μπορεί να εμφανιστεί σαν αποτέλεσμα επιλεκτικής διάβρωσης λόγω αποίκισης από λειχήνες. Συνήθως όμως η διαφορική διάβρωση παρατηρείται σε ιζηματογενείς, ασβεστιτικούς και ηφαιστειογενείς λίθους.



Εικόνα 5.7. Διαφορική διάβρωση.

Peeling – Αποφλοίωση



Peeling linked to salt crystallization at the surface of a magnesian limestone.
Pelage lié à des cristallisations salines à la surface d'un calcaire magnésien.

Portugal, Coimbra, Largo de Santa Clara, 2004. LRMH / Véronique Vergès-Belmin



Αποφλοίωση που συνδέεται με την κρυστάλλωση αλάτων στην επιφάνεια ενός ασβεστόλιθου με μεγάλη περιεκτικότητα σε μαγνήσιο

Εικόνα 5.8. Αποφλοίωση.

Η αποφλοίωση (Εικόνα 5.8) είναι ουσιαστικά η αποκόλληση ή μερική αποσύνδεση του επιφανειακού στρώματος (πάχους της τάξης των χιλιοστών), το οποίο έχει την μορφή ενός φιλμ ή μιας επικάλυψης που έχει εφαρμοστεί στην επιφάνεια του λίθου. Στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 5.9) παρατηρείται αποφλοίωση επιχρίσματος που καλύπτει πλευρά του λίθου από τον περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 5.9. Αποφλοίωση.

Spalling- Αποφλοιώση/Απολέπιση



Some of the flat dimension stones show complete or partial **contour scaling**, which may be called here **spalling**.

Certaines pierres de taille présentent un **contour scaling** partiel ou total. Dans ce cas de pierres à surface plate, on parle aussi de **desquamation en plaque**.

Μερικές από τις επίπεδες πέτρες δείχνουν ολική ή τμηματική κατά μήκος **απολέπιση**, όπου μπορεί εδώ να ονομαστεί και **αποφλοιώση**.

France, Bouzonville (Moselle), abbatial church, 2004. LRMH / J.-D. Mertz

Εικόνα 5.10. Αποφλοιώση/απολέπιση.

Όσον αφορά την αποφλοιώση/απολέπιση, πρόκειται για σχηματισμό απολεπισμάτων – λεπτών φλοιδών στην επιφάνεια του λίθου. Οι φλοιδές αυτές έχουν μειωμένη συνοχή με την υπόλοιπη επιφάνεια (εμφανίζονται ανασηκωμένες) και μικρή μηχανική αντοχή, έτσι θρύβονται εύκολα και καταρρέουν (Εικόνα 5.10-5.11) (Παπασταματίου,2007).

Από την άλλη, η αποσάθρωση (Εικόνα 5.11) προκύπτει όταν ο λίθος θρυμματίζεται και χάνει υλικό. Αυτός ο τύπος φθοράς παρατηρείται στους λίθους της Μουνυχίας, όπου διακρίνουμε απώλεια του μαργαϊκού υλικού, με γρήγορους ρυθμούς.



Εικόνα 5.11. Αποφλοιώση/Απολέπιση/Αποσάθρωση.



Alveolization of a porous limestone.
Alvéolisation sur un calcaire poreux.

Κυψελοειδής Διάβρωση σε πορώδη ασβεστόλιθο.

Malta, Rabat – Gozo, Citadel, 1994. Geol. Inst. Aachen University / B. Fitzner

Εικόνα 5.12. Κυψελοειδής διάβρωση.

Η κυψελοειδής διάβρωση (Εικόνα 5.12) εμφανίζεται με την μορφή οπών σποραδικά ή σε συστάδες. Συνήθως οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών, η ανάπτυξη των οποίων ευνοείται από την αυξημένη υγρασία (Γκόγκου & Κόλιου, 2008). Σημειώνεται ότι η κυψελοειδής φθορά προκαλείται από δύο φαινόμενα διάβρωσης: 1) την αιολική διάβρωση και την 2) διάβρωση που προκαλούν οι μικροοργανισμοί.

Τα φαινόμενα της Αποφλοίωσης, Αποσάθρωσης, Απολέπισης, Κυψελοειδής Διάβρωσης, εμφανίζονται όπως διακρίνεται και από το φωτογραφικό υλικό, σε μεγάλη ένταση και στην πλειονότητα των περιπτώσεων παρατηρείται παράλληλη παρουσία τους (Εικόνα 5.13).



Εικόνες 5.13. Τα φαινόμενα της Αποφλοίωσης, Αποσάθρωσης, Απολέπισης, Κυψελοειδούς Φθοράς, εμφανίζονται σε μεγάλη ένταση και στην πλειονότητα των περιπτώσεων παρατηρείται παράλληλη παρουσία τους.



Εικόνα 5.14. Ζαχαροειδής αποσάθρωση.

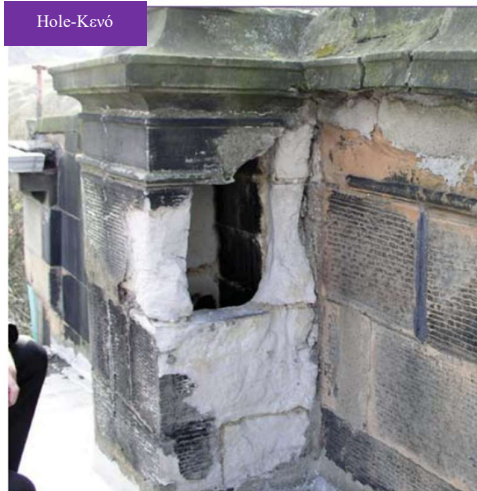
Οι κύριοι ρύποι της ατμόσφαιρας που προκαλούν φθορά, κυρίως στα πέτρινα και μαρμάρινα υλικά είναι το διοξείδιο του άνθρακα, και τα οξείδια του θείου και του αζώτου. Οι ουσίες αυτές, με την επίδραση του νερού, του οξυγόνου, των υδρατμών και της υπερϊώδους ακτινοβολίας, δημιουργούν τα αντίστοιχα οξέα που διαλύουν τα ασβεστολιθικά υλικά. Όταν οι ρύποι αυτοί διαλύονται στο νερό της βροχής δημιουργούν την όξινη βροχή (αίτιο). Τα οξέα (ανθρακικό, θειικό, νιτρικό) αντιδρούν με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και το μετατρέπουν σε όξινο ανθρακικό ασβέστιο.

Όταν εξατμιστεί το νερό, το όξινο ανθρακικό ασβέστιο ανακρυσταλλώνεται και δημιουργείται ο ασβεστίτης ή αρραγωνίτης. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται ως α) ζαχαροποίηση, εκδηλώνεται με απώλεια συνοχής των επιφανειακών κρυστάλλων του υλικού, με συνέπεια την συνεχή πτώση τους υπό μορφή ζάχαρης και έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής και του πάχους των ασβεστολιθικών υλικών (Εικόνα 5.14). Το στρώμα του ανακρυσταλλωμένου ανθρακικού ασβεστίου δεν έχει καλή συνοχή με το ανθρακικό ασβέστιο της κύριας μάζας του υλικού και οδηγεί σε χαλάρωση της κρούστας, που σε συνδυασμό με τη βιολογική δραστηριότητα και τη χαλάρωση των αρμών μπορεί να οδηγήσει σε τοπικές καταρρεύσεις τοιχοποιίας (Μοροπούλου, 2005). Όταν στους πόρους του υλικού γίνεται διάλυση αλάτων, κατά την εξάτμιση του νερού, τα άλατα κρυσταλλώνονται. Οι κρύσταλλοι αυτοί που δημιουργούνται στην επιφάνεια έχουν τη μορφή β) εξανθημάτων (κρούστα αλάτων). Όταν η κρυσταλλοποίηση γίνεται κάτω από την επιφάνεια του υλικού τότε έχουμε υποεπιφανειακή εξάνθιση. Οι εξανθίσεις εμφανίζονται στα όρια υγρής και στεγνής περιοχής ή όπου υπάρχουν ρωγμές (Κουρτή, 2014) (Εικόνα 5.15).



Εικόνα 5.15. Κρούστα αλάτων

5.2.4. Features Induced by Material Loss – Μορφές φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού - Ελλείπον Τμήμα



Chimney structure showing **hole** and loss of sandstone masonry.
Structure d'une cheminée en grès, présentant un **trou** et une large perte de matériau.

Κενό που έχει δημιουργηθεί στην καμινάδα λόγω απώλειας υλικού της ψαμμιτικής τοιχοποιίας.

Edinburgh, Carlton Terrace, 2002. British Geological Survey / E. Hyslop

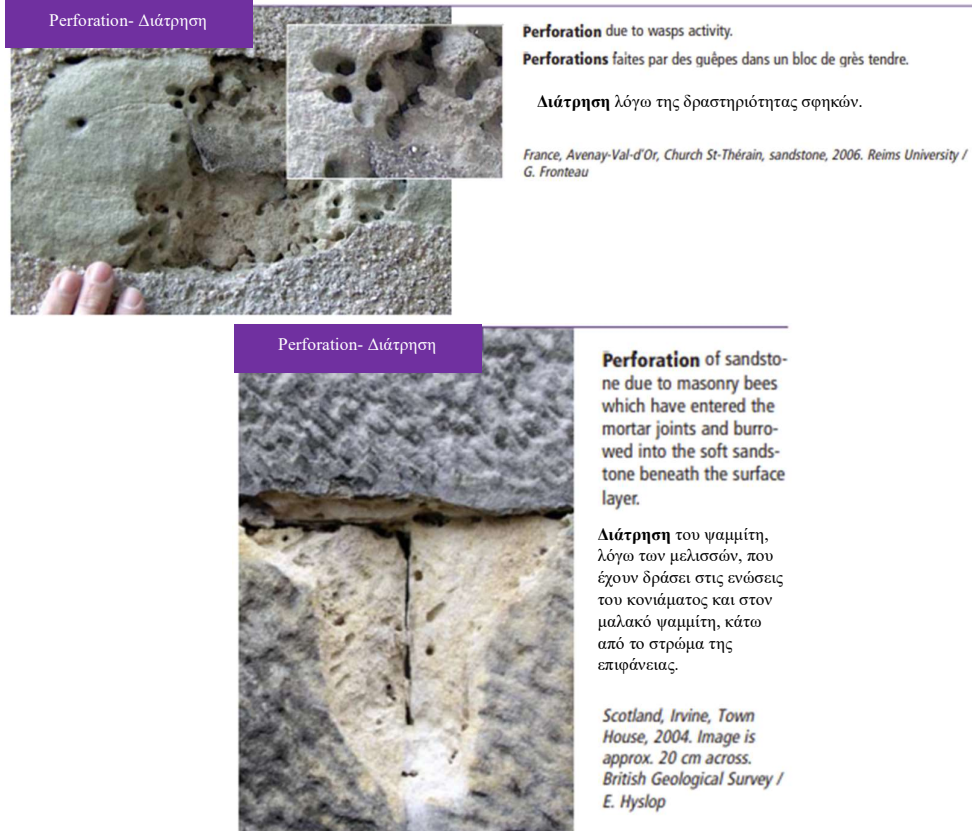
Εικόνα 5.16. Απώλεια υλικού

Στην Εικόνα 5.16. διακρίνεται το κενό που έχει δημιουργηθεί εξαιτίας της απώλειας τμήματος. Στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 5.17) παρατηρείται το ελλείπον τμήμα ή αλλιώς ο κενός χώρος που υπάρχει, στον αρχαιολογικό χώρο. Στην πρώτη περίπτωση, διακρίνεται μεταξύ τοιχοποιίας –επιχρίσματος, ενώ στην δεύτερη περίπτωση μεταξύ λιθόπλινθων.



Εικόνες 5.17. Απώλεια Υλικού –Ελλείπον τμήμα.

5.2.5 Features Induced by Material Loss – Μορφές Φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού



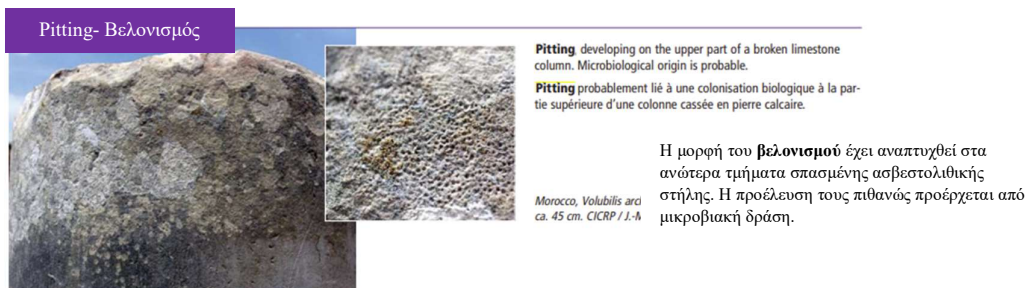
Εικόνα 5.18α. Διάτρηση.

Εμφανίζεται διάτρηση σε περισσότερες ή μια οπές στην επιφάνεια του λίθου, με τρύπες ή κενά που έχουν προκληθεί από αντικείμενο (αιχμηρό) ή από οργανισμό(ζωικό). Γενικά το μέγεθος κυμαίνεται από χιλιοστό έως εκατοστό, οι διατρήσεις είναι βαθύτερες και διαπερνούν το σώμα του λίθου, χωρίς να είναι ευρείς σε πλάτος. (Εικόνα 5.18).

Αυτό το φαινόμενο της διάτρησης, συνδέεται άρρηκτα και με την κυψελοειδής διάβρωση που αναλύθηκε παραπάνω, όπου παρατηρήθηκε σε όλο σχεδόν τον αρχαιολογικό χώρο της Τερπιθέας. (Εικόνα 5.18).



Εικόνα 5.18β. Διάτρηση.



Εικόνα 5.19. Βελονοειδής διάβρωση.

Ο βελονισμός είναι μια διάβρωση που εντάσσεται στο φαινόμενο των μορφών φθοράς που προκλήθηκαν από απώλεια υλικού.(Εικόνα 5.19) Ουσιαστικά είναι σημεία που στην κλίμακα είναι της τάξης του χιλιοστού ή του υπό χιλιοστού (ρηχές κοιλότητες). Κυρίως τα κοιλώματα στις περισσότερες φορές δεν είναι αλληλένδετα, έχουν κυρίως κυλινδρικό ή και κωνικό σχήμα, όμως παρόλο που μπορεί να είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η βελονοειδής διάβρωση οφείλεται στην τμηματική ή επιλεκτική φθορά που μπορεί να προκληθεί από βιογενετική ή χημική δράση, ιδιαίτερα σε λίθους πλούσιους σε άνθρακα. Δηλαδή η διάβρωση σε μορφή βελονισμού μπορεί να είναι αποτέλεσμα σκληρής ή λειαντικής δραστηριότητας μεθόδου καθαρισμού.(Σχήμα5.3)



Σχήμα 5.3. Βελονισμός

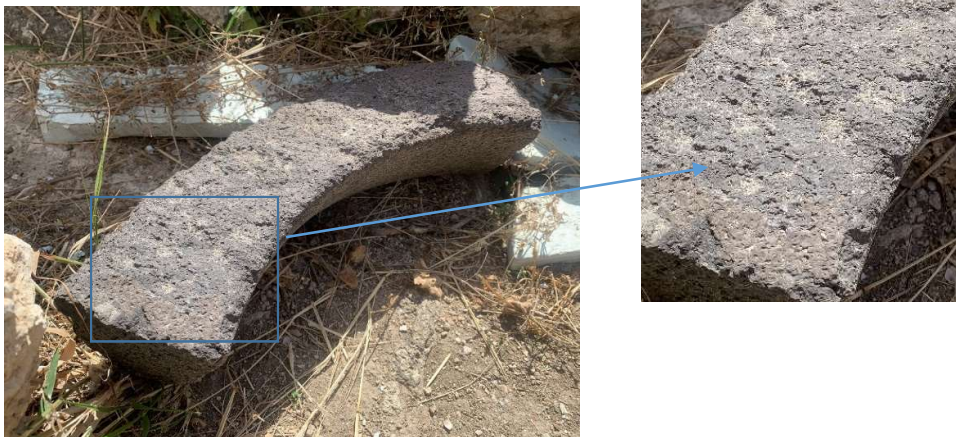
5.2.6 Discoloration & Deposit – Χρωματικές Αλλοιώσεις & Αποθέσεις



Εικόνα 5.20. Χρωματικές αλλοιώσεις και αποθέσεις.

Κρούστες γενικά είναι η απόθεση υλικών στην επιφάνεια. Η κρούστα μπορεί να περιλαμβάνει εξωγενή αποθέματα, σε συνδυασμό με υλικά που προέρχονται από τον λίθο. Συχνά έχει σκούρα χρώματα (**μαύρη κρούστα**), αλλά μπορεί να βρεθεί και σε ανοιχτά χρώματα. Οι κρούστες μπορεί να έχουν ομοιογενές πάχος, το οποίο κατά συνέπεια καλύπτει την επιφάνεια του λίθου, ή ακανόνιστο πάχος, το οποίο παρεμποδίζει την αναγνώριση των λεπτομερειών της επιφάνειας του λίθου. Η κρούστα μπορεί να είναι ασθενώς ή ισχυρά συνδεδεμένη με το υπόστρωμα, σε μερικές περιπτώσεις όμως οι κρούστες όταν αποκοπούν από το υπόστρωμα το παρασέρνουν μαζί τους (Εικόνα 5.20).

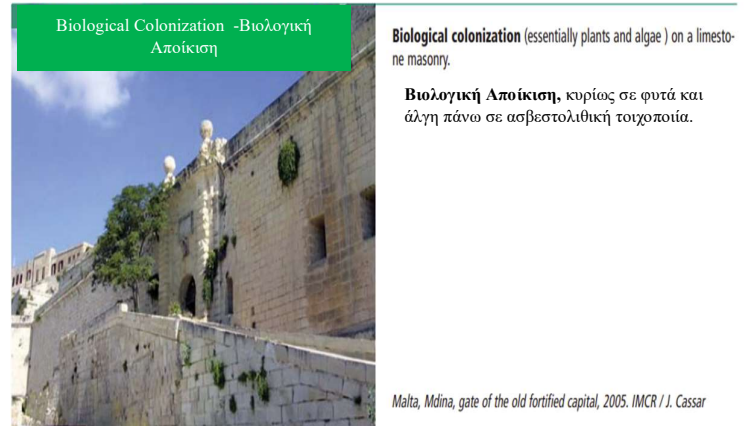
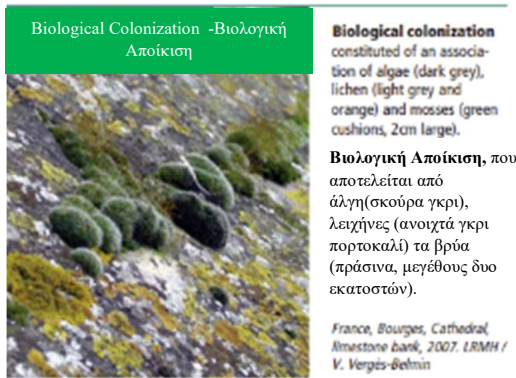
Ένα από τα κύρια υλικά των λίθων του Πειραιά είναι ο ασβεστίτης, τον οποίο και συναντάμε στον αρχαιολογικό χώρο της πλατείας Τερψιθέας. Παράλληλα, ο ασβεστίτης αποτελεί και το κύριο ορυκτό που συμμετέχει και στο φαινόμενο της γυψοποίησης, το οποίο και έχει άμεση σχέση με τον σχηματισμό μαύρων κρουστών. Μια απλή οπτική παρατήρηση του μνημείου μας διαβεβαιώνει για την παρουσία του φαινομένου αυτού. Στους λίθους παρατηρήθηκε βιολογική επικάλυψη μαύρης κρούστας (Εικόνες 5.21) (Παπασταματίου, 2007).

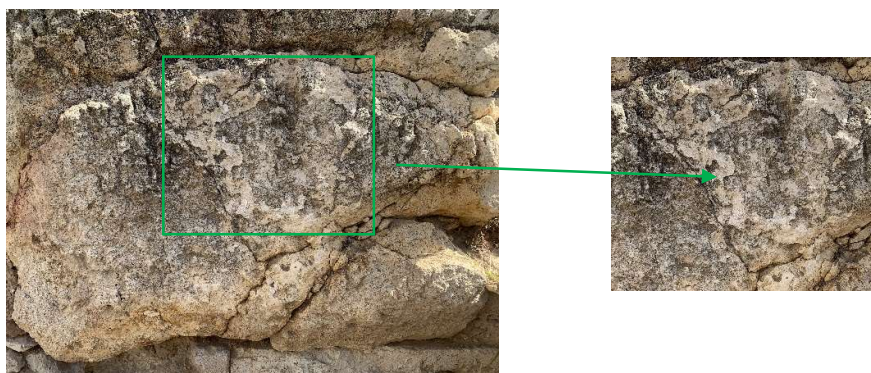


Εικόνα 5.21. Μαύρη Κρούστα

5.2.7. Biological Colonization – Βιολογική Αποίκιση/Βιοδιάβρωση

Η βιοδιάβρωση προκύπτει από την επίδραση βιολογικών παραγόντων σε περιβάλλον με περιορισμένη ρύπανση. Συνοδεύεται από ανάπτυξη ρωγμών, εντόμων, ρηγματώσεων, σπών κοιλοτήτων, κυψελώσεων, αποφλοιώσεων απολεπίσεων κ.α. (Σακκή, 2011). Η βιολογική αποίκιση συνιστά την αποίκιση του λίθου από φυτά ή μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, κυανό-βακτήρια, άλγη, μύκητες και λειχήνες (συμβίωση των τελευταίων τριών) (Εικόνες 5.22-5.23).





Εικόνες 5.22. Βιοσποίκιση – Βιοδιάβρωση.

Στον αρχαιολογικό χώρο παρατηρήθηκαν και λειχήνες που είχαν αναπτύξει μια κρούστα μάζας πάνω στους λίθους. (Εικόνες 5.22)

Οι βιολογικές δράσεις δρουν επίσης με το να δημιουργούν προϊόντα μεταβολισμού, τα οποία είναι οργανικής και ανόργανης φύσης και δρουν διαλυτικά στο υλικό (υπόστρωμα). Στις παρακάτω εικόνες του αρχαιολογικού χώρου παρατηρούνται βιολογικές επικαθίσεις, οι οποίες μοιάζουν με μαύρη κρούστα. (Εικόνες 5.23) Τα άλγη συχνά έχουν σκούρο χρώμα, κατά την διάρκεια της ξηρασίας και μπορούν να μπερδευτούν με τη μαύρη κρούστα. Αντίθετα από την μαύρη κρούστα, τα άλγη δεν προσφύονται στο υπόστρωμα και βρίσκονται σε περιοχές που είναι εκτεθειμένες στις βροχές και στα μονοπάτια νερού. Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά διαφοροποιούν τα άλγη από την μαύρη κρούστα. Η μαύρη κρούστα βιολογικής φύσεως μπορεί να οφείλεται στην ανάπτυξη κυανό-βακτηρίων και λειχήνων (Παπανικολάου, 2016).



Εικόνα 5.23. Βιοδιάβρωση.

Ένας βασικός παράγοντας καταστροφής των λίθων είναι και η φθορά που προκαλούν κυρίως οι ζωικοί οργανισμοί. Χωρίς να είναι εμφανής η ύπαρξη τους και σαφής ο τρόπος δράσης τους, μπορούμε να φανταστούμε μια σειρά εντόμων και μικρών ερπετών που φωλιάζουν στις σχηματισμένες κοιλότητες στους σαθρούς λίθους. Επίσης, περιλαμβάνει ενέργειες άλλων οργανισμών όπως ζώα που φωλιάζουν στους λίθους, πουλιά ή έντομα.

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρατηρείται το φαινόμενο αυτό εφόσον ο αρχαιολογικός χώρος είναι εκτεθειμένος υπάρχει προσβολή από πουλιά, μέσω των περιττωμάτων τους. Όπως διακρίνεται και έντονη προσβολή από μικροοργανισμούς (πχ. αράχνες) στις σχισμές του λίθου (Εικόνα 5.24).



Εικόνα 5.24. Βιοδιάβρωση.

Επομένως, η εναπόθεση του περιττώματων των πτηνών έχει τη δυνατότητα να πυροδοτήσει την βιοαποικοδόμηση στο δομικό υλικό του μνημείου μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών. Οι μηχανισμοί διάβρωσης περιλαμβάνουν τη διεύρυνση ρωγμών και ενωτικών συνδέσμων, από αγγειακά φυτά που προέρχονται από σπόρους στα περιττώματα, και βλάβη από χημικά τους συστατικά (Dyer, 2017, Samara et. al. 2020). Επιπλέον, τα περιττώματα ενδέχεται να λειτουργήσουν ως πηγή θρεπτικών ουσιών για μικροοργανισμούς, οι οποίοι, με τη σειρά τους, να οδηγήσουν σε βιοδιάβρωση μέσω της παραγωγής μεταβολιτών.

Το κόπρανα περιέχουν το κατάλοιπο της οργανικής ύλης που έχει προσλάβει το πτηνό. Μπορεί επίσης να περιέχει θραύσματα ανόργανων ορυκτών-πετραδάκια, που λαμβάνονται για να βοηθήσουν στην πέψη σπόρων και κόκκων. Μία μελέτη ταυτοποίησε άλλα αδιάλυτα άλατα και συγκεκριμένα μέλη της ομάδας του απατίτη ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$) και οξαλικό ασβέστιο. Υπήρχαν επίσης ορισμένα διαλυτά άλατα: αλύτης (NaCl), συλβίτης (KCl), αφθιταλύτης ($(\text{K}, \text{Na})_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$) και λαγκβεϊνιτικό ασβέστιο ($\text{Ca}_2\text{K}_2(\text{SO}_4)_3$). Αυτά τα άλατα υπήρχαν σε σχετικά μικρές ποσότητες.

Το ουρικό οξύ είναι σχεδόν αδιάλυτο και ως εκ τούτου η ικανότητά του να προκαλεί βλάβη μέσω της όξινης λύσης είναι περιορισμένη. Ενώ έχει παρατηρηθεί ότι επαναλαμβανόμενη διάλυση και επανακατακρήμιση ουρικού οξέος από τα περιττώματα στις οικοδομικές επιφάνειες μπορούν να προκαλέσουν λέκιασμα, οι περισσότερες μελέτες καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι δεν οδηγούν άμεσα σε φυσική φθορά (Dyer, 2017). Μερικοί μικροοργανισμοί διαθέτουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν το ουρικό οξύ, ως πηγή αζώτου. Συγκεκριμένα, οι μύκητες αποδομούν το ουρικό οξύ μέσω της οδού: ουρικό οξύ => αλλαντοΐνη => αλλαντοϊκό οξύ => ουριδογλυκολικό οξύ => γλυοξυλικό οξύ + ουρία. Έτσι, η παραγωγή γλυοξυλικού οξέος μέσω της μυκητιακής αποδόμησης του ουρικού οξέος στα περιττώματα των πτηνών φαίνεται να είναι ένας πιθανός μηχανισμός φθοράς για τα υλικά στο εξωτερικό των μνημείων. Βλάβη σε δομικά υλικά από οργανικά οξέα δεν συμβαίνει πάντα αποκλειστικά ως αποτέλεσμα της όξινης λύσης (Σιδηροπούλου, 2021).



Εικόνα 5.25. Φυτά που αναπτύσσονται σε τοιχοποιία.

Αν τα ιστορικά μνημεία, όπως ο Αρχαιολογικός χώρος της Πλατείας Τερψιθέας, δεν συντηρηθούν, τα φυτά (βλάστηση) αφού ο χώρος είναι ανοικτός θα αναπτύξουν ρίζες, λόγω του νερού, και ως αποτέλεσμα θα αποικίσουν σε κύριες δομικές ενώσεις (Εικόνα 5.26).

Εφόσον οι ρίζες θα μεγαλώνουν, θα επεκτείνονται μέσα στους λίθους δημιουργώντας ρωγμές και εν τέλει να διασπάσουν τον λίθο. Όπως για παράδειγμα, είναι εμφανής η παρουσία ανώτερης χλωρίδας στους λίθους, κορμοί δέντρων, με τις βαθιές ρίζες πλέον, αποτελούν ένα μέσο στήριξης του μνημείου και για αυτό δεν θα ήταν κατάλληλο να απομακρύνονται (Εικόνα 5.28). Ως αποτέλεσμα, η περιοχή του λίθου, με την απόθεση του νερού, θα είναι υγρή και έτσι θα βοηθήσει επιδεινώνοντας την διαδικασία της φθοράς των αλάτων. Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 5.27, φυτά έχουν αναπτυχθεί σε όλη την έκταση που καλύπτει ο αρχαιολογικός χώρος.



Εικόνα 5.26. Βιοαποίκιση. Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Εικόνα 5.27. Βιοαποίκιση.



Η παρουσία και κίνηση των ανωτέρω παραγόντων στους διαβρωμένους λίθους, σε συνδυασμό με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που θα αναλυθούν εκτενέστερα παρακάτω, πιθανότατα συντελούν στην επιτάχυνση του φαινομένου αυτού, ιδιαίτερα διακρίνονται οπές μικρού διαμετρήματος από προσβολή μικροοργανισμών. Ως αποτέλεσμα την πτώση-απώλεια υλικού, σε μορφή 'άμμου'. (Εικόνα 5.25).



Εικόνες 5.28. Διάβρωση.

5.3.Συμπεράσματα

Βάσει των μακροσκοπικών παρατηρήσεων και της σύγκρισης των τύπων φθοράς του μνημείου με τους τύπους φθοράς που δίνονται από το *ICOMOS*, ο Αρχαιολογικός χώρος της Πλατείας Τερψιθέας παρουσιάζει έντονα φαινόμενα φθοράς κυρίως λόγω της ανεπτυγμένης βλάστησης, η οποία παραμένει.

Σε γενικές γραμμές όμως οι σημαντικότεροι τύποι φθοράς, οι οποίοι συναντώνται σε μεγάλο βαθμό στον αρχαιολογικό χώρο, είναι οι ακόλουθοι:

- Διάφοροι τύποι ρωγμών (ρηγματώσεις, ρωγματώσεις, θραύσεις, διαχωρισμός).
- Αποκόλληση υλικού.
- Διαφορική Διάβρωση.
- Αποφλοίωση επιχρίσματος, σε λίθους από τον περιβάλλοντα χώρο του μνημείου.
- Κυψελοειδής Διάβρωση σε μεγάλο μέρος του μνημείου.
- Μαύρη κρούστα.
- Ελλείπον τμήματα, προ υπάρχοντος λίθινου τμήματος.
- Διάτρηση λίθων από έντομα, πτηνά και λιθοφάγους οργανισμούς, σε όλη την έκταση του μνημείου.
- Βιολογική αποίκιση- Βιοδιάβρωση- ανάπτυξη βιολογικών κρουστών από άλγη, βρύα, λειχήνες (μικροπανίδα) καθώς και από περιτώματα πτηνών και εντόμων. Εντοπίστηκε επίσης, ανώτερη γλωρίδα, έντονη βλάστηση, φυτά και κορμοί δέντρων τα οποία έχουν ενσωματωθεί στο μνημείο δημιουργώντας μηχανικές τάσεις και στατική αποδυνάμωση.(Σακκή,2011)

Στο Σχήμα 5.4 δίνεται, η κατά προσέγγιση ποσοστιαία κατανομή των φθορών στον αρχαιολογικό χώρο της Τερψιθέας. Διακρίνονται κάποιες από τις κύριες φθορές που παρατηρήθηκαν.



Σχήμα 5.4. Ποσοστιαία αποτίμηση φθορών στον Αρχαιολογικό Χώρο της Τερψιθέας.

Επομένως, όπως ήδη ενδελεχώς έχει αναλυθεί η κατάσταση διατήρησης του αρχαιολογικού χώρου είναι δυσχερής. Για αυτό, χρειάζονται άμεσα μέτρα για να αναχαιτιστούν τα αίτια φθοράς, αφενός της μεγάλης έκτασης της βλάστησης, που έχει εισχωρήσει στους λίθους, αφετέρου η λήψη μέτρων θα βοηθήσει στην συντήρηση, καθώς και στον μετριασμό της περαιτέρω διάβρωσης που συντελείται αρκετά χρόνια.

6. Το περιβάλλον του Αρχαιολογικού Χώρου

6.1. Γενικές παρατηρήσεις

Ο τρόπος με τον οποίο οι μορφές φθοράς επηρεάζουν την δομή ενός υλικού, εξαρτάται άμεσα από την μακροδομή και τη μικροδομή του. Η μικροδομή ιδιαίτερα, διαδραματίζει σημαντικότατο ρόλο στις ιδιότητες των υλικών (μηχανικές, φυσικές, φυσικοχημικές) και είναι σημαντική τόσο στην εξάπλωση της φθοράς όσο και στην αναγνώριση και κατάλληλη αντιμετώπισή της (Μοροπούλου, 2010). Οι μηχανικές μορφές φθοράς των δομικών υλικών μπορούν με την σειρά τους να διακριθούν σε εξωτερικής και σε εσωτερικής προέλευσης. Εξωτερικής προέλευσης, αποτελούν οι ημερήσιες ή εποχιακές θερμοκρασιακές μεταβολές που καταπονούν μέσω των διαστολών και συστολών στα δομικά υλικά, τα φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου, οι διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ γειτονικών υλικών (ανάπτυξη τάσεων που καταπονούν τα υλικά), οι καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος και τέλος, οι καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί, κ.τ.λ.). Εσωτερικής προέλευσης, συγκαταλέγονται η φθορά πορώδων υλικών λόγω της κρυστάλλωσης των αλάτων, η φθορά λόγω σχηματισμού παγετού, καθώς και η φθορά με τη διάγκωση των μεταλλικών συνδέσμων, όπου σημειώνεται η ύπαρξη αυτών.

Επομένως, το περιβάλλον είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει τους μηχανισμούς και τα φαινόμενα φθοράς ενός μνημείου, καθώς και την ένταση τους. Κατά συνέπεια η μελέτη και η ανάλυση των περιβαλλοντικών παραμέτρων, σε συνδυασμό με την μακροσκοπική και μικροσκοπική ανάλυση του μνημείου, είναι η μέθοδος για την διερεύνηση των μηχανισμών φθοράς. Με τον όρο περιβάλλον εννοούμε τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στο έδαφος του αρχαιολογικού χώρου. (Μπαρδάνης, 1997) Για αυτό θα αναλυθεί :

- Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Ως ρυπαντές θεωρούνται, οι ουσίες που προκαλούν αλλαγή της σύστασης του ατμοσφαιρικού αέρα, ενώ οι κυριότεροι φθοροποιοί ρύποι για τα συνήθη δομικά υλικά είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), τα οξείδια του θείου και το υδροχλώριο (HCl) (Χοϊδής, 2019). Οι ρύποι αυτοί εμφανίζονται άλλοτε σε υψηλές και άλλοτε σε χαμηλές συγκεντρώσεις ανάλογα με το είδος των πηγών ρύπανσης αλλά και με τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, τα μνημεία και τα κτήρια αρχιτεκτονικής αξίας, που είναι εκτεθειμένα για αιώνες, παρουσίαζαν πολύ αργό ρυθμό φθοράς. Στα μέσα του 20^{ου} αιώνα όμως και ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες, η αστικοποίηση και η συγκέντρωση των βιομηχανιών στις μεγαλουπόλεις είχε σαν αποτέλεσμα την ραγδαία αύξηση των τοπικών επιπέδων ρύπανσης, προκαλώντας έτσι την επιτάχυνση της φθοράς των μνημείων και την δημιουργία νέων μορφών και μηχανισμών φθοράς. (Χοϊδής, 2019).

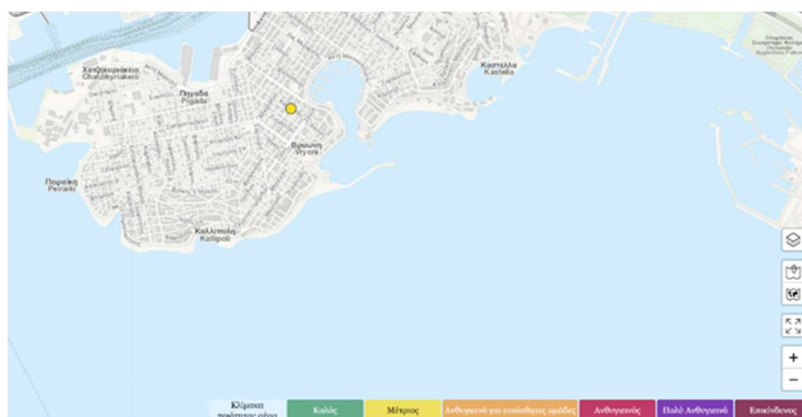
Η τεχνολογική πρόοδος και η ανάπτυξη των ανθρώπινων δραστηριοτήτων τις τελευταίες δεκαετίες, είχε σαν αποτέλεσμα την παρουσία διαφόρων ρύπων μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η αύξηση αυτή της ρύπανσης της ατμόσφαιρας οφείλεται α) στην συγκεντρωμένη βιομηχανία και βιοτεχνία, όπου δεν επιβάλλεται η λήψη μέτρων για την αποφυγή της ρύπανσης της ατμόσφαιρας β) αυξημένη κυκλοφορία αυτοκινήτων, καθώς ο αρχαιολογικός χώρος βρίσκεται πολύ κοντά σε κεντρικό οδικό άξονα (Ηρώων Πολυτεχνείου) που καθημερινά παρουσιάζει κυκλοφοριακό πρόβλημα γ) στις μετεωρολογικές συνθήκες, που ευνοούν την συχνή αντιστροφή της θερμοκρασίας, όπως για παράδειγμα, η παρουσία του νερού στις διάφορες μορφές του στο εσωτερικό των υλικών προκαλεί φθορές από χημικές δράσεις σε αυτά. (Μπελλογιάννης, 1980; Χαραλάμπους, χ.χ. ; Χοϊδής, 2019)

- Αιωρούμενα Σωματίδια

Άλλος ένας σημαντικός παράγοντας για την ρύπανση είναι τα αιωρούμενα σωματίδια είτε είναι στερεά ή υγρά βρίσκονται διασκορπισμένα στην ατμόσφαιρα. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι φυσικής ή ανθρωπογενούς προέλευσης και το μέγεθος του κυμαίνεται από 0,2nm έως και 500nm. Προέρχονται κυρίως από την καύση των ορυκτών καυσίμων και σχηματίζουν σκούρες κρούστες στις επιφάνειες που επικάθονται λόγω της πίσσας ή της αιθάλης που περιέχουν. Παραδείγματα αυτών είναι το θειικό οξύ (H_2SO_4), το νιτρικό οξύ (HNO_3) και το όζον (O_3). (Λαμπρόπουλος 2020). Τα σωματίδια αυτά παρουσιάζουν κάποια οξύτητα ή αλκαλικότητα και έτσι επικάθονται στην επιφάνεια και 'επιτίθενται' χημικά. Τα σωματίδια που παρουσιάζουν οξύτητα οδηγούν στο σχηματισμό οξέων ενώ τα σωματίδια που παρουσιάζουν αλκαλικότητα απελευθερώνονται ως σκόνη (πχ. μπετόν) σε καινούργια κτήρια.

Η μεταφορά και διασπορά των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι πολύ δύσκολο να περιγραφεί καθώς η ροή του αέρα είναι υπερβολικά πολύπλοκη και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ο τρόπος και η έκταση της φθοράς που το προκαλούν. Σημαντικό ρόλο έχει η τοποθέτηση και η κλίση της επιφάνειας, οι συνθήκες των ρευμάτων του αέρα και της υγρασίας που επικρατούν στο σημείο (μικροκλίμα του σημείου) ενώ η συγκράτηση τους σε μια επιφάνεια έχει διαφορετικούς βαθμούς έντασης που εξαρτώνται κυρίως από την κατάσταση της.

Στην Εικόνα 6.1 παρατηρούμε ότι, το φορτίο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα είναι μέτρια επιβαρυνόμενο.¹⁹



Εικόνα 6.1. Σωματιδιακή ρύπανση μέσω αερολυμάτων.

Πηγή: Παγκόσμια ρύπανση του αέρα: Δείκτης ποιότητας αέρα σε πραγματικό χρόνο (waqi.info).

¹⁹ Πηγή [Microsoft PowerPoint - 3_particulates.pptx \(uth.gr\)](#)

- Εδαφικό Περιβάλλον- Μορφολογία

Σε γενικές γραμμές, ο Πειραιάς βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο της Αθήνας, στο νομό Αττικής, αποτελώντας τη διέξοδο της Αθήνας προς την θάλασσα. Ανοίγεται στην βορειοανατολική πλευρά του Αργοσαρωνικού κόλπου, που ανοίγεται στο Αιγαίο πέλαγος και απέχει μόλις 10 χλμ. από το κέντρο της Αθήνας. Περπατώντας κανείς την περιοχή αυτή, θα αντιμετωπίσει έντονο το φαινόμενο της κλίσης του εδάφους, ανηφόρες/κατηφόρες υπάρχουν στο μεγαλύτερο κομμάτι του(κυρίως στις κατοικήσιμες περιοχές). Αυτό συμβαίνει λόγω των υψομετρικών διαφορών και της ύπαρξης του λόφου της Καστέλας. (Σερράος,2017) (Εικόνα 6.2)



Εικόνα 6.2. Μορφολογία του Πειραιά. Πηγή: Σερράος, 2017.

Ο Πειραιάς παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο δημιουργώντας μεγάλη ποικιλία στις χωρικές ποιότητες του. Οι μεγάλες κλίσεις του εδάφους σε συνδυασμό με το υποδάμιο πολεοδομικό σύστημα, δημιουργούν οπτικές φυγές που εκτονώνονται τις περισσότερες φορές στη θάλασσα.

Πιο συγκεκριμένα ο αρχαιολογικός χώρος (Εικόνα6.3) βρίσκεται το κάτω μέρος (από οδό Καραϊσκού) μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια του δρόμου ενώ το πάνω μέρος (από οδό Περικλέους) του είναι κοντά στην επιφάνεια του δρόμου. Επομένως παρατηρείται έντονη κλίση του εδάφους που αυτό θα μπορεί να έχει καταστροφικές συνέπειες για την ακεραιότητα του μνημείου σε συνδυασμό με την βροχή.



Εικόνα 6.3. Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας.

- Δράση νερού

Το νερό αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών και αυτό γιατί δρα σε πολλά επίπεδα και καθορίζει την επίδραση που θα έχουν άλλοι παράγοντες στα υλικά. Για το λόγο αυτό, το πρόβλημα της υγρασίας στα δομικά υλικά έχει προκαλέσει από παλιά έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον. Πολλοί ερευνητές στο παρελθόν έχουν μελετήσει και περιγράψει τις φυσικές διεργασίες της συμπύκνωσης και της εξάτμισης της υγρασίας σε δομικά υλικά (Καρόγλου,2005; Camuffo et.all , 1982;1984; Camuffo & Bernadi, 1990; Καρόγλου, 2005), με τη διαπερατότητα των πορώδων μέσων και νερό (Vos,1975) , με τη κυκλοφορία του νερού μέσα σε τοιχοποιίες (Torgaca,1982), ενώ στο επίκεντρο ήταν και οι αντοχές των υλικών κατά την κίνηση της υγρασίας καθώς και τα τεχνικά προβλήματα που προκύπτουν για τις τοιχοποιίες και τα υλικά (Mamilian, 1981).

Κύριοι μηχανισμοί φθοράς μιας τοιχοποιίας λόγω της υγρασίας (Εικόνες 6.4) είναι η υδρόλυση, η διάλυση, η ύγρανση, η διάβρωση(οξειδωση),η τριχοειδής αναρριχόμενη υγρασία, η μεταφορά των αλάτων , η κρυστάλλωση τους, η υγροσκοπικότητα, η φθορά από τους κύκλους πήξης-τήξης (Cannoly, 1993).

Η μεταφορά του νερού στα δομικά υλικά γίνεται με τους εξής τρόπους (Μοροπούλου et al., 2004; Μοροπούλου, 2010):

- Με τριχοειδής αναρρίχηση ²⁰ από το έδαφος. Όταν οι δυνάμεις έλξης προς τα τοιχώματά των τριχοειδών είναι ισχυρότερες από αυτές μεταξύ των μορίων του νερού, τότε το νερό ανέρχεται μέσα στα τριχοειδή . Η τάση προς αναρρίχηση αυξάνει καθώς η διάμετρος των τριχοειδών ελαττώνεται (Christaras,1998).
- Μέσω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Στην περίπτωση αυτή, η διαβρωτική και διαλυτική δράση του νερού της βροχής οφείλεται στα ιόντα που διαλύει αποπλένοντας τα ατμοσφαιρικά σωματίδια (όξινη βροχή). Η εισχώρησή του στα κτίρια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, την κατάσταση της επιφάνειας, την ένταση της βροχής, την διεύθυνση καθώς και την ένταση των ανέμων κλπ.
- Με συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Πρόκειται για ένα φαινόμενο το οποίο εκδηλώνεται όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας της πέτρας πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου των ατμών. Η χειρότερη περίπτωση παρατηρείται όταν συμβαίνουν μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, όπου είναι πιθανό να παρατηρηθεί μεταφορά σημαντικών ποσοτήτων νερού στο εσωτερικό της τοιχοποιίας (Μοροπούλου, 2010).
- Με απευθείας μεταφορά σταγονιδίων από τη θάλασσα²¹. Τα σταγονίδια μπορούν να φτάσουν στα διάφορα σημεία ενός κτιρίου, είτε άμεσα μέσω του αφρισμού, είτε έμμεσα με τη βοήθεια του ανέμου.

²⁰ Είναι η σημαντικότερη αιτία εισόδου της υγρασίας σε ένα δομικό υλικό και είναι πανταχού παρόν φαινόμενο, μιας και όλες οι τοιχοποιίες εδράζονται στο έδαφος. Σε όλα τα πορώδη δομικά υλικά υπάρχει μια κατηγορία που ονομάζονται τριχοειδής πόροι ή απλά τριχοειδή του υλικού. Το νερό ανέρχεται μέσω των τριχοειδών πόρων λόγω της ηλεκτροαρνητικής έλξης που ασκούν τα τοιχώματα των πόρων στα μόρια του νερού που είναι πολωμένα. Η τριχοειδής δύναμη αυξάνει όσο ελαττώνεται η διάμετρος των πόρων και είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από την βαρύτητα. Αν η αναρρίχηση του νερού δεν αντισταθμίζεται από τυχόν ξήρανση, η τριχοειδής αναρρίχηση μπορεί να φτάσει το ύψος αρκετών δεκάδων μέτρων. Στις περισσότερες όμως περιπτώσεις, το φαινόμενο της ξήρανσης συνυπάρχει με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης με αποτέλεσμα να αντικαθίσταται τελικά η ισορροπία ανάμεσα στην άνοδο του νερού και την εξάτμιση του από την επιφάνεια. Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σοβαρό ρόλο στην τριχοειδή αναρρίχηση παίζουν και τα διαλυτά άλατα τα οποία εκτός από την κρυστάλλωση τους δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την εκδήλωση του φαινομένου της ώσμωσης που ενισχύει την αναρρίχηση(Καραγιάννης,2017).

²¹ «Το θαλασσίνο νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και κυρίως σε NaCl, που φτάνει τα 35kg αλάτων ανά 1kg θαλασσίνο νερό. Έτσι, καθίσταται ένα πολύ διαβρωτικό μέσο για κάθε υλικό για κατασκευή. Τα σταγονίδια θαλασσίνο νερού μπορούν να διανύσουν αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων από τη θάλασσα, ανάλογα με τη διεύθυνση και ένταση των ανέμων, καθώς και τη γεωμορφολογία της περιοχής. Το θαλασσίνο νερό περιέχει υδρόθειο H₂S που προκύπτει από τον μεταβολισμό των θειοαναγωγικών βακτηριδίων. Επίσης υπάρχουν και άλλα βακτήρια στη θάλασσα, που μπορούν να παράγουν αμμωνία NH₃ καθώς και άλλες ενώσεις του αζώτου. Ακόμα, στο θαλασσίνο νερό περιέχεται το 1% του συνολικού CO₂ με τη μορφή του H₂CO₃. Το PH του θαλασσίνο νερού είναι κανονικά αλκαλικό και συγκεκριμένα σε επιφανειακά στρώματα, όπου το νερό ισορροπεί με το

Με βάση τα παραπάνω, οι κυριότερες πηγές υγρασίας στον αρχαιολογικό χώρο είναι (Winkel, 1994):

- Υγρασία από την ατμόσφαιρα (νερό βροχής, συμπύκνωση της υγρασίας της ατμόσφαιρας).
- Υγρασία από το έδαφος (τριχοειδής αναρριχόμενη υγρασία).
- Υγρασία κατά την εφαρμογή-κατασκευή-αποκατάσταση των δομικών υλικών.
- Υγρασία απευθείας με την μεταφορά σταγονιδίων από την θάλασσα.



Εικόνα 6.4. Δράση νερού.

Συμπερασματικά καταλήγουμε ότι, τα δομικά υλικά συνήθως περιέχουν μια ποσότητα φυσικά δεσμευμένου νερού χωρίς να επηρεάζεται η αντοχή τους. Τα πορώδη υλικά περιέχουν ένα ποσοστό υγρασίας που κυμαίνεται από 3-5% χωρίς αυτό να αποτελεί την κύρια αιτία φθοράς τους (Karoglou et.al.,2005).

Όταν όμως το ποσοστό υγρασίας ενός υλικού υπερβεί ένα συγκεκριμένο ποσοστό, ενεργοποιούνται τα φαινόμενα φθοράς των υλικών προκαλώντας μια σειρά από φυσικές, χημικές και βιολογικές αντιδράσεις. Η υγρασία λοιπόν, που υπάρχει στο έδαφος επηρεάζει άμεσα τους λίθους μέσω του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης, τους εμπλουτίζει με άλατα που υπάρχουν στο έδαφος, εφόσον, το νερό με το οποίο τους τροφοδοτεί έχει αποδειχθεί πως συμμετέχει σε μια σειρά διαβρωτικών διαδικασιών. (Avoletti,1997, Oliver et.all,1997).

Η σημαντικότερη έμμεση δράση είναι η δημιουργία του κατάλληλου μικροκλίματος, που ευνοεί την ανάπτυξη βιολογικών μικροοργανισμών και φυτικής βλάστησης (Εικόνα 6.4), καθώς και φαινομένων όπως η διόγκωση των αλάτων και των αργίλων. Άρα η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα της επίδρασης των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων είναι τρεις εξωγενείς παράγοντες φθοράς που δρουν αθροιστικά. Παρόλο που είναι η δύσκολη η ποσοτικοποίηση τους, σε γενικές γραμμές η ένταση της φθοράς των δομικών υλικών αυξάνεται με την αύξηση της έντασης, της διάρκειας και της συχνότητας της επίδρασης, των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων (Μοροπούλου, 2010).

ατμοσφαιρικό O_2 , η τιμή του κυμαίνεται από 8,1-8,3. Η διαλυτότητα των πετρωμάτων στο θαλασινό νερό είναι διαφορετική από αυτή στο γλυκό (μέχρι 10% περισσότερο)»(Καραγιάννης,2017).

6.2. Επίδραση των Θερμοκρασιακών Μεταβολών του Περιβάλλοντος

Οι ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές (πχ. σε περιοχές με ακραίες κλιματικές συνθήκες) ή οι άνισες κατανομές θερμοκρασίας στα δομικά υλικά μπορεί να αποτελέσουν την αφορμή για την ανάπτυξη τάσεων σε αυτά, με αποτέλεσμα την εκκίνηση φυσικό-μηχανικών διαδικασιών φθοράς. Εάν δε, οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις λαμβάνουν χώρα σε πορώδη υλικά παρουσία υγρασίας, τα φαινόμενα περιπλέκονται και συσχετίζονται με τις μεταβολές της φυσικής κατάστασης του νερού (πχ σχηματισμός πάγου). Επίσης οι διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής και θερμοχωρητικότητας των διαφόρων φάσεων και υλικών ενός συστήματος, ενισχύουν τα φαινόμενα μηχανικής φθοράς των δομικών υλικών, καθώς συνεπάγονται την ανάπτυξη τάσεων με περεταίρω επιπτώσεις στη συνοχή των υλικών.

Τα δομικά υλικά, που είναι πιο επιρρεπή στις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος, είναι το μάρμαρο και οι ασβεστόλιθοι, δεδομένης της ανισοτροπίας τους. Τα εν λόγω δομικά υλικά, ενώ θεωρητικά δύναται να ανταποκριθούν ελαστικά σε θερμικές τάσεις, οι οποίες προκαλούνται από θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες των 30°C, στην πραγματικότητα, η ύπαρξη ζωνών αδυναμίας ή επιπέδων ασυνέχειας στα μάρμαρα και κυρίως, στους ασβεστόλιθους, διευκολύνει την εκκίνηση διαβρωτικών διαδικασιών, ακόμα και κατά τους συνήθεις θερμοκρασιακούς κύκλους του περιβάλλοντος.

Όσον αφορά το κλίμα της περιοχής του Πειραιά, είναι τυπικά μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια σχεδόν όλο το χρόνο. «Από κλιματολογικής πλευράς το έτος χωρίζεται σε δύο κυρίως εποχές:

- Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την χειμερινή περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος. Σε κάθε περίπτωση, οι βροχές δεν διαρκούν πολλές ημέρες ούτε παρατηρείται σημαντική διαδοχή ημερών με πλήρη νεφοκάλυψη.
- Κατά την θερινή περίοδο ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, οι βροχοπτώσεις είναι σημαντικά περιορισμένες και εξαντλούνται με την μορφή παροδικών ραγδαίων βροχών(όμβρων)ή καταιγίδων. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες της θερινής περιόδου παρατηρούνται μετά το δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου μέχρι και το πρώτο του Αυγούστου. Ο μηχανισμός της θαλάσσιας αύρας καθώς και οι βόρειοι άνεμοι(μελτέμια) που φυσούν στο Αιγαίο μετριάζουν το αντίκτυπο των υψηλών θερμοκρασιών.

Η άνοιξη γενικά έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται μέχρι και τα του Δεκεμβρίου». ²²

Παρατηρείται για την περίοδο 1981-2010, ότι υπάρχει μια αύξηση των μέσων ελάχιστων τιμών (αλλά και των μέσων μέγιστων). Ειδικά οι καλοκαιρινές μέσες ελάχιστες τιμές φτάνουν ακόμα και τους 25 βαθμούς Κελσίου. Πρόκειται για τις υψηλότερες μέσες ελάχιστες στην επικράτεια κατά την διάρκεια του καλοκαιριού σύμφωνα με το αρχείο της Ε.Μ.Υ²³ για τον Πειραιά. (Εικόνα 6.5.).

Κάτι τέτοιο μάλλον συμβαίνει λόγω της θέσης του Πειραιά στον αστικό ιστό της Αθήνας, την εγγύτητα του στη θάλασσα, την πυκνή του δόμηση και κυρίως εξαιτίας της

²² Πηγή [Μελέτη και σχεδιασμός της ανάπλασης του παραλιακού μετώπου του Δήμου Πειραιά από την Πλαζ Φρεαττύδας έως την Πλαζ Βοτσαλάκια \(aua.gr\)](#)

²³ Πηγή [Κλιματικά δεδομένα Πειραιά \(Ε.Μ.Υ\) \(meteoclub.gr\)](#)

απόγειας αύρας κατά την διάρκεια των θερινών νυκτών, η οποία μεταφέρει όλη την εκπεμπόμενη θερμότητα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας προς τις ακτές.

ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΕΙΡΑΙΑ (Ε.Μ.Υ) 1981-2010													
ΜΗΝΑΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΟΣ
ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ °C	14,1	14,4	16,6	20,3	25,1	29,9	32,8	32,9	29,1	24,2	18,9	15,4	22,81
ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ °C	8,2	7,9	10	13,4	17,7	22,2	24,8	25	21,5	17,4	12,9	9,7	15,89
ΜΕΣΗ (Ε.Μ.Υ) °C	11,1	11,2	13,3	16,9	21,4	26,3	29	28,8	25,2	20,6	15,8	12,6	19,35
ΜΕΣΗ (ΑΠΛΗ) °C	11,2	11,2	13,3	16,9	21,4	26,1	28,8	29	25,3	20,8	15,9	12,6	19,37
ΥΕΤΟΣ mm	41,95	36,26	34,09	30,34	15,95	5,08	5,56	3,07	11,37	30,5	58,87	58,84	331,9

Εικόνα 6.5. Κλιματικά δεδομένα Πειραιά. Πηγή: [Κλιματικά δεδομένα Πειραιά \(Ε.Μ.Υ\) \(meteoclub.gr\)](http://www.meteoclub.gr)

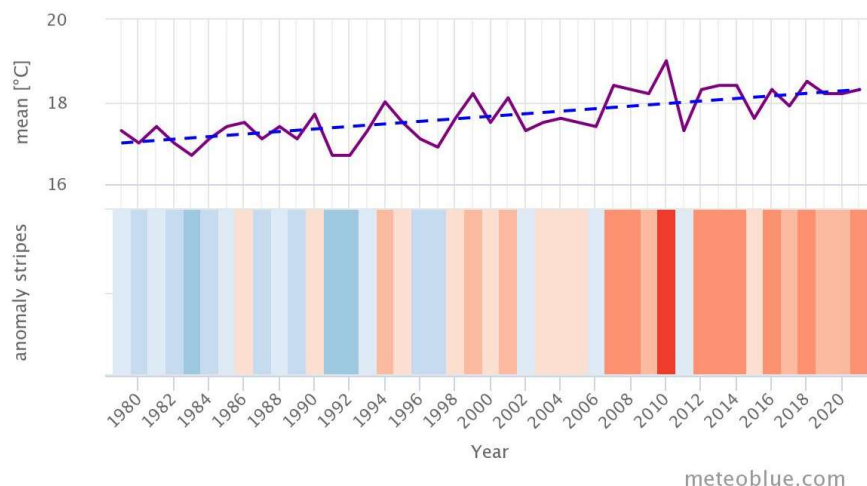
«Η μεγαλύτερη μέση ελάχιστη τιμή στον σταθμό του Πειραιά σημειώθηκε τον Αύγουστο του 2010 με 27.81° C, τιμή η οποία είναι ρεκόρ υψηλότερης μέσης ελάχιστης όλων των εποχών σύμφωνα με τους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. Ενδιαφέρον επίσης, παρουσιάζει ο μέσος ετήσιος υετός ο οποίος είναι ένας από τους χαμηλότερους στην επικράτεια με λιγότερο από 340 χιλιοστά ετησίως. Σε συνάρτηση μάλιστα με την μέση ετήσια θερμοκρασία η οποία διαμορφώνεται στους 19.35 ° C ο Πειραιάς φαίνεται πως έχει τα χαρακτηριστικά ενός ζεστού και ημίξηρου κλίματος (BSH κλίμα κατά την κλιματική ταξινόμηση Köppen). Κάτι τέτοιο για επιβεβαιώνεται εξάλλου και από τον κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδας που έχει εκδώσει η Ε.Μ.Υ. Σύμφωνα μάλιστα με τον συγκεκριμένο κλιματικό Άτλαντα της Ε.Μ.Υ ο Πειραιάς είναι η μοναδική περιοχή στην Ελλάδα που εμφανίζει αυτόν τον τύπο κλίματος».²⁴

Σε συνδυασμό με τα πιο πρόσφατα χρόνια, στο Σχήμα 6.1 παρατηρούμε, μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή του Πειραιά.

Η διακεκομμένη μπλε γραμμή, είναι η γραμμική τάση της κλιματικής αλλαγής. Εάν η γραμμή τάσης ανεβαίνει από αριστερά προς τα δεξιά, η τάση της θερμοκρασίας είναι θετική και γίνεται θερμότερη στον Πειραιά λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αν είναι οριζόντια, δεν παρατηρείται σαφής τάση, και αν πηγαίνει προς τα κάτω, οι συνθήκες στον Πειραιά γίνονται ψυχρότερες με την πάροδο του χρόνου. Στο κάτω μέρος του γραφήματος φαίνονται οι λεγόμενες λωρίδες θέρμανσης. Κάθε χρωματιστή λωρίδα αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία για ένα έτος - μπλε για τα ψυχρότερα και κόκκινα για τα θερμότερα έτη²⁵.

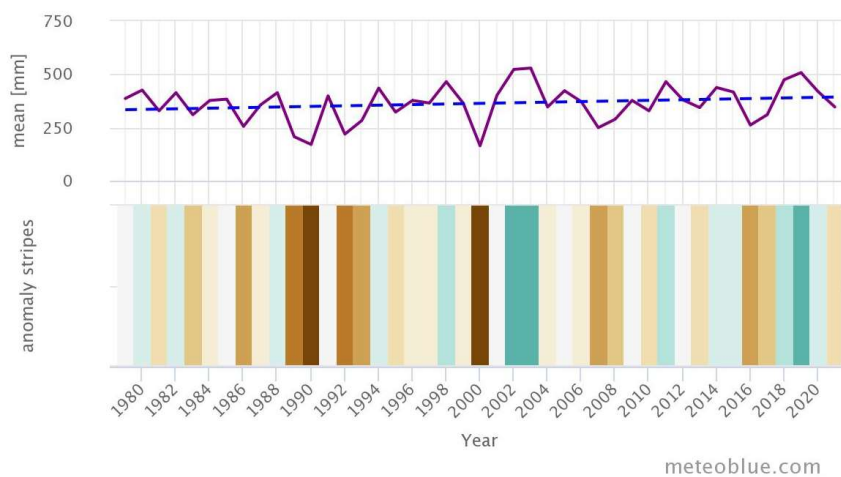
²⁴ Πηγή [Κλιματικά δεδομένα Πειραιά \(Ε.Μ.Υ\) \(meteoclub.gr\)](http://www.meteoclub.gr)

²⁵ Πηγή: Κλιματική αλλαγή Πειραιάς – meteoblue.



Σχήμα 6.1. Εκτίμηση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για την ευρύτερη περιοχή του Πειραιά.
 Πηγή: [Κλιματική αλλαγή Πειραιάς - meteoblue](#)

Στο Σχήμα 6.2 σύμφωνα με *METEO*, παρατηρείται εκτίμηση της μέσης συνολικής βροχοπτώσης για την ευρύτερη περιοχή του Πειραιά. Η διακεκομμένη μπλε γραμμή είναι η γραμμική τάση της κλιματικής αλλαγής. Εάν η γραμμή τάσης ανεβαίνει από αριστερά προς τα δεξιά, η τάση της βροχοπτώσης είναι θετική και γίνονται πιο υγρές οι συνθήκες στον Πειραιά λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αν είναι οριζόντια, δεν παρατηρείται σαφής τάση και αν πηγαίνει προς τα κάτω, οι συνθήκες γίνονται πιο ξηρές στο Πειραιά με την πάροδο του χρόνου. Στο κάτω μέρος του γραφήματος φαίνονται οι λεγόμενες λωρίδες κατακρήμνισης. Κάθε χρωματιστή λωρίδα αντιπροσωπεύει τη συνολική βροχοπτώση ενός έτους - πράσινο για τα πιο υγρά και καφέ για τα πιο ξηρά έτη²⁶.



Σχήμα 6.2. Μέση συνολική βροχοπτώση στην ευρύτερη περιοχή του Πειραιά. Πηγή: [Κλιματική αλλαγή Πειραιάς - meteoblue](#)

²⁶ Πηγή: Κλιματική αλλαγή Πειραιάς – meteoblue.

Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι το κλίμα του Πειραιά στα διαστήματα 1980-2020 δεν διατηρείται σε σταθερά επίπεδα και έτσι προκαλεί έντονα φαινόμενα συστολής και διαστολής των δομικών υλικών. Η θερμότητα που μπορεί να συσσωρευθεί στον λίθο εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να ανεβάσει την επιφανειακή του θερμοκρασία στους 50-60° C ή και περισσότερο εν μέσω άπνοιας, ενώ κατά τη νύχτα η ψύξη μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία ακόμη και κάτω από το μηδέν (αναλόγως με τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες). Επειδή συμβαίνει οι λίθοι να είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας, το εξωτερικό τους στρώματα ζεσταίνεται πολύ περισσότερο από το εσωτερικό, δημιουργώντας έτσι δυνάμεις εσωτερικής θραύσης, οι οποίες αν επαναλαμβάνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα προκαλούν αποφλοιώσεις και σπασίματα στο λίθινο υπόστρωμα (Λαμπρόπουλος, 2020).

6.3. Δράση Διαλυτών Αλάτων

Η δράση των διαλυτών αλάτων θεωρείται, ο κυριότερος και πιο καταστροφικός παράγοντας φθοράς των δομικών υλικών, με επιπτώσεις σε όλα τα πορώδη υλικά, ανεξάρτητα από τη χημική σύσταση. Τα διαλυτά άλατα που κυκλοφορούν μέσα στα δομικά υλικά είναι κυρίως τα θειικά, τα νιτρικά, τα ανθρακικά και τα χλωριούχα. Αυτά μπορεί να προέρχονται από τα υπόγεια νερά, από όξινους ατμοσφαιρικούς ρύπαντες (SO, NO, HCl) οι οποίοι προσβάλλουν τα υλικά, από την θάλασσα με τη βοήθεια του ανέμου και από άμεση επαφή των υλικών με το τσιμέντο που είναι σημαντική πηγή διαλυτών αλάτων. Η κίνηση διαλυτών αλάτων γίνεται μέσω των μηχανισμών της ιοντικής διάχυσης, της τριχοειδούς μεταφοράς ή της ιοντικής ώσμωσης (Χοϊδής, 2019).

Η πραγματική διεργασία του φαινομένου δεν έχει αποσαφηνιστεί, ενώ για την ερμηνεία του μηχανισμού του, έχουν προταθεί διαφορετικές θεωρίες. Η κρυστάλλωση αλάτων αναφέρεται στη μηχανική φθορά των 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. Η διάλυση του συνδετικού υλικού μεταξύ των κόκκων του υλικού λόγω της κρυστάλλωσης αλάτων, συνεπάγεται τη λύση της συνοχής του, δημιουργώντας έτσι την αναγκαιότητα εφαρμογής κατάλληλων κατεργασιών συντήρησης.

Το φαινόμενο φθοράς που οφείλονται στην κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων εκδηλώνονται στα υλικά με τη μορφή εξανθίσεων ή κρυπτοεξανθίσεων. Στην περίπτωση των εξανθίσεων, η ανάπτυξη και η απόθεση των κρυστάλλων πραγματοποιείται στη επιφάνεια του υλικού. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος, στην επιφάνεια υπερβαίνει το ρυθμό εξάτμισης. Από την άλλη πλευρά η περίπτωση της εκδήλωσης κρυπτοεξανθίσεων, η ανάπτυξη των κρυστάλλων, πραγματοποιείται στο εσωτερικό των πόρων του υλικού, με ταυτόχρονη απόθεση του διαλύτη του διαλύματος άλατος εντός των πόρων. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου, σε αντίθεση με την προηγούμενη καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος στην επιφάνεια είναι μικρότερος από τον ρυθμό εξάτμισης (Καραγιάννης, 2017).

Αυτή η εκδοχή θεωρείται η πιο επικίνδυνη εκ των δύο, καθώς οδηγεί σε ανάπτυξη πίεσης στα τοιχώματα των πόρων του υλικού. Η ανάπτυξη των κρυστάλλων στο εσωτερικό των πόρων, συνεπάγεται τη μεταφορά ιόντων στην επιφάνεια των κρυστάλλων. Εκεί λαμβάνουν χώρα διάφορες επιφανειακές αντιδράσεις (ρόφηση, επιφανειακή πυρήνωση, επιφανειακή διάχυση, αφυδάτωση, ιοντανταλλαγή) που οδηγούν στην ενσωμάτωση του ιόντος στο κρυσταλλικό πλέγμα (Moropoulou & Theoulakis, 1991; Moropoulou et al., 1997; Bakolas et al., 1996; Arnold, 1981; Καραγιάννης, 2017).

Επιπλέον, η ατμοσφαιρική ρύπανση δρα με τους όξινους ρυπαντές οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου και υδροχλωρικό οξύ, που προσβάλλουν απ' ευθείας την πέτρα και σχηματίζουν τα αντίστοιχα άλατα του ασβεστίου και των αλκαλίων. Η πίεση κρυστάλλωσης που αναπτύσσεται, είναι πιθανό να οδηγήσει σε ρήξη των τοιχωμάτων των πόρων, όταν είναι μεγαλύτερη από τη θλιπτική αντοχή της πέτρας. Οι κύριες αιτίες κρυστάλλωσης αλάτων σε

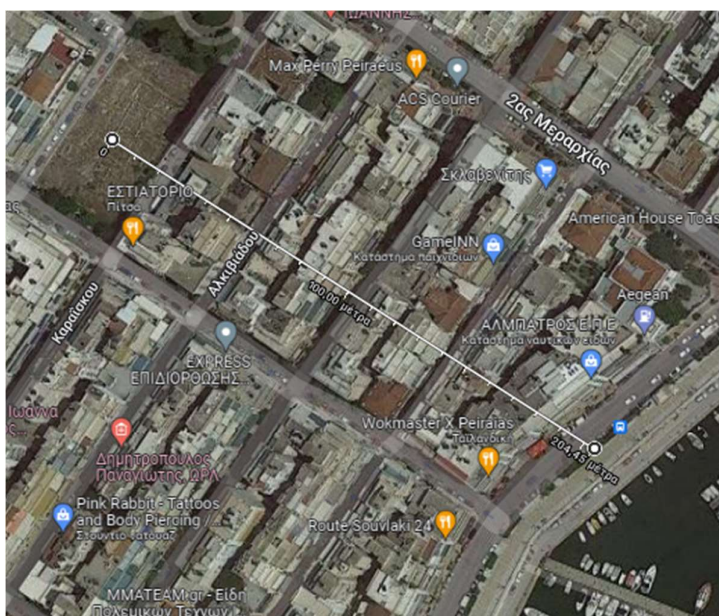
τοιχοποιίες είναι η τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), τα γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, και συχνά το ίδιο το συνδετικό κονίαμα. Αν η εξάτμιση λάβει χώρα στο εσωτερικό της μάζας του υλικού, ο τύπος αυτός της φθοράς εμφανίζεται μακροσκοπικά με την μορφή της κυψέλωσης, δηλαδή την αποκόλληση τμήματος του διερρηγμένου υλικού (Θεουλάκης, 2013).

Άλλη αιτία είναι τα χλωριούχα άλατα που στη συγκεκριμένη περίπτωση οφείλονται στη σχετικά μικρή απόσταση από τη θάλασσα (204 μ). Το θαλασσινό νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα και κυρίως σε NaCl, που φτάνει τα 35kg αλάτων ανά 1kg θαλασσινού νερού. Έτσι, καθίσταται ένα πολύ διαβρωτικό μέσο για κάθε υλικό και κατασκευή. Τα σταγονίδια θαλασσινού νερού μπορούν να διανύσουν αποστάσεις αρκετών χιλιομέτρων από την θάλασσα, ανάλογα με τη διεύθυνση και ένταση των ανέμων, καθώς και την γεωμορφολογία της περιοχής. Το θαλασσινό νερό περιέχει υδρόθειο H₂S που προκύπτει από τον μεταβολισμό των θειαναγωγικών βακτηριδίων. Επίσης υπάρχουν και άλλα βακτηρίδια στη θάλασσα, που μπορούν να παράγουν αμμωνία NH₃ καθώς και άλλες ενώσεις του αζώτου. Ακόμα, στο θαλασσινό νερό περιέχεται το 1% του συνολικού CO₂ με τη μορφή του H₂CO₃. Το PH του θαλασσινού νερού είναι κανονικά αλκαλικό και συγκεκριμένα, σε επιφανειακά στρώματα, όπου το νερό ισορροπεί με το ατμοσφαιρικό O₂, η τιμή του κυμαίνεται από 8,1-8,3. Η διαλυτότητα των πετρωμάτων στο θαλασσινό νερό είναι διαφορετική από αυτή στο γλυκό (μέχρι 10% περισσότερο) (Καραγιάννης, 2017).

Έτσι λοιπόν, όσο ακόμα τα άλατα βρίσκονται σε αέρια φάση μεταφέρονται και με την βροχή, προσβάλλοντας τους λίθους του αρχαιολογικού χώρου με αποτέλεσμα την χαλάρωση των κρυσταλλικών δομών και τελικά την καταστροφή του συνδετικού υλικού των κόκκων, ιδίως του ασβεστίτη. Στους 25 °C το άνυδρο θειικό νάτριο (Na₂SO₄) μπορεί να περάσει στην ένυδρη μορφή (Na₂SO₄·10H₂O), αν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη από 75%, σύμφωνα με την αντίδραση (Λαμπρόπουλος, 2020):



Στην Εικόνα 6.6 παρατηρείται ότι η απόσταση από την θάλασσα είναι στα 204μ. άρα ευνοεί τον σχηματισμό διαλυτών αλάτων, όπως ήδη έχει αναφερθεί.



Εικόνα 6.6. Αεροφωτογραφία όπου φαίνεται η απόσταση από την θάλασσα. (204 μ.). Πηγή: www.googlemaps.gr

6.4. Βιολογικοί Παράγοντες Φθοράς

Με τον όρο βιοδιάβρωση νοείται κάθε ανεπιθύμητη μεταβολή στις ιδιότητες ενός δομικού υλικού ως συνέπεια των δραστηριοτήτων κάποιων ζωντανών οργανισμών. Άμεσο αποτέλεσμα της παρουσίας υγρασίας, που ευνοούνται συνήθως, από τις υψηλές τιμές της, σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες και παρουσία ή όχι του φωτός. Η αποίκηση των μικροοργανισμών στα δομικά υλικά και η βιοδιάβρωση σχετίζονται με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι σημαντικότερες παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στη βιοδιάβρωση μπορεί να είναι είτε φυσικής είτε χημικής προέλευσης. Στους φυσικούς παράγοντες εντάσσονται η ξηρασία, υγρασία, η θερμοκρασιακή διακύμανση και το φως (δηλαδή το κλίμα και το μικροκλίμα μιας περιοχής) ενώ η διάβρωση λόγω χημικών διεργασιών θεωρείται σημαντικότερη και περιλαμβάνει της παραγωγή ανθρακικού οξέως, την έκκριση οξαλικού οξέος και την παραγωγή υδατοδιαλυτών λειχήνων, ενώσεων, που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίζουν ευδιάλυτα μεταλλικά σύμπλοκα (Καραγιάννης, 2017).

Τα φαινόμενα φθοράς που σχετίζονται με τη δράση των μικροοργανισμών ή με τα προϊόντα οργανικών δράσεων συχνά υποτιμούνται σε σχέση με τα αποτελέσματα άλλων παραγόντων, όπως της άμεσης χημικής διάβρωσης. Ωστόσο, τα καταστροφικά αποτελέσματα των χημικών διεργασιών, μπορούν να ενταχθούν, με την παρουσία οργανικά παραγόμενων διαβρωτικών παραγόντων, όπως οξυγόνου, οργανικών οξέων και διοξειδίου του άνθρακα (Καραγιάννης, 2017). Η δράση των βακτηριδίων μπορεί να ευνοήσει τη διάβρωση του λίθου, για παράδειγμα, είναι περισσότερο ή λιγότερο ευνοϊκό υπόστρωμα για αποίκηση από φυτά, ζώα και αυτότροφους ή ετερότροφους μικροοργανισμούς (κυανό-βακτήρια, φύκη, βακτήρια, μύκητες κ.α.). (Πίνακα 6.1)

Οι οργανισμοί αυτοί, έχει βρεθεί ότι, συμβάλλουν στη φθορά των δομικών υλικών το ίδιο αποτελεσματικά όπως και οι φυσικοχημικοί παράγοντες. Οι βιολογικές επικαθίσεις, όπως βρύα, άλγη, λειχήνες κ.λπ. αναπτύσσονται συχνά σε διάφορα υλικά, όταν το περιβάλλον είναι ιδιαίτερα υγρό, υπάρχει σκιά, μαζεύονται νερά από διάφορες προελεύσεις (Λαμπρόπουλος 2003).

Πίνακας 6.1. Οργανισμοί και αλλοίωση. Πηγή: Θεουλάκης, χ.χ.

Οργανισμοί	Αλλοίωση
Αυτότροφα Βακτήρια	Μαύρη κρούστα, πατίνα μαύρου- καφέ χρώματος, απολέπιση, θρυμματισμός.
Ετερότροφα Βακτήρια	Μαύρη κρούστα, πατίνα μαύρου χρώματος, απολέπιση, χρωματική μεταβολή.
Ακτινομύκητες	Σκόνη λευκού-γκρι χρώματος, πατίνα, εξανθήσεις λευκού χρώματος.
Κυανοβακτήρια	Πατίνα, φυλλώδης επίστρωση διαφόρων χρωμάτων και σύστασης.
Μύκητες	Κηλίδες διαφόρων χρωμάτων, απολέπιση, βελονισμοί.
Φύκη	Πατίνα, φυλλώδης επίστρωση διαφόρων χρωμάτων και σύστασης.
Λειχήνες	Κρούστα, λεκέδες πράσινου-γκρι χρώματος.
Βρύα	Αποχρωματισμός, λεκέδες πράσινου-γκρι χρώματος.
Φυτά	Ρωγμές, κατάρρευση, απόσπαση υλικού.

Έχει αναφερθεί ότι, η βλάστηση²⁷ έχει σημαντικό ρόλο, στην διάβρωση του λίθου, για αυτό, έχει παρατηρηθεί έντονη προσβολή στον αρχαιολογικό χώρο, παρουσία φυτών κυρίως στους αρμούς των λιθοδομών. Προκαλώντας σε μερικές περιπτώσεις διάνοιξη με την μορφή των ρωγματώσεων, κυρίως λόγω των ριζικών συστημάτων, ενώ σε άλλες περιπτώσεις προκαλεί πιο δραστικές φθορές με την μορφή των ρηγματώσεων, ως συνέπεια την αποκόλληση τμημάτων.(Εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.7. Αισύλλιο. (Πηγή googleearth)

Ο πλέον σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει ποσοτικά και ποιοτικά την ανάπτυξη των οργανισμών είναι το μικροκλίμα του βιοτόπου, όπως έχει αναφερθεί ήδη είναι:

- Οι εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας (ημερήσια διακύμανση, θερμική κίνηση των υλικών).
- Οι βροχοπτώσεις (ύψος βροχών, ένταση διάρκεια).
- Οι άνεμοι, θυέλλες (ταχύτητα, αιωρούμενα σωματίδια, ρύπανση, αμμοβολή σε παράκτιες περιοχές κ.α.).
- Η μεταφορά υγρασίας από το έδαφος.
- Το φως (απορροφητικότητα υλικών).
- Τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος (σύσταση, δομή).
- Η παρουσία άλλων φυτικών και ζωικών οργανισμών. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται αναλυτικά ο διαχωρισμός τους καθώς και η αλλοίωση η οποία προκύπτει.
- Τα φυσικά φαινόμενα (σεισμοί, παλιρροιακά κύματα μετά από σεισμό, δραστηριότητα ηφαιστειών, πλημμύρες, κατακλυσμοί, καθίζηση και μετακίνηση εδαφών κ.α.) (practicebiology.files.wordpress.com).

²⁷ Επιπρόσθετα, στον αρχαιολογικό χώρο της πλατείας Τερμιθέας, υπάρχει σε κοντινή απόσταση ένα ασύλλιο με αραιή βλάστηση, περιλαμβάνει, κυπαρίσσια, ακακίες Κων/πόλεως, θάμνους, πεύκα, φοίνικες, ευκάλυπτοι, μουριές, δάφνες, εσπεριδοειδή, μανόλιες, κουτσουπιές, ελιές, χαρουπιά, μιμόζα, βελανιδιά, μελιές. Πηγή [ΠΕ.ΣΥ.Δ.Α.Π. \(petsydap.gr\)](http://ΠΕ.ΣΥ.Δ.Α.Π. (petsydap.gr))

6.5. Παρουσία ακατάλληλων υλικών από προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης.

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε μια κατασκευή πρέπει να είναι συμβατά μεταξύ τους. Η συμβατότητα αυτή αφορά διάφορους παράγοντες, όπως η χημική σύσταση, ο συντελεστής θερμικής διαστολής (όσο το δυνατόν παρόμοιες τιμές, ώστε κατά τη διάρκεια θερμικών κύκλων να μην παρατηρείται ανομοιογένεια στη διαστολή και συνεπαγόμενη ανάπτυξη τάσεων), η πυκνότητα κ.α. καθορίζεται κάθε φορά ανάλογα με την επιθυμητή συμπεριφορά των υλικών. Η ασυμβατότητα των υλικών είναι δυνατό να οδηγήσει στην αστοχία τους, στη μείωση της διάρκειας ζωής τους, ή την εκλεκτική ένταση της φθοράς σε ένα από τα υλικά του δομικού συστήματος.

Τα προβλήματα ασυμβατότητας των υλικών εκδηλώνονται στη διεπιφάνεια δομικών υλικών – περιβάλλοντος, εντείνοντας και επιταχύνοντας τη φθορά των υλικών, και στη διεπιφάνεια αυθεντικών υλικών – υλικών συντήρησης, ευνοώντας την ανάπτυξη τάσεων λόγω ανισοτροπίας με παθολογικές επιπτώσεις στην κλίμακα της τοιχοποιίας. Σύμφωνα με τα παραπάνω, βασικό κριτήριο για την επιλογή υλικών αποκατάστασης είναι η φυσικοχημική και αισθητική συμβατότητά τους με το υλικό του μνημείου που θα εφαρμοστεί (υπόστρωμα), αλλά και ολόκληρη την κατασκευή, ώστε σε συγκεκριμένες συνθήκες έκθεσης του δομικού συστήματος στις εσωτερικές και εξωτερικές δράσεις, να διασφαλίζεται η μέγιστη ανθεκτικότητα της κατασκευής.

Ένα από τα πιο συνηθισμένα ασύμβατα υλικά που χρησιμοποιούνται σε μνημεία είναι τα τσιμεντιτικά κονιάματα αποκατάστασης. Η χρήση του τσιμέντου ως συνδετικού υλικού σε τοιχοποιίες, αν και εκτεταμένη στο παρελθόν, σήμερα αναγνωρίζεται ότι προκαλεί έντονα προβλήματα φθοράς, κυρίως λόγω ασυμβατότητας με τα παραδοσιακά δομικά υλικά. (Μοροπούλου,2004; Μοροπούλου et.all,2004).

Η ασυμβατότητα των κονιαμάτων τσιμέντου, έγκειται σε κάποια γενικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν και διαφοροποιούνται από αυτά των 35 παραδοσιακών υλικών. Συγκεκριμένα έχουν μεγάλες τιμές θλιπτικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας, καθιστώντας τα πολύ δυνατά και άκαμπτα σε σχέση με τα παραδοσιακά κονιάματα στις ιστορικές τοιχοποιίες. Επίσης παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής, γεγονός που έχει ως επακόλουθο την άσκηση μηχανικών τάσεων στα αυθεντικά υλικά, που μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στην πρόκληση ρηγματώσεων.

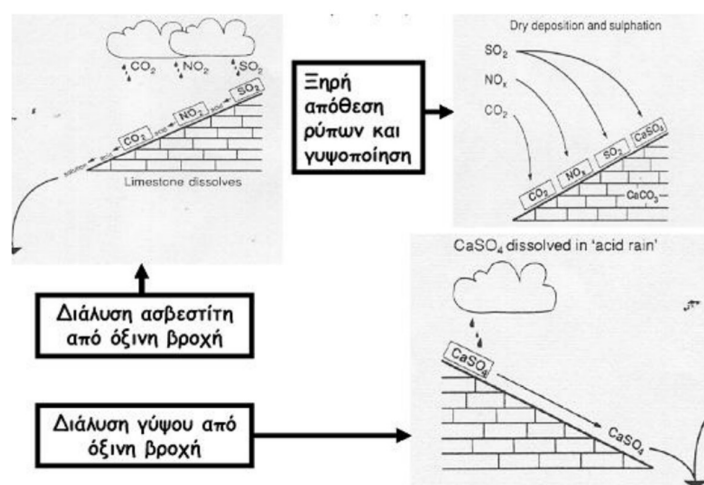
Η μικρή τιμή πορώδους και η σχετικά πυκνή τους δομή, δυσκολεύει την ‘αναπνοή’ της τοιχοποιίας, δηλαδή την μεταφορά υγρασίας στους κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης. Αστοχία επίσης, είναι πιθανό να δημιουργηθεί εξαιτίας του εκλεκτικού προσανατολισμού των διαλυτών αλάτων (των οποίων τα τσιμεντιτικά κονιάματα είναι φορέας), στα γειτονικά ιστορικά δομικά υλικά, μέσα από την άσκηση πιέσεων κρυστάλλωσης κατά τη φάση της εξάτμισης.

Τέλος, η χρήση του τσιμέντου ως υλικού αποκατάστασης, μπορεί ενδεχομένως να διαταράξει τη μηχανική συμπεριφορά, στατική και δυναμική, της τοιχοποιίας. Για την αντιμετώπιση, λοιπόν, όλων αυτών των παραγόντων που προκαλούν φθορά πρέπει να γίνεται η σωστή διάγνωση με τις κατάλληλες μεθόδους.(Μοροπούλου, 2004; 2010).

6.6. Ανθρωπογενής Παράγοντας

Η φθορά των μνημείων δεν οφείλεται μόνο σε ακραία φυσικά φαινόμενα, αλλά συχνότερα προκαλείται από τη χρόνια έκθεση τους σε πλήθος ανθρωπογενών παραγόντων, είτε η παρέμβαση είναι άμεση ή έμμεση. Σήμερα ένας από τους μεγαλύτερους έμμεσους ανθρωπογενείς κινδύνους που απειλούν τις αρχαιότητες είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος. Τα αποτελέσματα της όξινης βροχής (Σχήμα 6.3) είναι η όξινη απόθεση, δηλαδή η διαδικασία απόθεσης όξινων ρύπων από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης σε ξηρή ή υγρή μορφή. Η όξινη βροχή προκαλεί διάβρωση των κατασκευών.

Τα δομικά υλικά όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο, η πέτρα, ο ψαμμίτης διαλύονται. Η ξηρή απόθεση επίσης 'λερώνει' τα κτίρια και τις κατασκευές, καθιστώντας αναγκαίο τον καθαρισμό τους, που οδηγεί σε αυξημένο κόστος συντήρησης (Μοροπούλου et.al. 2004; Μοροπούλου, 2010 Καραντώνη,χ.χ).



Σχήμα 6.3. Διάβρωση ασβεστόλιθων και μαρμάρων σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα. Πηγή: Σμέρος, 2011.

6.7. Ενδογενείς Παράγοντες Φθοράς

Ως φθορά ορίζεται ως η απομείωση στο χρόνο των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών κ.α.) και των χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής κ.α.), της συνοχής, των διαστάσεων και της αισθητικής των υλικών. Έτσι ανάλογα με το είδος του υλικού και του τρόπου με τον οποίο αντιδρά στις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, προκαλείται η φθορά. Τα κύρια δομικά υλικά (κονιάματα, κεραμικά, σύνθετα υλικά, μέταλλα) συμπεριφέρονται διαφορετικά στις ίδιες περιβαλλοντικές φορτίσεις. Για παράδειγμα τα κονιάματα και τα κεραμικά είναι πιο επιρρεπή σε συγκεκριμένους τύπους φθοράς όπως η χημική φθορά από την όξινη βροχή και τα καυσαέρια, η δράση των διαλυτών αλάτων, οι κύκλοι ύγρανσης-ξηρανσης (Μοροπούλου, 2004).

Οι ιδιότητες του υλικού αποτελούν ένα ακόμη σημαντικό παράγοντα φθοράς και σχετίζονται με τις μηχανικές, φυσικοχημικές και ορυκτολογικές ιδιότητες του υλικού, οι οποίες επηρεάζονται σε διαφορετικό βαθμό από συγκεκριμένους εξωγενείς παράγοντες. Το πρωταρχικό στοιχείο που αναζητείται σε κάθε περίπτωση είναι η συγκεκριμένη ιδιότητα να καταστεί μέτρο αξιολόγησης της φθοράς του υλικού. Για να γίνει κάτι τέτοιο εφικτό απαιτείται η εύρεση μιας συσχέτισης μεταξύ του εφαρμοζόμενου εξωγενή παράγοντα και της ιδιότητας η οποία μεταβάλλεται. Ως παράδειγμα, αναφέρουμε, τις θερμικές ιδιότητες του τσιμέντου, οι οποίες είναι δυνατό να μεταβληθούν μετά από την αύξηση του πορώδους (δημιουργία μικρορωγμών, αποκόλληση κόκκων), με αποτέλεσμα τη μείωση της μηχανικής αντοχής του.

Ένας παράγοντας φθοράς ο οποίος μπορεί να συσχετιστεί με αυτόν της δομής και της σύστασης ενός υλικού είναι η προέλευσή του. Σε κάθε φάση σχεδιασμού και αποτίμησης της κατάστασης ενός υλικού, η γνώση της προέλευσής του, είναι σημαντική καθώς είναι αυτή που επηρεάζει τις ιδιότητες και την μικροδομή του. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα σύνθετα υλικά (τσιμέντο, κονιάματα), όπου η προέλευση των πρώτων υλών καθορίζει άμεσα την σύσταση του σύγχρονου υλικού. (Μοροπούλου, 2004).

Οι ιδιότητες και η μικροδομή ενός υλικού, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τεχνολογία και τον τρόπο παραγωγής τους. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να έχουμε γνώση αυτής της παραμέτρου. Η αποκάλυψη της τεχνολογίας παραγωγής ενός υλικού μπορεί να γίνει με τη μέθοδο της «αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης" (reverse engineering). Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου είναι ιδιαίτερα σημαντική για τα κονιάματα αποκατάστασης. (Καραντώνη,χ.χ.).

6.8. Συμπέρασμα

Ο αρχαιολογικός χώρος της Πλατείας Τερψιθέας, δεν είναι επισκέψιμος για το κοινό. Είναι εκτεθειμένος στις καιρικές συνθήκες και οι παράγοντες φθοράς με την πάροδο του χρόνου προκαλούν την αποδόμηση των υλικών αλλά και των λιθοδομών, αφού δεν διαθέτει κάποιο στέγαστρο ή άλλα μέτρα προστασίας.

Το φαινόμενο της διάβρωσης παρατηρείται κυρίως με την απομείωση του συνδετικού υλικού δόμησης. Οι κυριότεροι παράγοντες των φθορών προκαλούνται από όμβρια ύδατα, όπου με την ροή τους παρασύρουν τα συστατικά των κονιαμάτων των λιθοδομών, αλλά και με τους συνεχείς κύκλους διαβροχής και ξήρανσης κατά την διάρκεια του έτους, δημιουργούν ασταθείς συνθήκες με συνέπεια την αποδυνάμωση και τελικά την απώλεια τους.

Ένας άλλος σοβαρός παράγοντας, που λειτουργεί συνδυαστικά και συμβάλλει στην επιδείνωση του προβλήματος, είναι οι ανάπτυξη/δράση της χλωρίδας που αναπόφευκτα αναπτύσσεται σε υπαίθριους χώρους. Η βλάστηση φυτών και δέντρων και η ανάπτυξη ριζικών συστημάτων, προκαλεί διανοίξεις στο συνδετικό υλικό των λιθοδομών, με συνέπεια της απώλεια συνοχής. Επίσης στις επιφάνειες των λίθων παρατηρείται ανάπτυξη βιολογικών επικαθήσεων και ατμοσφαιρικών ρύπων.

«Τα φαινόμενα φθοράς είναι επιφανειακά φαινόμενα, με την εκδήλωσή τους να λαμβάνει χώρα μεταξύ των διεπιφανειών υλικών με υλικά, καθώς και υλικών με περιβάλλον και αποτελεί συνδυασμό ενδογενών και εξωγενών παραγόντων» (Σακκή, 2011). Τα φαινόμενα φθοράς, εκδηλώνονται στην διεπιφάνεια μεταξύ του περιβάλλοντος και των υλικών και κατατάσσονται γενικά σε μηχανική, φυσική, χημική, βιολογική φθορά.

Τα φυσικά υλικά εμφανίζουν χαμηλότερη ταχύτητα διάβρωσης, σε σύγκριση, με τα τεχνητά, λόγω του μικρότερου ποσοστού επεξεργασίας την οποία υφίσταται το μητρικό τους πέτρωμα. Στην περίπτωση όμως των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται στα μνημεία, η συνδυαζόμενη δράση πολλών παραγόντων, για μεγάλα χρονικά διαστήματα, είναι που οδηγεί τελικά σε μια, εμφανώς, πιο επιταχυνόμενη διάβρωση. Το χρονικό αυτό διάστημα, μπορεί να έχει εύρος από μερικές δεκαετίες έως και αρκετούς αιώνες, στην περίπτωση των δομικών υλικών των μνημείων (Παπανικολάου, 2016).

Πιο συγκεκριμένα οι παραπάνω παράγοντες που έχουν ήδη αναλυθεί έχουν προκαλέσει:

1. Αποσάθρωση του συνδετικού υλικού, γύρω από τους λίθους, που εμφανίζεται με μεγάλα χάσματα και κενά περιμετρικά τους και κατά συνέπεια, στο σώμα των λιθοδομών.
2. Καθιζήσεις, και διαταράξεις των λίθων.
3. Απώλεια μέρους, συνδετικού υλικού ή του εδάφους, κάτω από τους λίθους με αποτέλεσμα κάποιοι από αυτούς να είναι ετοιμόρροποι.
4. Μετακινήσεις και τελικά πτώσεις λίθων στο έδαφος, άρα και μερική κατάρρευση των λιθοδομών.
5. Ρωγμές, σχισμές, ακόμα και χάσματα παρατηρούνται σε δομικούς λίθους με συνέπεια να αναπτύσσεται βλάστηση στους αρμούς και τα διάκενα μεταξύ των λίθων με αποτέλεσμα την περαιτέρω φθορά τους (Αξιώτη, 2009; Παναγοπούλου & Παπαιωάννου, 2009).

7. Εργαστηριακό Μέρος

7.1. Μεθοδολογία

Η διαγνωστική μελέτη, είναι μια μεθοδολογία, η αποτελείται από τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις τόσο για την κατάσταση των υλικών καθώς και για την περιγραφή της φθοράς με μη καταστρεπτικές μετρήσεις. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει την ταυτοποίηση των υλικών δόμησης καθώς και την προέλευση τους. Με την μελέτη αυτή, διαπιστώνεται, η επίδραση που έχουν οι παράγοντες φθοράς του αρχαιολογικού χώρου και με αυτόν τον τρόπο, ως αποτέλεσμα πραγματοποιείται η εκτίμηση τόσο των αιτιών, όσο και των μηχανισμών της φθοράς τους.





Για αυτό τον λόγο, η τεχνολογία που διέπει την ζωή μας, σήμερα, μας δίνει την δυνατότητα για να έχουμε ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα να συγκρίνουμε, τόσο τα αποτελέσματα που έχουν διαπιστωθεί, είτε μικροσκοπικά είτε μακροσκοπικά στο πεδίο, με αυτά που θα εξαχθούν από το εργαστήριο. (Brundle et al., 1992; Moropoulou et al., 1997; Saiz-Jimenez, 2004).

Επομένως, η δειγματοληψία για να πραγματοποιηθεί η μελέτη κρίνεται απαραίτητη, για αυτό συλλέχθηκαν δείγματα από τους λίθους αλλά και από τα επιχρίσματα του υπό εξέταση αρχαιολογικού χώρου. Η επιλογή των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε ύστερα από ενδελεχή μελέτη, κυρίως μακροσκοπική, με πυξίδα την διάβρωση των υλικών. Συλλέχθηκαν 7 δείγματα μικρών διαστάσεων, από 5 θέσεις, από ήδη αποσπασμένες επιφάνειες, με σκοπό να μην αλλοιωθεί η αισθητική αξία του οικοδομήματος. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων όπως προκύπτει και από την φωτογραφική τεκμηρίωση πρόκειται για δείγματα ήδη αποκομμένα γεγονός, που διευκόλυνε την επιλογή.

Με αυτόν τον τρόπο έγινε προσπάθεια να καλυφθούν όλα τα είδη των πρώτων υλών που υπάρχουν στον αρχαιολογικό χώρο (Παπανικολάου, 2016). Στα δείγματα αυτά, εφαρμόστηκαν καταστρεπτικές ή μη καταστρεπτικές εργαστηριακές μέθοδοι, συγκεκριμένα η Οπτική Μικροσκοπία (LM), η Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης συνδυασμένη με φασματοσκοπία ακτίνων X (SEM/EDS), η Περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD) και η Ποροσιμετρία εισόδου υδραργύρου(MIP), από τις οποίες προκύπτει η ορυκτολογική τους σύσταση, οι φυσικό-μηχανικές τους ιδιότητες, η διάβρωση, την οποία έχουν υποστεί, καθώς και η προέλευσή τους (Παπανικολάου, 2016).

7.2. Δειγματοληψία

Η στοιχειακή ανάλυση, τόσο του υλικού, όσο και των προϊόντων διάβρωσης, είναι ένα πολύτιμο εργαλείο για τον σωστό προσδιορισμό της φθοράς. Η σημασία της ιστορίας των φάσεων δόμησης (Ρωμαϊκό-Κλασικό) καθώς και των σωστικών επεμβάσεων που πραγματοποιήθηκαν, όπως αναλύθηκαν στην παρούσα μελέτη μας δίνουν τουλάχιστον το 50% των αιτιών φθοράς, μας δίνει δηλαδή, όλα εκείνα τα αίτια φθοράς που δεν οφείλονται στο περιβάλλον. Επομένως, η αναγνώριση της φθοράς και κατά συνέπεια η σωστή ονομασία της, συνδέεται απόλυτα (Παπανικολάου, 2016):

-  Με τη διάγνωση των αιτιών φθοράς(των φθοροποιών παραγόντων δηλαδή που δρουν στο συγκεκριμένο περιβάλλον).
-  Με το είδος του λίθου.
-  Με την επεξεργασία του.
-  Με την ιστορία και την διαδρομή του μνημείου.

Όπως εύκολα γίνεται κατανοητό, η μακροσκοπική παρατήρηση όπως πραγματοποιήθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, δεν αρκεί, για να καταλήξουμε σε θετικά συμπεράσματα σε σχέση:

- α) Με το είδος και την σύσταση των υλικών.
- β) Το είδος και τον βαθμό της φθοράς.
- γ) Τον τρόπο αντιμετώπισης της.

Για τους παραπάνω λόγους, είναι επιτακτική η ανάγκη της δειγματοληψίας, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες επιστημονικές εξετάσεις και αναλύσεις, όμως για να είναι αντιπροσωπευτική πρέπει να δίνει πραγματική εικόνα της φθοράς του μνημείου.

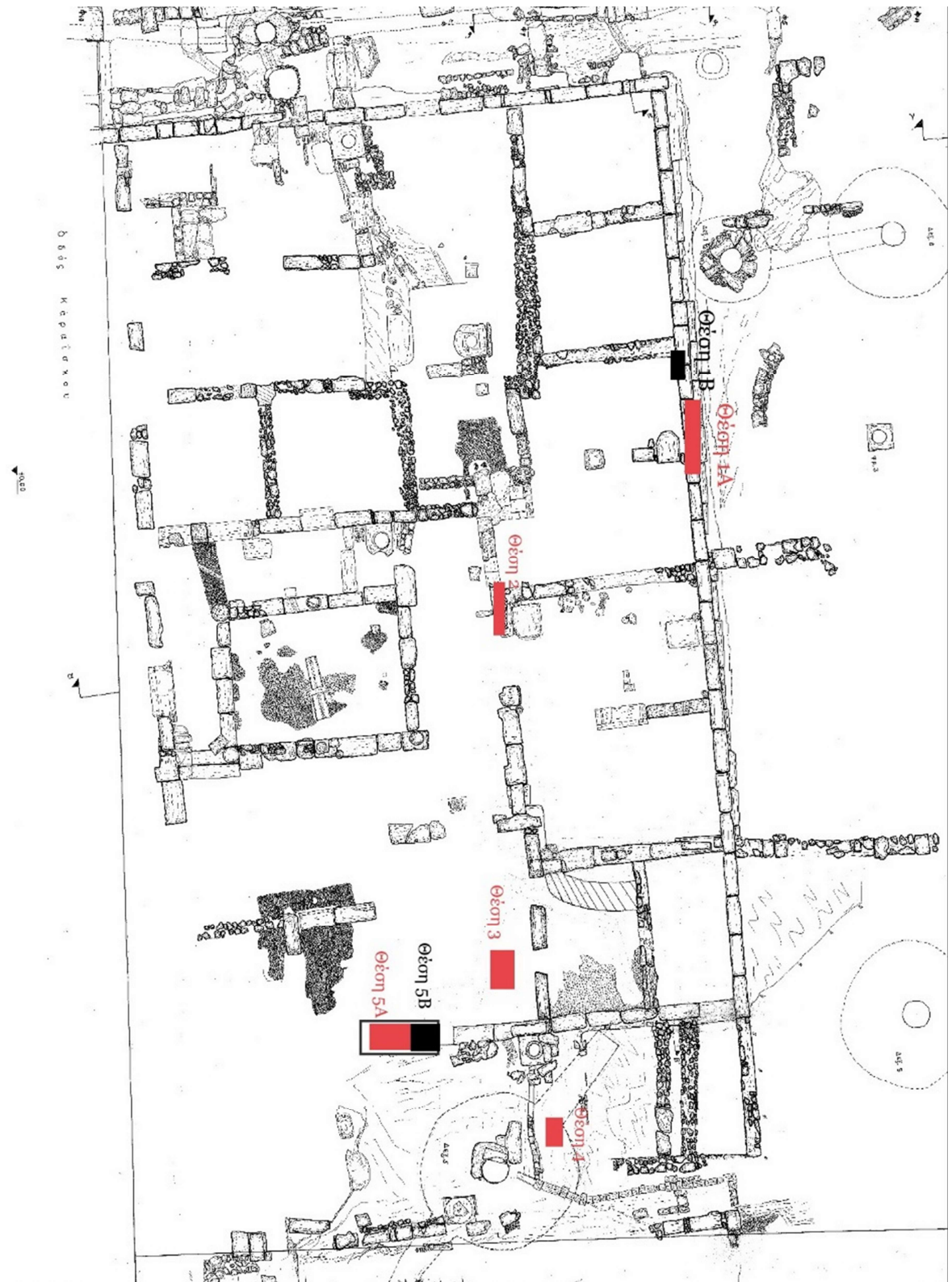
Δηλαδή, πρέπει να ληφθεί υπόψιν :

- ✚ Ότι μπορεί να υπάρχουν διαφορετικοί τύποι φθοράς του μνημείου στο ίδιο ή σε διαφορετικά ύψη από το έδαφος και
- ✚ Ποιες οι διαφορές του είδους του πετρώματος που είναι φτιαγμένα οι διάφοροι δομικοί λίθοι που αποτελούν τα μέρη του μνημείου.
- ✚ Ότι ορισμένα σημεία του μνημείου είναι περισσότερο εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες από ότι άλλα.

Κατά τη δειγματοληψία, λοιπόν προσπάθησαν να ικανοποιηθούν όλες οι παραπάνω απαιτήσεις. Έτσι, πιο συγκεκριμένα:

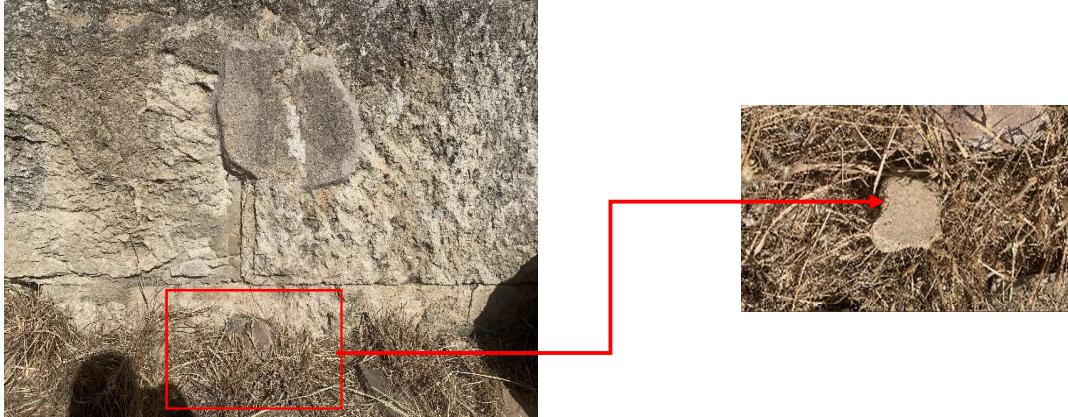
- Έγινε προσπάθεια να συλλεχθούν δείγματα τα όποια είχαν υποστεί κάποια μορφή φθοράς, διότι ήταν εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες, όσο και ότι, μερικά από τα δείγματα, βρισκονταν στο έδαφος, είτε πλησίον του εδάφους, αλλά και σε πιο υψηλό σημείο.
- Ελήφθησαν δείγματα, από τα κυριότερα είδη πετρωμάτων, που μακροσκοπικά διακρίθηκε η ύπαρξή τους στην τοιχοποιία του αρχαιολογικού χώρου της Τερψιθέας.
- Τα δείγματα που ελήφθησαν είναι από επίχρισμα αλλά και από δομικούς λίθους, με σκοπό να μας δίνουν μια συνολική εικόνα των δομικών υλικών που υπάρχουν στο μνημείο.

Η δειγματοληψία έγινε με μεγάλη προσοχή, με το χέρι, καθώς τα περισσότερα δείγματα που ελήφθησαν ήταν αποκολλημένα, σε μερικές περιπτώσεις, όσον αφορά τα επίχρισματα χρησιμοποιήθηκε μικρό νυστέρι. Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας. Στα Σχήματα 7.2-7.8 παρουσιάζονται οι θέσεις δειγματοληψίας όσο και η φωτογραφική τεκμηρίωση.



Σχήμα 7.1. Φωτογράφιση και αποτύπωση των θέσεων δειγματοληψίας. Πηγή: Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων

Κωδικός Δείγματος: Θέση 1^Α
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Δομικός Λίθος<input checked="" type="checkbox"/> Επίχρισμα<input type="checkbox"/> Επίστρωση<input type="checkbox"/> Πλήρωση<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Πλίνθο<input checked="" type="checkbox"/> Λίθο<input type="checkbox"/> Μέταλλο<input type="checkbox"/> Άλλο :	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία<input type="checkbox"/> Καμάρα<input type="checkbox"/> Παραστάδα<input type="checkbox"/> Πεσσός<input type="checkbox"/> Οροφή<input type="checkbox"/> Τόξο<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Καλέμι<input checked="" type="checkbox"/> Χέρι<input type="checkbox"/> Καροτίερα<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
--	--

Σχήμα 7.2 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

Κωδικός Δείγματος: Θέση 1^B
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Δομικός Λίθος <input checked="" type="checkbox"/> Επίχρισμα <input type="checkbox"/> Επίστρωση <input type="checkbox"/> Πλήρωση <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Πλίνθο <input checked="" type="checkbox"/> Λίθο <input type="checkbox"/> Μέταλλο <input type="checkbox"/> Άλλο : 	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία <input type="checkbox"/> Καμάρα <input type="checkbox"/> Παραστάδα <input type="checkbox"/> Πεσσός <input type="checkbox"/> Οροφή <input type="checkbox"/> Τόξο <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Καλέμι <input checked="" type="checkbox"/> Χέρι <input type="checkbox"/> Καροτίερα <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
---	---

Σχήμα 7.3 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

Κωδικός Δείγματος: Θέση 2^η
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Δομικός Λίθος <input type="checkbox"/> Επίχρισμα <input type="checkbox"/> Επίστρωση <input type="checkbox"/> Πλήρωση <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Πλίνθο <input checked="" type="checkbox"/> Λίθο <input type="checkbox"/> Μέταλλο <input type="checkbox"/> Άλλο : 	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία <input type="checkbox"/> Καμάρα <input type="checkbox"/> Παραστάδα <input type="checkbox"/> Πεσσός <input type="checkbox"/> Οροφή <input type="checkbox"/> Τόξο <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Καλέμι <input checked="" type="checkbox"/> Χέρι <input type="checkbox"/> Καροτίερα <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
---	---

Σχήμα 7.4 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

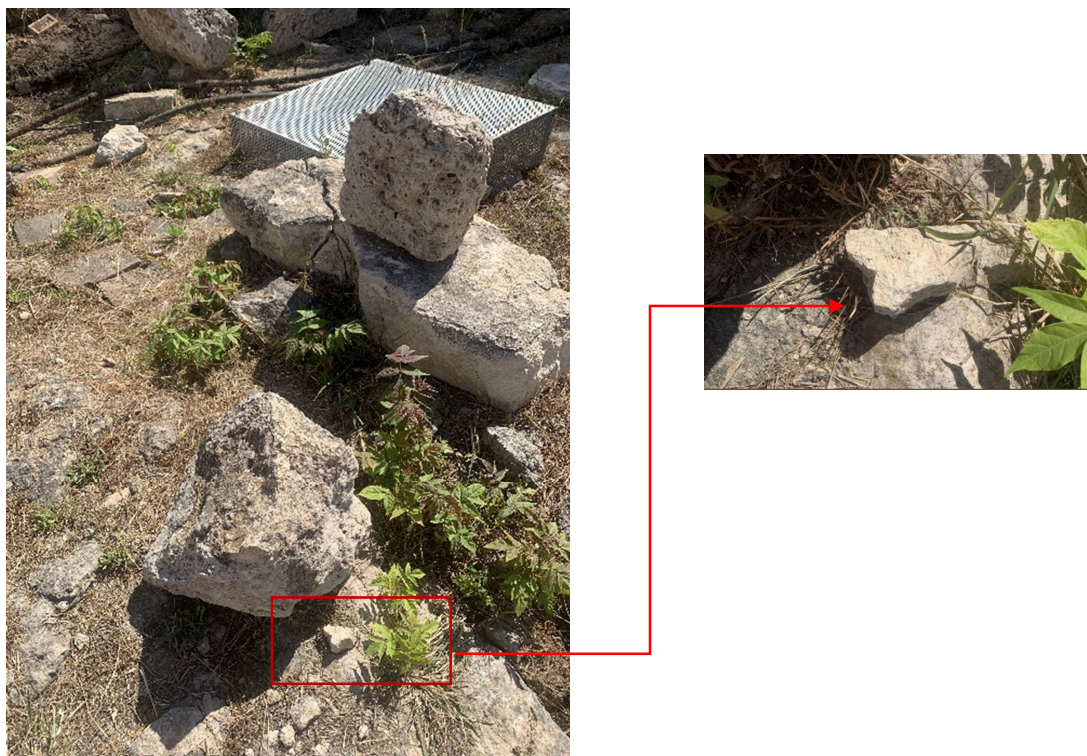
Κωδικός Δείγματος: Θέση 3^η
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Δομικός Λίθος <input type="checkbox"/> Επίχρισμα <input type="checkbox"/> Επίστρωση <input type="checkbox"/> Πλήρωση <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Πλίνθο <input checked="" type="checkbox"/> Λίθο <input type="checkbox"/> Μέταλλο <input type="checkbox"/> Άλλο : 	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία <input type="checkbox"/> Καμάρα <input type="checkbox"/> Παραστάδα <input type="checkbox"/> Πεσσός <input type="checkbox"/> Οροφή <input type="checkbox"/> Τόξο <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Καλέμι <input checked="" type="checkbox"/> Χέρι <input type="checkbox"/> Καροτίερα <input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
---	---

Σχήμα 7.5 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

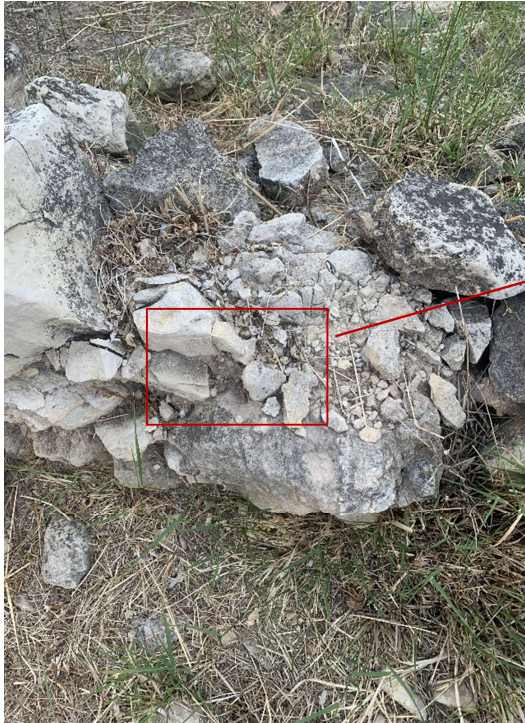
Κωδικός Δείγματος: Θέση 4^η
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Δομικός Λίθος<input type="checkbox"/> Επίχρισμα<input type="checkbox"/> Επίστρωση<input type="checkbox"/> Πλήρωση<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Πλίνθο<input checked="" type="checkbox"/> Λίθο<input type="checkbox"/> Μέταλλο<input type="checkbox"/> Άλλο :	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία<input type="checkbox"/> Καμάρα<input type="checkbox"/> Παραστάδα<input type="checkbox"/> Πεσσός<input type="checkbox"/> Οροφή<input type="checkbox"/> Τόξο<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Καλέμι<input checked="" type="checkbox"/> Χέρι<input type="checkbox"/> Καροτίερα<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
--	--

Σχήμα 7.6 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

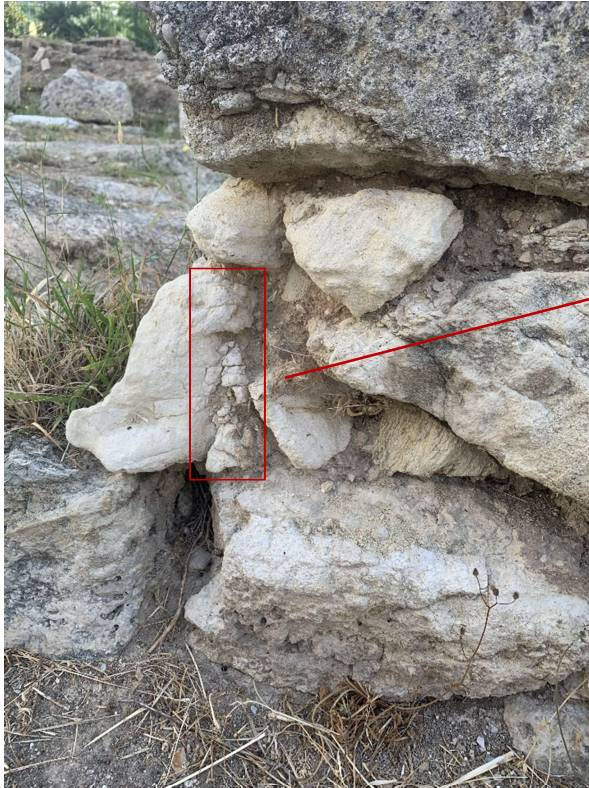
Κωδικός Δείγματος: Θέση 5^Α
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Δομικός Λίθος<input type="checkbox"/> Επίχρισμα<input type="checkbox"/> Επίστρωση<input type="checkbox"/> Πλήρωση<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Πλίνθο<input checked="" type="checkbox"/> Λίθο<input type="checkbox"/> Μέταλλο<input type="checkbox"/> Άλλο :	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία<input type="checkbox"/> Καμάρα<input type="checkbox"/> Παραστάδα<input type="checkbox"/> Πεσσός<input type="checkbox"/> Οροφή<input type="checkbox"/> Τόξο<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Καλέμι<input checked="" type="checkbox"/> Χέρι<input type="checkbox"/> Καροτίερα<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
--	--

Σχήμα 7.7 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση

Κωδικός Δείγματος: Θέση 5^B
Προέλευση: Αρχαιολογικός Χώρος Τερψιθέας
Ημερομηνία Δειγματοληψίας: 15/6/2022



<p>Ιστορική Περίοδος:</p> <p>Είδος Δείγματος</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Δομικός Λίθος<input checked="" type="checkbox"/> Επίχρισμα<input type="checkbox"/> Επίστρωση<input type="checkbox"/> Πλήρωση<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επαφή με :</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Πλίνθο<input checked="" type="checkbox"/> Λίθο<input type="checkbox"/> Μέταλλο<input type="checkbox"/> Άλλο :	<p>Στοιχείο Κατασκευής</p> <ul style="list-style-type: none"><input checked="" type="checkbox"/> Τοιχοποιία<input type="checkbox"/> Καμάρα<input type="checkbox"/> Παραστάδα<input type="checkbox"/> Πεσσός<input type="checkbox"/> Οροφή<input type="checkbox"/> Τόξο<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Τρόπος Δειγματοληψίας</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Καλέμι<input checked="" type="checkbox"/> Χέρι<input type="checkbox"/> Καροτίερα<input type="checkbox"/> Άλλο <p>Επιπλέον στοιχεία περιοχής της δειγματοληψίας</p>
--	--

Σχήμα 7.8 Θέση Δειγματοληψίας-Φωτογραφική Τεκμηρίωση.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕ ΚΛΙΜΑΚΑ

Κωδικός Δείγματος : Θέση 1^A

Θέση: Επίχρισμα, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 1^B

Θέση: 2^η στρώση επιχρίσματος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 2^η

Θέση: Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 3^η

Θέση: Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 4^η

Θέση: 2^η στρώση επιχρίσματος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 5^A

Θέση: Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



Κωδικός Δείγματος : Θέση 5^B

Θέση: Κονίαμα αρμολογήματος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς.



A/A	Κωδικός δείγματος	Θέση
1	Θέση 1A	Επίχρισμα, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
2	Θέση 1B	2 ^η στρώση επιχρίσματος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
3	Θέση 2 ^η	Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
4	Θέση 3 ^η	Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
5	Θέση 4 ^η	Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
6	Θέση 5A	Λίθος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς
7	Θέση 5B	Κονίαμα αρμολογήματος, Αρχαιολογικός χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς

Πίνακας 7.1. Δείγματα²⁸.

²⁸ **Σημείωση:** Οι τελικές θέσεις που εγκρίθηκαν για την δειγματοληψία, όπως και οι κωδικοί των δειγμάτων, δόθηκαν από την Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων.

8. Εργαστηριακές Τεχνικές και Τεχνικές Ανάλυσης-Θεωρητικό Μέρος

8.1. Οπτική Μικροσκοπία (OM)

Γενικά, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την παρατήρηση αντικειμένων σε μεγέθυνση με την βοήθεια του φωτός. Ο σκοπός είναι να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά της μικροδομής των δειγμάτων, το είδος των αδρανών και της κονίας, όπως και η συνεκτικότητα της δομής τους καθώς και βασικές διαφορές στην επιλογή πρώτων υλών που θα επέτρεπε την μετέπειτα κατηγοριοποίησή τους. Για αυτό, παρατηρήθηκαν τα δείγματα, αρχικά σε ελεύθερη επιφάνεια και στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε προετοιμασία για την μελέτη των στίλπνων τομών η οποία γίνεται με τον εξής τρόπο:

- Τα δείγματα προσανατολίζονται κατάλληλα και εγκιβωτίζονται μέσα σε διαφανή πολυεστερική ρητίνη²⁹, με την βοήθεια μητρών, διατομής οβάλ.
- Περιμένουμε 24 ώρες για τη σκλήρυνση της ρητίνης, κατόπιν αφαιρούμε, από τα εγκιβωτισμένα δείγματα, τα καλούπια.
- Στη συνέχεια τα δείγματα λειανίνονται προσεκτικά σε λειαντικό τροχό με την βοήθεια υαλόχαρτων καρβιδίου-πυριτίου. Κατά την λείανση χρησιμοποιούμε υαλόχαρτα διαφόρων κοκκομετριών (μεγεθών), ξεκινώντας πάντα από το πιο χονδρόκοκκο (No.500) και καταλήγοντας στο λεπτόκοκκο (No.1200).
- Τέλος ακολουθεί η στίλβωση των δειγμάτων με τη χρήση ειδικού δίσκου του λειαντικού τροχού.

8.2. Ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) – Φασματοσκοπία διασπειρόμενης ενέργειας (EDS)

Η μέθοδος της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σάρωσης (Scanning Electron Microscopy) χρησιμοποιείται ευρύτατα στην μελέτη της πέτρας, όσον αφορά στην σύσταση καθώς και στην κατάσταση διατήρησης της (Van & Dewolfs,1992).

Συγκεκριμένα, η εφαρμογή αυτής της μεθόδου συμβάλλει στην ποιοτική και ποσοτική στοιχειακή ανάλυση σε στερεή κατάσταση (Αλεξοπούλου & Χρυσουλάκης, 1993), ενώ έχει την δυνατότητα να δίνει μεγεθύνσεις των εξεταζόμενων δειγμάτων με μεγάλη διακριτική ικανότητα (Μπατής & Μοροπούλου,1991). Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης είναι ένα όργανο, που λειτουργεί, όπως περίπου και ένα οπτικό μικροσκόπιο, μόνο που χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας αντί για φως, για να εξετάσει αντικείμενα σε λεπτομερή κλίμακα. Τα ηλεκτρόνια λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιαστούν, όπως και τα φωτεινά κύματα αλλά σε πολύ μικρότερη επιφάνεια (π.χ. κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με το οποίο αλληλοεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή, προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων, που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια καθώς και ακτίνες X. Η ένταση των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας.

Συνεπώς, το SEM δίνει πληροφορίες, που αφορούν κυρίως στη μορφολογία, καθώς και τη σύσταση της επιφανείας. Η ενέργεια της ακτινοβολίας X, είναι χαρακτηριστική της ατομικής δομής του κάθε στοιχείου. Επομένως, η συλλογή της με ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων X, που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, επιτρέπει τη στοιχειακή ανάλυση του δείγματος. Η τεχνική αυτή

²⁹ Η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε ήταν η H210 της σειράς Araldite.

ονομάζεται φασματοσκοπία ακτίνων X διασπειρόμενης ενέργειας (Energy Dispersive Spectroscopy). Το όριο της χημικής ανάλυσης με SEM-EDS είναι ~ 0.01% για στοιχεία με $Z > 11$ (Na). Επομένως, το SEM χρησιμοποιείται για την εξέταση της μικροδομής στερεών δειγμάτων και για λήψη εικόνων με υψηλό βαθμό διείσδυσης (Κουή et al., χ.χ.; Skoog et al., 1992).

Και σε αυτή την εργαστηριακή μέθοδο, χρησιμοποιήθηκαν τα εγκιβωτισμένα δείγματα σε πολυεστερική ρητίνη, που χρησιμοποιήθηκαν και στον έλεγχο της οπτικής μικροσκοπίας.

8.3. Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιείται για την αναγνώριση των στερεών φάσεων (ορυκτών) που συναντώνται σε ένα πέτρωμα, με βάση τα χαρακτηριστικά της κρυσταλλικής τους δομής. Η αρχή λειτουργία της μεθόδου στηρίζεται στο γεγονός ότι τα μήκη κύματος των ακτίνων X είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, με τις αποστάσεις των ατόμων, στα κρυσταλλικά υλικά. (Αλεξοπούλου & Χρυσουλάκης, 1993)

Η περιθλασιμετρία ακτίνων X, είναι δυνατή επειδή, το μήκος κύματος των ακτίνων X είναι συγκρίσιμο με τις διαστάσεις των βασικών κελιών των κρυστάλλων. Όταν η δέσμη ακτίνων X προσπίπτει πάνω σε ένα κρύσταλλο παρατηρείται το φαινόμενο περίθλασης τους, το οποίο εξαρτάται από το μήκος κύματος των ακτίνων X, τον προσανατολισμό, καθώς και την δομή των κρυστάλλων. Η δέσμη των ηλεκτρονίων αλληλοεπιδρά με την ηλεκτρονική πυκνότητα των ατόμων ή των ιόντων του κρυσταλλικού πλέγματος, δημιουργώντας έναν ηλεκτρονικό χάρτη του εξεταζόμενου κρυστάλλου. (Μοροπούλου, 2012)

Η επιλογή των δειγμάτων, σε αυτόν τον εργαστηριακό έλεγχο, πραγματοποιήθηκε, με βάση τα αποτελέσματα των μεθόδων που προηγήθηκαν αυτής, ξεχωρίζοντας έτσι τα δείγματα που θα είχαν περισσότερο ενδιαφέρον από ορυκτολογικής άποψης.

Η προετοιμασία τους, έγινε με λειοτρίβηση σε γουδί από αχάτη και κατόπιν τοποθετήθηκε σε έναν ειδικό υποδοχέα (του οργάνου). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων καταγράφονται, είτε σε ακτινογραφικό φιλμ, που τοποθετούνται γύρω από το αναλυόμενο δείγμα στο εσωτερικό μιας κάμερας, είτε σε περιθλασιγραφήματα, που παρουσιάζουν την ένταση της περιθλώμενης ακτινοβολίας X, υπό μορφή κορυφών σε χαρτί, που ξετυλίγεται ανάλογα με την περιστροφή (κατά γωνία θ)³⁰ του κινητού ανιχνευτή ακτίνων X (Αλεξοπούλου & Χρυσουλάκης, 1993).

Η χρήση της μεθόδου σε δομικά υλικά αποκαλύπτει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την κρυσταλλική δομή, το μέγεθος των κρυστάλλων, μικροσκοπικές καταπονήσεις και αποδίδει ποσοτική ανάλυση των ορυκτολογικών φάσεων. (Μοροπούλου, 2012). Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι πως ανιχνεύει κρυσταλλικές ενώσεις και όχι στοιχεία. Αυτό έχει ιδιαίτερη εφαρμογή σε ενώσεις που περιέχουν τα ίδια τα χημικά στοιχεία, ενώ παρουσιάζουν διαφορετική κρυσταλλική δομή.

³⁰ Η μέθοδος βασίζεται στην συνθήκη του Bragg που διατυπώθηκε από τους Βρετανούς φυσικούς W.H. Bragg και τον υιό του W.L. Bragg το 1913 και εξηγεί γιατί οι κρύσταλλοι φαίνεται να ανακλούν δέσμη ακτίνων X σε ορισμένες γωνίες πρόσπτωσης : $n\lambda = 2d \sin\theta$, όπου η παράμετρος d είναι η απόσταση μεταξύ των ατομικών επιπέδων στον κρύσταλλο, λ είναι το μήκος κύματος της προσπίπτουσας δέσμης ακτίνων X και n είναι ο ακέραιος αριθμός (Μοροπούλου, 2012).

8.4. Ποροσιμετρία Υδραργύρου (MIP)

Η ποροσιμετρία υδραργύρου αποτελεί μια από τις σημαντικότερες μεθόδους εκτίμησης και ανάλυσης της μικροδομής των πορώδων υλικών και προσδιορισμού του πορώδους τους. (Μοροπούλου, 2006)

Η πειραματική τεχνική βασίζεται στη βαθμιαία εισδυσση υδραργύρου (μη διαβρέχον υγρό) σε ένα πορώδες υλικό εκκενωμένο από αέρα με αύξηση της εξωτερικής πίεσης και στην απομάκρυνση του υδραργύρου, καθώς η πίεση ελαττώνεται. (Μοροπούλου, 2006). Για το πορώδες ενός υλικού υπάρχουν οι εξής όροι:

- Ολικό πορώδες ενός υλικού, ονομάζουμε το ποσοστό του κενού χώρου στο σύνολο του όγκου του. Το ολικό πορώδες αποτελείται από το ανοιχτό και το κλειστό πορώδες.
- Ανοιχτό πορώδες ενός υλικού, ονομάζεται το ποσοστό του όγκου των πόρων, οι οποίοι είναι διαπερατοί σε μια ποικιλία ρευστών, στο σύνολο του όγκου του υλικού.
- Ενεργό ή συνεκτικό πορώδες ονομάζουμε, ένα μέρος από το ανοιχτό και αποτελεί το ποσοστό του όγκου των πόρων, οι οποίοι είναι μεταξύ τους συνδεδεμένοι, με αποτέλεσμα ένα ρευστό να μπορεί να κινηθεί μέσα από αυτούς και να διαπεράσει από άκρο εις άκρο το δείγμα, στο σύνολο του όγκου του υλικού.
- Κλειστό πορώδες ονομάζεται, το ποσοστό του όγκου των πόρων, οι οποίοι δεν είναι διαπερατοί σε ρευστά (κλειστοί πόροι), στο σύνολο του όγκου του υλικού. (Μπαρδάνης, 1997)

Συγκεκριμένα, επειδή ο υδράργυρος αποτελεί μη διαβρέχον υγρό για το σύνολο σχεδόν των υλικών, απαιτεί την επιβολή πίεσης για να εισδύσει στους πόρους ενός εκκενωμένου από αέρα πορώδους υλικού. Καθώς η εξωτερική πίεση αυξάνεται, ο υδράργυρος προοδευτικά εισβάλλει και στους μικρότερους πόρους, με την προϋπόθεση, ότι όταν επιβληθεί μια αρκετά μεγάλη δύναμη το πορώδες δείγμα θα κορεστεί με υδράργυρο. Καθώς η διαβρέχουσα φάση είναι αέρας πολύς χαμηλής πίεσης (κενό) με ατμούς υδραργύρου, δεν παρουσιάζει καμία αντίσταση στην εισδυσση υδραργύρου. Στην συνέχεια καθώς η εξωτερικά εφαρμοζόμενη πίεση ελαττώνεται ο υδράργυρος απομακρύνεται προοδευτικά, μέχρις ότου σε μια χαμηλή πίεση να διακοπεί η συνέχεια του υδραργύρου και ένα ποσοστό του να μείνει παγιδευμένο μέσα στην πορώδη δομή. Στην συνέχεια, μπορεί να ακολουθήσει ξανά αύξηση της πίεσης και εκ νέου εισδυσση του υδραργύρου στους πόρους που είχαν αδειάσει πριν (ενεργό πορώδες) (Μοροπούλου, 2006).

Η τεχνική αυτή, απαιτεί ένα μέσο για την επιβολή της πίεσης, ένα μέσο για την μεταβολή της πίεσης και ένα μέσο για τον προσδιορισμό του όγκου του υδραργύρου, που έχει εισδύσει στους πόρους του δείγματος σε δεδομένη πίεση. Το μέσο μεταβίβασης, της πίεσης, συνήθως είναι υγρό για λόγους ασφαλείας, ενώ όλα τα αέρια αφαιρούνται από το σύστημα πριν το πείραμα μέσω μιας αντλίας κενού, που συνδέεται με μετρητή πίεσης για τον έλεγχο του επιπέδου του κενού. Ένας υποδοχέας δείγματος, δεξαμενή για την αποθήκευση του υδραργύρου και του ρευστού μεταβίβασης της πίεσης, μετρητές πίεσης, βαλβίδες και σωληνώσεις σύνδεσης, αποτελούν τα βασικά τμήματα ενός ποροσίμετρου υδραργύρου. Ο υποδοχέας του δείγματος ενσωματώνεται και ένα σύστημα για τη μέτρηση του όγκου του υδραργύρου, που εισδύει στο δείγμα, όπου μεταβολές χωρητικότητας πυκνωτή μετατρέπονται σε μεταβολές όγκου (Μοροπούλου, 2006).

Στη μέθοδο αυτή, σημαντικό ρόλο παίζουν τα τριχοειδή φαινόμενα και οι δυνάμεις που σχετίζονται με αυτά. Η μέθοδος βασίζεται στην διείσδυση υδραργύρου στους πόρους του υλικού και στις δυνάμεις που πρέπει να ασκηθούν, για να πραγματοποιηθεί αυτό.

Αν σε ένα σωλήνα λεπτής διατομής υπήρχε μη διαβρέχον υγρό, όπως ο υδράργυρος, τότε οι τριχοειδείς δυνάμεις θα δρούσαν έτσι ώστε να κρατήσουν το νερό έξω από το σωλήνα. Η τριχοειδής δύναμη δίνεται από τον τύπο

$$F_1 = 2 * \pi * R * \gamma * \cos\theta \quad \text{όπου,}$$

π : σταθερά ίση με 3.14159

R: η ακτίνα του τριχοειδούς σωλήνα

γ : επιφανειακή τάση υδραργύρου (480din/cm) θ : η γωνία επαφής του υδραργύρου με τα τοιχώματα του σωλήνα (135-145°C)

Προκειμένου να εισέλθει ο υδράργυρος στο σωλήνα πρέπει να εφαρμοστεί εξωτερική δύναμη, που δίνεται από τον εξής τύπο :

$$F_2 = \pi * R^2 * P$$
, όπου:

P: η πίεση που ασκείται κάθετα στην τομή του σωλήνα

Η εξίσωση Washburn, που αποτελεί τον συνδυασμό των δύο προηγούμενων, συσχετίζει την ακτίνα ενός τριχοειδούς σωλήνα και της πίεσης που πρέπει να εξασκηθεί προκειμένου να εισέλθει ο υδράργυρος μέσα στον σωλήνα:

$$P = -(2 * \gamma * \cos\theta) / R,$$

Ο σωλήνας αντιπροσωπεύει κυλινδρικό πόρο με διατομή πR^2 και συνεπώς μπορούμε να συνάγουμε το συμπέρασμα ότι οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν για τον υπολογισμό των ακτίνων των πόρων (θεωρώντας κυλινδρικό μοντέλο) (Μπαρδάνης, 1997).

Αναφορικά με την μέθοδο ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων, από τις καμπύλες είσδυσης –απομάκρυνσης υδραργύρου παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την πορώδη δομή του υλικού. Αναπόφευκτα, κάθε θεωρητική μέθοδος, που σαν στόχο έχει την απόκτηση της κατανομής των πόρων ως προς το μέγεθος τους, με βάσει τις καμπύλες αυτές, στηρίζεται σε υποθέσεις που αφορούν τα σχήματα των πόρων και τον τρόπο αλληλοσύνδεσης τους. (Μοροπούλου, 2006).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για αυτόν τον εργαστηριακό έλεγχο είναι η εξής³¹:

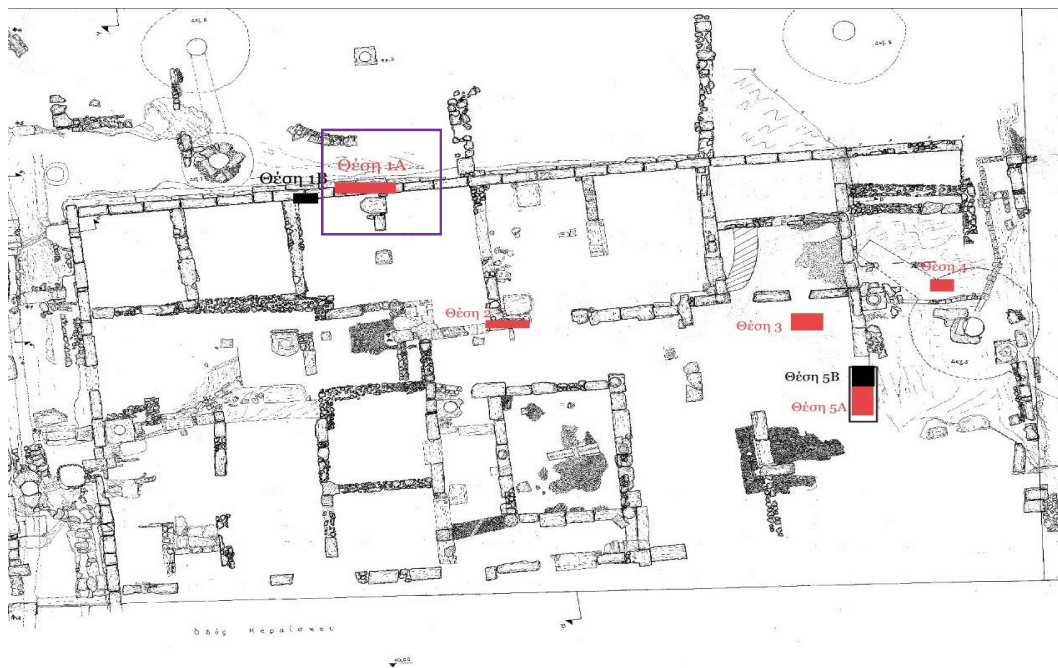
- Αρχικά κόβεται το υπό εξέταση δείγμα σε κατάλληλο μέγεθος, ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί στην κυψελίδα του ποροσίμετρου.
- Το δείγμα τοποθετείται στο ειδικό γυάλινο δειγματοφορέα. Στο στόμιο του τοποθετείται βαζελίνη προκειμένου να εξασφαλιστεί η στεγανότητα και εν συνεχεία σφραγίζεται.
- Γίνεται ζύγιση με ακρίβεια 4^{ου} δεκαδικού ψηφίου του γραμμαρίου.
- Το δείγμα τοποθετείται στην κυψελίδα, η οποία εφαρμόζεται σε τμήμα της συσκευής που μετρά το μακροπορώδες.
- Ακολουθεί απαερίωση της κυψελίδας.
- Γίνεται πλήρωση της κυψελίδας με υδράργυρο, υπό κενό.
- Η κυψελίδα με το δείγμα ζυγίζεται και πάλι (γίνεται μέτρηση του μακροπορώδους).
- Η κυψελίδα, τοποθετείται στο τμήμα της συσκευής για την μέτρηση του μικροπορώδους όπου η πίεση που ασκείται φτάνει περίπου μέχρι τα 1800 bar, με ρυθμό αύξησης 2bar/sec. Ο όγκος του υδραργύρου που διεισδύει στους πόρους μετριέται από το ποροσίμετρο.
- Ακολουθεί η διαδικασία αποσυμπίεσης, όπου ο υδράργυρος εξέρχεται από τους πόρους με μείωση της πίεσης.
- Τέλος, ξανά ζυγίζουμε το δείγμα και υπολογίζουμε την διαφορά ως προς το βάρος, πριν και μετά την μέτρηση, τον υδράργυρο που έμεινε εγκλωβισμένος ,μέσα στους πόρους των δοκιμίων.

Οι τιμές των εξεταζόμενων μεγεθών προκύπτουν από το ενσωματωμένο λογισμικό πρόγραμμα.

³¹ Η συσκευή με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις Quantachrome Instruments,PoreMaster.

9. Αποτελέσματα

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ			
ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΘΕΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Θέση 1Α	Αρχαιολογικός Χώρος Πλατείας Τερψιθέας, Πειραιάς	Επίχρυσμα	-



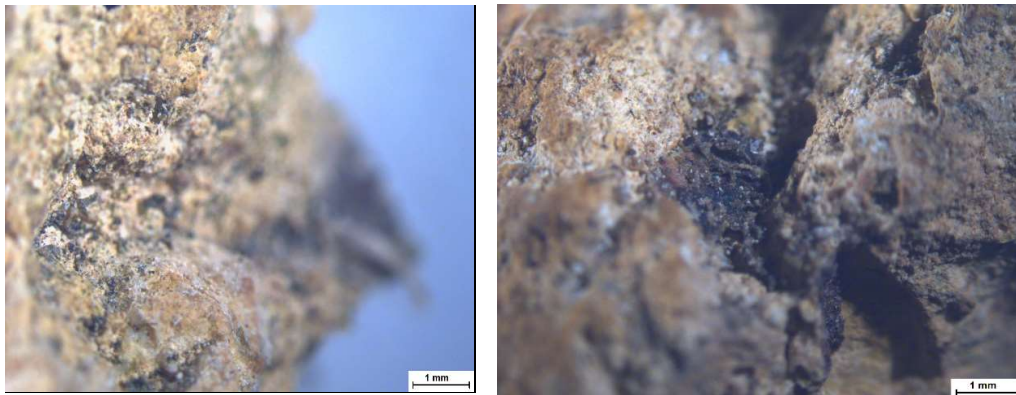
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος παρατηρείται ότι πρόκειται για επίχρισμα υπόλευκου χρώματος με πιθανή χρήση κεραμικού (κεραμάλευρου). Παρατηρούνται αλλοιώσεις στην επιφάνεια, καθώς και αδρανή διαφόρων διαμέτρων, άλατα, ρωγματώσεις, επικαθίσεις, άχυρα, καθώς και βιοδιάβρωση λόγω επαφής με το περιβάλλον. (Εικόνες 9.1-9.4)



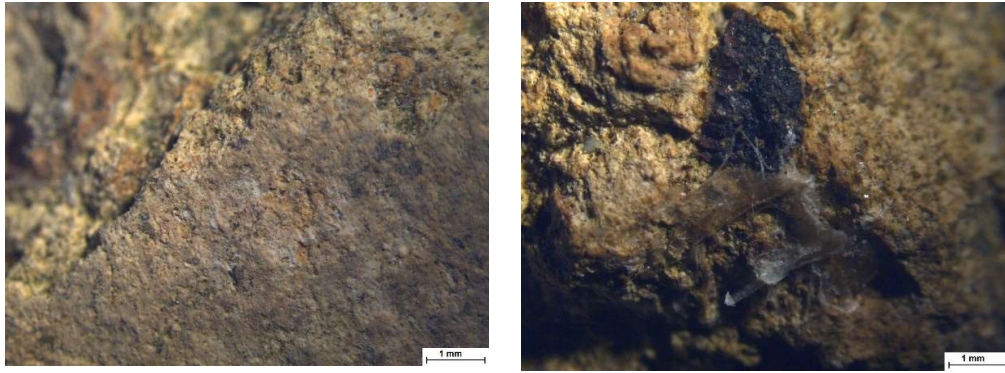
*Εικόνα 9.1. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.2.*



*Εικόνα 9.2. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.80 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.80*



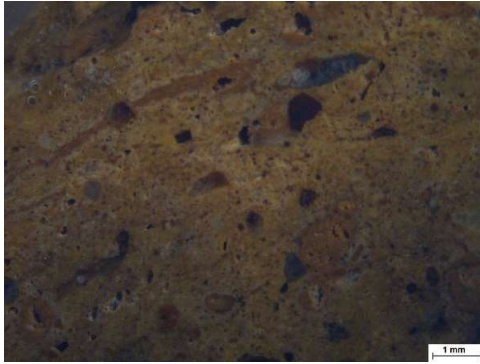
Εικόνα 9.3. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x2 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.80.



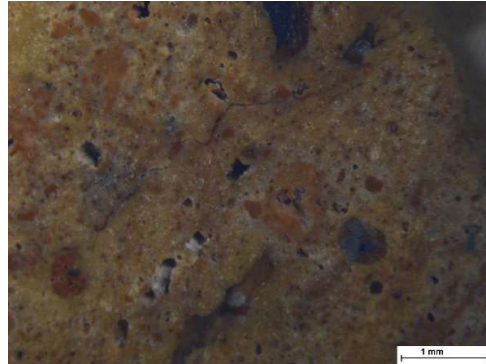
Εικόνα 9.4. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x2 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.80

Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στιλπνής τομής του δείγματος παρατηρούνται επίσης και αδρανή από μαλακό λίθο. Πρόκειται για μια παχιά στρώση επιχρίσματος. (Εικόνα 7.5)

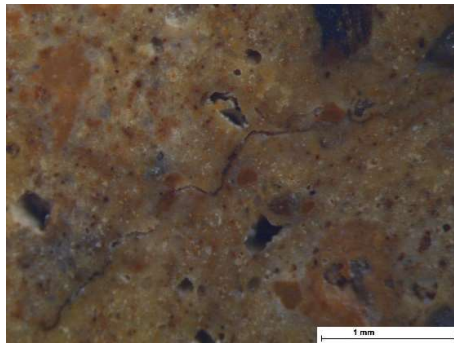
A.



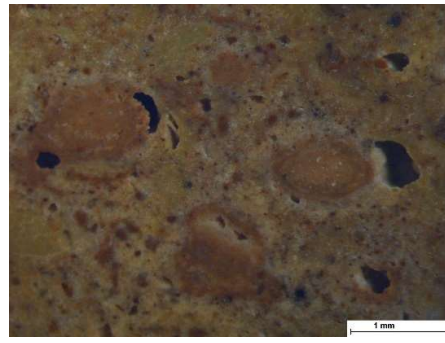
B.



Γ.



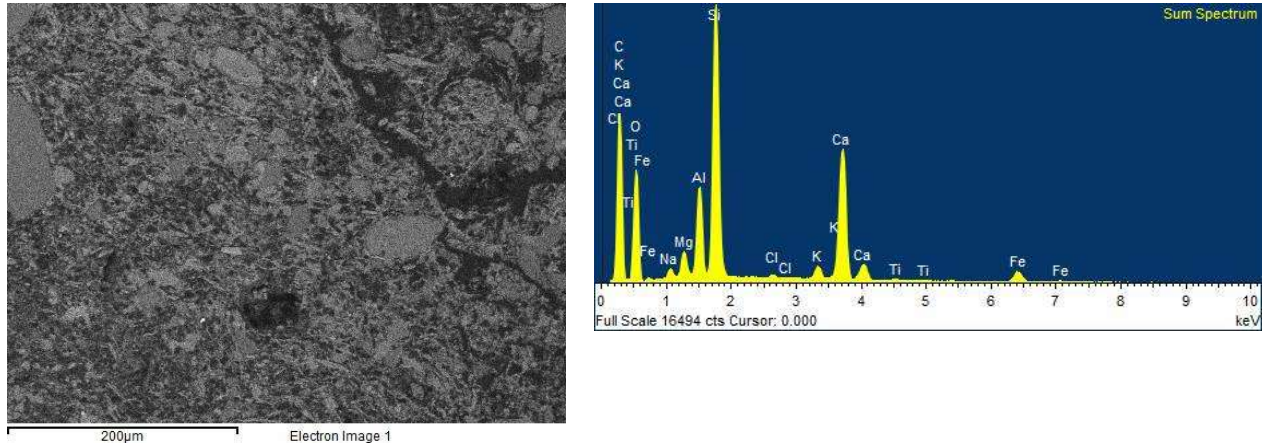
Δ.



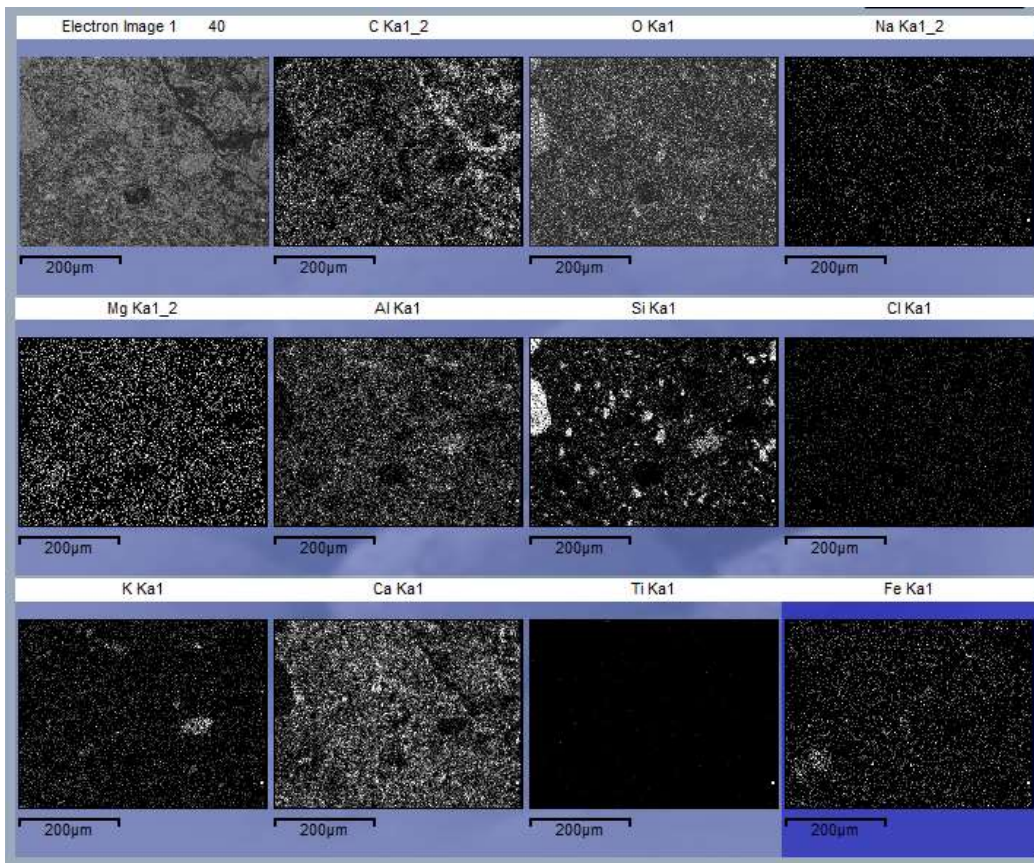
Εικόνα 9.5. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος
A: μεγέθυνση x0.67, B: μεγέθυνση x2 Γ: μεγέθυνση x1.2 & Δ: μεγέθυνση x1.5.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης συνδυασμένη με Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (SEM-EDS)

Κατά την παρατήρηση της στιλπνής τομής προκύπτει το συμπέρασμα ότι είναι ένα ποζολανικό κονίαμα, το οποίο είναι σχετικά συμπαγές. Παρατηρούνται σε μεγάλο ποσοστό: πυρίτιο (Si), ασβέστιο (Ca), άνθρακα (C), οξυγόνο (O), αργίλιο (Al), σίδηρο (Fe), μαγνήσιο (Mg). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται: νάτριο (Na), χλώριο (Cl), κάλιο (K), τιτάνιο (Ti). (Εικόνες 9.6-9.7, Πίνακας 9.1). Η δομή του είναι επιμήκης κρυσταλλική. Λόγω της σύστασης του κονιάματος σχηματίζονται αργιλοπυριτικά.



Εικόνα 9.6. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

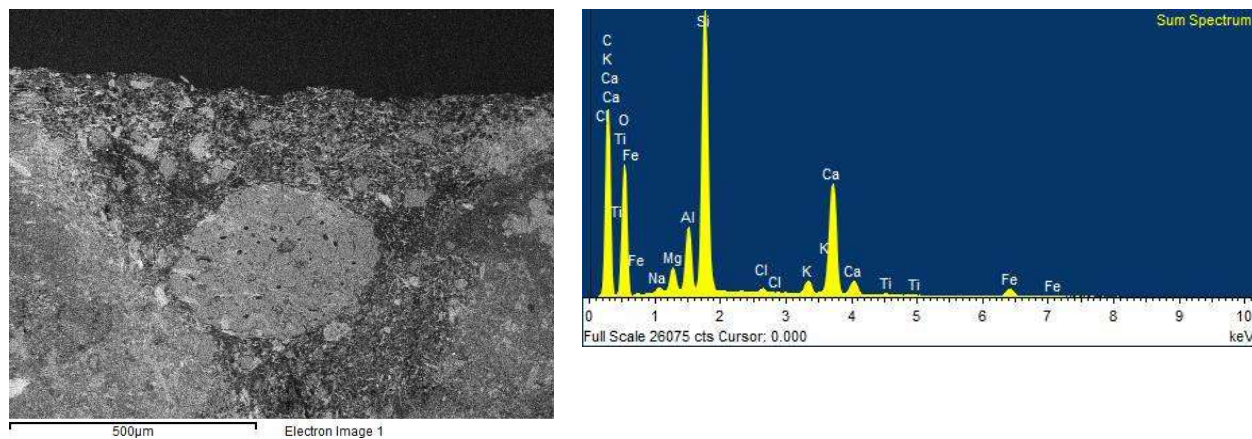


Εικόνα 9.7. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

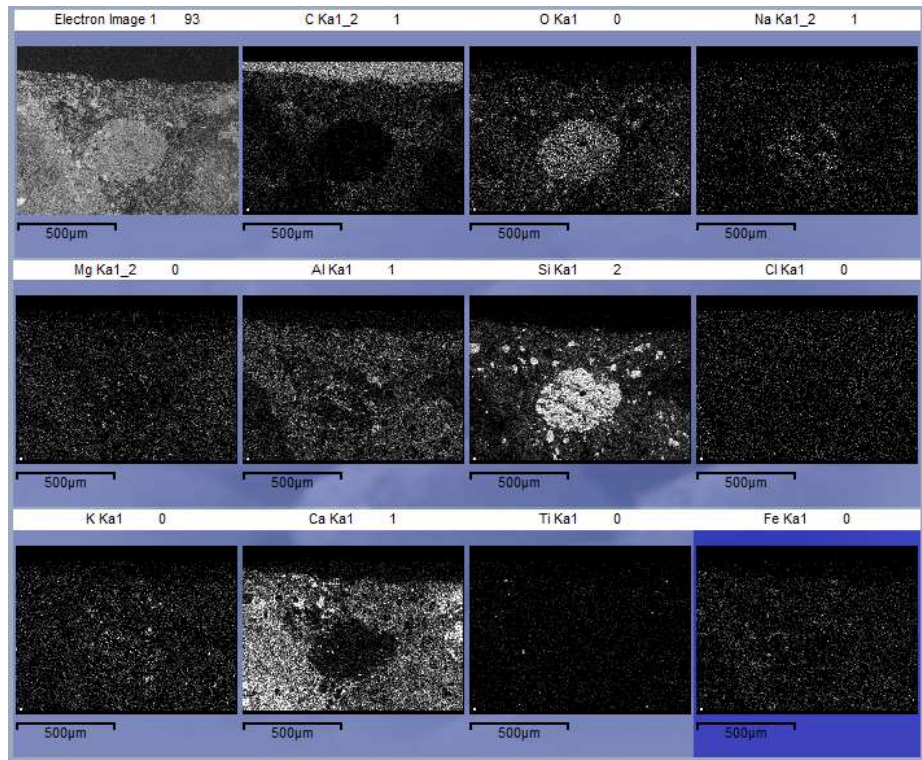
Πίνακας 9.1. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	35.28	0.5034	35.64	0.82	48.54
O K	34.12	0.4774	36.32	0.51	37.14
Na K	0.88	0.8088	0.55	0.03	0.39
Mg K	1.66	0.7538	1.12	0.03	0.75
Al K	5.77	0.8437	3.47	0.06	2.11
Si K	19.16	0.8784	11.09	0.15	6.46
Cl K	0.28	0.7794	0.19	0.02	0.09
K K	1.59	1.0448	0.77	0.02	0.32
Ca K	16.76	0.9726	8.76	0.12	3.58
Ti K	0.23	0.7876	0.15	0.02	0.05
Fe K	3.05	0.7985	1.94	0.05	0.57
Totals			100.00		

Τα σπασμένα ποικιλόμορφα αδρανή που παρατηρούνται, παρουσιάζουν ορισμένες μικρορηγματώσεις και οπές στο εσωτερικού τους. Κατά κύριο λόγο είναι κόκκοι χαλαζία (SiO_2), αλλά περιλαμβάνουν και ασβέστιο (Ca). Ενώ στο εξωτερικό στρώμα παρατηρείται σε όλο το μήκος, παρουσία άνθρακα (C). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται: νάτριο (Na), μαγνήσιο (Mg), αργίλιο (Al), κάλιο (K) και σίδηρο (Fe) (Εικόνες 9.8-9.9, Πίνακας 9.2).



Εικόνα 9.8. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της σιλπνής τομής του δείγματος



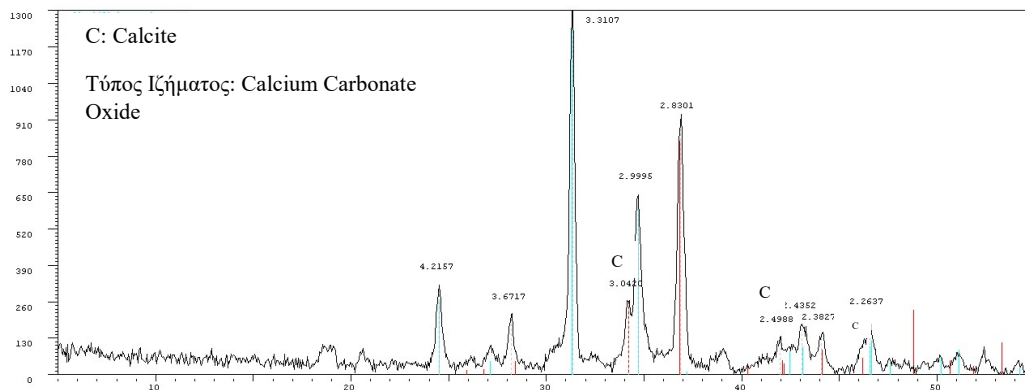
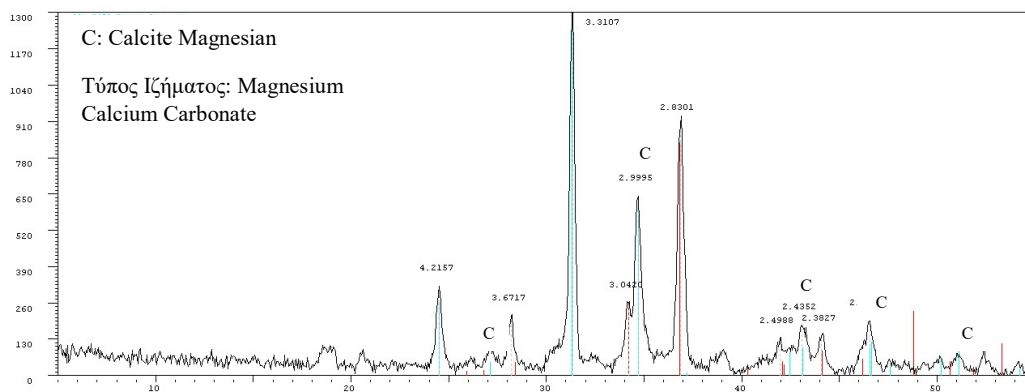
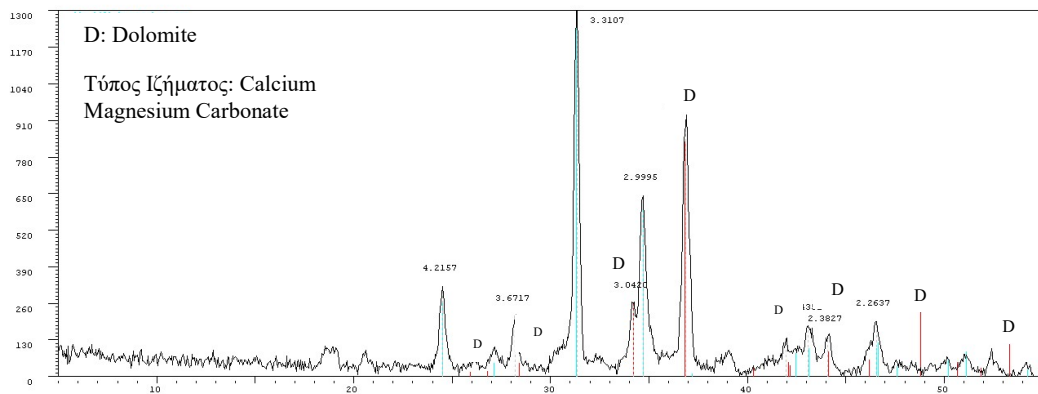
Εικόνα 9.9. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

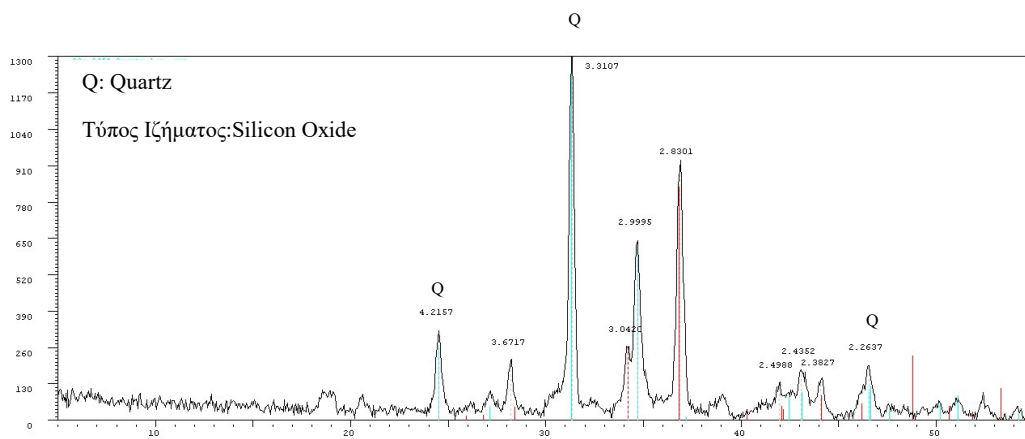
Πίνακας 9.2. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	49.93	0.5259	36.70	0.63	48.86
O K	49.73	0.4947	38.86	0.41	38.84
Na K	0.65	0.8031	0.31	0.02	0.22
Mg K	1.98	0.7526	1.02	0.02	0.67
Al K	5.26	0.8436	2.41	0.03	1.43
Si K	25.21	0.8903	10.94	0.12	6.23
Cl K	0.43	0.7810	0.21	0.01	0.10
K K	2.09	1.0411	0.78	0.02	0.32
Ca K	18.27	0.9703	7.28	0.08	2.90
Ti K	0.28	0.7884	0.14	0.02	0.05
Fe K	2.79	0.7961	1.35	0.03	0.39
Totals			100.00		

Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Κατά την ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος η κύρια κρυσταλλική δομή του ταυτοποιείται είναι ο χαλαζίας (SiO_2), ενώ οι δευτερεύουσες ορυκτολογικές συστάσεις είναι ο ασβεστίτης (CaCO_3) δολομίτης $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Περιέχει σημαντική ποσότητα μαγνησιούχου ασβέστη (Mg.129 Ca. 871) (CO_3) (Σχήμα 9.1).





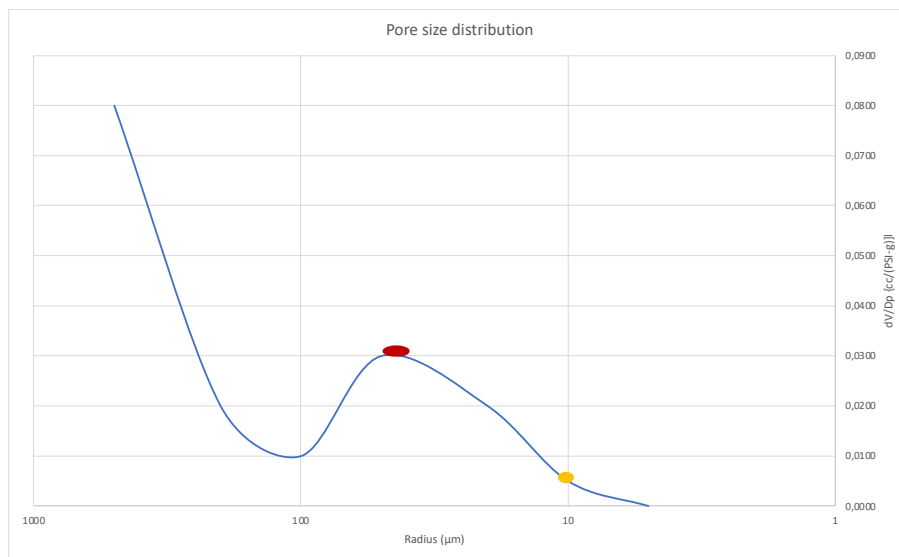
Σχήμα 9.1. Ακτινοδιαγράμματα του δείγματος

Ποροσιμετρία εισόδου υδραργύρου (MIP)

Το Σχήμα 9.2 παρακάτω δίνει πληροφορίες για το συνολικό πορώδες (%) του κονιάματος και την διάμετρο των πόρων του. Φαίνεται ο όγκος του δείγματος σε συνάρτηση με την πίεση που ασκήθηκε. Είναι μια συνάρτηση του λόγου του διαφορικού όγκου των πόρων (V) και της πίεσης (P) προς την ακτίνα των πόρων.

Κατόπιν παρατήρησης του γραφήματος, προκύπτει ότι το πορώδες είναι 27%, καθώς και η κατανομή μεγέθους πόρων είναι κυρίως από 10-80 μm . Η ακτίνα των πόρων ξεκινάει πριν τα 100 μm .

- Η κορύφωση της καμπύλης και ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό των πόρων παρατηρείται στα 50-60 μm
- Από το 10 μm και μετά δεν υπάρχει σχεδόν καμία μεταβολή στην καμπύλη συνεπώς η ακτίνα των πόρων μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου.



Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος
0,4991γρ.	34,3373γρ.
Ο υδράργυρος που έμεινε εγκλωβισμένος στο δείγμα : 33,8382γρ.	

Σχήμα 9.2. Αποτελέσματα MIP.

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

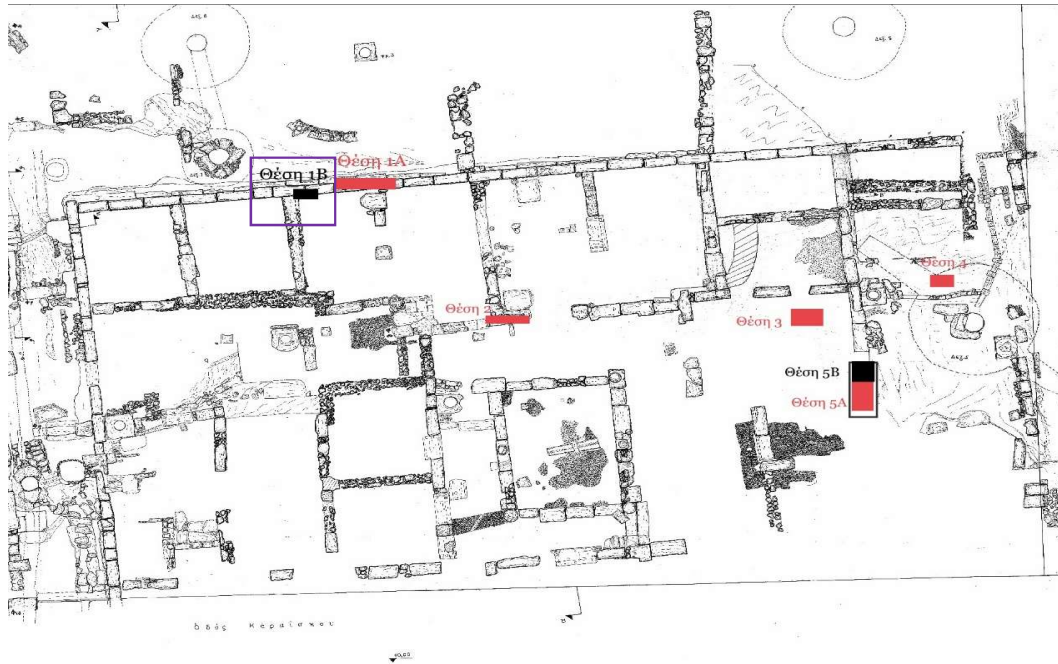
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 1B

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

2^η στρώση επιχρίσματος

-



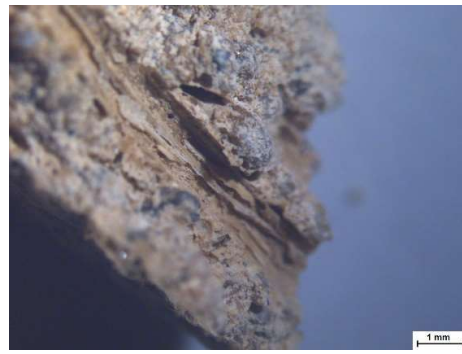
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος παρατηρείται ότι πρόκειται για επίχρισμα. Είναι λεπτόκοκκο, πυκνό με διάφορα και πολλά διαφορετικά αδρανή, τα οποία καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο, σε σχέση, με την κονία που καταλαμβάνει μικρότερο χώρο. Διακρίνονται και σε αυτό, θραύσματα από κεραμικό, άχυρο, καθώς και διαφανή ορυκτά σε ίδιο ή μικρότερο ή μεγαλύτερο μέγεθος. Υπάρχουν σε όλη την επιφάνεια του, επικαθίσεις, άλατα, καθώς και υπολείμματα κογχυλιών (Εικόνες 9.10-9.13).



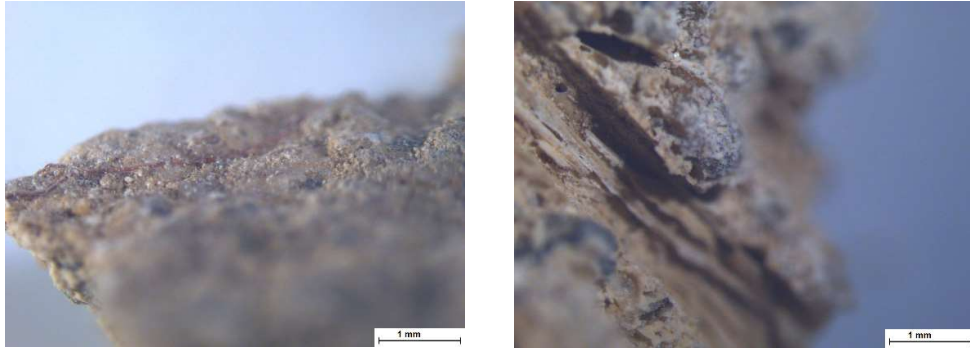
*Εικόνα 9.10. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.67 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*



*Εικόνα 9.11. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.67 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*



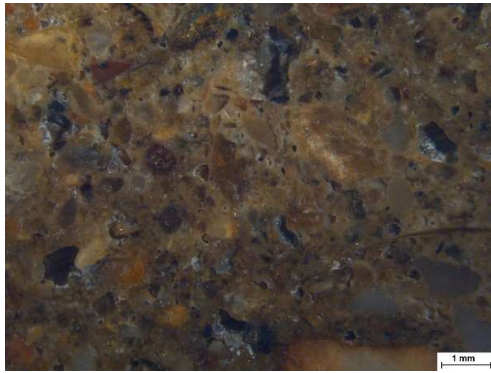
*Εικόνα 9.12. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1.5 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*



Εικόνα 9.13. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1.2 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.2.

Παρατηρείται ποικιλία αδρανών με διαφορετικοί κοκκομετρία. Προκύπτει ότι είναι μια ξεχωριστή «φάση» από το προηγούμενο δείγμα (Θέση 1^A) (Εικόνα 9.14).

A.



B.



Γ.



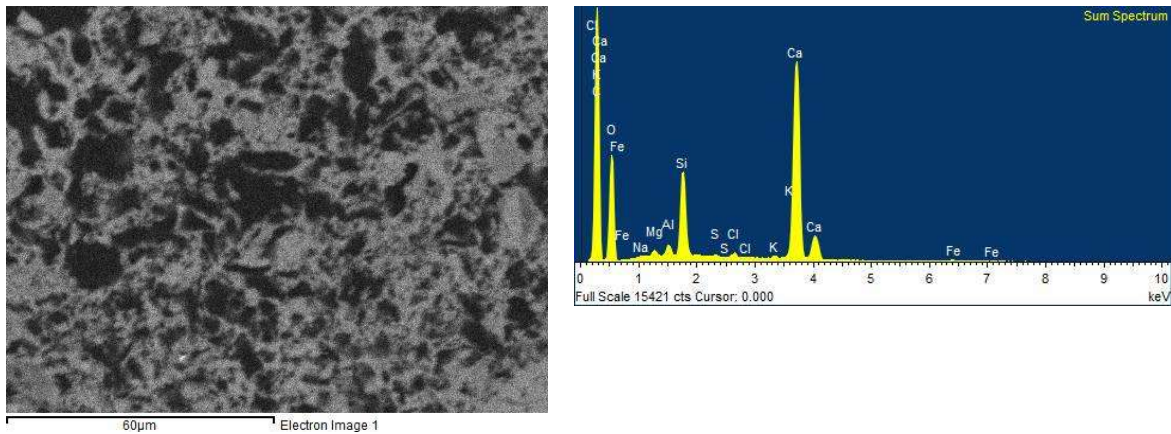
Δ.



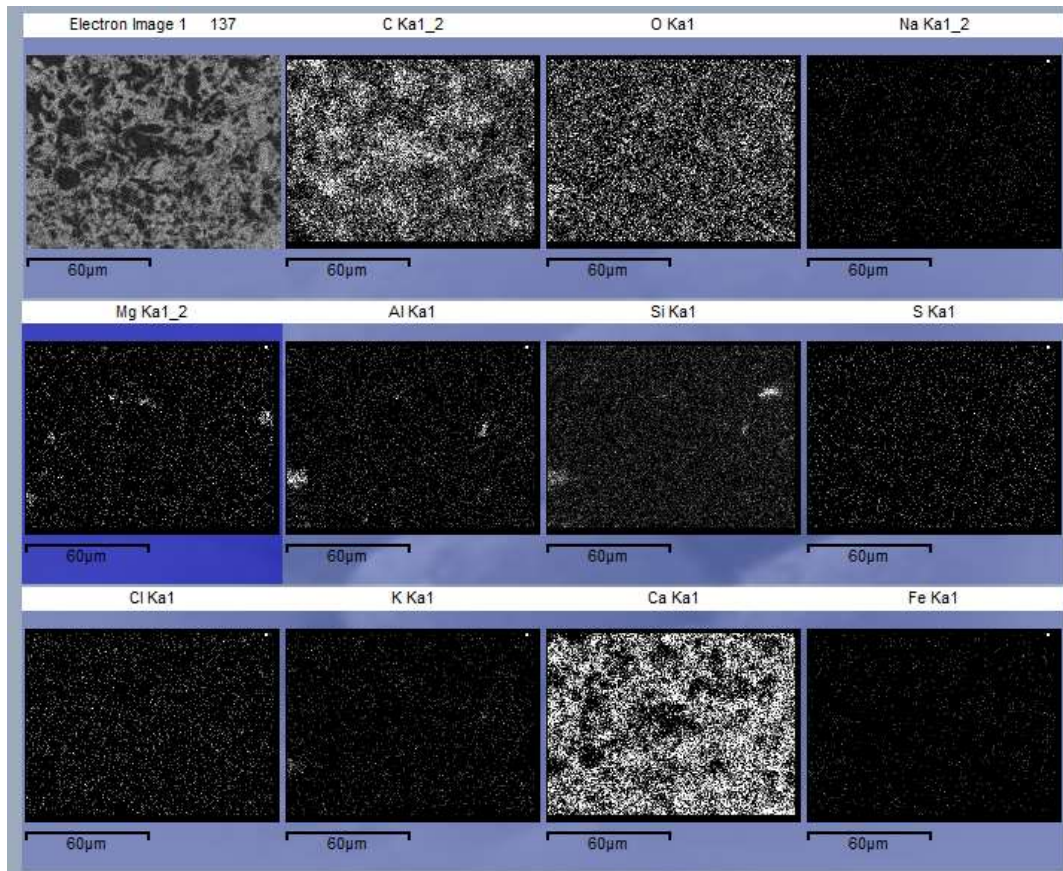
Εικόνα 9.14. Γενική άποψη στυπής τομής του δείγματος
A: μεγέθυνση x0.67 , B: μεγέθυνση x1.2 Γ: μεγέθυνση x2 & Δ: μεγέθυνση x2.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης συνδυασμένη με Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (SEM-EDS)

Κατά την παρατήρηση της στιλπνής τομής του δείγματος, προκύπτει ότι, είναι ασβεστοκονίαμα, τελείως διαφορετικό από το προηγούμενο (Θέση 1^A), είναι διαφορετική φάση κατά 99%. Περιέχει πολύ περισσότερο ασβέστιο (Ca) το οποίο δημιουργεί πλέγμα στην κονία, οξυγόνο(O), άνθρακα (C), σε μικρότερο ποσοστό ανιχνεύονται: το πυρίτιο (Si) και λίγα θειικά (S). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται: νάτριο (Na),μαγνήσιο (Mg), αργίλιο (Al), χλώριο (Cl), κάλιο (K),σίδηρος (Fe) (Εικόνες 9.15-9.16).



Εικόνα 9.15. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

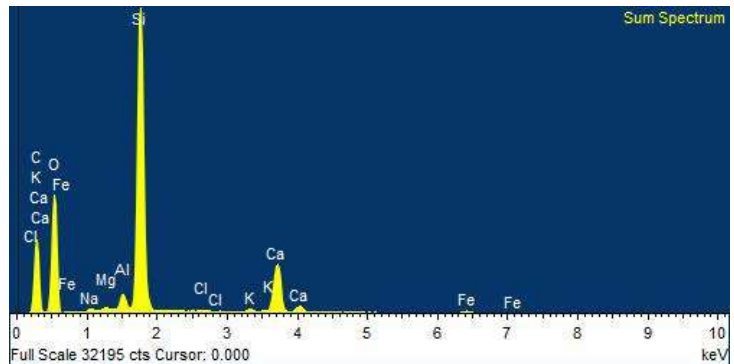
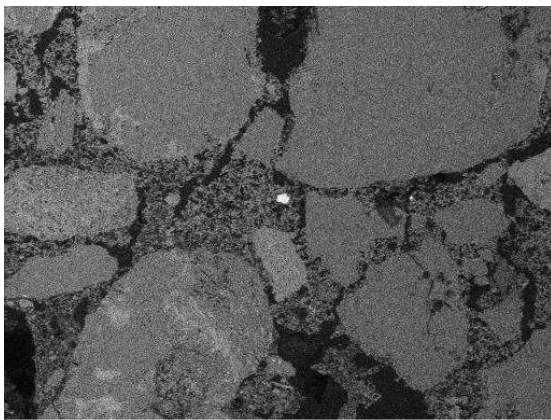


Εικόνα 9.16. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της σιλικής τομής του δείγματος.

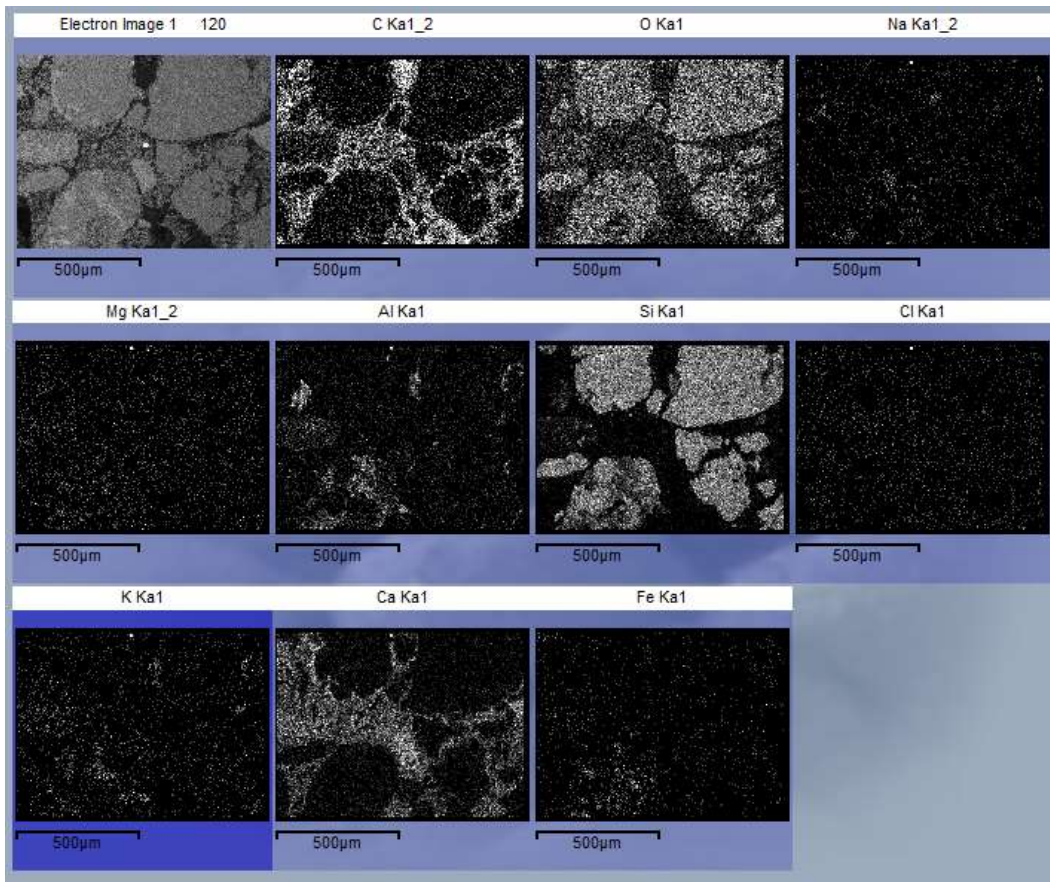
Πίνακας 9.3. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	88.73	0.8480	41.07	0.37	53.23
O K	42.15	0.4191	39.48	0.31	38.41
Na K	0.23	0.7597	0.12	0.02	0.08
Mg K	0.56	0.7223	0.31	0.02	0.20
Al K	0.93	0.8267	0.44	0.02	0.25
Si K	8.37	0.9043	3.63	0.04	2.01
S K	0.27	0.9426	0.11	0.02	0.05
Cl K	0.51	0.8288	0.24	0.02	0.11
K K	0.45	1.0952	0.16	0.02	0.06
Ca K	35.83	0.9905	14.20	0.11	5.52
Fe K	0.49	0.7884	0.24	0.03	0.07
Totals			100.00		

Παρατηρούνται επίσης ποικιλόσχημα χονδρόκοκκα αδρανή, ασβεστιτικά (Ca) χαλαζιακά (SiO₂) ανθρακικά (C) .Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται: νάτριο (Na), μαγνήσιο (Mg),αργίλιο (Al), κάλιο (K) , χλώριο (Cl), σίδηρος (Fe) (Εικόνες 9.17-9.18, Πίνακας 9.4).



Εικόνα 9.17. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της σιλικής τομής του δείγματος.



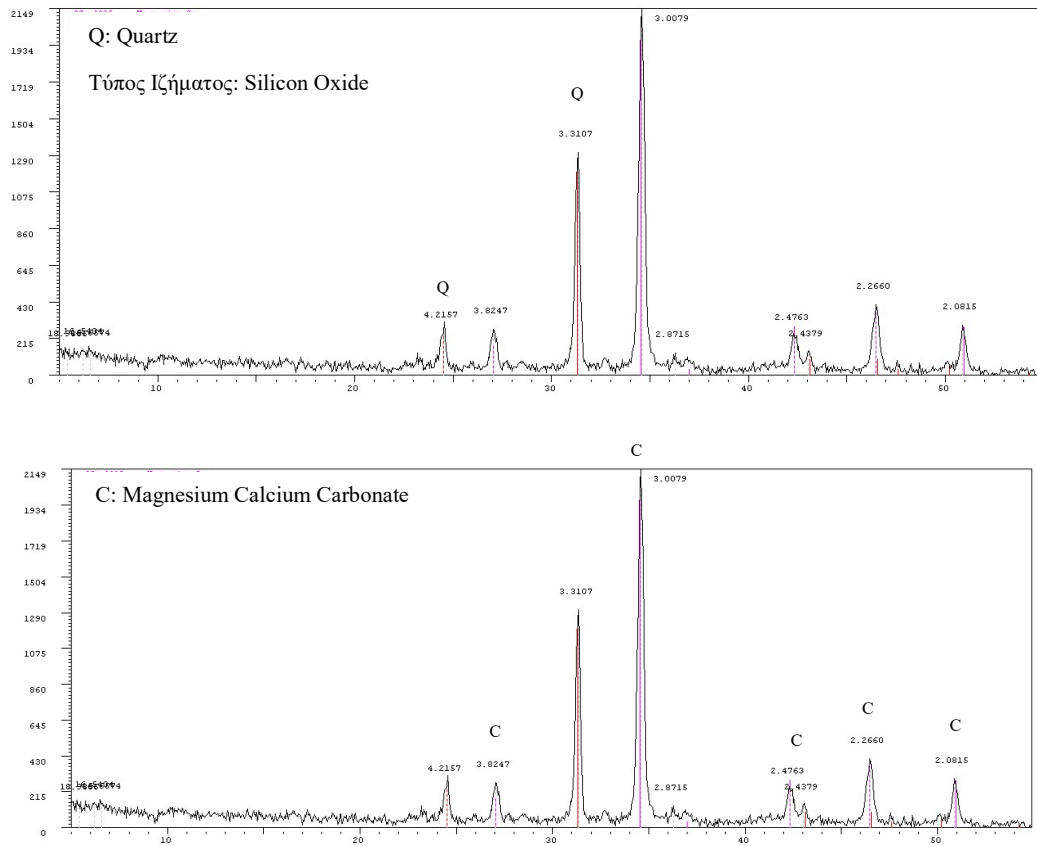
Εικόνα 9.18. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

Πίνακας 9.4. Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	43.18	0.4268	30.43	0.49	41.15
O K	86.07	0.5764	44.91	0.35	45.59
Na K	0.51	0.8052	0.19	0.02	0.13
Mg K	0.45	0.7567	0.18	0.02	0.12
Al K	2.35	0.8612	0.82	0.02	0.49
Si K	54.11	0.9224	17.64	0.14	10.20
Cl K	0.30	0.7555	0.12	0.01	0.05
K K	0.78	1.0175	0.23	0.01	0.10
Ca K	15.83	0.9605	4.95	0.05	2.01
Fe K	1.41	0.7977	0.53	0.03	0.15
Totals			100.00		

Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Κατά την ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος, η κύρια κρυσταλλική δομή που ταυτοποιείται, είναι ο μαγνησιούχος ασβεστίτης (Mg.129 Ca. 871) (CO₃), με σημαντική ποσότητα χαλαζίας (SiO₂), δεν περιέχει δολομίτη όπως το προηγούμενο κοινάμα Θέση 1Α.³²



Σχήμα 9.3. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.

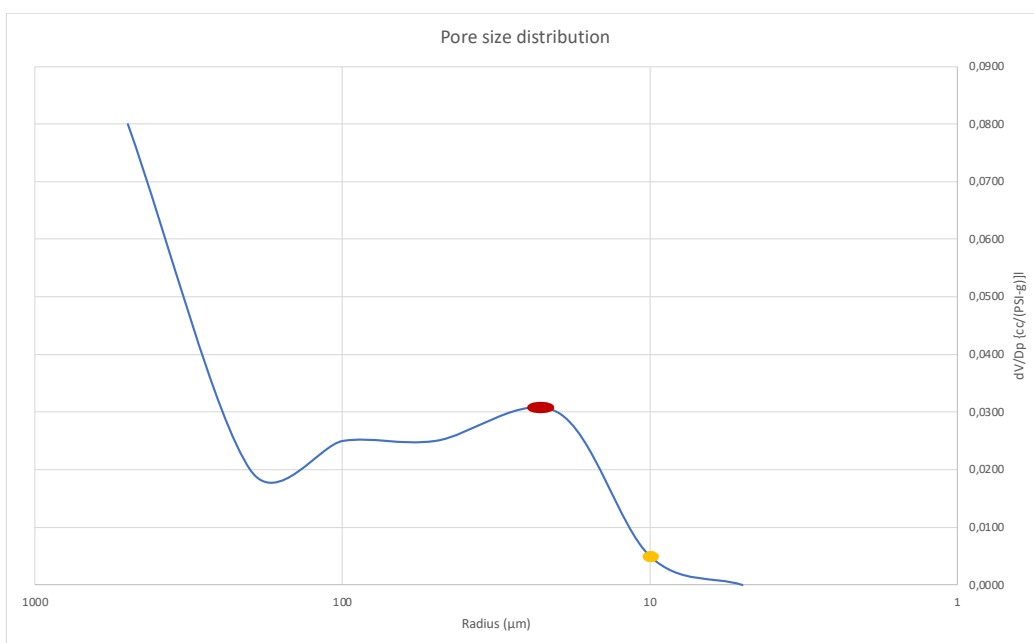
³² Βλέπε παράρτημα Σύγκριση

Ποροσιμετρία είσδυσης υδραργύρου (MIP)

Το Σχήμα 9.4 που παρουσιάζεται παρακάτω δίνει πληροφορίες για το συνολικό πορώδες(%) του κονιάματος και την διάμετρο των πόρων τους. Φαίνεται ο όγκος του δείγματος σε συνάρτηση με την πίεση που ασκήθηκε. Είναι μια συνάρτηση του λόγου του διαφορικού όγκου των πόρων V και της πίεσης P προς την ακτίνα των πόρων.

Κατόπιν παρατήρησης του διαγράμματος, προκύπτει ότι, το πορώδες είναι 32%, καθώς και η κατανομή μεγέθους πόρων είναι κυρίως από 10-250 μm . Παρατηρείται σε αυτή την καμπύλη ομοιόμορφη κατανομή των πόρων. Η ακτίνα των πόρων ξεκινάει λίγο πριν το 100 μm

- Η κορύφωση της καμπύλης και ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ποσοστό των πόρων στα 20 μm .
- Από το 10 μm και μετά δεν υπάρχει σχεδόν καμιά μεταβολή στην καμπύλη συνεπώς η ακτίνα των πόρων μεταβάλλεται ελάχιστα έως καθόλου .



Αρχικό Βάρος	Τελικό Βάρος
0,5665γρ.	34,4129γρ.
Ο υδράργυρος που έμεινε εγκλωβισμένος στο δείγμα : 33,8464γρ.	

Σχήμα 9.4. Αποτελέσματα MIP.

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

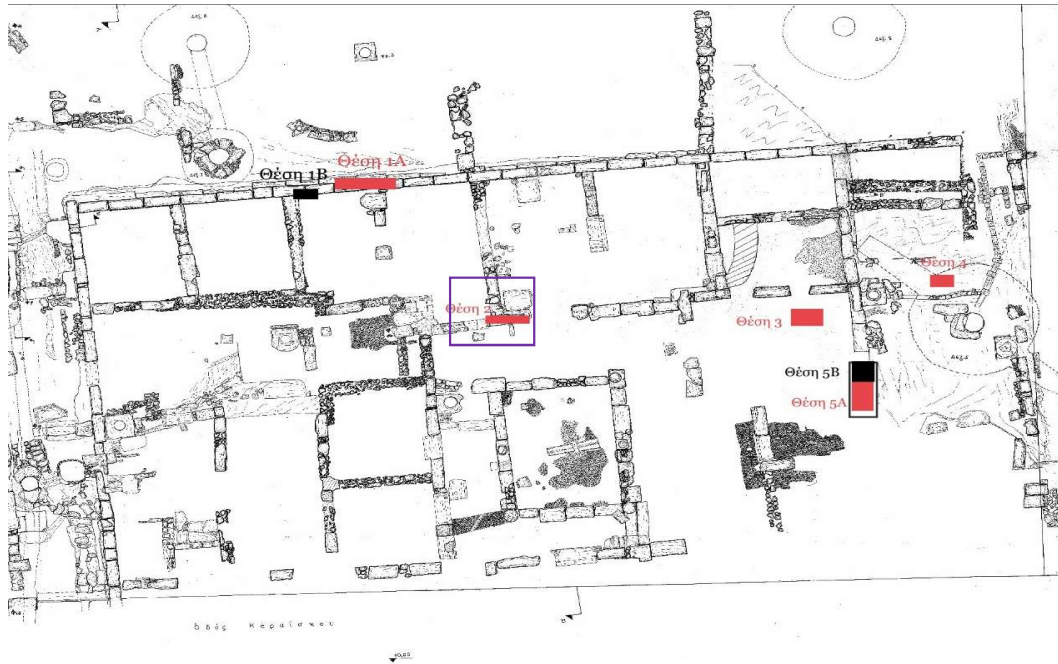
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 2^η

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

Λίθος

-



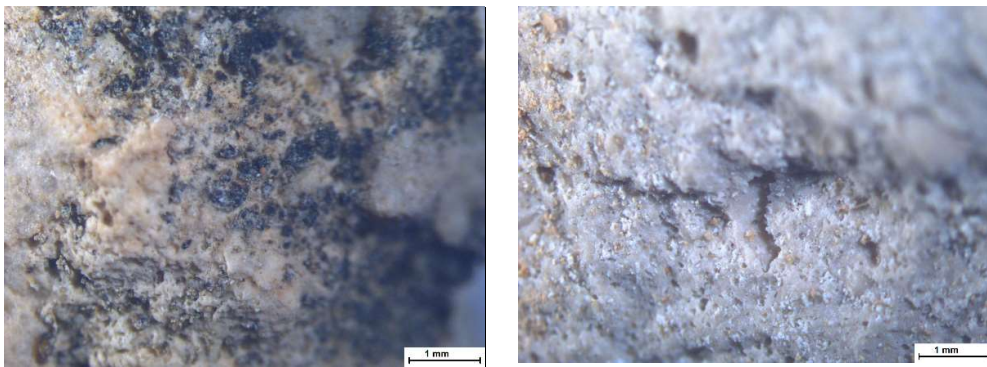
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

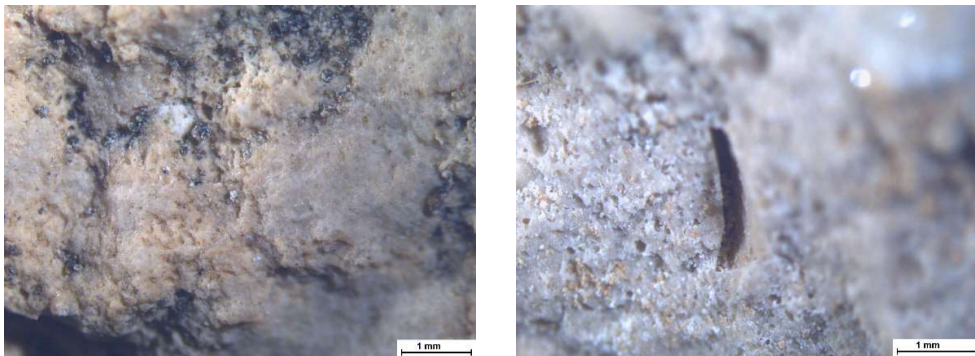
Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος, πρόκειται για λίθο, παρατηρούνται σε όλη την επιφάνεια, επικαθίσεις, άλατα, καθώς και υπολείμματα κογχυλιών (Εικόνες 9.19-9.22).



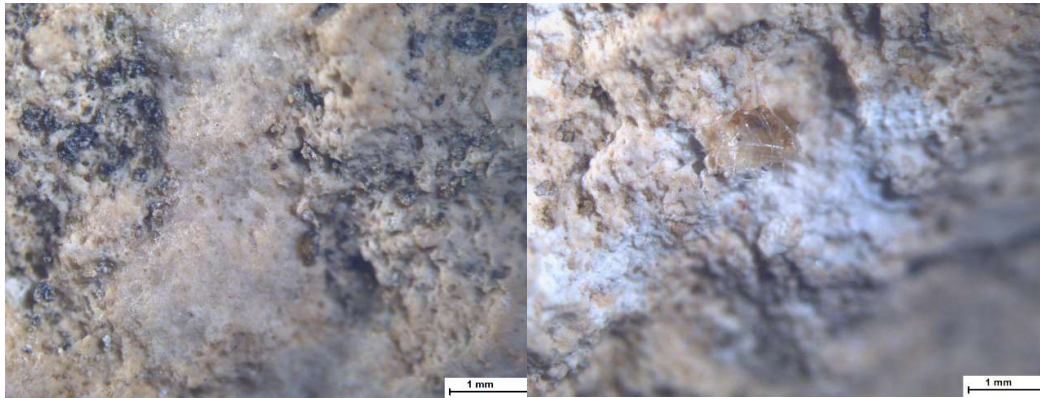
*Εικόνα 9.19. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.80 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.*



*Εικόνα 9.20. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.*

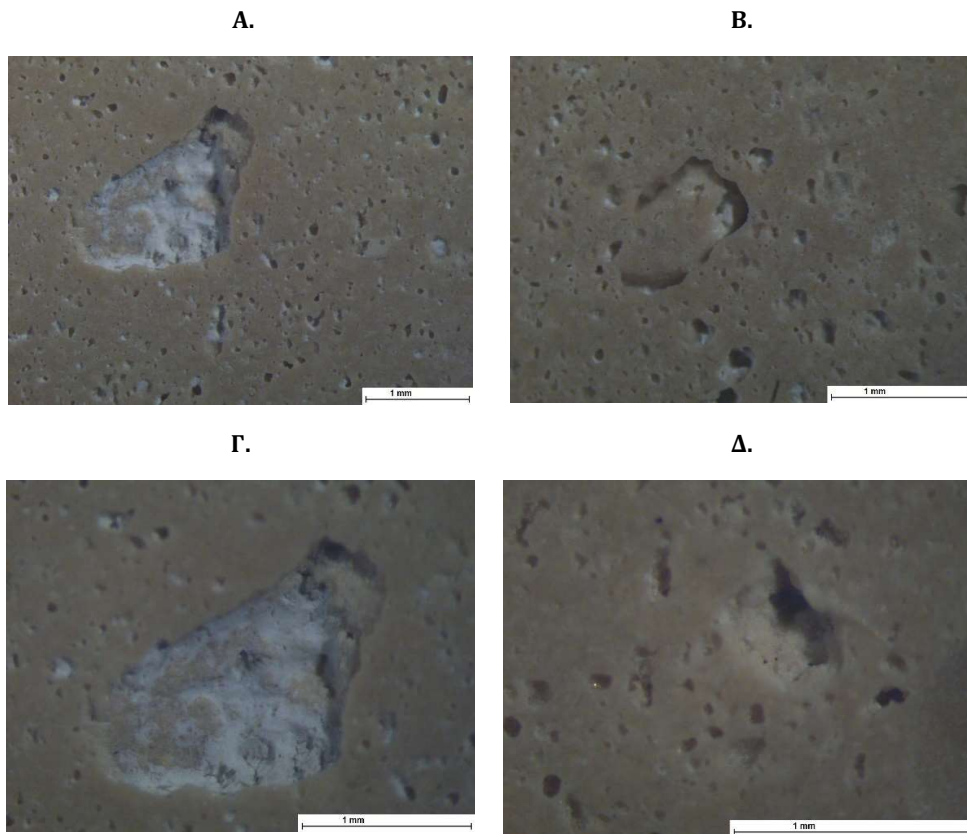


*Εικόνα 9.21. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.2.*



Εικόνα 9.22. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
 Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.

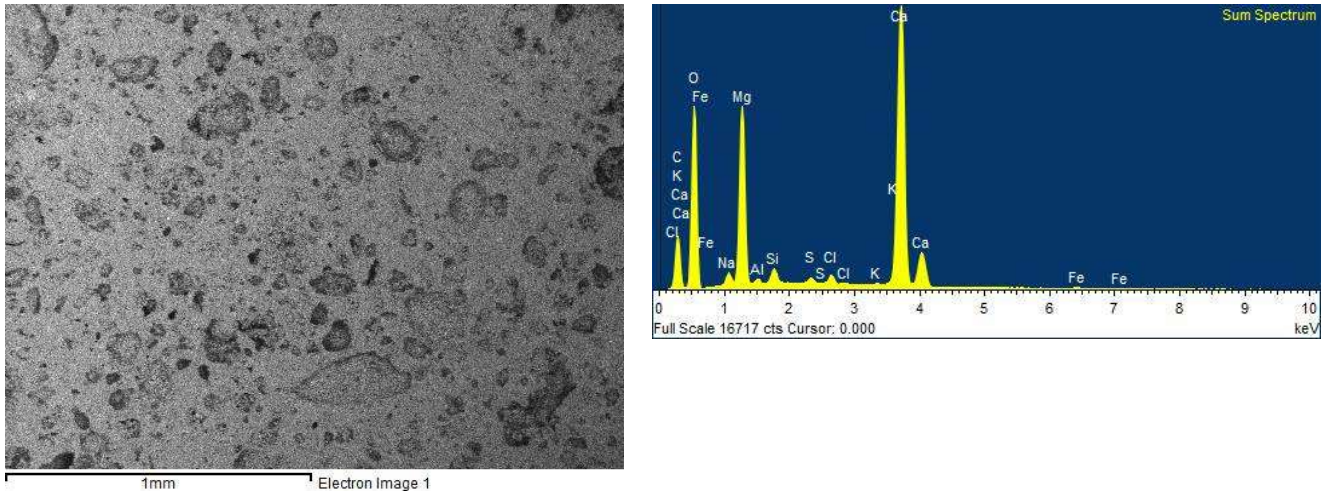
Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στιλπνής τομής του δείγματος παρατηρήθηκε το φαινόμενο της κυψέλωσης. (Εικόνα 9.23).



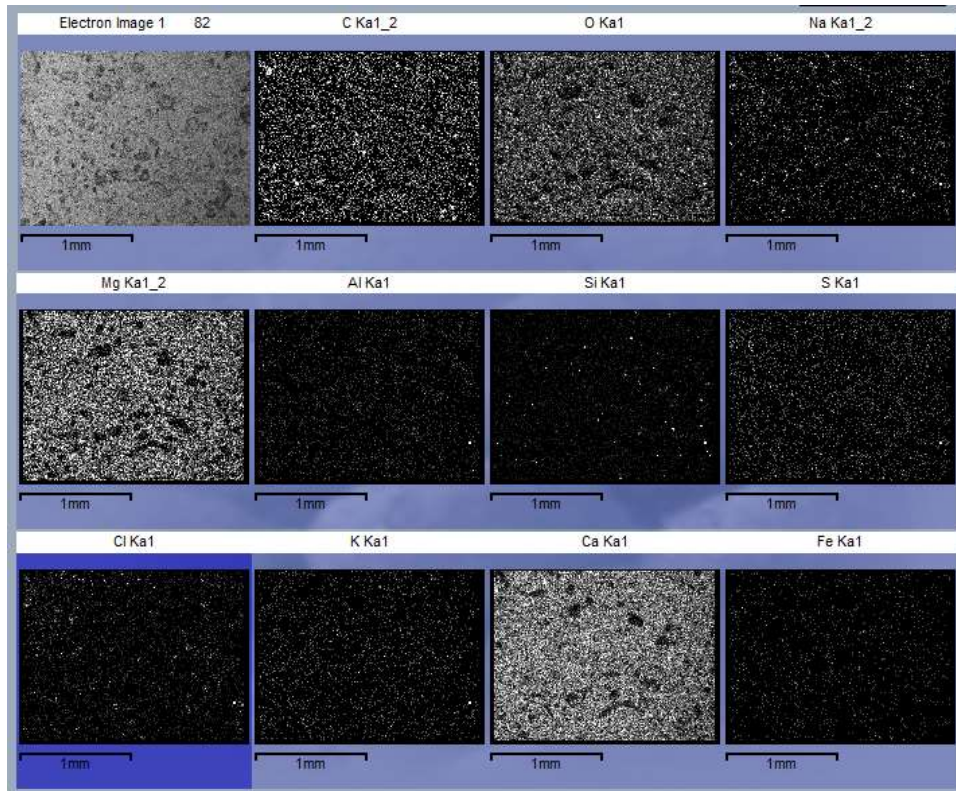
Εικόνα 9.23. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος
 Α: μεγέθυνση x1.5, Β: μεγέθυνση x2 Γ: μεγέθυνση x2.5 & Δ: μεγέθυνση x3.5.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης συνδυασμένη με Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (SEM-EDS)

Κατά την παρατήρηση της στιλπνής τομής του δείγματος, προκύπτει ότι, είναι δολομιτικές μάργες, με συμμετοχή μη αργιλικού υλικού, περιέχει σε μεγάλο ποσοστό μαγνήσιο (Mg) ασβέστιο (Ca) άνθρακα (C) οξυγόνο (O). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται: νάτριο (Na), αργίλιο (Al), πυρίτιο (Si), θείο (S), χλώριο (Cl), κάλιο (K), σίδηρος (Fe) (Εικόνες 9.24-9.25, Πίνακας 9.5).



Εικόνα 9.24. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

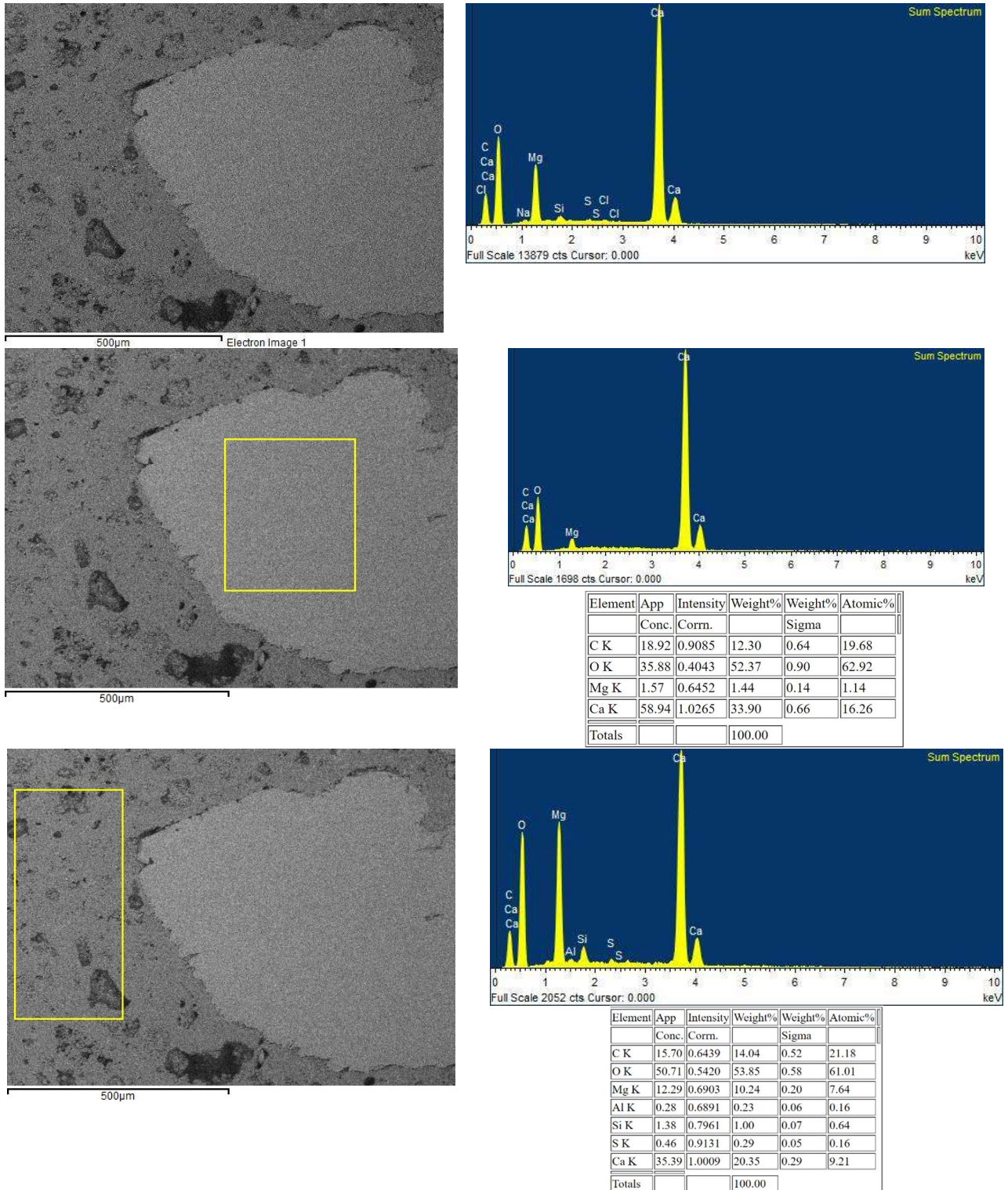


Εικόνα 9.25. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

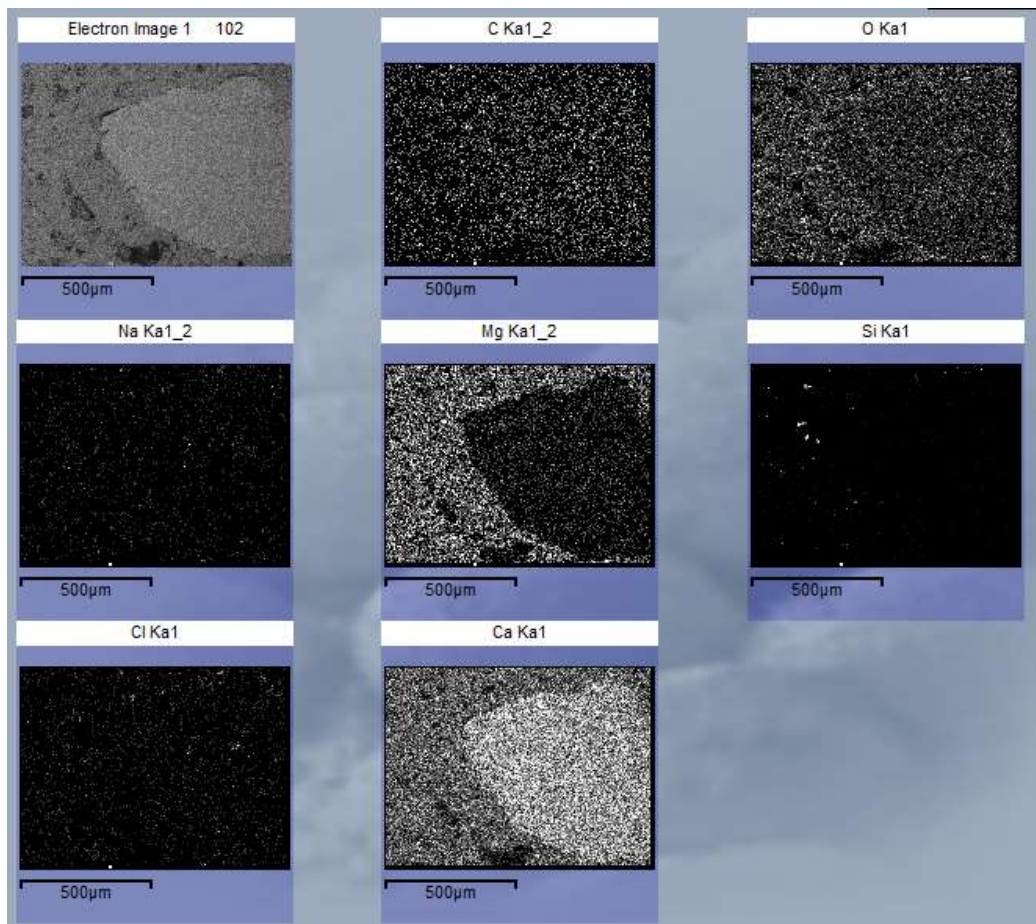
Πίνακας 9.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	13.39	0.5965	10.05	0.53	15.61
O K	69.51	0.5625	55.29	0.37	64.48
Na K	1.45	0.7108	0.91	0.04	0.74
Mg K	16.13	0.6766	10.66	0.09	8.18
Al K	0.37	0.6764	0.24	0.02	0.17
Si K	1.29	0.7857	0.73	0.02	0.49
S K	0.61	0.9111	0.30	0.02	0.17
Cl K	1.00	0.8148	0.55	0.02	0.29
K K	0.34	1.1040	0.14	0.02	0.06
Ca K	46.82	1.0008	20.93	0.16	9.74
Fe K	0.34	0.8039	0.19	0.03	0.06
Totals			100.00		

Παρατηρείται στο έγκλεισμα περιοχή πλούσια σε, καθαρό ανθρακικό ασβέστιο(CaCO_3), θα μπορούσε να χαρακτηριστεί καθαρά ασβεστίτικα με ελάχιστο μαγνήσιο (Mg) σε σχέση με το εξωτερικό που περιέχει αρκετό ποσοστό σε μαγνήσιο. (Εικόνες 9.26-9.28).



Εικόνα 9.26. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της σιλικής τομής του δείγματος.



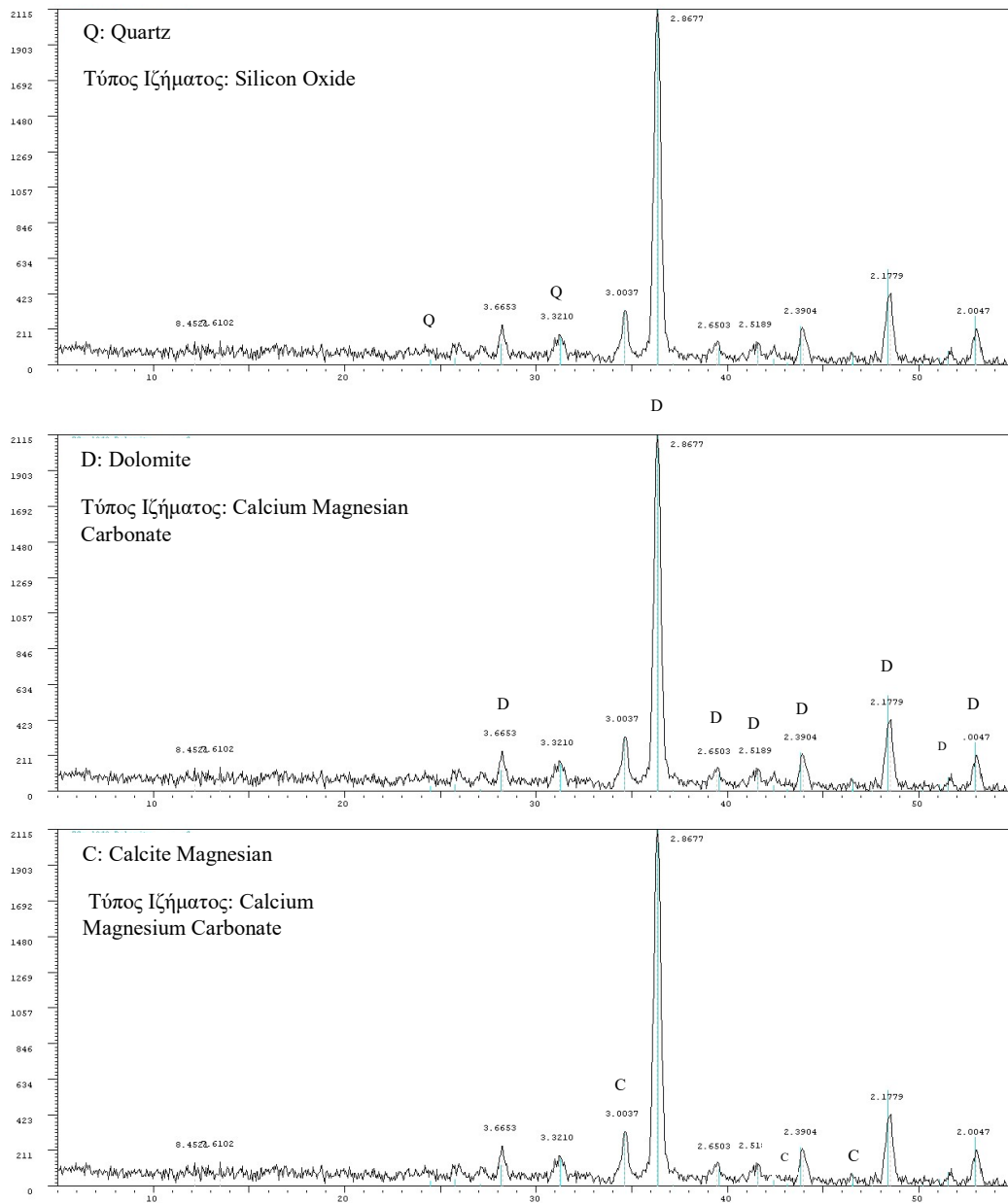
Εικόνα 9.27. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

Πίνακας 9.6. Συγκεντρωτικός πίνακας των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	14.13	0.7462	12.84	0.24	19.96
O K	36.93	0.4687	53.44	0.28	62.35
Na K	0.36	0.6846	0.35	0.04	0.29
Mg K	5.63	0.6633	5.76	0.07	4.42
Si K	0.56	0.8254	0.46	0.03	0.31
S K	0.20	0.9418	0.15	0.02	0.08
Cl K	0.22	0.8399	0.18	0.02	0.10
Ca K	40.03	1.0131	26.81	0.17	12.49
Totals			100.00		

Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Κατά την ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος αυτού ο λίθος είναι δολομιτική μάργα. Περιέχει μαγνησιούχο ασβεστίτη ($(Ca,Mg)CO_3$), με σημαντική ποσότητα χαλαζίας (SiO_2) και δολομίτη ($Ca Mg (CO_3)_2$) (Σχήμα 9.5).



Σχήμα 9.5. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

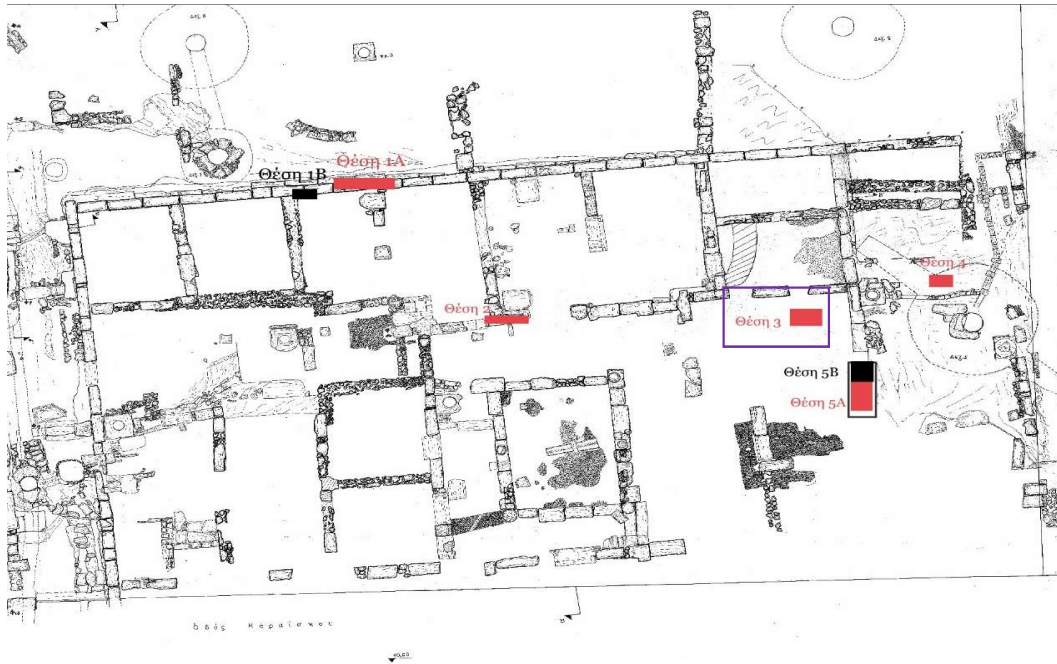
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 3^η

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

Λίθος

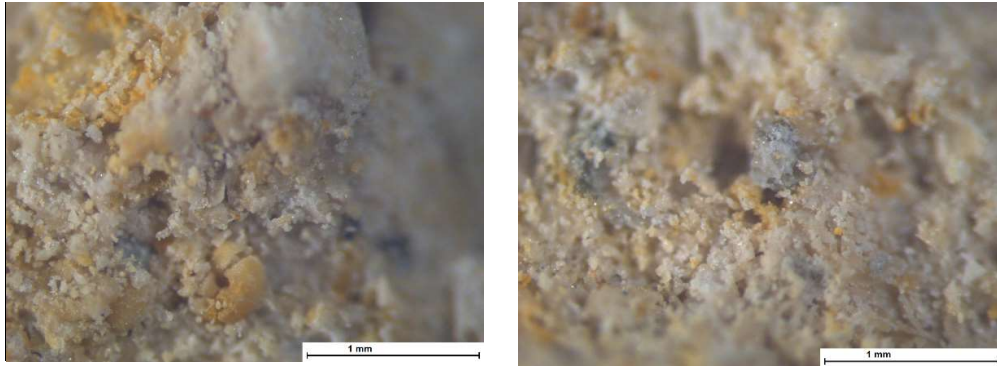
-



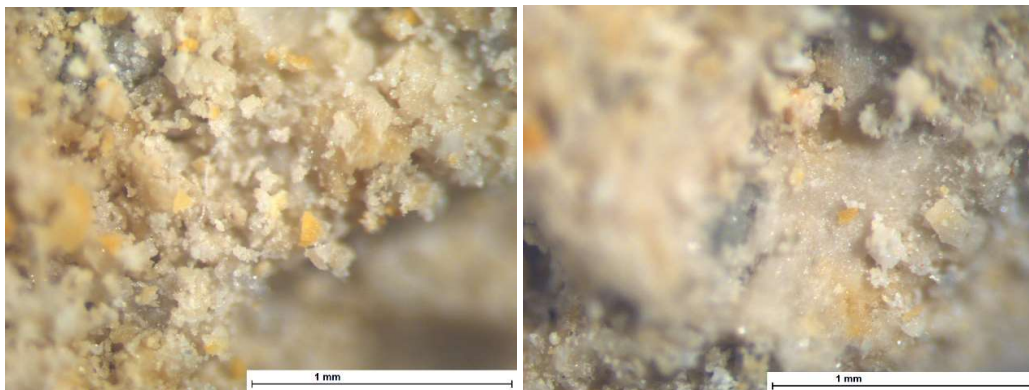
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

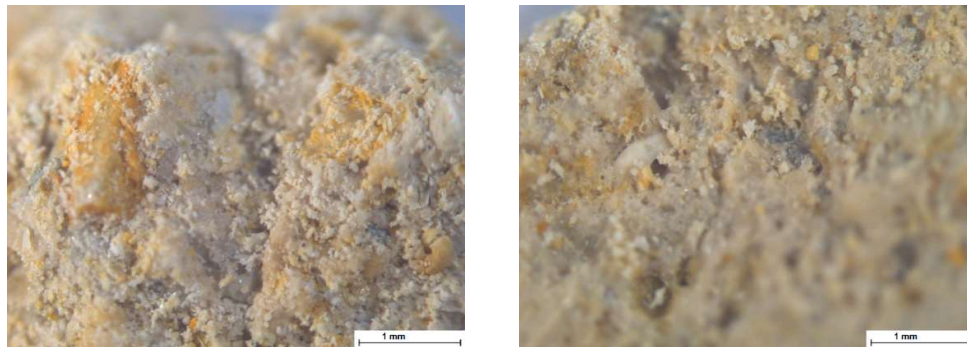
Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος, διαπιστώνεται ότι ο λίθος δεν είναι συμπαγής καθώς υπάρχει έντονη παρουσία απολιθωμάτων (κογχυλιών) καθώς και αλάτων, επικαθίσεις ρύπων, διότι ο λίθος είναι εκτεθειμένος. (Εικόνες 9.28-9.31) Σε μερικά σημεία διακρίνονται υπολείμματα βλάστησης (Εικόνες 9.31).



*Εικόνα 9.28. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x2.5 & Δεξιά: μεγέθυνση x2.5.*



*Εικόνα 9.29. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x3 & Δεξιά: μεγέθυνση x3.5.*

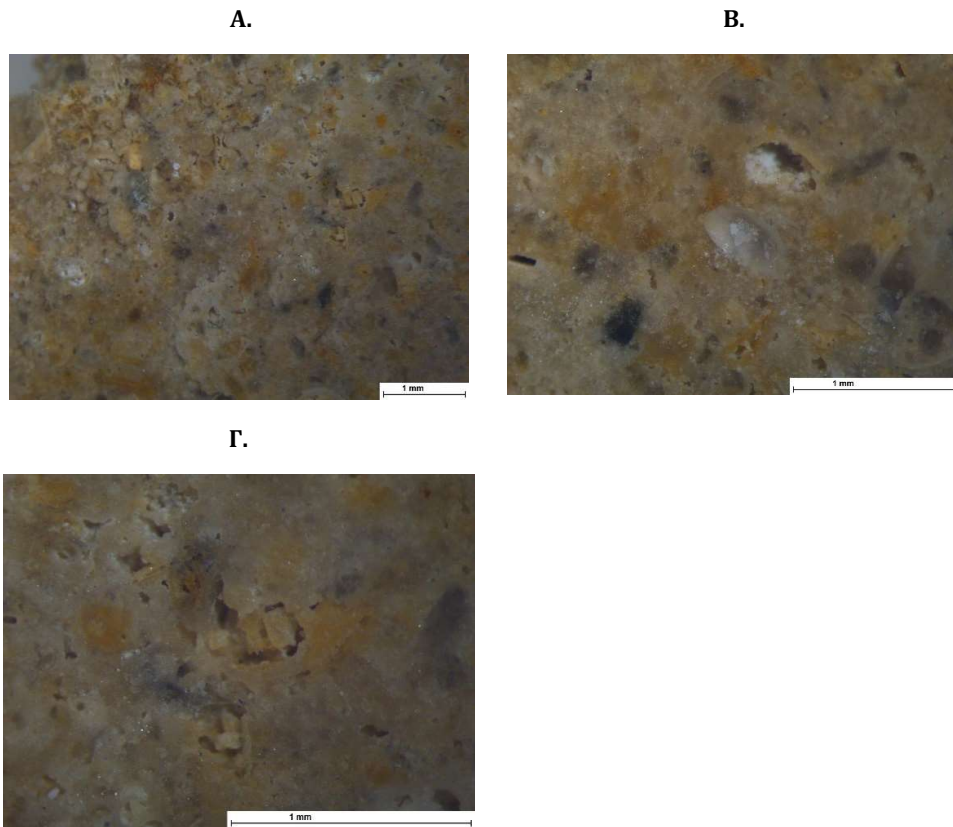


*Εικόνα 9.30. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1.5 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.5.*



Εικόνα 9.31. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
 Αριστερά: μεγέθυνση x1.2 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.80.

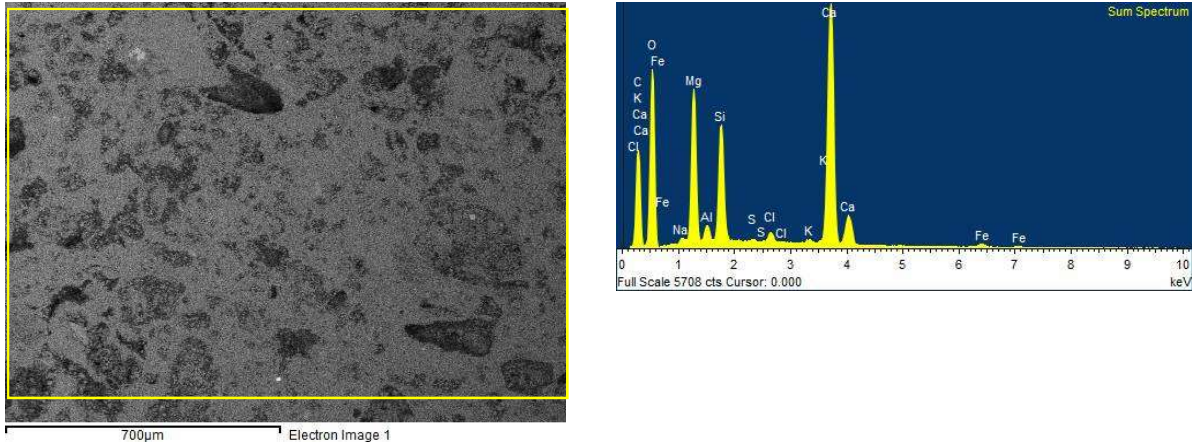
Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στιλπνής τομής του δείγματος οι έντονη παρουσία των παραπάνω φαινομένων καθιστούν τον λίθο να είναι εύθρυπτος.(Εικόνα 9.32).



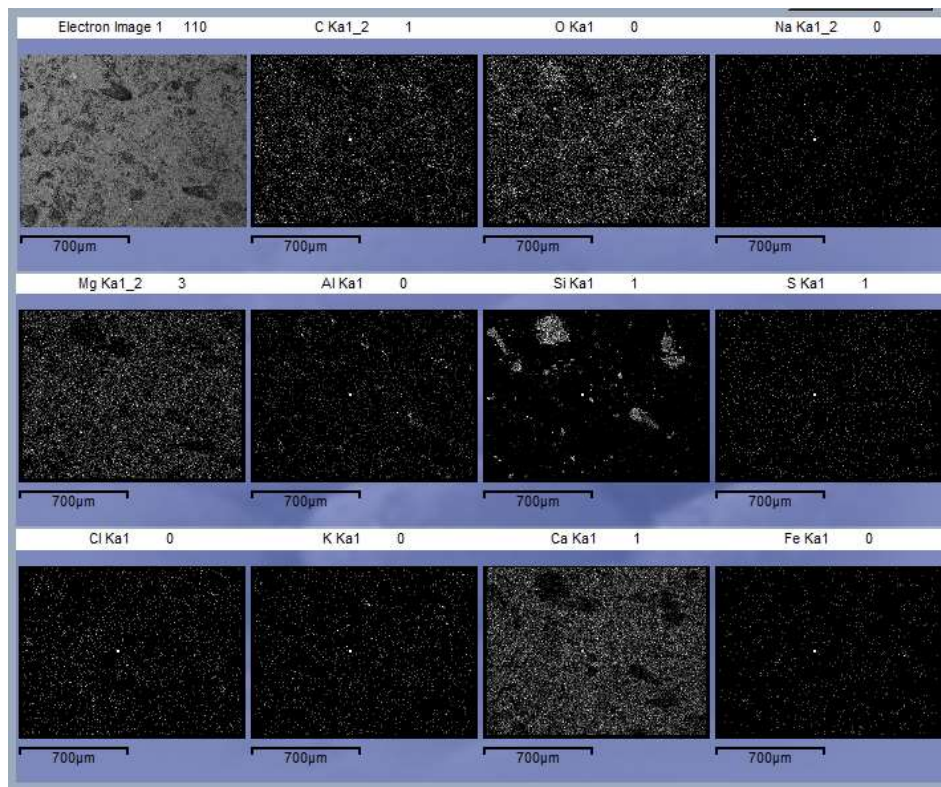
Εικόνα 9.32. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος
 Α: μεγέθυνση x1.2 , Β: μεγέθυνση x2.5 Γ: μεγέθυνση x3.5.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης συνδυασμένη με Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (SEM-EDS)

Κατά την παρατήρηση της στιλπνής τομής του δείγματος, προκύπτει ότι είναι δολομιτική μάργα. Υπάρχει έντονη παρουσία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) που είναι ουσιαστικά η κύρια πηγή του υλικού, συνυπάρχει με το μαγνήσιο (Mg). Υπάρχει έντονη παρουσία αργιλίου(Al), πυριτίου(Si), ασβέστιο(Ca). Δευτερεύοντα ανιχνεύονται τα εξής νάτριο (Na), θείο (S), χλώριο(Cl), κάλιο(K), σίδηρος(Fe) (Εικόνες 9.33-9.34, Πίνακας 9.7).



Εικόνα 9.33. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

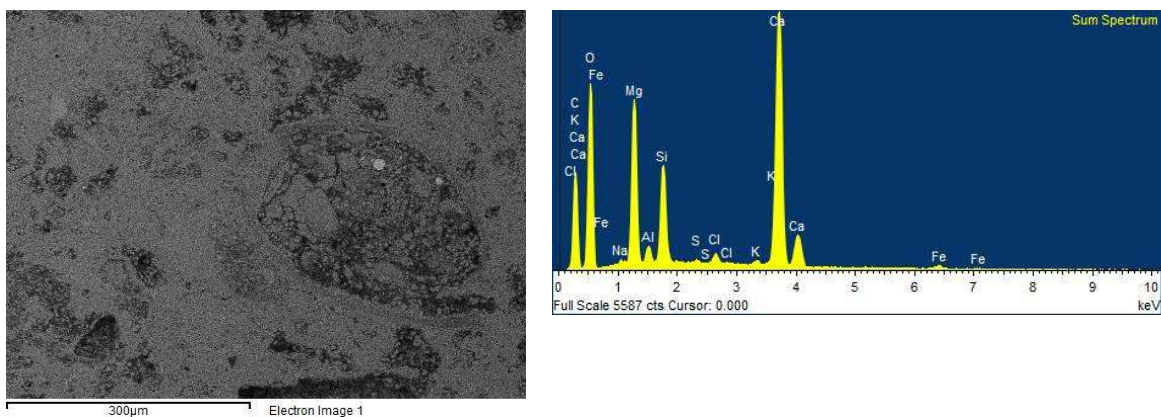


Εικόνα 9.34. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

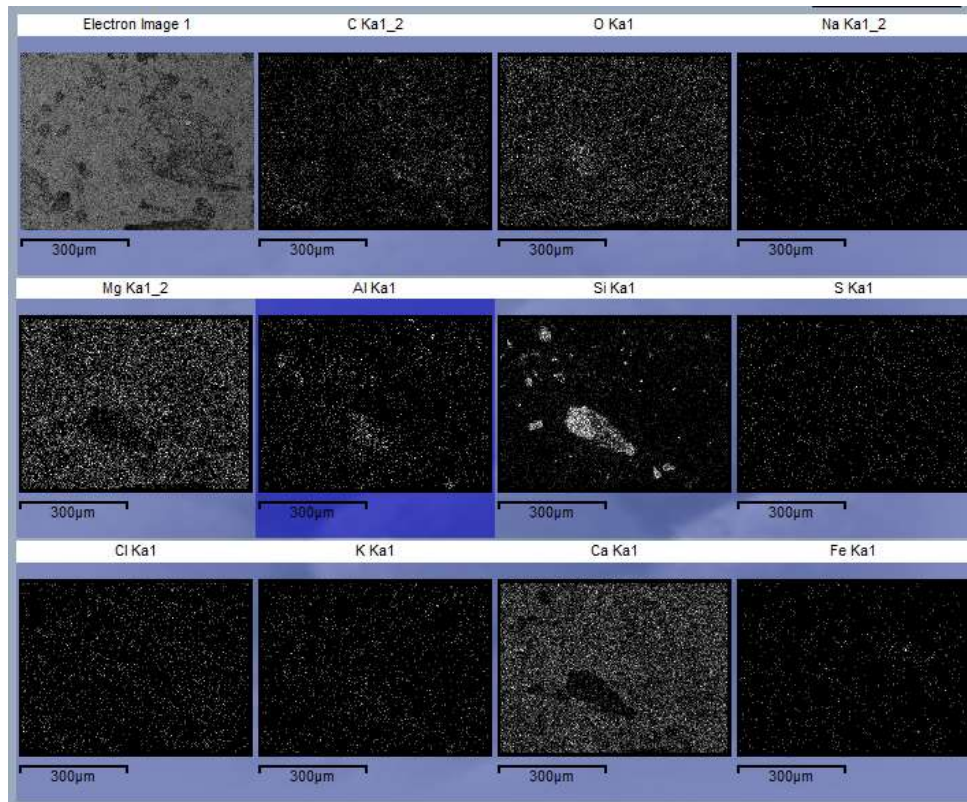
Πίνακας 9.7. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	38.06	0.5634	20.81	0.83	30.26
O K	84.29	0.5329	48.73	0.58	53.20
Na K	0.76	0.7470	0.31	0.05	0.24
Mg K	17.23	0.7107	7.47	0.11	5.37
Al K	1.58	0.7322	0.67	0.04	0.43
Si K	13.42	0.8265	5.00	0.08	3.11
S K	0.41	0.8953	0.14	0.03	0.08
Cl K	1.32	0.8009	0.51	0.03	0.25
K K	0.86	1.0776	0.25	0.03	0.11
Ca K	50.08	0.9883	15.61	0.20	6.80
Fe K	1.27	0.8003	0.49	0.05	0.15
Totals			100.00		

Από τα εγκλείσματα διακρίνονται, μόνο τα αργιλοπηριτιτικής σύστασης. Υπάρχουν όμως, και φάσεις κρυσταλλικές που δεν έχουν καθόλου ασβέστιο (Ca). Οι συγκεντρώσεις αργιλίου (Al), διακρίνονται σε μικρότερο ποσοστό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο λίθος να φθίρειται πιο εύκολα. Διακρίνονται και κόκκοι χαλαζία (SiO₂), αλλά και σιδήρου (Fe), άνθρακα (C). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται νάτριο (Na), θείο (S), κάλιο (K), χλώριο (Cl). (Εικόνες 9.35-9.36, Πίνακας 9.8).



Εικόνα 9.35. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.



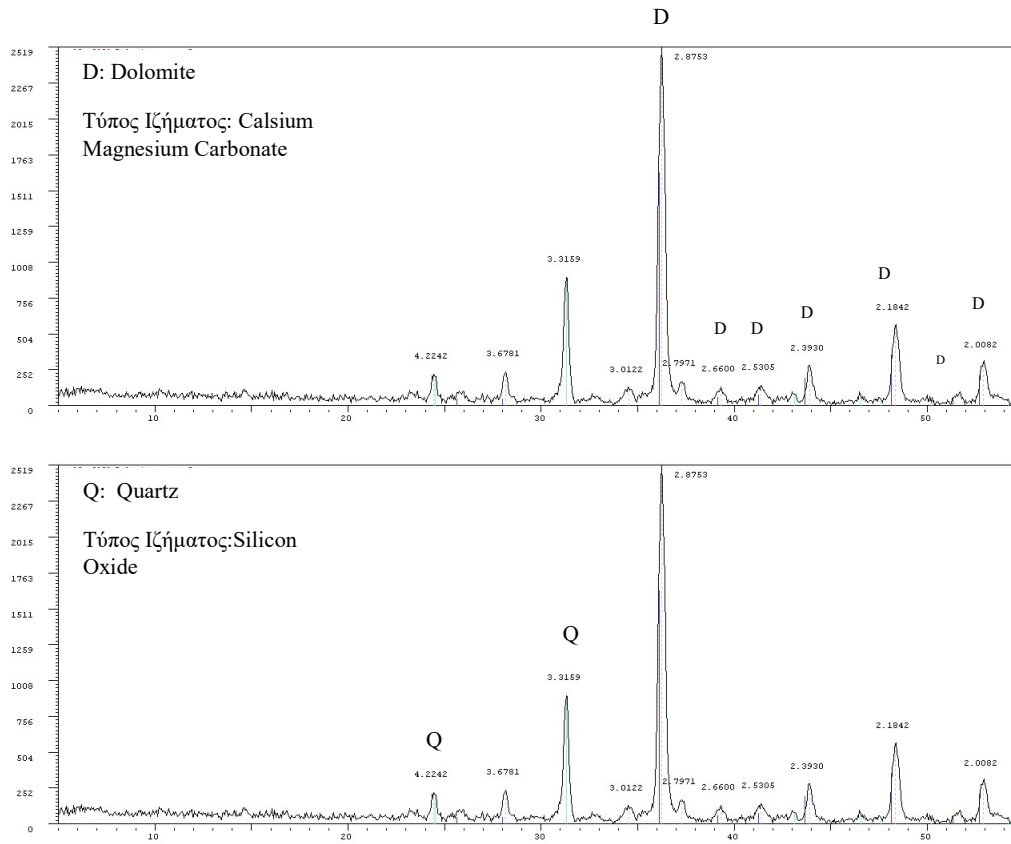
Εικόνα 9.36. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

Πίνακας 9.8. Συγκεντρωτικός Πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	27.84	0.5652	18.32	0.87	27.06
O K	72.86	0.5405	50.12	0.60	55.59
Na K	0.53	0.7381	0.27	0.05	0.21
Mg K	15.41	0.7046	8.14	0.13	5.94
Al K	1.44	0.7209	0.74	0.04	0.49
Si K	9.35	0.8168	4.26	0.08	2.69
S K	0.35	0.8971	0.15	0.03	0.08
Cl K	1.12	0.8031	0.52	0.03	0.26
K K	0.86	1.0823	0.30	0.03	0.13
Ca K	44.35	0.9905	16.65	0.22	7.37
Fe K	1.19	0.8014	0.55	0.06	0.18
Totals			100.00		

Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Κατά την ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος η κύρια κρυσταλλική δομή του είναι ο δολομίτης ($\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$). Έχει την ίδια μετατόπιση σε δολομίτη σε όλες τις κορυφές του, διακρίνεται και αρκετή ποσότητα σε χαλαζία (SiO_2).³³ (Σχήμα 9.6).



Σχήμα 9.6. Ακτινοδιάγραμμα του δείγματος.

³³ Βλέπε παράρτημα- Σύγκριση

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

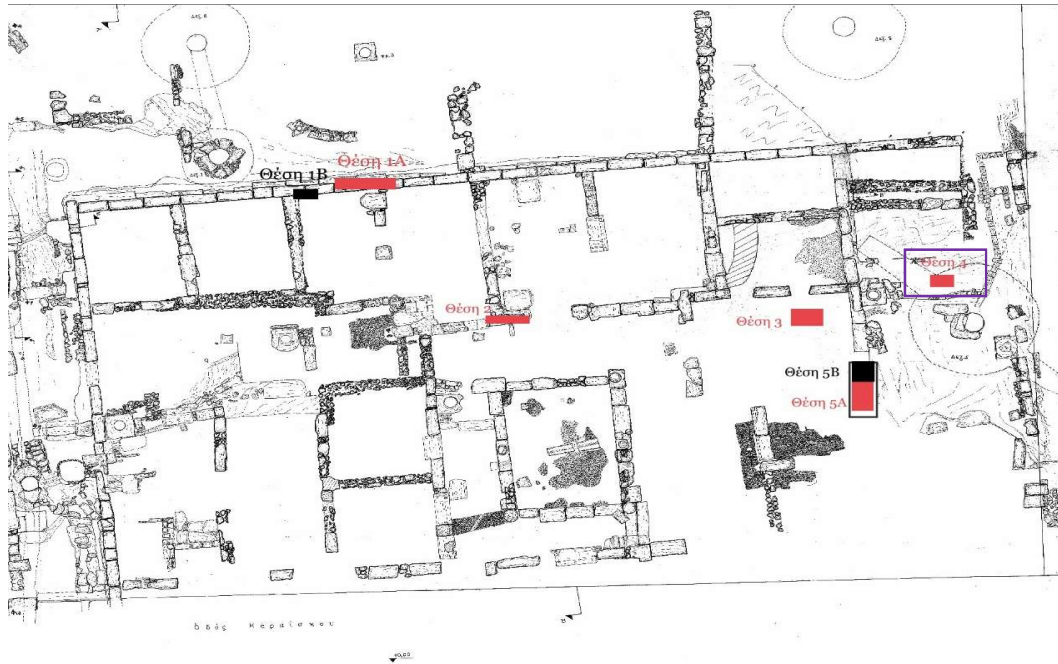
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 4^η

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

Λίθος

-



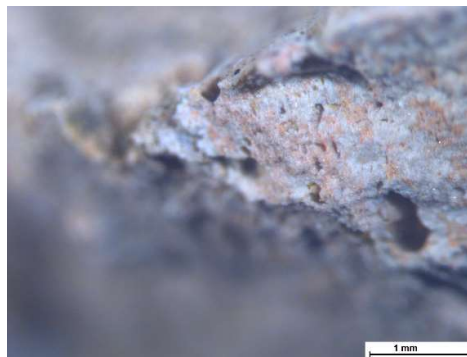
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος διαπιστώνεται ότι είναι δολομιτική μάργα. Υπάρχουν, άλατα, ρηγματώσεις, επικαθίσεις ρύπων, καθώς και προσβολή από μικροοργανισμούς. (Εικόνες 9.37-9.39)



*Εικόνα 9.37. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.80 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*

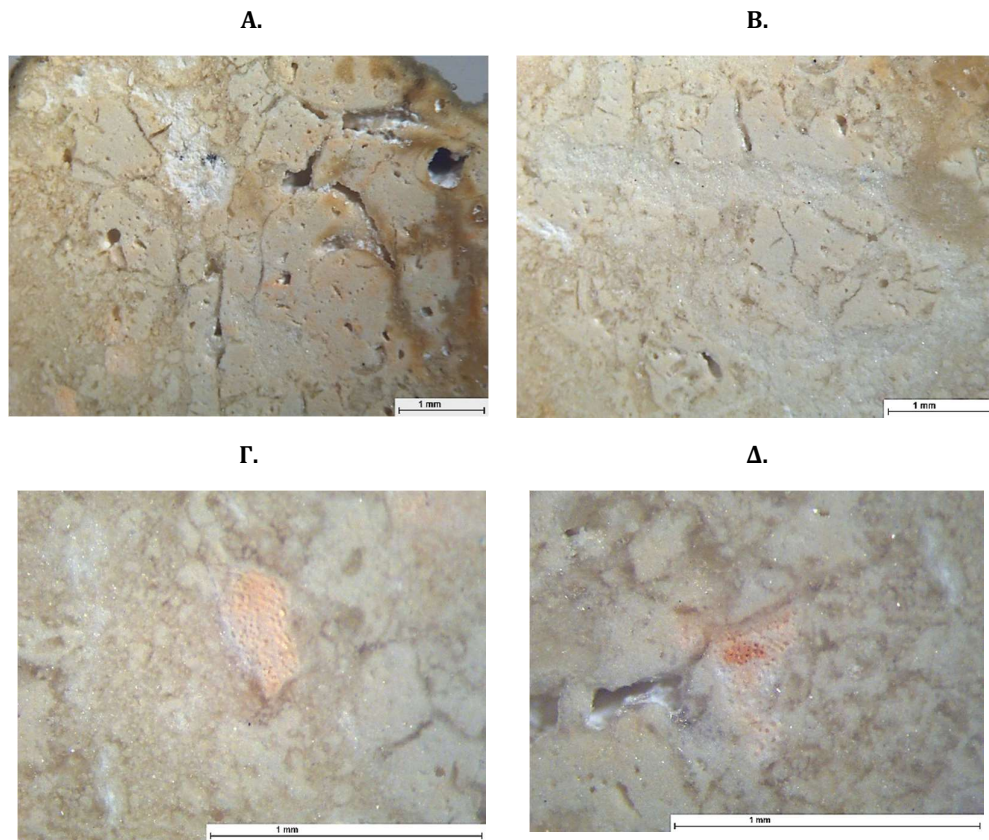


*Εικόνα 9.38. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1.2 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.5.*



*Εικόνα 9.39. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x2.*

Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στιλπνής τομής του δείγματος διακρίνεται έντονα η παρουσία αλάτων, ρηγματώσεων. Επιπρόσθετα υπάρχει προσβολή από μικροοργανισμούς, διότι παρατηρήθηκε το φαινόμενο του βελονισμού. Κατόπιν των ελέγχων που διενεργήθηκαν προκύπτει ότι είναι δολομιτική μάργα. (Εικόνα 9.40)



Εικόνα 9.40. Γενική άποψη στιλπνής τομής του δείγματος
A: μεγέθυνση x1.2 , B: μεγέθυνση x1.5 Γ: μεγέθυνση x4 Δ: μεγέθυνση x4.5.

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

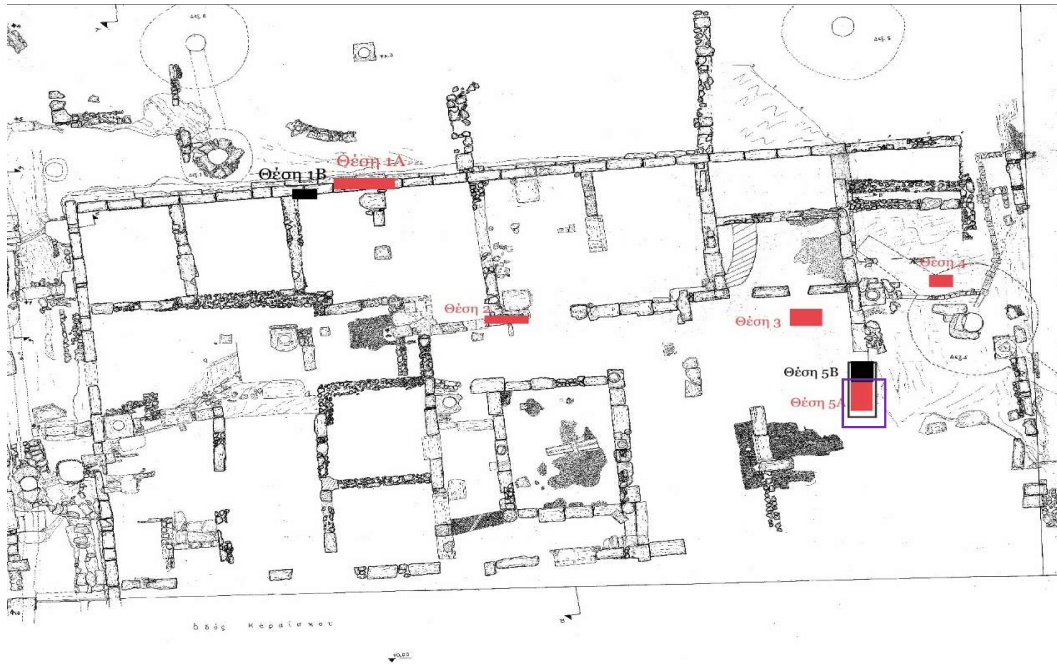
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 5A

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

Λίθος

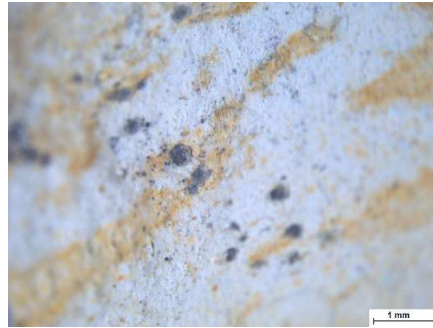
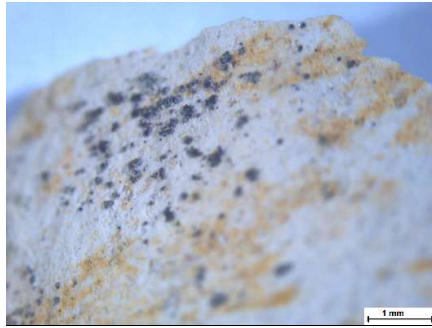
-



Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος παρατηρείται έντονη παρουσία αλάτων, καθώς και επικαθίσεις ρύπων. (Εικόνες 9.41-9.43).



*Εικόνα 9.41. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.*



*Εικόνα 9.42. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος 1
Αριστερά: μεγέθυνση x1.2 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*



*Εικόνα 9.43. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος 1
Αριστερά: μεγέθυνση x0.67 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*

Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στυλπνής τομής του δείγματος διακρίνεται έντονα η παρουσία αλάτων, αλλά και η προσβολή από μικροοργανισμούς –βελονισμός (Εικόνα 9.44).

A.



B.



Γ.



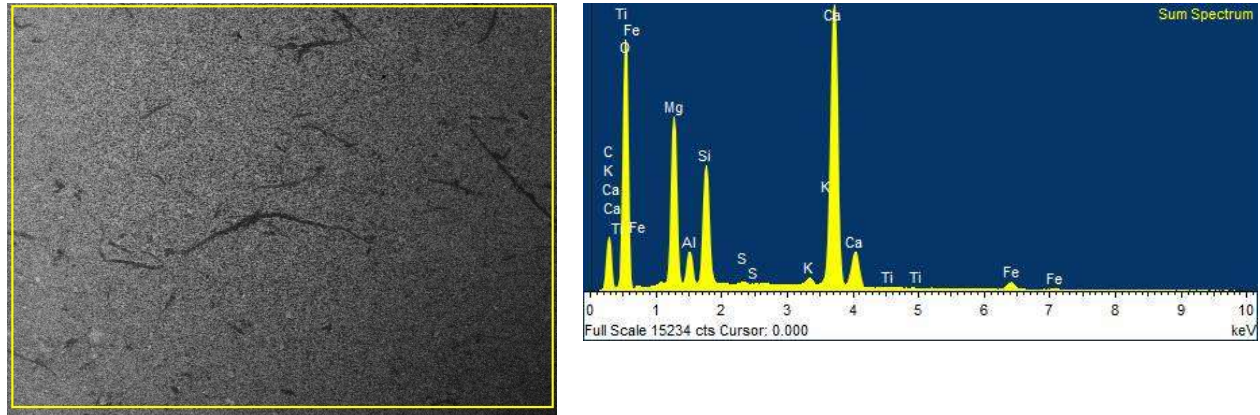
Δ.



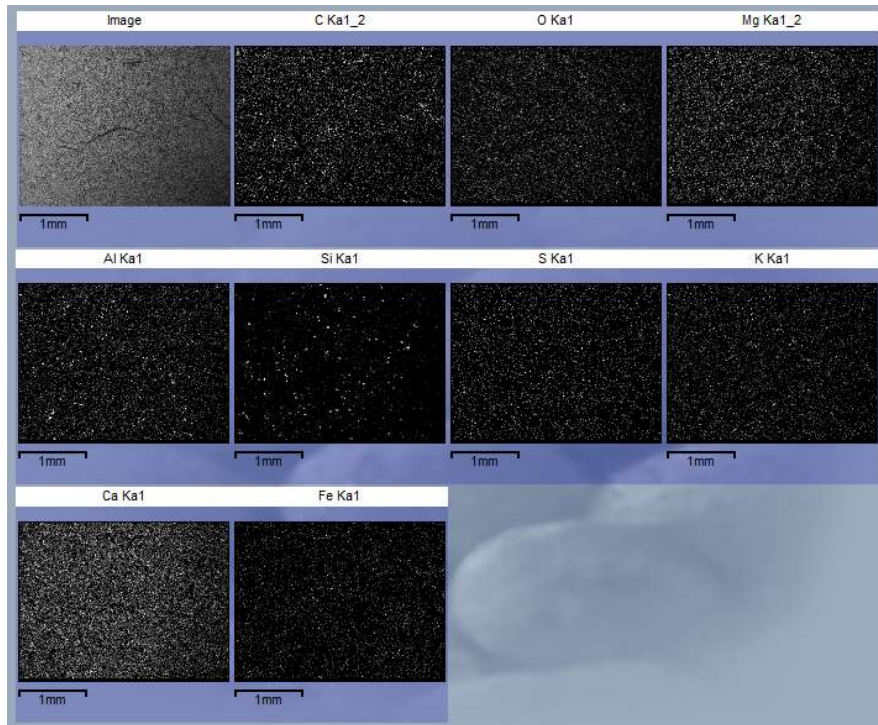
Εικόνα 9.44. Γενική άποψη στυλπνής τομής του δείγματος
A: μεγέθυνση x1.2 , B: μεγέθυνση x3 Γ: μεγέθυνση x3.5 Δ: μεγέθυνση x4.5.

Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης συνδυασμένη με Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (SEM-EDS)

Κατά την παρατήρηση της στιλπνής τομής του δείγματος, προκύπτει ότι, είναι μια τυπική εικόνα μαργαϊκού ασβεστόλιθου. Περιέχει ιζήματα χωρίς κρυσταλλικές φάσεις, διακρίνεται έντονη παρουσία μαγνησίου(Mg) και αυτό το κατατάσσει στους σκληρούς ανθρακικούς λίθους. Επιπρόσθετα παρατηρήθηκε έντονη παρουσία οξυγόνου(O),άνθρακα (C), αργιλίου(Al),σιδήρου(Fe). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται τιτάνιο (Ti),θειό (S), κάλιο (K). (Εικόνες 9.45-9.46, Πίνακας 9.9)



Εικόνα 9.45. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της στιλπνής τομής του δείγματος.

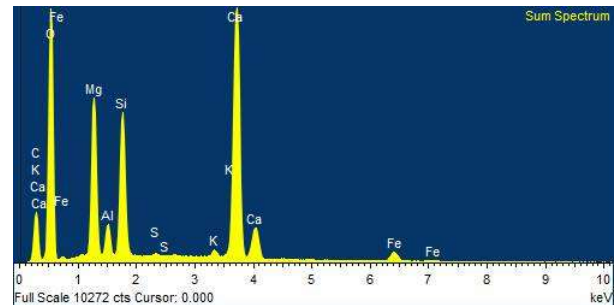
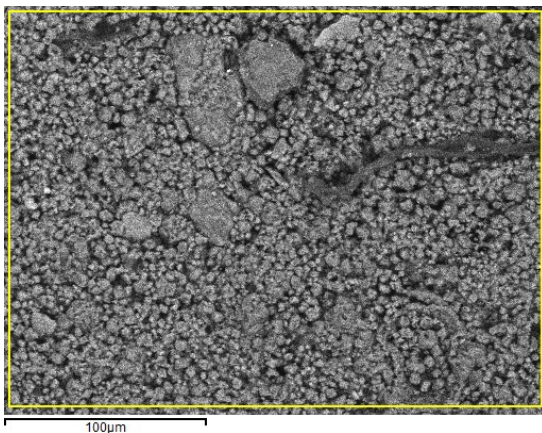


Εικόνα 9.46. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος

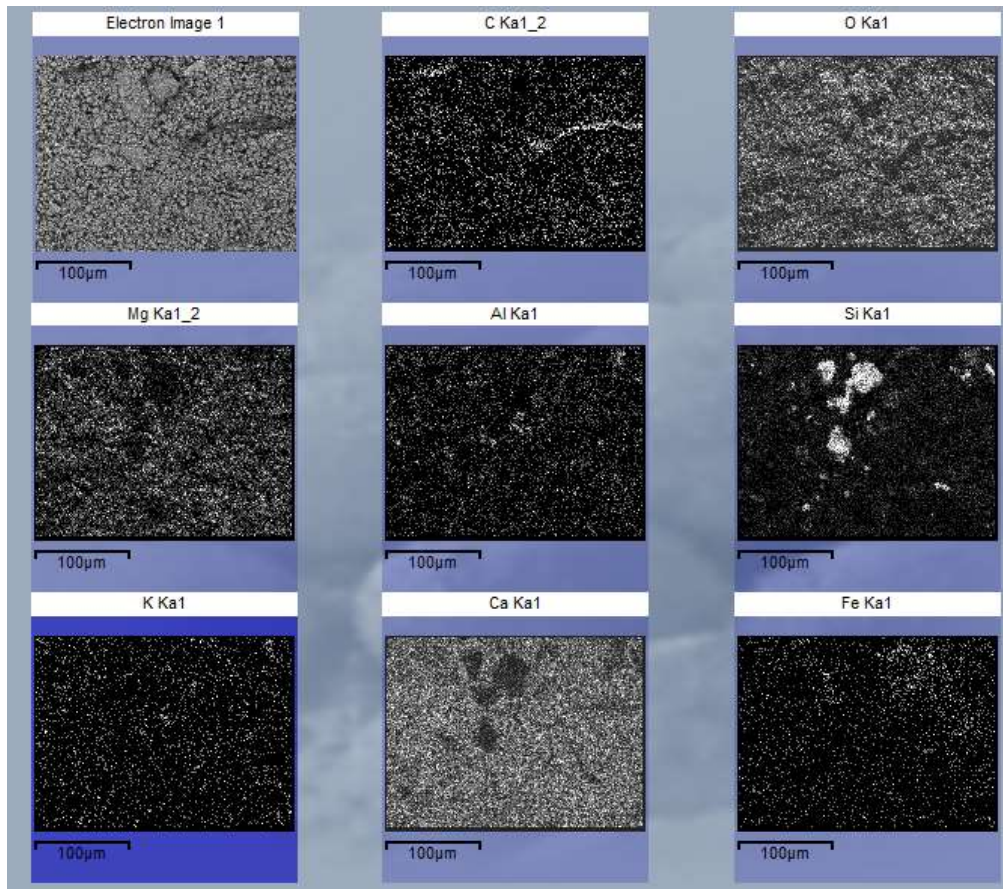
Πίνακας 9.9. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	11.50	0.5375	9.84	0.53	15.20
O K	75.81	0.6154	56.65	0.37	65.68
Mg K	12.16	0.6844	8.17	0.08	6.23
Al K	2.10	0.7071	1.37	0.03	0.94
Si K	8.72	0.7998	5.01	0.05	3.31
S K	0.24	0.8838	0.13	0.02	0.07
K K	1.03	1.0833	0.44	0.02	0.21
Ca K	37.03	0.9930	17.15	0.13	7.94
Ti K	0.14	0.7796	0.08	0.02	0.03
Fe K	2.03	0.8060	1.16	0.04	0.38
Totals			100.00		

Διακρίνεται ένας ιστός-φλέβα χαλαζία που θα πιθανόν να έχει φυτική προέλευση. Ανιχνεύονται συγκεντρώσεις άνθρακα(C), , μαγνήσιο(Mg), ασβέστιο (Ca),αργίλιο (Al), σίδηρος(Fe), κόκκοι χαλαζία (SiO₂). Δευτερευόντως, σε μικρότερα ποσοστά ανιχνεύονται θείο(S), κάλιο (K) (Εικόνες 9.47-9.48, Πίνακας 9.10).



Εικόνα 9.47. Στοιχειακή ανάλυση περιοχής της σιλπνής τομής του δείγματος.



Εικόνα 9.48. Κατανομή των στοιχείων της περιοχής του δείγματος.

Πίνακας 9.10. Συγκεντρωτικός πίνακας των συγκεντρώσεων των στοιχείων.

Element	App	Intensity	Weight%	Weight%	Atomic%
	Conc.	Corrn.		Sigma	
C K	10.74	0.5179	10.31	0.53	15.85
O K	72.01	0.6336	56.48	0.38	65.19
Mg K	10.86	0.6859	7.87	0.08	5.98
Al K	1.89	0.7113	1.32	0.03	0.90
Si K	9.81	0.8034	6.07	0.06	3.99
S K	0.23	0.8770	0.13	0.02	0.07
K K	0.91	1.0761	0.42	0.02	0.20
Ca K	31.60	0.9905	15.86	0.13	7.31
Fe K	2.51	0.8066	1.55	0.05	0.51
Totals			100.00		

ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΚΩΔΙΚΟΣ
ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ

ΘΕΣΗ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

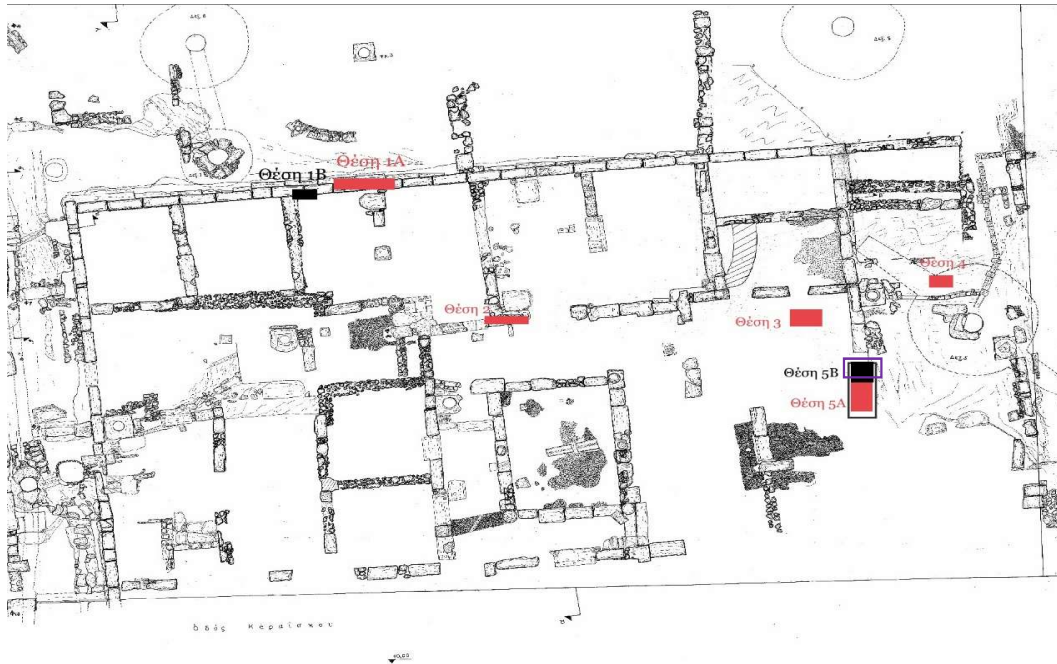
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Θέση 5B

Αρχαιολογικός Χώρος
Πλατείας Τερψιθέας,
Πειραιάς

Κονίαμα Αρμολογήματος

Αρχική πρόθεση ήταν να ληφθεί δείγμα από κονίαμα, αλλά κατόπιν των ελέγχων που διενεργήθηκαν διαπιστώθηκε ότι είναι λίθος. Επομένως ότι αποτέλεσμα ακολουθεί αφορά λίθο.



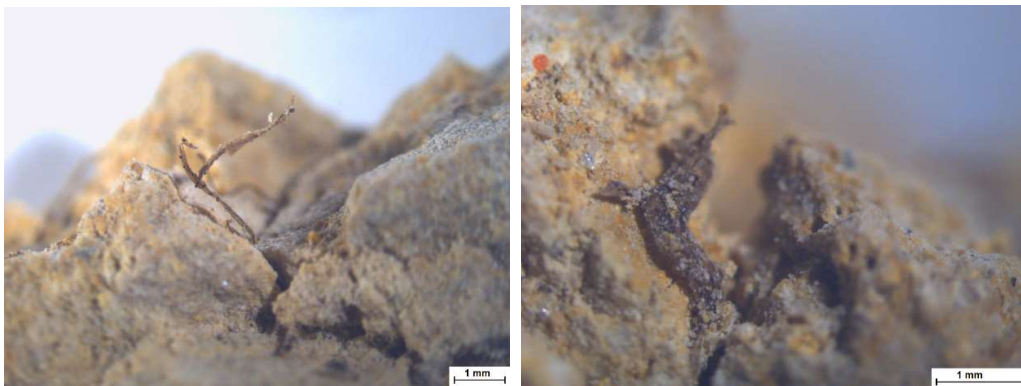
Περιγραφή δείγματος:

Οπτική Μικροσκοπία (ΟΜ)

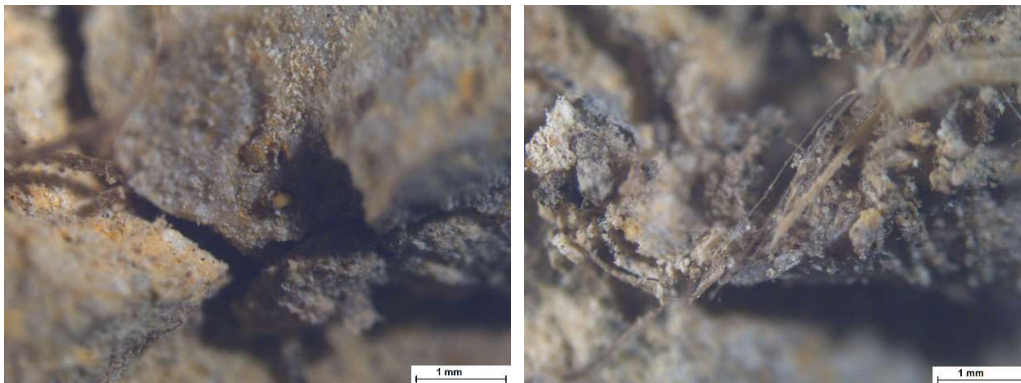
Κατά τη μικροσκοπική εξέταση της ελεύθερης επιφάνειας του δείγματος παρατηρείται έντονη παρουσία ρηγματώσεων, υπολείμματα από ρίζες φυτών, καθώς και μικροοργανισμών. Πρόκειται για μια τυπική εικόνα τα μαργαϊκού ασβεστόλιθου. (Εικόνες 9.49-9.51)



*Εικόνα 9.49. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.67 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*

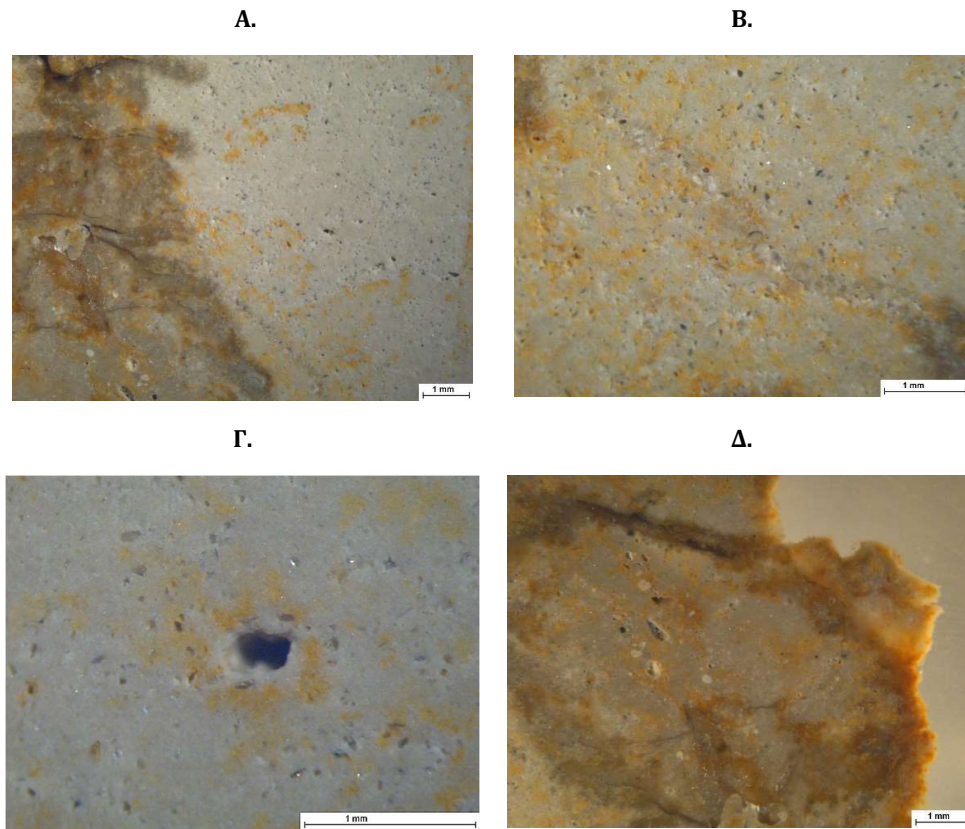


*Εικόνα 9.50. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x0.67 & Δεξιά: μεγέθυνση x0.67.*



*Εικόνα 9.51. Γενική άποψη της ελεύθερης επιφάνειας / τομής του δείγματος
Αριστερά: μεγέθυνση x1.2 & Δεξιά: μεγέθυνση x1.2.*

Από την παρατήρηση της εγκάρσιας στυλπνής τομής του δείγματος διακρίνεται έντονα η παρουσία αλάτων, προσβολή από μικροοργανισμούς –βελονισμός, ρωγμές. (Εικόνα 9.52).



Εικόνα 9.52. Γενική άποψη στυλπνής τομής του δείγματος
A: μεγέθυνση x0.67 , B: μεγέθυνση x1.2 Γ: μεγέθυνση x2.5. Δ: μεγέθυνση x0.80

10. Γενικά Συμπεράσματα

Όπως ήδη έχει αναλυθεί σε αυτή την εργασία ο Αρχαιολογικός Χώρος στην Πλατεία Τερψιθέας στον Πειραιά, αποτέλεσε ένα κομμάτι της ιστορίας, της τεχνογνωσίας, και της εφευρετικότητας της τότε εποχής. Η ανασκαφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε, έφερε στο φως σημαντικά στοιχεία, τόσο για την αρχιτεκτονική, όσο και των δομικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Παρέχει σημαντικές πληροφορίες, για την αποκατάσταση του πολεοδομικού ιστού του αρχαίου Πειραιά, για την εξέλιξη του συστήματος ύδρευσης και αποχέτευσης της αρχαίας πόλης με ενδιαφέροντα στοιχεία για τη τυπολογία των αρχαίων δεξαμενών.

Η μελέτη των υλικών, με επιτόπιες, αλλά και αναλυτικές μεθόδους στο εργαστήριο, είναι δυνατόν να προσφέρει γνώση ως προς την φύση των δομικών υλικών, την τεχνολογία καθώς και την ποιότητα αντοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, είναι η εύρεση δυο κονιαμάτων, κατασκευασμένα σε διαφορετική φάση, στοιχείο. Ακόμη, η περαιτέρω έρευνα που μπορεί να διενεργηθεί στον χώρο μπορεί να αποκαλύψει νέες χρήσεις ή πτυχές των ήδη γνωστών, που ίσως δεν έχουμε αντιληφθεί ακόμα.

Πέρα όμως, από την τεχνογνωσία των κατασκευαστών, που συνδέετέ άμεσα με τον πλούτο και τον πολιτισμό του αρχαιολογικού χώρου, η μελέτη και ο χαρακτηρισμός των υλικών δόμησης, μας οδηγεί σε συμπεράσματα σε σχέση με τις αντοχές τους. Αναλύθηκαν εκτενώς, τόσο οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες του αρχαιολογικού χώρου, και έδειξαν ότι, η εξέταση της παθολογίας και η συνεχιζόμενη εξέλιξη τους, δείχνουν ότι, τα φαινόμενα της φθοράς είναι ποικιλόμορφα, εκδηλώνονται στις διεπιφάνειες περιβάλλοντος-υλικών και είναι συνάρτηση, τόσο ενδογενών, όσο και εξωγενών παραγόντων, όπου με την πάροδο του χρόνου οδηγούν στην μερική ή πλήρη κατάρρευση. Γνωρίζοντας, λοιπόν, τους τύπους φθοράς και τους μηχανισμούς που τους προκαλούν, μπορούν να προταθούν κάποιες επεμβάσεις συντήρησης – ή όποιες με βάση την δεοντολογία του χώρου θα κριθούν στην συνέχεια κατάλληλες.

Στόχος, πρέπει να είναι πάντα η μακροπρόθεσμη διατήρηση του αρχαιολογικού χώρου, με σεβασμό στις αισθητικές αξίες αλλά και την συμβατότητα των υλικών συντήρησης με τα αυθεντικά. Εφόσον οι κλιματολογικές αλλαγές επιφέρουν μεταβολές στα χαρακτηριστικά, τα σύγχρονα υλικά αποκατάστασης θα χρειαστεί να είναι ικανά να ανταπεξέλθουν επιτυχώς σε ένα νέο περιβάλλον συνήθως σε ένα διαφορετικό από αυτό για το οποίο σχεδιάστηκαν. Για αυτό, θα χρειαστεί να παρέχουν συμβατότητα ως προς τα χαρακτηριστικά, της υφής της μικροδομής, του χρώματος καθώς και της μηχανικής συμπεριφοράς, με στόχο να εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες μιας τροποποιημένης χημικής σύνθεσης, ώστε να ανταποκρίνονται καλύτερα στις νέες απαιτήσεις του περιβάλλοντος των μνημείων. (Καρατάσιος et.all, 2012)

Στην παρούσα εργασία, για τους παραπάνω λόγους, έγινε προσπάθεια να καλυφθούν όλα τα είδη των πρώτων υλών που υπάρχουν στον αρχαιολογικό χώρο. Στα δείγματα αυτά, εφαρμόστηκαν καταστρεπτικές ή μη καταστρεπτικές εργαστηριακές μέθοδοι, από τις οποίες προκύπτει η ορυκτολογική τους σύσταση, οι φυσικομηχανικές τους ιδιότητες, η διάβρωση, την οποία έχουν υποστεί, καθώς και η προέλευσή τους. Με σκοπό να αξιοποιηθούν για την ανασύσταση των αυθεντικών συνθέσεων και συνεπώς να χρησιμοποιηθούν για την αποκατάσταση του αρχαιολογικού χώρου. (Καρατάσιος et.all, 2012)

Τα δείγματα των κονιαμάτων, αφορούν επιχρίσματα, με διαφορετική φάση κατασκευής, δίνοντας μας την συνολική εικόνα κατά το δυνατόν των χρησιμοποιούμενων κονιαμάτων της εποχής. Από τα κονιάματα προκύπτει ότι, ανήκουν σε διαφορετική κατασκευαστική φάση. Όπως έδειξαν και τα αποτελέσματα των ελέγχων που διενεργήθηκαν στο δείγμα από την Θέση 1Α, διαπιστώθηκε ότι πρόκειται για ποζολανικό κονίαμα που περιέχει πρόσθετα και αδρανή

ασβεστολιθικής και αργιλοπυριτικής σύστασης, με αρκετό ποσοστό σε μαγνήσιο. Επομένως ο υδραυλικός χαρακτήρας του κονιάματος αυτού εξηγείται με την παρουσία ποζολανικού πρόσθετου, κάτι που θα μπορούσε να εξηγήσει και τη μικρή φαινόμενη πυκνότητα, αλλά και την έντονη παρουσία χαλαζία στην κονία.

Σε αντίθεση, με το δείγμα από την Θέση 1B όπου προκύπτει ότι είναι ασβεστοκονίαμα, με άλλη κατασκευαστική φάση. Έχει μεγάλη παρουσία αδρανών τα οποία καταλαμβάνουν περισσότερο χώρο από την κονία.³⁴ Επομένως, η κατάσταση διατήρησης τους δεν είναι καλή, διότι παρατηρήθηκαν, έντονα φαινόμενα βιοδιάβρωσης, ρηγματώσεων, θρυπτικότητας κτλ.

Τα δείγματα των λίθων, είδαμε ότι χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: 1) *Δολομιτικές μάργες*, που είναι οι λίθοι στις Θέσεις: 2^η, 3^η, 4^η. Οι οποίες πλήττονται σε μεγάλο βαθμό από παρουσία αλάτων, επικαθίσεων, βιοαδιαβρώσεων- βιοαποικίσεων, ρωγματώσεων, ρηγματώσεων, όπως και με παράλληλη παρουσία κυψελοειδούς φθοράς, απολέπισης, αποσάθρωσης κτλ. με αποτέλεσμα να υπάρχει σοβαρό πρόβλημα διάβρωσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα στην Θέση 3^η, η οποία εμφανίζει σε μεγάλο βαθμό το φαινόμενο της ευθρυπτότητας. 2) *Μαργαϊκούς Ασβεστόλιθους*, που είναι οι λίθοι στις Θέσεις: 5^Α, 5^Β. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του είδους λίθου βελτιώνονται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο. Η συνηθισμένη μορφή τους σε ισομερή κατανομή των δύο συστατικών χαρακτηρίζεται από μικρή αντοχή, ευκολία αποσάθρωσης.

Συμπερασματικά, η παρούσα εργασία αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση των υλικών αυτών, όπου με την γνώση αυτή μπορεί να βοηθήσει τους μελλοντικούς μελετητές, για μια ακόμα περαιτέρω έρευνα, για αυτό περισσότερα δείγματα και τεχνικές είναι αναγκαίες για την ολοκλήρωση του χαρακτηρισμού τους.

³⁴ Για την περίοδο κατασκευής που συζητάμε (Ρωμαϊκή-Κλασική) οι κάτω στρώσεις συνήθως αφορούν σε ασβεστο-ποζολανικά κονιάματα, ενώ στις άνω συχνά εμφανίζονται αμιγή ασβεστοκονιάματα. Σε όλες τις περιπτώσεις, η περιεκτικότητα σε ποζολάνη ποικίλει. Φαίνεται, ωστόσο ότι, όταν εμφανίζεται σε όλες τις στρώσεις, μειώνεται προς την άνω επιφάνεια. Συχνά, κυρίως στις άνω στρώσεις, χρησιμοποιείται κεραμάλευρο. Στις περισσότερες περιπτώσεις, επιλέγεται το σύστημα ασβεστος+ποζολάνη, προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι αυξημένες ανάγκες σε αντοχή και ανθεκτικότητα των υλικών (ικανότητα ανάληψης φορτίων, ανθεκτικότητα σε υγρασία) (Pachta & Papayianni, 2010).

Με βάση μια έρευνα που είχε γίνει από το Εργαστήριο Δομικών Υλικών στο ΑΠΘ έδειξε ότι, βασίζονται στην ασβεστο ενώ όπου η θέση στην κατασκευή το απαιτούσε (επαφή με υγρασία ή άσκηση μεγάλων φορτίων) στη σύσταση των κονιαμάτων προστίθενται υλικά με ποζολανικές ιδιότητες με σκοπό τη μείωση της διαπερατότητας και την αύξηση της αντοχής σε σχέση με τα αμιγή ασβεστοκονιάματα (Papayianni & Stefanidou, 2007)





11. Προτάσεις Συντήρησης







Το σύνολο της πολιτιστικής μας κληρονομιάς αντιπροσωπεύει την ιστορία μας και την ταυτότητά μας, ενώ τα μνημεία μας, στη σημερινή εποχή της εικόνας, αποτελούν το ορατό μέρος της ιστορίας μας που συγκινούν και προσελκύουν ιδιαίτερα τόσο το ελληνικό όσο και το διεθνές κοινό. Στην σύγχρονη αρχαιολογία, η ανάδειξη των μνημείων θεωρείται ως η «εμπράγματη δημοσίευση», με την έννοια ότι τα μνημεία μεταδίδουν τα μηνύματά τους στο ευρύτερο κοινό και όχι μόνο στους ειδικούς. Μέσω της ανάδειξης, ο αρχαιολογικός χώρος παύει να αποτελεί ένα κατάλοιπο του παρελθόντος και εντάσσεται στην καθημερινή ζωή των κατοίκων. Γι' αυτό όσοι διαχειρίζονται την πολιτιστική μας κληρονομιά οφείλουν να καθιστούν τα μνημεία αναγνώσιμα ως προς την μορφή και το ιστορικό τους νόημα στο κοινό, γιατί μόνο όταν το μήνυμά τους γίνεται κτήμα κάθε ανθρώπου και της κάθε γενιάς που έρχεται σε επαφή με αυτά, δικαιώνεται και η ύπαρξή τους (Λαμπρινουδάκης, 2014).

Με βάση την παρούσα εργασία καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι, ο αρχαιολογικός χώρος χάνει συνεχώς ποσοστό από τη «μάζα» του, λόγω φθοράς, που ως αποτέλεσμα θα συμβάλει με το να χαθεί μια 'ιστορία' πίσω από ένα αρχαιολογικό χώρο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ευρύτερη υποβάθμιση και την κακή εικόνα του αρχαιολογικού χώρου.

Η συντήρηση είναι το βασικό εργαλείο της αρχαιολογίας που ο σκοπός της είναι να φωτίζει την εθνική μας ιστορία. Η αναγκαιότητα της συντήρησης προκύπτει από το γεγονός ότι οι αρχαιολογικοί χώροι δεν είναι ανανεώσιμοι και καταστρέφονται συνεχώς, κυρίως από φυσικά αίτια αλλά και από λανθασμένες ενέργειες ανθρώπων (όπως εγκατάλειψη, λανθασμένες επεμβάσεις συντήρησης κ.ά.). Με τις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης βελτιώνονται οι μηχανικές αντοχές, και αποκτούν υπόσταση και προβάλλεται η ανάπλαση της ιστορίας τους μέσα στο φυσικό τους περιβάλλον, γίνονται λειτουργικά και το κοινό μπορεί να τα προσεγγίζει με ασφάλεια και να κατανοεί τη σημασία και την ιστορία τους (Cronyn, 1990) «Η συντήρηση είναι ένα τμήμα της διαχείρισης της πολιτιστικής κληρονομιάς η οποία περιλαμβάνει την έρευνα, καταγραφή, τεκμηρίωση, ερμηνεία, αξιολόγηση, συντήρηση, διαφύλαξη, νομική προστασία, ανάδειξη, παρουσίαση, προβολή και αξιοποίηση της υλικής (κινητής και ακίνητης) και άυλης πολιτιστικής κληρονομιάς» (Λεκάκης, 2016).

Στην συνέχεια θα αναλυθούν κάποιες προτεινόμενες εργασίες συντήρησης όσον αφορά τον Αρχαιολογικό Χώρο της Πλατείας Τερψιθέας στον Πειραιά, οι οποίες είναι οι εξής:

-  Κατασκευή καναλιών για την αποστράγγιση των υδάτων, ώστε να μην συσσωρεύονται στις βάσεις του και προκαλούν μεγαλύτερες φθορές (Μαυρίδης, 2019).
-  Μέσα στον αρχαιολογικό χώρο καλό θα ήταν να υπάρχει μια διαμόρφωση της πορείας των επισκεπτών του μνημείου. Θα μπορούσε, για παράδειγμα, να υπάρξει ένα μονοπάτι που να εκμεταλλεύεται κατάλληλα τις εδαφικές μορφολογίες του χώρου με σκοπό να είναι ο επισκέπτης ασφαλής και να μπορεί να δει όλο τον αρχαιολογικό χώρο.
-  Επίσης, θα χρειαστεί να υπάρχει, συνεχή καθαριότητα του χώρου, διότι αν οι εργασίες δεν είναι συνεχής, ο αρχαιολογικός χώρος θα μετατραπεί σε 'δάσος' σε σύντομο χρονικό διάστημα. Με αυτόν τον τρόπο, αφενός δεν θα μπορέσει ο επισκέπτης να δει τον αρχαιολογικό χώρο και αφετέρου η διαδικασία φθοράς θα επιταχύνεται. (Μαυρίδης, 2019). Καλό είναι να αναφέρουμε ότι, και για τον έλεγχο της βλάστησης θα πρέπει να αναζητηθεί η γνώμη ειδικών ώστε να μην αλλοιωθεί η εικόνα του αρχαιολογικού χώρου. (Θεουλιάκης et al., 2006)
-  Για την καλύτερη προστασία και ανάδειξη του χώρου, θα πρέπει να υπάρξει συνεργασία μεταξύ του δημόσιου τομέα και της τοπικής αυτοδιοίκησης. Πρέπει η τοπική κοινωνία να ενημερωθεί για τα οφέλη που θα προκύψουν από την ανάπτυξη και προβολή του αρχαιολογικού χώρου ώστε να συμμετάσχουν ενεργά στην προστασία του. (Θεουλιάκης et al., 2006)

-  Πρέπει να λαμβάνονται μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας, όπως είναι ο έλεγχος των μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Επίσης για να υπάρξει ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων απαραίτητη είναι η ορθή διαχείριση του περιβάλλοντος με τις κατάλληλες χωροταξικές και πολεοδομικές ρυθμίσεις. Η συντήρηση είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Εφόσον ο αρχαιολογικός χώρος είναι εκτεθειμένος σε αντίξοες καιρικές συνθήκες όλο τον χρόνο, θα χρειαστεί οι επεμβάσεις που θα πραγματοποιούνται να είναι συστηματικές, και με οργανωτικό πλάνο εργασιών. (Θεουλιάκης et al., 2006)
-  Αποκατάσταση της συνοχής και της ακεραιότητας των λίθων. Εξασφάλιση της απαιτούμενης αντοχής και μορφής, προκειμένου να καταστεί δυνατή η διατήρησή τους κατά χώρα. Η αποκατάσταση, εξ' άλλου, της συνοχής με το κλείσιμο των πάσης φύσεως ρωγμών δημιουργεί σαφώς ευνοϊκότερες προϋποθέσεις για την αντιμετώπιση των φυσικών αιτιών της φθοράς. (Θεουλιάκης et al., 2006).
-  Επιφανειακή κατεργασία, με σκοπό την ενίσχυση της αντίστασης των λίθων έναντι της εισόδου νερού στο εσωτερικό τους. (Θεουλιάκης et al., 2006).
-  Βελτίωση των εξωγενών συνθηκών με προσωρινού χαρακτήρα μέτρα στο περιβάλλον του μνημείου (π.χ. εποχική κάλυψη ορισμένων τμημάτων). (Θεουλιάκης et al., 2006).
-  Παρατηρήθηκε επίσης, ότι υπάρχουν αρκετοί λίθοι ή ακόμα και μάρμαρα ή κεραμικά τα οποία είναι διάσπαρτα στον χώρο. Καλό θα ήταν σε αυτή την περίπτωση όπου είναι δυνατόν να συντηρηθούν και να τοποθετηθούν στην αρχική τους θέση, ώστε ο επισκέπτης να περιηγηθεί σε ένα χώρο που να διέπεται από αισθητική με σκοπό να αναδειχθεί η ιστορία του χώρου. Με την επανατοποθέτηση των μεμονωμένων μελών στην αρχική τους θέση εξασφαλίζεται, η αυθεντικότητα της δομής, καθώς και της μορφής των μνημείων, τα οποία αποκτούν σχήμα, όγκο και βάρος. Αυτό τονίζεται διότι, όταν τα αρχιτεκτονικά μέλη βρίσκονται στο έδαφος φθείρονται συνεχώς και γι' αυτό πρέπει να συντηρηθούν και να επανενταχθούν στα σημεία από τα οποία αποσπάστηκαν.
-  Όλα τα παραπάνω απαιτούν την πρόσληψη προσωπικού που σε κάποιες περιπτώσεις πρέπει να είναι εξειδικευμένο, όπως στην περίπτωση των συντηρητών, των αρχαιολόγων κι άλλων επιστημόνων. (Θεουλιάκης et al., 2006).

Επομένως, η ένταση της φθοράς και η προχωρημένη κατάσταση αποσάθρωσης ορισμένων τουλάχιστον από τους λίθους θέτει εξ' αρχής το ερώτημα / δίλημμα της δυνατότητας, αλλά και των προϋποθέσεων συντήρησης & προστασίας. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να αναφερθεί ότι το αίτημα για τη συντήρηση και τη διατήρηση μέρους του αυθεντικού υλικού ορατού και, συνακόλουθα, εκτεθειμένου στο φυσικό περιβάλλον διασταυρώνεται με την αρχή ότι οι εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης των λίθων δεν πρέπει να αντιβαίνουν προς ορισμένους κανόνες δεοντολογίας και, επομένως, η εφαρμογή τεχνικών λύσεων δεν είναι απεριόριστη. Η απόφαση βεβαίως προκύπτει αφού συμψηφισθεί η ωφέλεια που προκύπτει από τη μη κατάχωση (ανάδειξη) αυτών των καταλοίπων με τις αρνητικές συνιστώσες του προβλήματος, δηλαδή την απαιτούμενη δαπάνη χρόνου εργασίας, αλλά και τον κίνδυνο σοβαρής φθοράς ή και οριστικής απώλειας σε βάθος χρόνου που μπορεί να προκληθεί από την εξακολούθηση της έκθεσης των αυθεντικών λίθων, ή ακόμα από μια δραστική και αναπόφευκτα μη αντιστρεπτή επέμβαση συντήρησης. (Θεουλιάκης et al., 2006)

Βιβλιογραφία

- Adam JP 1994, *Roman Building: Materials and Techniques*, Routledge, London.
- Arnold, A. 1981, 'Nature and reactions of saline minerals in walls', στο: R Rossi-Manaresi (επιμ.), *Proc. Intern. Symp. 'The Conservation of Stone'*, Bologna, p. 13.
- Avoletti, M 1997, 'Contro l'umidità' ascendente', *Recupero & Conservation*, vol. 17, pp. 58-705.
- Bakolas, A, Biscontin, G, Moropoulou, A, & Zedri, E 1996, 'Salt impact on brickwork along the canals of Venice', *Journal of Materials and Structures*, vol. 29, pp. 1-9.
- Brundle, C, Evans, CA & Wilson, S 1992, *Encyclopedia of Materials Characterization: Surfaces, Interfaces, Thin Films*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Camuffo, D & Bernadi, A 1990, 'Atmospheric pollution and deterioration of monuments', *Advanced Workshop: Analytical Methodologies for the investigation of damaged stones*, Pavia, 14-21 September 1990.
- Camuffo, D, Del Monte, M, Ongaro, A 1984, 'The role of the atmospheric precipitation in Venice, related to both the dynamics of precipitation events and the weathering of monuments', *Science of the Total Environment*, vol. 40, pp. 125-139.
- Camuffo, D, Del Monte, M, Sabbioni, C & Vittori, O 1982, 'Wetting Deterioration and Visual features of stone surfaces in an urban area', *Atmospheric Environment*, vol. 16, no. 9, pp. 2253-2259.
- Christaras B 1998, 'Non-destructive methods used for the estimation of the damage (weathering and cracks) of the building and ornamental stones', *PACT*, vol. 55, pp. 243-266.
- Connolly, JD 1993, Humidity and building materials, στο: WB Rose & ATenwolde (επιμ.), Bugs, mold and rot II, στο Συλλογικό, *Proceedings of a workshop by the building environment and thermal envelope council of the National Institute*, Washington, DC, pp. 29-36.
- Cronyn JM 1990, *The elements of archaeological conservation*, Routledge, London.
- Curtius, E., Kaupert J.A. 1881, *Karten von Attika*, Erlauternder Text, Heft 1. Berlin πιν. II a&b
Judeich 1931, πιν. III C2.
- Dyer, T 2017, Deterioration of stone and concrete exposed to bird excreta—Examination of the role of glyoxylic acid. *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 125, pp. 125-141
- Folk R 1961, *Spectral Subdivision of Limestone Types*, μτφ. Χ Φούντου, Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Hellinon, 2014, 'Άγνωστος υπόγειος Πειραιάς: αρχαίοι θάλαμοι και διαδρομές του νερού, υπόγειες σήραγγες και πηγάδια' Άγνωστος υπόγειος Πειραιάς: αρχαίοι θάλαμοι και διαδρομές του νερού, υπόγειες σήραγγες και πηγάδια Διαθέσιμο απο – Hellinon's Blog (wordpress.com) (ανάκτηση 4 Ιουνίου 2022)
- Hoepfner W 2004, «Η πολεοδομία της Κλασικής περιόδου», στο ΑΦ Λαγόπουλος (επιμ.), *Η ιστορία της ελληνικής πόλης*, Ερμής, Αθήνα, σσ. 205-224.
- Hoepfner, W. & Schwandner, EL 1994, *Haus und Stadt im klassischen Griechenland Neubearbeitung*. Deutscher Kunstverl., München.
- Honour H & Fleming J 1998, *Ιστορία της Τέχνης*, μτφ. Α Παππάς, Υποδομή, Αθήνα.

- Karoglou, M, Moropoulou, A, Giakoumaki, A & Krokida, M 2005, Capillary rise kinetics of some building materials, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 284, pp. 260-264.
- Mamassis N, Defteraios P, Koutsoyiannis D, & Zarkadoulas N 2015, Η έρευνα των αρχαίων συστημάτων ύδρευσης του Πειραιά. Αναπαράσταση λειτουργίας των δεξαμενών συλλογής ομβρίων, *Research Gate*, Διαθέσιμο απο https://www.researchgate.net/publication/307138227_E_ereuna_ton_archaion_systematon_ylreuses_tou_Peiraia_Anaparastase_leitourgias_ton_dexamenon_sylloges_ombrion_Research_on_water_supply_of_ancient_Piraeus-Representation_of_ancient_cisterns_operation (ανάκτηση 1 Ιουνίου 2022)
- Mamillan, M 1981, ‘Connaissance actuelles des problemes de remontees d’eau par capillarite dans les murs’, στο: R Rossi-Manaresi (επιμ.), *Πρακτικά διεθνούς συμποσίου ‘The Conservation of stone’*, Centro per la conservazione delle sculture all’aperto, Bologna, p. 59.
- Milchhofen, A 1881, ‘Den Piraus’. Στο E Curtius & JA Kaupert (επιμ.), *Karten von Attika. Erlauternder Text*, Heft 1., Berlin, pp. 43-44.
- MLP (2011) ‘Οι κήποι της Τερψιθέας’ Διαθέσιμο από: ΟΙ ΚΗΠΟΙ ΤΗΣ ΤΕΡΨΙΘΕΑΣ | MLP Blo-G-Spot (mlp-blo-g-spot.blogspot.com) (ανάκτηση 5 Ιουνίου 2022)
- Moropoulou A & Theoulakis, P 1991, ‘Conditions causing destructive NaCl crystallization into the porous sandstone building material of the Medieval City of Rhodes’, στο: D Decrouez, J Chamay & F Zezza (επιμ.), *Proceedings of the 2nd Int. Symposium for the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Musée d’art et d’histoire Geneva, p. 493.
- Moropoulou, A, Kouli M, Kourteli, C Papatiririou, D, Theoulakis, P, Tsiourva, T, Achilleopoulos, N, Karakantas, C, Romanos, A, Tokatlidou, K, Koliadis, T, Zarifis, N, Van Grieken, R, Delalieux, F, Silva, B & Molina, E, Vicente MA, Vicente, S, Macri, F, & Zezza, F 1997, Techniques and methodology for the preservation and environmental management of historic complexes - The case of the Medieval City of Rhodes, *4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin*, Rhodes, 6-11 May, 1997.
- Oliver, A, Douglas, J & Stirling, S 1997, *Dampness in buildings*, 2nd edn., Blackwell Science, Oxford.
- Pachta, V & Papayianni I. 2010, Συγκριτική ανάλυση υποστρωμάτων επιδαπέδιων ψηφιδωτών ελληνιστικής και ρωμαϊκής περιόδου, 2nd ARCH_RNT Archaeological Research and New Technologies, Project: Evolution of Constructional Materials and techniques in Historic Structures, October 2010, Kalamata.
- Papayianni I., Stefanidou M. 2007 “Durability aspects of Ancient Mortars of the archaeological site of Olynthos” *Journal of Cultural Heritage* Vol.8 Issue 2 April-June 2007 , pp 193-196
- Saiz-Jimenez, C 2004, *Air Pollution and Cultural Heritage*, Taylor & Francis, Milton Park, Oxfordshire.
- Samara, C, Melfos, V, Kouras, A, Karali, E, Zacharopoulou, G, Kyranoudi, M, Papadopoulou, L & Pavlidou, E 2021, Morphological and geochemical characterization of the particulate deposits and the black crust from the Triumphal Arch of Galerius in Thessaloniki, Greece: Implications for deterioration assessment, *Science of the Total Environment*, vol. 11, p. 750.
- Skoog, DA & Leary JJ 1992, *Principles of instrumental analysis*, 4th edn., Saunders College Publishing, Forth Worth, TX.

Steinhauer G 1994, 'Die Skeuothek des Philon', στο W Hoepfner & EL Schwandner (επιμ.), *Haus und Stadt im klassischen Griechenland Neubearbeitung*. Deutscher Kunstverl., München. pp.44-50.

Talbot H 1953, *Architecture through the Ages*, G. P. Putnam's sons, New York, NY.

Theoulakis, P & Moropoulou, A 1988, 'Mechanism of deterioration of the sandstone of the Medieval City and the Castle of Rhodes', στο: J Ciabach (επιμ.), *Proceedings of the Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, Nicolas Copernicus University, Torun, p. 86.

Tomlinson R 2005, «Το τοπίο της αρχαίας ελληνικής πόλης», στο Π. Δουκέλλης (επιμ.), *Το ελληνικό τοπίο: Μελέτες ιστορικής γεωγραφίας και πρόσληψης του τόπου*, Εστία, Αθήνα, σσ. 59-77.

Torraca, G 1982, *Porous building materials-Materials science for architectural conservation*, 2nd edn., ICCROM, Rome.

Ulrich RB & Quenemoen CK 2014, *A Companion to Roman architecture*, Wiley, New Jersey, NJ.

Van Grieken R & Dewolfs, R 1992, 'Modern Micro-Analytical Techniques for the Elucidation of Causes and Mechanisms of Material Deterioration', *ITECOM, Πρόγραμμα EOK-COMETT II, Σεμιναριακός κύκλος συνεχιζόμενης εκπαίδευσης, 2ο Σεμινάριο, Υλικά και Τεχνικές Σταθεροποίησης, Στερέωσης, Προστασίας και συντήρησης της πέτρας*, Αθήνα, 15-22 μαρτίου 1992, σ. 3.

von Eickstedt K-V 1991, *Beiträge zur Topographie des antiken Piräus*, Η εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρεία, Αθήνα.

Vos HB 1975, 'Water absorption and drying of Materials', στο R Rossi-Manaresi (επιμ.), *Πρακτικά διεθνούς συμποσίου 'The Conservation of stone'*, Centro per la conservazione delle sculture all'aperto, Bologna, p. 595.

Winkler, EM 1997, *Stone in Architecture. Properties, durability*, 3rd edn., Springer-Verlag, Berlin.

Winkler, E.M. (1994): *Stone in architecture, properties, durability*, third edition, Berlin, Springer.

Wycheley RE 1978, *The Stone of Athens*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, NJ.

Αλεξοπούλου-Αγοράνου Α & Χρυσουλάκης, Γ 1993, *Θετικές επιστήμες και έργα τέχνης μέρος Α. Η Φυσική των χρωστικών και των χρωματικών στρωμάτων*, Μέρος Β': Φυσικοχημικές διαγνωστικές μέθοδοι, Εκδόσεις Γκόννη, Αθήνα.

Αζιώτη, Κ 2009, «Ανασκαφη οικοπέδου στην πλατεία Τερψιθέας στον Πειραιά», στο Βασιλοπούλου-Στ.Κατσαρού-Τζεβελέκη, Β. (επιμ.). *Πρακτικά Συνεδρίου Από τα Μεσόγεια στον Αργοσαρωνικό, Β' Εφορεία Προϊστορικών και Κλασικών Αρχαιοτήτων. Το έργο μια δεκαετίας, 1994-2003*. Δήμος Μαρκοπούλου Μεσογαίας, Μαρκόπουλο, σσ.489-496.

Ανάγνου Κ., Ηλιάδη Φ.,Καράλη Τ., Μπίλλη Ε.Β.,2017-2018, 'Επεμβάσεις στον Αστικό Χώρο' Πολεοδομία Ι, Τομέας ΙΙ. Πολεοδομίας και Χωροταξίας. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών,προσπελάστηκε 12 Ιουνίου 2022:anagnoy-iliadi-karali-mpilli.pptx_.pdf (ntua.gr)

Βλαχοκόστα, ΕΑ 2011, 'Αναγνώριση και Καταγραφή των τύπων φθοράς του αρχαίου Θεάτρου Σικυώνας με βάση το Εικονογραφημένο Γλωσσάρι των τύπων φθοράς της πέτρας του ICOMOS' (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Γκογκου Ρ & Κόλιου Μ 2008, «Σεισμική Αποτίμηση Μνημείων –Μέθοδοι Επισκευής και Ενίσχυσης», *14ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές κατασκευών*, Πάτρα, Φεβρουάριος.

Δεμίρης Κ.χ.χ., Τεχνική Γεωλογία.

Θεοδώρου Ι.,Κοτσώνης Γ.,Κουλούρης Π., Χατζηδημητρίου Θ.,2012) '*Αρχαία Ελληνική Αρχιτεκτονική*',Πρότυπο Πειραματικό Λύκειο Αναβρύτων , προσπελάστηκε 2 Αυγούστου 2022 , Εισαγωγή στην αρχαία Ελληνική αρχιτεκτονική (sch.gr)

Θεουλάκης Π.χ.χ., *Ο βιολογικός παράγοντας στη διάβρωση των λίθων*, Διαθέσιμο από, <<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/SAET140/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3/%CE%9F%20%CE%92%CE%99%CE%9F%CE%9B%CE%9F%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%A3%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%93%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%91%CE%A3%20%CE%A3%CE%A4%CE%97%20%CE%94%CE%99%CE%91%CE%92%CE%A1%CE%A9%CE%A3%CE%97%20%CE%A4%CE%A9%CE%9D%20%CE%9B%CE%99%CE%98%CE%A9%CE%9D.pdf>> (ανάκτηση 30 Αυγούστου2022)

Θεουλάκης Π, Καρατάσιος Ι & Αμπατζιόγλου Ε 2006, *Μελέτη για τη στερέωση των ευπαθών μαργαϊκών λίθων στο Ιερό του Ποσειδώνος στον Πόρο*, Σουηδικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο, Αθήνα.

Θεουλάκης, Π 2013, *Φθορά των Λίθων στα Μνημεία*, Διαθέσιμο από <<https://eclass.uniwa.gr/modules/document/file.php/SAET140/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%95%CE%99%CE%A3/%CE%A3%CE%A5%CE%9D%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%9B%CE%99%CE%98%CE%9F%CE%A5.pdf>> (ανάκτηση 10 Σεπτεμβρίου 2022)

Καβουνίδης Σ 1985, Γεωτεχνική θεώρηση των αργιλικών ημίβραχων, γεωτεχνικά προβλήματα της Μάργας του Πειραιά, Τ.Ε.Ε, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Επιστημονική Επιτροπή Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων, Αθήνα.

Καραγιάννης Ν 2017, *Η μικροδομή ως κρίσιμος παράγοντας της υδροθερμικής συμπεριφοράς των δομικών υλικών* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Καραντώνη, ΦΒ, χ.χ., *Κατασκευές από τοιχοποιία, Σχεδιασμός και Επισκευές*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα. σσ 323-340

Καρόγλου Μ 2005, *Μελέτη των χαρακτηριστικών και της συμπεριφοράς υλικών ελεγχόμενης μικροδομής σε επεμβάσεις συντήρησης* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Καρατάσιος Ι., Κυλίκου Β., Θεουλάκης Π. 2012, '*Σχεδιασμός κονιαμάτων αποκατάστασης αρχιτεκτονικών μνημείων*, Πρακτικά του 5^{ου} Συμποσίου της Ελληνικής Αρχαιομετρικής Εταιρείας (ΕΑΕ), Ν. Ζαχαριάς, Μ. Γεωργακοπούλου, Κ. Πολυκρέτη, Γ.Φακορέλλης, Θ. Βάκουλης (επιμ.), Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πελοποννήσου- Εκδόσεις Παπαζήση, Αθήνα, 2012

Κουή, Μ, & Λυμπεροπούλου, Θ.χ.χ., *Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης με φασματόμετρο ενεργειακής διασποράς ακτίνων-Χ*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κούρτη Μ.2014 ‘*Τροποποιημένες με ναοαλουμίνα ακρυλικές επιστρώσεις για την προστασία αντικειμένων πολιτικής κληρονομιάς και αρχιτεκτονικού διακόσμου μνημείων*’ (Μεταπτυχιακή Εργασία Εθνικό Μετσόβειο πολυτεχνείο Σχολή Μηχανικών) Διαθέσιμο από ΤΕΥΧΟΣ ΜΑΡΙΑ ΚΟΥΡΤΗ.pdf (ntua.gr) (ανάκτηση 12 Αυγούστου 2022)

Κωνσταντίνου Μ. 2019, Ρωμαϊκή Οικοδομική Τεχνολογία: Τα δομικά υλικά και οι τρόποι δόμησης.Ιστορικά δομικά συστήματα (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη).

Κωστόπουλος Σ 1985, ‘Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της Μάργας του Πειραιά. Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά’, Τ.Ε.Ε Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Επιστημονική επιτροπή εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, Αθήνα.

Λάββας, Γ 2002, *Επίτομη Ιστορία της Αρχιτεκτονικής*, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Λαμπρινουδάκης Β 2014, *Για μια εξελεγμένη διαχείριση της πολιτισμικής μας κληρονομιάς*, Το Βήμα, Διαθέσιμο απο

<https://www.tovima.gr/https://www.tovima.gr/2014/09/13/opinions/gia-mia-ekseligmeni-diaxeirisi-tis-politismikis-mas-klironomias/> (ανάκτηση 10 Ιουλίου 2022)

Λαμπρόπουλος Β 1993, *Διάβρωση και συντήρηση πέτρας*, Ιδιωτική έκδοση, Αθήνα.

Λαμπρόπουλος Β 2020, *Περιβάλλον Μουσείων και Προληπτική Συντήρηση*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.

Λαμπρόπουλος ΒΝ 2003, *Περιβάλλον μνημείων, μουσείων και αρχαιολογικών χώρων*, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Αθήνα.

Λεγάκης, Α 1997, *Δομικά Υλικά*, s. I, Εκδ. Ευγενίδιο Ίδρυμα, Αθήνα.

Λεκάκης Σ 2016, Η διαχείριση της πολιτιστικής κληρονομιάς στην Ευρώπη και την Ελλάδα. Μια επισκόπηση, στο: Χ Μητσοπούλου, Ε Νικολόπουλος & Μ Φιλήμονος (επιμ.), *Πρακτικά Διεπιστημονικού Συνεδρίου «Η Αρχαιολογία στην Ελλάδα του Σήμερα: Μνημεία και άνθρωποι σε κρίση, Ένωση Αρχαιολόγων Ελλάδας «Ηώς»*, Αθήνα, σσ. 115-132.

Λέφας Π 1996, *Βιτρούβιου «Περί Αρχιτεκτονικής»*, Βιβλία I-V, μετάφραση, Πλέθρον, Αθήνα

Λουκίδης Σ 2020, *Πολεοδομία και χωρικός σχεδιασμός I* (κεντρικός Πειραιάς), Academia, Διαθέσιμο από https://www.academia.edu/41740333/Πολεοδομία_και_Χωρικός_Σχεδιασμός_I_Κεντρικός_Πειραιάς_ (ανάκτηση 10 Αυγούστου 2022)

Μαλαγκονιάρης Σ 2017, *Μια πόλη κάτω από την πόλη του Πειραιά*, Εφημερίδα των Συντακτών, Διαθέσιμο απο<https://www.efsyn.gr/nisides/98840_mia-poli-kato-apo-tin-poli-toy-peiraia> 16 Αυγούστου 2022

Μιλέσης Στ. (2012) ‘Pireorama ιστορίας και πολιτισμού. Από το 2009 γράφουμε ιστορία στον Πειραιά’ Διαθέσιμο απο1: Pireorama ιστορίας και πολιτισμού: Οι πλατείες της Τερψιθέας (ανάκτηση 12 Ιουνίου 2022)

Μαυρίδης Θ 2019, ‘Οι επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης των μνημείων ως μέσων ανάδειξης και προβολής ενός αρχαιολογικού χώρου. Το παράδειγμα του αρχαιολογικού χώρου του Αμφιαρείου Ωρωπού’ (Διπλωματική Εργασία, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα).

Μαυρίκη Μ 2011, ‘Πόλις, Κοινωνία των Ελεύθερων εστίν’. Η περίπτωση της Αρχαίας Μιλήτου (Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Μοροπούλου Α 2005, «Συμβατά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης σε ιστορικά κτίρια/μνημεία: προδιαγραφές – αποτίμηση», *Ημερίδα: Ενίσχυση Κτιρίων Με Σύγχρονα Υλικά*, Αθήνα.

Μοροπούλου Α 2010, *Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση 103 δομικών υλικών, μεθοδολογία ενόργανων & μη καταστρεπτικών τεχνικών*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μοροπούλου Α, 2012 ‘ *Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση δομικών υλικών, μεθοδολογία ενόργανων και μη καταστρεπτικών τεχνικών*’. Επιστήμη και τεχνική υλικών. 7ου εξαμήνου Χ-Μ ΕΜΠ

Μοροπούλου Α. 2004, *Φαινόμενα και μηχανισμοί της φθοράς ως συνάρτηση εξωγενών και ενδογενών παραγόντων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μοροπούλου, Α. 2006 ‘Εργαστηριακός Οδηγός για την Φθορά και προστασία υλικών’ 9ου εξαμήνου. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α & Μπατής, Γ. 2016, *Δομικά υλικά*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Μοροπούλου, Α, Μπακόλας, Α, Τογκαλίδου, Τ, Καρόγλου, Μ, , Δελέγκου, ΑΘ, Αγγελακοπούλου, Ε, Κωνσταντή, Α, Κουρής, Σ, Κασούρη, Π, Παδουβάς, Ε, 2004, «Κριτήρια και Μεθοδολογία ελέγχου Ποιότητας Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών κτηρίων», Τελική Τεχνική Έκθεση, Αθήνα, Φεβρουάριος 2004, σελ. 36, 37, 139, 142, 143

Μπαρδάνης ΜΑ 1997, *Ο πειραιϊκός λίθος στα μνημεία της Ακροπόλεως Ακτίτης Λίθος και Λίθος Μουνυχίας Αρχαιολογική και Γεωλογική Έρευνα Μελέτη των Ιδιοτήτων και της Παθολογίας του λίθου προτάσεις συντηρήσεως* (Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ Αθήνας, Αθήνα).

Μπατής Γ. & Μοροπούλου Τ. 1991, «Οι τεχνικές και μέθοδοι ανάλυσης της φθοράς των υλικών στο εργαστήριο, 1ο σεμινάριο , Η φθορά της Πέτρας στο περιβάλλον των μνημείων, Αίτια-Μηχανισμοί-Μεθοδολογία και τεχνικές για την ανάλυση και τον προσδιορισμό της», *Πρόγραμμα ΕΟΚ-COMET II , Σεμιναριακός Κύκλος Συνεχιζόμενης εκπαίδευσης*, Αθήνα, 24-30 Νοεμβρίου.

Μπελογιαννης, Ν 1980, *Αντιστροφή της γυμνοποίησης μαρμάρου* (Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Μπούρας Χ 1999, *Μαθήματα Ιστορίας της Αρχιτεκτονικής*, τ. 1, Συμμετρία, Αθήνα.

Παναγοπούλου Α & Παπαϊωάννου, Ε 2009, «Άμεσες Σωστικές Επεμβάσεις Συντήρησης στις Λιθοδομές και στα Επιχρίσματα του Αρχαιολογικού Χώρου της Πλατείας Τερψιθέας στον Πειραιά», Τεχνική Έκθεση, Υπουργείο Πολιτισμού, Αθήνα.

Παπανικολάου, Ε 2016, *Διερεύνηση των αιτιών διάβρωσης των δομικών λίθων από τα ιερά της Δήμητρας και του Ασκληπιού στο Δίον* (Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη).

Παπασταματίου Κ 2007, *Ορολογία Φθορών –Αντιστοιχίσει Επέμβασεις – Μέθοδοι Επαρκούς Τεκμηρίωσης*, αδημοσίευτη εργασία.

Πέππας Γ. , Ημερίδα ‘ *Η έρευνα των αρχαίων συστημάτων ύδρευσης του Πειραιά στο πλαίσιο των έργων του Μετρό. Μια πρώτη Θεώρηση. Το Ιπποδάμειο σύστημα και η μορφή των οικιών*’ προσπελάστηκε 6 Ιουλίου 2022, Microsoft PowerPoint - 2.Ιπποδάμειο-σπίτια (ntua.gr)

Ρογκενμπουγκε Μ & Καραχάλιος Α 1994, *Επίδραση χλωρίου νατρίου σε μαγνησιούχα πετρώματα* (Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ Αθήνας, Αθήνα).

Σάκκη Α 2011, *Διερεύνηση και καταγραφή των τύπων φθοράς του Αρχαίου Θεάτρου Σικώνας* (Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα).

Σερράος Κ 2017-2018, *Γενικά στοιχεία του Πειραιά*, Διαθέσιμο από < <https://docplayer.gr/110133444-1-genika-stoiheia-toy-peiraia-istoria-toy-peiraia-klima-kai-anaglyfo-shesi-me-tin-eyryteri-periohi.html>> (ανάκτηση 7 Ιουλίου 2022)

Σιδηροπούλου Α 2021, *Περιβαλλοντικοί παραγοντες και φθορες των μνημείων* (Διπλωματική Εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη).

Σμέρος Γ., 2011 *Σχεδιασμός συστήματος λήψης αποφάσεων για επεμβάσεις σε μνημεία με κριτήρια συντήρησης και δομικής ακεραιότητας* Διπλωματική εργασία. Διαθέσιμο απο SMEROSIOANNIS.pdf (ανάκτηση 16 Ιουλίου 2022)

Σολδάτος, Τ & Χριστοφίδης, Γ 2004, *Ορυκτολογία: Διδακτικές σημειώσεις*, σ.Ι, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.

Σωτηρόπουλος Η 1985. *Έκσκαφές και Αντιρήξεις στη μάργα του Πειραιά*, Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά, Τ.Ε.Ε, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Επιστημονική επιτροπή εδαφομηχανικής και θεμελιώσεων, Αθήνα.

Τσιπουροκατάσταση ,2019) *Οι πανέμορφοι κήποι της Πλατείας Τερψιθέας στον Παλιό Πειραιά* Διαθέσιμο απο [Οι πανέμορφοι κήποι της Πλατείας Τερψιθέας στον παλιό Πειραιά!](http://Οι πανέμορφοι κήποι της Πλατείας Τερψιθέας στον παλιό Πειραιά! (tsipourokatakastasi.gr) (tsipourokatakastasi.gr) (ανάκτηση 12 Ιουνίου 2022)

Φαβέων, 2015 *Τα αρχαία συστήματα ύδρευσης του Πειραιά* Διαθέσιμο από Τα αρχαία συστήματα ύδρευσης του Πειραιά. (urbanenigmas.blogspot.com) (ανάκτηση 4 Ιουνίου 2022)

Φυλλίτσα –Καραντώνη Β. χ.χ., *Κατασκευές από τοιχοποιία, Σχεδιασμός και Επισκευές* Πολιτικός μηχανικός, Λέκτορας Πανεπιστημίου Πατρών, σσ 323-340

Χαραλαμπάκης, Σ 1952, *Συμβολή εις της γνώσιν του Νεογενούς της Αττικής*, στο *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, vol. 4, p.122.

Χαραλάμπους Αι χ.χ., *Ειδικά θέματα χημείας Ι*, ΤΕΙ Αθηνών, Αθήνα.

Χοϊδής Π. ,2019,. *Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα δομικά υλικά των ιστορικών κατασκευών* (Διπλωματική εργασία) Διαθέσιμο απο GRI-2019-26420.pdf (auth.gr) (ανάκτηση 12 Αυγούστου 2022)

Διαδίκτυακοι Ιστότοποι

[Πειραιάς - Περιβαλλοντικός Σύνδεσμος ΠΕ.ΣΥ.Δ.Α.Π. \(pesydap.gr\)](http://Πειραιάς - Περιβαλλοντικός Σύνδεσμος ΠΕ.ΣΥ.Δ.Α.Π. (pesydap.gr)

www.googlemaps.gr

[Microsoft PowerPoint - 3_particulates.pptx \(uth.gr\)](http://Microsoft PowerPoint - 3_particulates.pptx (uth.gr)

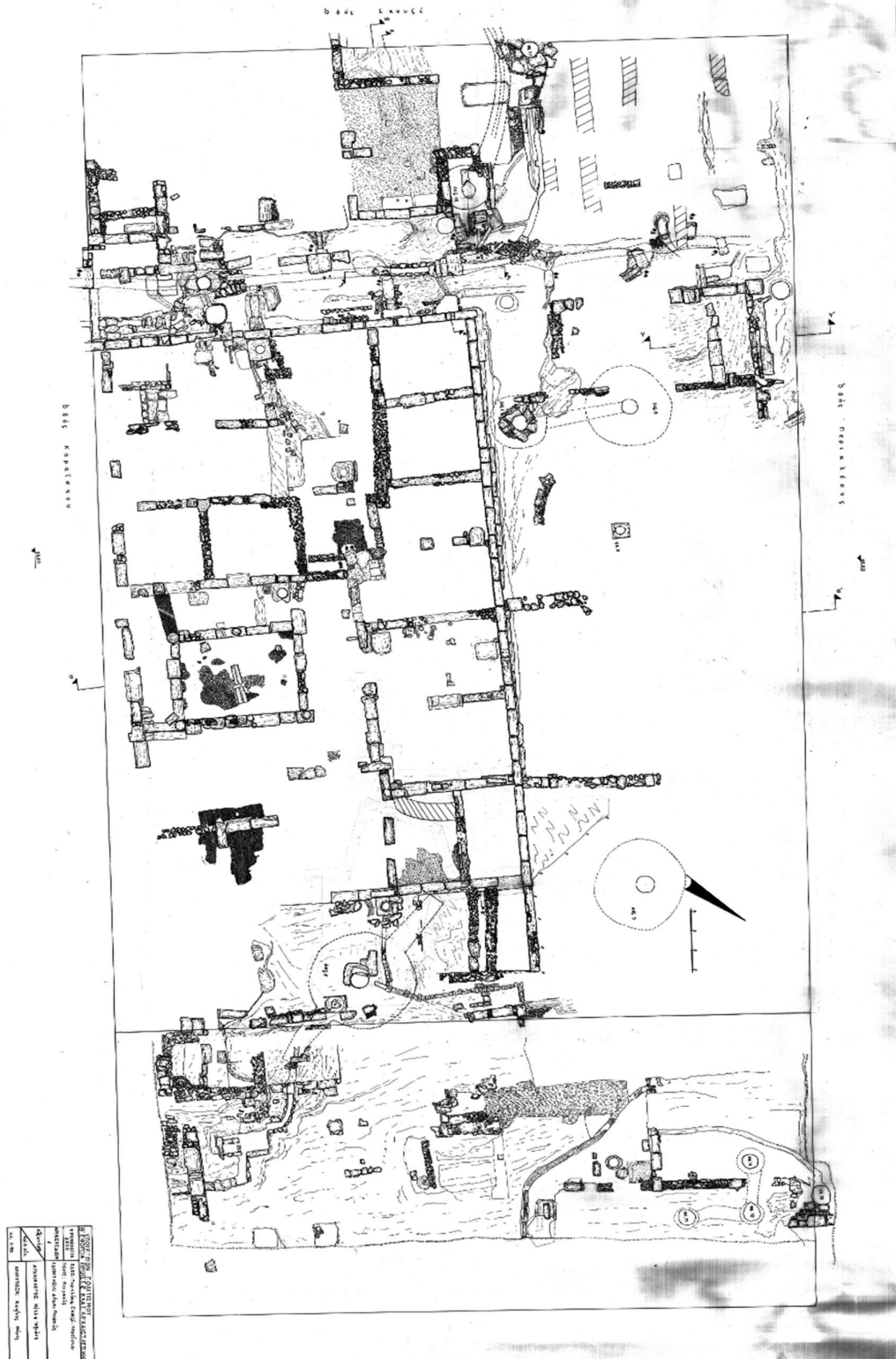
waqi.info

[Μελέτη και σχεδιασμός της ανάπλασης του παραλιακού μετώπου του Δήμου Πειραιά απο την Πλαζ Φρεαττύδας έως την Πλαζ Βοτσαλάκια \(aua.gr\)](http://Μελέτη και σχεδιασμός της ανάπλασης του παραλιακού μετώπου του Δήμου Πειραιά απο την Πλαζ Φρεαττύδας έως την Πλαζ Βοτσαλάκια (aua.gr)

[Κλιματικά δεδομένα Πειραιά \(Ε.Μ.Υ\) \(meteoclub.gr\)](http://Κλιματικά δεδομένα Πειραιά (Ε.Μ.Υ) (meteoclub.gr)

practicebiology.files.wordpress.com).

Παράρτημα -Κάτοψη Αρχαιολογικού χώρου



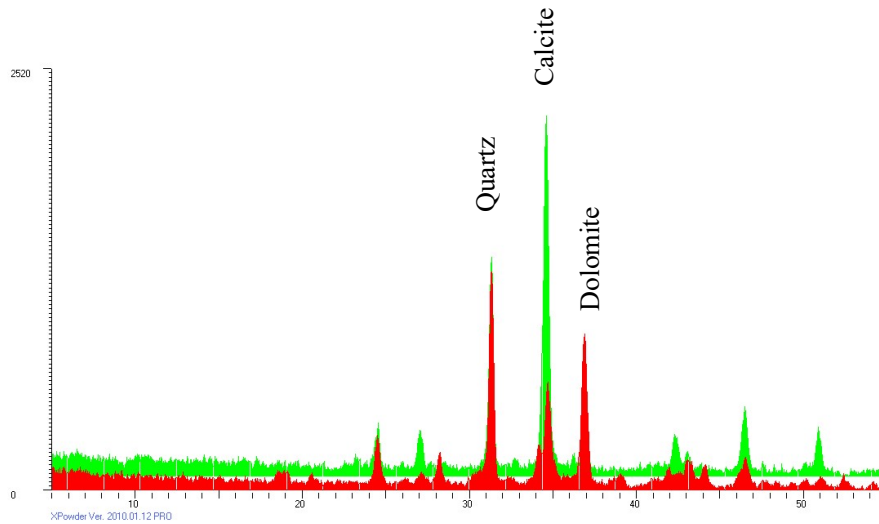
Πηγή: ©Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων



Αεροφωτογραφία του Αρχαιολογικού Χώρου
Πηγή © Εφορεία Αρχαιοτήτων Πειραιώς και Νήσων

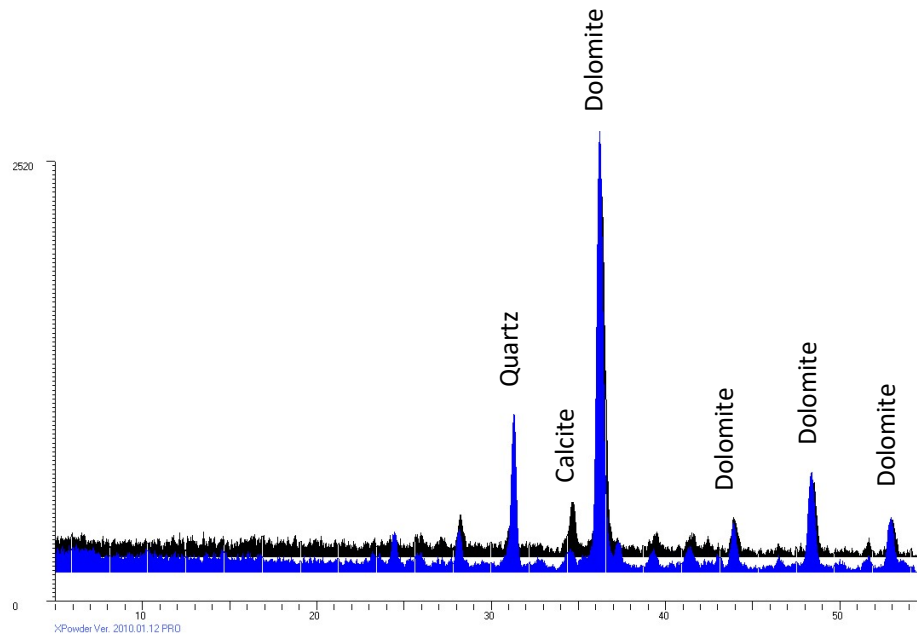
Παράρτημα Σύγκρισης

Σύγκριση των κονιαμάτων στην **Θέση 1A** & **Θέση 1B** στην Περιθλασιμετρία Ακτίνων X (XRD)



Σε αυτό το γράφημα παρατηρούμε τα δείγματα περιέχουν και τα δύο χαλαζία σε σημαντική ποσότητα, καθώς και ασβεστίτη, όμως δολομίτη περιέχει μόνο το δείγμα από την **Θέση 1A**.

Σύγκριση των λίθων στην **Θέση 3^η** & **Θέση 2^η** στην Περιθλασιμετρία Ακτίνων X (XRD)



Παρατηρούμε λοιπόν, κατόπιν σύγκρισης των δύο λίθων ότι ταυτίζονται περιέχουν δολομίτη, για αυτό και αναφέρεται ότι είναι μάργα δολομιτική. Σημαντική ποσότητα χαλαζία και μαγνησιούχου ασβεστίτη.

