



*ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ  
ΥΛΙΚΩΝ*

*ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ*

*ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ & ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ  
ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ  
ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ,  
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ  
ΤΕΧΝΙΚΩΝ.  
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ  
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.*

*ΣΑΪΝΤ ΑΜΑΝΗ - ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ  
Χημικός Μηχανικός*

*ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ:  
ΜΟΡΟΠΟΥΛΟΥ ΑΝΤΩΝΙΑ, ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ Ε.Μ.Π.*

*ΑΘΗΝΑ 2013*



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ & ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ  
ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ.  
ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.**

**Σαΐντ Αμάνη-Χριστιάνα**

*Χημικός Μηχανικός*

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ: **Μοροπούλου Αντωνία** Καθηγήτρια – Αντιπρύτανης Ακαδημαϊκών  
Υποθέσεων Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ:

Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Π.Μ. Βιντζηλαίου Ελισάβετ  
Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Μοροπούλου Αντωνία  
Αν. Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Α.Μ. Εφesiίου Ειρήνη  
Αν. Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Α.Τ.Μ. Χαράλαμπος Ιωαννίδης  
Λεκτ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Αστέριος Μπακόλας - Καραγιάννης  
Λεκτ. Ε.Μ.Π. Σχ. Μ.Μ.Μ. Μαρία Περράκη  
Δρ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Αικατερίνη Δελέγκου  
Δρ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Μαρία Καρόγλου  
Δρ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Κυριάκος Λαμπρόπουλος  
Υ.Δρ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Ευαγγελία Ξυνοπούλου  
Υ.Δρ. Ε.Μ.Π. Σχ. Α.Τ.Μ. Ελισάβετ Τσιλιμαντού

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΞΕΤΑΣΗΣ:

Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Π.Μ. Βιντζηλαίου Ελισάβετ  
Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Μοροπούλου Αντωνία  
Αν. Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Α.Μ. Εφesiίου Ειρήνη  
Αν. Καθ. Ε.Μ.Π. Σχ. Α.Τ.Μ. Ιωαννίδης Χαράλαμπος  
Λεκτ. Ε.Μ.Π. Σχ. Χ.Μ. Μπακόλας - Καραγιάννης Αστέριος

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έλαβε χώρα στο εργαστήριο Α1 του Τομέα ΙΙΙ Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο πλαίσιο της ολοκλήρωσης των σπουδών του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Προστασία Μνημείων, Β' Κατεύθυνση: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης". Σκοπό της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτελεί ο χαρακτηρισμός και η διάγνωση της φθοράς των δομικών υλικών του ιστορικού κτηρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών, με τη χρήση μη καταστρεπτικών και αναλυτικών τεχνικών καθώς και η παρουσίαση προτάσεων συμβατών υλικών και επεμβάσεων συντήρησης.

Η ευκαιρία για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας δόθηκε με βάση το "Ολοκληρωμένο Πρόγραμμα διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικός σχεδιασμός υλικών και επεμβάσεων συντήρησης στη Βίλλα Κλωναρίδου και Οικία Δουρούτη του Δήμου Αθηναίων".

Θα ήθελα, αρχικά, να ευχαριστήσω θερμά την κα Μοροπούλου Αντωνία, Αντιπρύτανη Ακαδημαϊκών Υποθέσεων και Καθηγήτρια Ε.Μ.Π., που μου έδωσε την ευκαιρία να μελετήσω ένα ιστορικό κτήριο, από τα παλαιότερα νεοκλασικά κτήρια των Αθηνών, καθώς και για την εμπιστοσύνη της.

Ευχαριστώ θερμά τον κ. Καραγιάννη-Μπακόλα Στέλιο, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για την καθοριστική συμβολή του τόσο στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων όσο και στη διεξαγωγή τους και την επιστημονική υποστήριξη της εργασίας καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της, η οποία δε θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη καθοδήγησή του.

Ευχαριστώ θερμά την κα Δελέγκου Κατερίνα, Δρ. Ε.Μ.Π., για τη βιβλιογραφία και τις πολύτιμες πληροφορίες που μου παρείχε, για το χρόνο που αφιέρωσε, τις διορθώσεις και τις συμβουλές της και για την παρακολούθηση της εκπόνησής της εν λόγω εργασίας που ήταν καθοριστική για την πραγματοποίησή της.

Ευχαριστώ πολύ την κα Περράκη Μαρία, Λέκτορα Ε.Μ.Π., για τη συνεργασία με το Ινστιτούτο Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών για την παρασκευή λεπτών τομών των δειγμάτων, για την παρατήρηση των δειγμάτων στο οπτικό μικροσκόπιο, τη λήψη εικόνων και την ερμηνεία αυτών.

Ευχαριστώ πολύ την κα Ξυνοπούλου Ευαγγελία, Υ.Δ. Ε.Μ.Π. για την πολύτιμη βοήθειά της στη διεξαγωγή των πειραμάτων αλλά και συνολικά καθώς και για τις συμβουλές και την προθυμία της.

Ευχαριστώ επίσης τον κ. Λαμπρόπουλο Κυριάκο, Δρ. Ε.Μ.Π. καθώς και την κα Καρόγλου Μαρία, Δρ. Ε.Μ.Π. για τη βοήθεια στη διεξαγωγή και ερμηνεία των μη καταστρεπτικών μεθόδων ελέγχου.

Επίσης, ευχαριστώ συνολικά την επιτροπή επίβλεψης και υποστήριξης για την καλή συνεργασία στα πλαίσια της διεπιστημονικής προσέγγισης του ιστορικού κτηρίου που μελετήθηκε.

Ευχαριστώ θερμά το συνάδελφο και συμφοιτητή Βαγγέλη Μπούρμπο, χημικό μηχανικό, για την άψογη συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης των μεταπτυχιακών μας εργασιών, την πολύτιμη βοήθειά του και την υποστήριξη. Είμαι πραγματικά χαρούμενη που συνεργαστήκαμε.

Δε θα μπορούσα να παραλείψω τη συμφοιτήριά μου και φίλη μου Βίλλυ Νικολοπούλου, πολιτικό μηχανικό, για τη συνεργασία και τις πληροφορίες που μου παρείχε όσον αφορά στο συγκρότημα του Μεταξουργείου, το φωτογραφικό υλικό καθώς και για την υπομονή και την υποστήριξή της.

Επιπλέον, ευχαριστώ τη Μαρία Κάβουρα για τη συνεργασία και το φωτογραφικό υλικό που μου παρείχε, τον Ιωάννη-Αθηναίο Νικητάκο για το φωτογραφικό υλικό καθώς και όλους τους συμφοιτητές και συμφοιτήτριές μου για τη βοήθεια που κατά καιρούς μου προσφέρανε.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη συνεχή υποστήριξη, τη βοήθεια, την κατανόηση και την αγάπη τους.

Αθήνα, Ιούλιος 2013

Σαΐντ Αμάνη - Χριστιάνα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπό της παρούσας εργασίας αποτελεί ο χαρακτηρισμός (ανάλυση και αποτίμηση) των δομικών υλικών και η παράλληλη διάγνωση της φθοράς με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών ελέγχου σε συνδυασμό με αναλυτικές τεχνικές στο ιστορικό κτήριο της Οικίας Δουρούτη, ένα από τα παλαιότερα νεοκλασικά κτήρια, στο Μεταξουργείο Αθηνών.

Ακολουθήθηκε ολοκληρωμένος στρατηγικός σχεδιασμός διαγνωστικής μελέτης υλικών. Σε πρώτη φάση πραγματοποιήθηκαν επί τόπου επισκέψεις για την καταγραφή μακροσκοπικών παρατηρήσεων και τη φωτογραφική τεκμηρίωση των φαινομένων φθοράς. Ακολούθησε η χρήση τεχνικών μη καταστρεπτικού ελέγχου επί τόπου στο κτήριο (Θερμογραφία Υπερύθρου και Γεωραντάρ) με στόχο την μελέτη των παρουσιαζόμενων τύπων φθοράς αλλά και των χαρακτηριστικών των τοιχοποιιών.

Στη συνέχεια και αφού καθαιρέθηκε το επίχρισμα για την αποκάλυψη των δομικών υλικών που απαντώνται στο κτήριο, επιλέχθηκαν οι πλέον αντιπροσωπευτικές θέσεις για δειγματοληψία, ανάλογα με τα παρουσιαζόμενα υλικά και τους τύπους φθοράς που παρατηρήθηκαν.

Τα δείγματα μελετήθηκαν στο εργαστήριο τόσο ως προς τη χημική τους σύνθεση όσο και ως προς τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες μέσω της μη καταστρεπτικής τεχνικής της μικροσκοπίας οπτικών ινών καθώς και μέσω των αναλυτικών τεχνικών της Πετρογραφικής ανάλυσης με οπτικό πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός, της Περιθλασιμετρίας ακτινών Χ, της Ποροσιμετρίας υδραργύρου για τη μελέτη της μικροδομής, της θερμοβαρυμετρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης, της μεθόδου κοκκομετρικής κατανομής των αδρανών επιχρισμάτων και προσδιορισμού της αναλογίας συνδετικής ύλης-αδρανών καθώς και του προσδιορισμού ολικών διαλυτών αλάτων και δοκιμών ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων και θεικών αλάτων.

Τα αποτελέσματα που εξάγονται ως προς τους λίθους καταδεικνύουν παρουσία ποικίλων λιθότυπων διαφορετικής μικροδομής και ορυκτολογικής σύστασης στο σύνολο του κτηρίου. Επιπλέον, παρουσιάζονται κίτρινοι και κόκκινοι οπτόπλινθοι που χαρακτηρίζονται ως “φτωχοί” και “πλούσιοι” σε ανθρακικά αντίστοιχα, εξαιρετικά πορώδεις και πορώδεις αντίστοιχα. Τα κονιάματα αρμολόγησης του κτηρίου κατηγοριοποιούνται σε ασβεστοκονιάματα με πυριτικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή, κονιάματα κατ’ εξοχήν ασβεστιτικής σύστασης και κονιάματα ασβέστη-τσιμέντου με ασβεστολιθικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή που συμπεραίνεται ότι αποτελούν μεταγενέστερα κονιάματα αποκατάστασης. Τα επιχρίσματα είναι κονιάματα επίχρισης ασβέστη-σπασμένου κεραμικού (τεχνητής ποζολάνης) με αργιλοπυριτικά αδρανή, ασβεστοκονιάματα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν πυριτικές, αργιλοπυριτικές ή δολομιτικές προσμίξεις και επιχρίσματα κατ’ εξοχήν ασβεστιτικής σύστασης.

Παράλληλα, στο κτήριο παρουσιάζεται κατά κύριο λόγο ανερχόμενη υγρασία και διαλυτά άλατα, κυρίως στο υπόγειο αλλά και σε άλλες θέσεις που αποτελούν παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών του κτηρίου.

Τέλος, προτείνονται συμβατά υλικά και επεμβάσεις συντήρησης του κτηρίου, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μελέτης για την παθολογία του κτηρίου και τα αποτελέσματα της δομοστατικής ανάλυσης για την ενίσχυσή του (μελέτη των ερευνητών πολιτικών μηχανικών) όπως αυτή προκύπτει από την αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησής του που είναι βασισμένη στην αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτηρίου (μελέτη των ερευνητών αρχιτεκτόνων μηχανικών). Αυτά είναι η εφαρμογή ενεμάτων και κονιαμάτων αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου και επιχρισμάτων αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή για το υπόστρωμα και υδρασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή ή φυσικής υδραυλικής ασβέστου με ασβεστολιθικά αδρανή για το φινίρισμα. Τέλος, προτείνεται να επιλεγούν χρωματικές επιστρώσεις με βάση την υδρύαλο ( $K_2SiO_3$ ).



## ABSTRACT

The aim of the present study is to identify the materials and diagnose the levels of corrosion of the historic building “Dourouti’s residence” which is part of the building complex “Metaksourgeio” of Athens, one of the oldest buildings of Neoclassical architecture.

Both in-situ non-destructive techniques and material identification methods in instrumental laboratory were applied.

Non-destructive evaluation was carried out in situ by infrared thermography scans (IR-Th) to interpret temperature distribution in the surfaces in order to track flaws and study the presented types of corrosion and the technique of ground penetrating radar (GPR) to detect masonry deterioration and cracks and study the masonry structure.

The following methods were performed in laboratory: Fiber Optic Microscopy (FOM) (non-destructive technique) to examine the surface of the samples, petrographic analysis via Optical Microscopy (OM), mineralogical analysis by X-Ray Diffraction (XRD), Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) for the study of the microstructure, Differential Thermal and Thermogravimetric analysis (DTA-TG) for the study of chemical composition, granulometry of plasters and solubly salts’ definition (SST%) as well as qualitative spot tests of anions  $\text{Cl}^-$  and  $(\text{SO}_4)^{2-}$ .

The results reveal different types of stones as well as “Ca-poor” and “Ca-rich” bricks, which are buff and reddish, highly porous and porous respectively. Moreover mortars are lime mortars with aggregates of calcite, or silicate, or aluminosilicate composition. However, in some cases, cement is also present in the binder of mortars, which are restoration mortars presenting incompatibility. Plasters, in most cases, are of similar composition but in same case, lime-pozzolan mortars are found.

Rising damp combined with high presence of soluble salts are detected, mostly in the basement, which induce decay of the building materials.

Given materials’ characteristics and the wear state of the building, compatible conservation intervention are suggested, based on requested structural reinforcement by civil engineers’ study and the architectural proposal for reuse resulting from architecture documentation.





## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
	ABSTRACT	v
	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vi
1.	ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	1
1.1	ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	1
1.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1.2	ΕΙΔΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	1
1.1.2.1	Λίθοι	1
1.1.2.2	Κεραμικά (πλίνθοι και κέραμοι)	5
1.1.2.3	Κονίες – Ιστορικά Κονιάματα	6
1.1.2.4	Μέταλλα	7
1.1.2.5	Συνθετικά Υλικά και Ξύλο	8
1.2	ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ	9
1.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΘΟΡΑΣ	9
1.2.2	ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ, ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	10
2.	ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	21
2.1	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	21
2.1.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.1.2	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	22
2.1.3	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ	26
2.1.4	Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΦΘΟΡΑΣ	27
2.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	29
2.2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	29
2.2.2	ΣΤΑΔΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	29
2.2.3	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ	30
2.2.4	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	31
2.2.5	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	33
2.2.6	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	34
2.2.7	ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	35
3.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ	37
3.1	ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ	37
3.1.1	ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΟΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (Fiber Optics Microscopy - F.O.M.)	37
3.1.2	ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (Infrared Thermography – IR-Th)	39
3.1.3	ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ [Ground Penetrating Radar - GPR]	43
3.2	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΩΝ	47
3.2.1	ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΠΟΛΩΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΣ (O.M.)	47
3.2.2	ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)	48
3.2.3	ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ	50
3.2.4	ΘΕΡΜΟΒΑΡΥΜΕΤΡΙΚΗ-TG ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-DTA (DTA-TG)	50
3.2.5	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΚΟΝΙΑΣ/ΑΔΡΑΝΩΝ	51

3.2.6	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ (SST%) & ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (SPOT TESTS)	51
3.3	Η ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ – ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	53
3.3.1	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	53
3.3.2	ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	55
3.3.3	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑ	84
4.	ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	87
4.1	ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	87
4.1.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (FOM)	87
4.1.1.1	Λίθοι	87
4.1.1.2	Οπτόπλινθοι	91
4.1.1.3	Κονιάματα	96
4.1.1.4	Επιχρίσματα	99
4.1.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (IR-Th)	105
4.1.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΜΕ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ (GPR)	125
4.2	ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	151
4.2.1	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – Εξέταση λίθων με τη χρήση οπτικού πολωτικού μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός (Ο.Μ.)	151
4.2.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)	157
4.2.2.1	Λίθοι	157
4.2.2.2	Οπτόπλινθοι	159
4.2.2.3	Κονιάματα	162
4.2.2.4	Επιχρίσματα	163
4.2.3	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (MIP)	165
4.2.3.1	Λίθοι	165
4.2.3.2	Οπτόπλινθοι	169
4.2.3.3	Κονιάματα	173
4.2.3.4	Επιχρίσματα	175
4.2.4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΒΑΡΥΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (DTA-TG)	179
4.2.4.1	Λίθοι	179
4.2.4.2	Οπτόπλινθοι	180
4.2.4.3	Κονιάματα	183
4.2.4.4	Επιχρίσματα	185
4.2.5	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ	189
4.2.6	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ (SST%) & SPOT TESTS	193
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	197
5.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ	197
5.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	213
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	215

## 1. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1.1 ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

#### 1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ [1]

Οι αρχιτέκτονες της κάθε εποχής δημιουργούν οικοδομήματα βάσει των υλικών που έχουν στη διάθεσή τους και των εκφραστικών και κατασκευαστικών τους δυνατοτήτων. Αντίθετα, στη σύγχρονη εποχή, η γενική διάδοση του οπλισμένου σκυροδέματος επέβαλε ένα διεθνές ύψος που περιόρισε εξαιρετικά το ρόλο πολλών άλλων παραγόντων στην αρχιτεκτονική.

#### 1.1.2 ΕΙΔΗ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

##### 1.1.2.1 Λίθοι [1,2,3,4,5]

Ο λίθος αποτελεί το κύριο δομικό υλικό στην ιστορία της αρχιτεκτονικής. Η χρήση του ξεκινά από τη νεολιθική εποχή, με τη δημιουργία των πρώτων συνοικισμών.

Οι λίθοι ήταν άφθονοι και εξαιρετικής ποιότητας στην αρχαία Αίγυπτο. Αυτοί ήταν ψαμμίτες, πολλών ειδών ασβεστόλιθοι και γρανίτες και αναλόγως των ιδιοτήτων του κάθε λίθου γινόταν και η χρήση του. Στους αρχαίους πολιτισμούς της Δυτικής Ασίας (Ασσύριοι και Βαβυλώνιοι) γινόταν επίσης χρήση των λίθων, κυρίως δε του αλάβαστρου, συνήθως στις βάσεις κτηρίων για τη γλυπτική διακόσμησή τους αλλά και σε δάπεδα, ταράτσες και υποθεμελιώσεις.

Σε μέγιστη χρήση ήταν ο λίθος στην μινωική Κρήτη αλλά και τη μυκηναϊκή Ελλάδα, τα είδη του οποίου δεν περιορίζονταν στον πωρόλιθο, που υπήρχε σε αφθονία, αλλά επεκτείνονταν σε διαφόρων ειδών ασβεστόλιθους (σιδηρόπετρα), καθώς και σε γυψόλιθους, είδος αλάβαστρου που υπήρχε στο νησί της Κρήτης σε σχετική αφθονία. Στην μυκηναϊκή Ελλάδα, στα μεγάλα ταφικά μνημεία, συναντάμε όχι μόνο τοιχοποιίες λαξευτές από πωρόλιθο ή σκληρό λίθο, αλλά και θολωτές κατασκευές με λαμπρή προσαρμογή πάλι από λαξευτή πέτρα. Το κυκλώπειο σύστημα τοιχοποιίας απαντάται στα τείχη των μυκηναϊκών ακροπόλεων. Πελώριοι λίθοι με στοιχειώδη κατεργασία κτίζονται χωρίς παρεμβολή κονιάματος, ενώ τα μεταξύ τους κενά κλείνονται με μικρότερους λίθους.

Κατά την αρχαϊκή, κλασική και ελληνιστική περίοδο, ο λίθος κυριαρχεί σε μνημειώδη κτήρια. Στην αρχή προτιμήσαν λίθους που μπορούν να κατεργαστούν με ευκολία. Έτσι κατά τον 6<sup>ο</sup> αιώνα έγινε μέγιστη χρήση του πωρόλιθου. Με το όνομα αυτό εννοούνται πετρώματα μαλακά, ιζηματογενή, με ενιαία μάζα, σε χρώμα υποκίτρινο ή ελαφρά κιτρινέρυθρο. Πολλών ειδών πωρόλιθους χρησιμοποιούσαν κατά την αρχαϊκή περίοδο, μεταξύ των οποίων ήταν ο κογχυλιάτης λίθος και ο καστανέρυθρος πωρόλιθος, ενώ ήδη είχε αρχίσει να εμφανίζεται το μάρμαρο (Πάρου, Νάξου και Θάσου) κυρίως σε συνδυασμό με πωρόλιθο σε σημεία που ήταν περισσότερο εκτεθειμένα στην υγρασία ή δέχονταν γλυπτική ή ζωγραφική διακόσμηση.

Κατά την κλασική περίοδο αρχίζει η εκμετάλλευση του μαρμάρου της Πεντέλης στην Αττική, από το οποίο θα παρασκευαστούν όλα τα αριστουργήματα των Αθηνών κατά την εποχή αυτή. Πρόκειται για μάρμαρο λευκό, λεπτόκοκκο και σχετικά διαφανές, το οποίο λόγω των ελάχιστων προσμειξεων σιδήρου που περιέχει, αποκτά στην ατμόσφαιρα τη γνωστή ερυθρωπή απόχρωση.

Στη Ρωμαϊκή αρχιτεκτονική γινόταν μεγάλη χρήση φυσικών λίθων και μαρμάρων και μάλιστα όχι μόνο λευκών, αλλά και των έγχρωμων. Οι ρωμαίοι χρησιμοποιούσαν επίσης τραβερτίνη και ηφαιστειογενή πετρώματα (τόφφους). Οι λίθοι εξακολούθησαν να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και στις επόμενες εποχές (παλαιοχριστιανική, Βυζαντινή και μεσαιώνα), ως υλικά

δόμησης κυρίως των τοιχοποιιών, έπειτα από διάφορες κατεργασίες και με ποικίλους τρόπους εφαρμογής.

### Ορυκτά και Πετρώματα

#### Ορυκτά

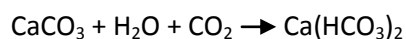
Για να χαρακτηριστεί μία χημική ένωση ως ορυκτό πρέπει να έχει σχηματιστεί με φυσικό τρόπο, να είναι στερεή και γενικά ανόργανης προέλευσης, να έχει συγκεκριμένη χημική σύσταση ή μεταβαλλόμενη σε καθορισμένα πλαίσια και τέλος, απόλυτα τακτοποιημένη εσωτερική οργάνωση (κρυσταλλική δομή). Τα ορυκτά είναι προϊόντα χημικών αντιδράσεων, που γίνονται σε καθορισμένα πλαίσια πίεσης και θερμοκρασίας είτε στο εσωτερικό της γης είτε στην επιφάνεια.

Τα ορυκτά από τους συνδυασμούς των οποίων προκύπτουν τα κάθε είδους γήινα πετρώματα ονομάζονται *πετρογενετικά*.

Τα κύρια πετρογενετικά ορυκτά, με την αντίστοιχη συμμετοχή τους στην σύσταση του εξωτερικού τμήματος του φλοιού της γης είναι: οι άστριοι (57,9%), οι πυρόξενοι, οι αμφίβολοι, ο ολιβίνης (16,3%), ο χαλαζίας (12,6%), οι μαρμαρυγίες (3,3%), ο ασβεστίτης (1,5%), αργιλικά ορυκτά (1%), ο λειμωνίτης (0,3%), ο δολομίτης (0,1%) και ο σερπεντίνης, ο χλωρίτης, ο ανυδρίτης, ο γύψος, άλλα οξείδια του σιδήρου κ.α. (3,3%).

Ο *χαλαζίας*, από τα πιο σπουδαία πετρογενετικά ορυκτά που συναντώνται και στις τρεις κατηγορίες πετρωμάτων (πυριγενή-ιζηματογενή-μεταμορφωμένα) είναι καθαρό κρυσταλλικό οξείδιο του πυριτίου (SiO<sub>2</sub>). Έχει μεγάλη σκληρότητα και είναι πολύ ανθεκτικός στους αποσαθρωτικούς παράγοντες. Στα πετρώματα που τον περιέχουν σε σημαντικό ποσοστό δίνει ψηλές τιμές αντοχής.

Από τα ανθρακικά ορυκτά το πιο σημαντικό είναι ο *ασβεστίτης* (CaCO<sub>3</sub>). Είναι σχεδόν αποκλειστικό συστατικό των ασβεστόλιθων, της κρητίδας (κιμωλίας) και του μαρμάρου. Περιέχεται επίσης σε μεγάλο ποσοστό σε άλλα ιζηματογενή πετρώματα (μάρμαρα, ψαμμίτες, κροκαλοπαγή). Το κύριο ορυκτοδιαγνωστικό του χαρακτηριστικό είναι ότι αναβράζει ζωηρά ακόμη και σε ψυχρό αραιό διάλυμα HCl. Σχηματίζεται από καθιζήσεις του CaCO<sub>3</sub> σε νερά που περιέχουν ιοντική διάλυση όξινου ανθρακικού ασβεστίου Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Προσβάλλεται από το νερό που περιέχει CO<sub>2</sub> (π.χ. και νερό της βροχής) και διαλύεται ως εξής:



#### Πετρώματα

Στη φύση, σπανίως σχηματίζεται πέτρωμα από ένα μόνο χημικό στοιχείο. Τέτοια περίπτωση αποτελεί ο άνθρακας που σχηματίζει το ορυκτό γραφίτης, κι αυτό ένα γραφιτικό πέτρωμα. Πιο συνηθισμένο είναι να ενώνονται περισσότερα από ένα στοιχεία και να δημιουργούν ένα ορυκτό που μόνο του σχηματίζει ένα πέτρωμα (π.χ. τα στοιχεία Ca, C και O δημιουργούν το ορυκτό ασβεστίτης, που μόνο του δημιουργεί το πέτρωμα ασβεστόλιθος). Όμως στη συντριπτική τους πλειονότητα τα πετρώματα αποτελούνται από αθροίσματα ορυκτών, που το καθένα τους προέρχεται από την ένωση πολλών στοιχείων. Τα πετρώματα (rocks) σχηματίζονται με φυσικό τρόπο μέσω γεωλογικών διεργασιών και εμφανίζονται στο στερεό φλοιό της γης ως αυτοτελείς ομοιόμορφες μάζες με ή χωρίς γεωμετρικότητα και συνήθως με σαφή περατωτικά όρια. Χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία που οφείλεται στους πολυάριθμους συνδυασμούς ορυκτών για τις διάφορες συνθήκες επιφάνειας και βάθους.

Τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που είναι σημαντικά για τους μηχανικούς των υλικών και τους αρχιτέκτονες είναι: (i) η ορυκτολογική τους σύνθεση, καθώς οι περισσότερες ιδιότητες των πετρωμάτων βασίζονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ορυκτών που τα απαρτίζουν,

(ii) ο ιστός και η υφή, χαρακτηριστικά που αναφέρονται στον τρόπο εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος καθώς και στο βαθμό κρυστάλλωσης, το μέγεθος και το σχήμα τους, και (iii) η δομή της μάζας του πετρώματος (τα μακροχαρακτηριστικά, η σχιστότητα, οι πτυχές κ.λ.π.).

Τα πετρώματα, ανάλογα με τον τρόπο γένεσης και τις συνθήκες σχηματισμού τους ταξινομούνται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- ✓ **Πυριγενή** πετρώματα, που συνδέονται γενετικά με το μάγμα και σχηματίζονται από την ψύξη και τη λιθοποίηση αυτού μέσα στο φλοιό ή στην επιφάνεια. Τέτοια πετρώματα δομούν το εσωτερικό της γης και το μεγαλύτερο ποσοστό του στερεού φλοιού. Ανάλογα με το χρόνο και το βάθος στερεοποίησης του μάγματος, διακρίνονται σε επιμέρους κατηγορίες:
  - Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στο φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται σε βαθυγενή ή πλουτωνίτες και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία, οδηγεί στη δημιουργία μέσο/χονδρόκοκκων κρυστάλλων, συχνά ορατών με γυμνό μάτι. Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες και οι γάββροι.
  - Όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται ηφαιστίτες ή εκρηξιγενή. Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια της γης, 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.
- ✓ **Ιζηματογενή** πετρώματα, που αποτελούν το λεπτό επιφανειακό επίστρωμα του φλοιού και προκύπτουν από τη λιθοποίηση χαλαρού υλικού (ιζήματα) σε επιφανειακές συνθήκες (από την καταστροφή δηλαδή προϋπαρχόντων πετρωμάτων). Τα υλικά αποσάρθρωσης ή απόσπασης από το υγιές πέτρωμα μεταφέρονται είτε με τη βαρύτητα είτε με τον αέρα, είτε, κυρίως, με τα ρέοντα νερά ή μέσα σε λίμνες και θάλασσες. Εκεί με την πάροδο του χρόνου και τη συνεχή επισώρευση, τα χαλαρά ή απλώς συνεκτικά υλικά, μετατρέπονται σε συμπαγή, δηλαδή σε πετρώματα (διαγένεση). Ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η όλη διαδικασία δημιουργίας των ιζηματογενών πετρωμάτων έχουμε τα ακόλουθα:
  - Μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα, όπου τα περιεχόμενα ορυκτά προέρχονται από πρωτογενή μαγματικά πετρώματα ή την αποσάρθρωση με μηχανικές διεργασίες προϋπαρχόντων ιζηματογενών ή μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων. Τυπικά κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα αποτελούν τα κροκαλοπαγή, τα λατυποπαγή και ο ψαμμίτης.
  - Χημικά ιζήματα που δημιουργούνται από την απόθεση ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες (π.χ. εξάτμιση νερού). Στη φύση, η διαφοροποίηση μεταξύ χημικών και κλαστικών δεν είναι εύκολη. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν συνήθως προσμίξεις, ενώ αναμιγνύονται με άργιλο σε διάφορες αναλογίες. Στα χημικά ιζηματογενή πετρώματα ανήκει ο ασβεστόλιθος, στον οποίο γίνεται ειδική αναφορά στη συνέχεια, ο τραβερτίνης και ο όνυχας-μάρμαρο (αλάβαστρο).
  - Οργανικά ή βιογενή ιζήματα. Πρόκειται για πετρώματα που δημιουργήθηκαν από συσσώρευση οργανικής ύλης (φυτικής ή ζωικής, π.χ. ασβεστόλιθοι που προέκυψαν

από συσσώρευση κελυφών ζώων από  $\text{CaCO}_3$ ). Βιογενή ιζηματογενή πετρώματα είναι οι οργανογενείς ασβεστόλιθοι, η κιμωλία και οι κερατόλιθοι.

- ✓ **Μεταμορφωμένα** πετρώματα, δηλαδή πετρώματα που προκύπτουν από τη μεταμόρφωση πυριγενών ή ιζηματογενών πετρωμάτων στα βαθύτερα τμήματα του φλοιού, μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές, χωρίς όμως να υποστούν τήξη.

Τα πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται σε αυξημένες πιέσεις και θερμοκρασίες και στη δράση θερμών διαλυμάτων και αερίων, όταν βρεθούν σε μεγάλα βάθη υπό την επίδραση γεωλογικών διεργασιών και ανακρυσταλλώνονται σε πιο σταθερές ορυκτές φάσεις. Αναπτύσσονται έτσι νέα ορυκτά που χημικά προσομοιάζουν στο 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 στη γειννίαση με πυριγενείς μάζες ή στη γεωθερμική δραστηριότητα, επιφέρει πλαστικότητα στα πετρώματα επιτρέποντας τη μοριακή διάχυση από το ένα στρώμα στο άλλο, διαδικασία που διαρκεί εκατομμύρια χρόνια.

Τα κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι το μάρμαρο, που προέρχεται από τη μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου, ο γνεύσιος, ο σχιστόλιθος και ο σερπεντίτης.

### *Ασβεστόλιθος*

Οι ασβεστόλιθοι έχουν προέλθει είτε από βιογενή, είτε από χημικά ιζήματα, είτε από ιζήματα συνδυασμού βιογενούς και χημικής δράσης. Πρόκειται για ιζηματογενές πέτρωμα, που έχει ως κύριο ορυκτολογικό του συστατικό τον ασβεστίτη ( $\text{CaCO}_3$ ). Επομένως η χημική σύσταση ενός καθαρού ασβεστολιθικού πετρώματος είναι  $\text{CaO}$  56%,  $\text{CO}_2$  44%. Συνήθως, όμως, οι ασβεστόλιθοι περιέχουν διάφορες προσμίξεις ενώσεων οξειδίων και υδροξειδίων του αργιλίου (<5%), του σιδήρου κ.ά., η παρουσία των οποίων επηρεάζει και το χρωματισμό του πετρώματος. Συχνά περιέχει απολιθώματα τα οποία μας βοηθούν να εκτιμήσουμε την ηλικία και την προέλευσή του. Η μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου δίνει στο πέτρωμα κρυσταλλικό χαρακτήρα και σχηματίζει το μάρμαρο. Όταν οι ασβεστόλιθοι περιέχουν 5-15%  $\text{MgO}$  καλούνται μαγνησιούχοι ασβεστόλιθοι, ενώ όταν η περιεκτικότητά τους σε  $\text{MgO}$  είναι πάνω από 15% καλούνται δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα, εκτός από τα απολιθώματα που τα χαρακτηρίζουν, έχουν και όψη που ποικίλλει ανάλογα με την περίοδο και το χώρο που έλαβε χώρα η ιζηματογένεση. Έτσι, οι ασβεστόλιθοι των διάφορων γεωλογικών περιόδων παρουσιάζουν μακροσκοπικές διαφορές, οι οποίες σε πρώτη αναγνώριση είναι καθοδηγητικά στοιχεία για τη στρωματογραφική τους διαίρεση. Καθώς, λοιπόν, η ιζηματογένεση των ασβεστολιθικών αποθέσεων έλαβε χώρα είτε σε αβαθή, είτε σε βαθιά γεωσύγκλινα, το χρώμα τους που ποικίλλει ανάλογα με τις προσμίξεις και σχετίζεται σε πολλές περιπτώσεις και με το χώρο της ιζηματογένεσης. Γενικά, οι μαύροι ασβεστόλιθοι σχηματίστηκαν σε αβαθή νερά, κοντά σε παράκτιες ζώνες όπου παρασύρθηκαν διάφοροι χερσαίοι οργανισμοί. Οι κόκκινοι και ροδόχρωμοι οφείλουν το χρώμα τους σε οξείδια του σιδήρου (αιματίτη). Οι γκριζοκύανοι ασβεστόλιθοι οφείλουν το χρώμα τους στην παρουσία διθειούχου σιδήρου σε λεπτότατο διαμερισμό, γεγονός που υποδηλώνει ότι η ιζηματογένεσή τους έλαβε χώρα σε αβαθή νερά, αφού ο διθειούχος σίδηρος προέρχεται από την αποσύνθεση οργανικών ουσιών με την περαιτέρω οξείδωσή τους.

Στα ασβεστολιθικά πετρώματα ένα πολύ συνηθισμένο φαινόμενο είναι η παρουσία κενών στη μάζα τους (αύλακες, έγκοιλα, φρέατα κ.λπ. μέχρι καταβόθρες και σπήλαια), που δημιουργήθηκαν με την πάροδο των αιώνων από την εκλεκτική χημική διάλυση του πετρώματος λόγω της επίδρασης των νερών της βροχής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται καρστικό, ενώ τα κενά που δημιουργούνται καρστικοί σχηματισμοί. Τα κενά αυτά προήλθαν από τη δράση νερού

της βροχής, εμπλουτισμένο σε διοξείδιο του άνθρακα, που κυκλοφορούσε μέσα στη μάζα του πετρώματος και μετέτρεψε το ουδέτερο ανθρακικό ασβέστιο του ιζήματος σε ευδιάλυτο όξινο ανθρακικό ασβέστιο που απομακρύνθηκε. Η δημιουργία των καρστικών σχηματισμών σχετίζεται επίσης και με τεκτονικά αίτια που προκάλεσαν αρχικά κατακερματισμό του πετρώματος.

### 1.1.2.2 Κεραμικά (πλίνθοι και κέραμοι) [1,2,3,4,6]

Τα κεραμικά, ως δομικά υλικά, πρωτοεμφανίστηκαν υπό τη μορφή ψημένων τούβλων και εφαρμόστηκαν από την αρχαιότητα εποχή (Ασσύριοι και Βαβυλώνιοι). Μεγάλη εφαρμογή γνώρισε ο ψημένος πηλός κατά τη γεωμετρική και την αρχαϊκή περίοδο στην Ελλάδα. Τον χρησιμοποιούν όχι μόνο σε κεραμίδια άλλα και σε στοιχεία επενδύσεως των ξύλινων μερών. Σε μεγάλη κλίμακα εφαρμόστηκαν οι οπτοί πλίνθοι κατά τη ρωμαϊκή εποχή, ενώ οι ίδιοι αρχίζουν να χρησιμοποιούν το γυαλί. Το γυαλί σε αγγεία απαντάται από πολύ παλαιότερα, αλλά στην Πομπηία και το Ηράκλειο ευρέθησαν υαλοπίνακες, όχι τελείως διαφανείς. Από υαλόμαζα επίσης κατασκεύαζαν διακοσμητικούς πίνακες. Τα κεραμίδια και τα τούβλα χρησιμοποιήθηκαν κατά κόρον στην αρχιτεκτονική της παλαιοχριστιανικής περιόδου και την περίοδο του Ιουστινιανού, τόσο στην κατασκευή τοίχων, όσο και στην θολοδομία. Κατά τη βυζαντινή περίοδο, σημειώνονται περιπτώσεις δομής από τούβλα εξ' ολοκλήρου, ενώ στις περιπτώσεις διαμορφώσεως οριζοντίου δαπέδου πάνω από τους θόλους, το γέμισμα των κενών γινόταν με άδεια πήλινα αγγεία, τα οποία έδιναν το επιθυμητό αποτέλεσμα χωρίς να φορτίζουν με νεκρά βάρη την οικοδομή. Τέλος, στον ελλαδικό χώρο μετά την Άλωση, διατηρούνται ακόμα οι τρόποι δομής του Βυζαντίου με την ευρεία χρήση τούβλων και την παρεμβολή κεραμιδιών σε τυχαίες θέσεις στις τοιχοποιίες.

Τα κεραμικά είναι μη μεταλλικά ανόργανα στερεά με κρυσταλλική ή άμορφο δομή. Στην κατηγορία των κεραμικών ανήκουν οι εξής μεγάλες ομάδες υλικών:

- Ύαλοι
- Κεραμικοί Ύαλοι (ενώσεις τύπου Li-Al-Si-O)
- Οξειδία ( $Al_2O_3$ , MgO,  $TiO_2$ , Φερρίτες κ.λ.π.)
- Ειδικά Κεραμικά (Νιτρίδια ( $Si_3N_4$ ), Καρβίδια (SiC))
- Άνθρακας: Γραφίτης, Διαμάντι

Τα **πλεονεκτήματα** χρήσης των κεραμικών είναι τα εξής:

- ✓ Χημική ευστάθεια (αντίσταση σε διάβρωση)
- ✓ Ενισχυμένη ακαμψία σε υψηλή θερμοκρασία
- ✓ Χαμηλή πυκνότητα
- ✓ Υψηλή σκληρότητα
- ✓ Υψηλή αντοχή σε φθορά
- ✓ Καλή συμπεριφορά σε θερμικούς αιφνιδιασμούς

Τα **μειονεκτήματά** τους:

- ✓ Χαμηλή αντίσταση σε μηχανικούς αιφνιδιασμούς
- ✓ Υψηλή διασπορά μηχανικών ιδιοτήτων
- ✓ Ευθραυστότητα
- ✓ Προβλήματα στην κατασκευή δοκιμών με πολύπλοκα σχήματα
- ✓ Προβλήματα συνένωσης με άλλα υλικά

Τα κεραμικά είναι εν γένει σκληρά, ψαθυρά υλικά, με υψηλό σημείο τήξης και χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Για την ψαθυρή δε συμπεριφορά τους, υπεύθυνα είναι κυρίως τα

σφάλματα δομής όπως π.χ. οι πόροι, όπου εκεί εμφανίζεται υψηλή συγκέντρωση τάσεων, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών κρίσιμου μεγέθους. Η έλλειψη ολκιμότητας στα κεραμικά υλικά οφείλεται στους ιοντικού και ομοιοπολικούς δεσμούς. Τα κεραμικά υλικά, εξαιρουμένων των υάλων, μπορούν να καταταγούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

Τα Παραδοσιακά Κεραμικά στα οποία περιλαμβάνονται:

- Άργιλοι
- Ανόργανα Συνδετικά
- Πυρίμαχα

Τα Προηγμένα Κεραμικά στα οποία περιλαμβάνονται:

- Λειτουργικά κεραμικά
- Δομικά κεραμικά

Τα κλασσικά κεραμικά παρασκευάζονται από φυσικές πρώτες ύλες, συνήθως αργίλους, ασβέστη, άμμο κ.α.. Η χρήση τους είναι συνήθως σε είδη αγγειοπλαστικής, πυρίμαχα τούβλα, κεραμίδια, γυαλί και τσιμέντο.

### 1.1.2.3 Κονίες – Ιστορικά Κονιάματα [1,2,3,4]

Στους αρχαίους πολιτισμούς της Κεντρικής Ασίας, της Αρμενίας, του Ιράκ, της Περσίας, της Ανατολικής Συρίας και της Μεσοποταμίας, το κονίαμα που συναντάται είναι ο πηλός, το αρχαιότερο της ιστορίας.

Ανάλογα με τον τρόπο χρήσης τους, τα κονιάματα διακρίνονται σε:

- ✓ Κονιάματα αρμών, ως συνδετικό υλικό των δομικών στοιχείων
- ✓ Κονιάματα υποστρωμάτων. Υπόστρωμα πολλές φορές με τη μορφή διαδοχικών στρωμάτων σε δάπεδα, ψηφιδωτά, μωσαϊκά, τοιχογραφίες.
- ✓ Επιχρίσματα, είτε με τη μορφή επιστρώματος επιφανειών, είτε ως προστατευτικό στρώμα από τους διαβρωτικούς παράγοντες (βροχή, υγρασία), ή απλά επιχρίσματα διακοσμητικού χαρακτήρα

Τα κονιάματα στην αρχαία Ελλάδα χρησιμοποιούνταν κυρίως ως επιχρίσματα σε αντίθεση με τους Ρωμαίους, που χρησιμοποίησαν το κονίαμα και ως συνδετικό μέσο. Ως βάση είχαν τον ασβέστη στον οποίο πρόσθεταν άμμο ή θηραϊκή γη. Οι τελευταίοι, με τα κονιάματα όχι μόνο έχτιζαν τοίχους από τούβλα, αλλά μαζί με χαλίκια και λίθους μικρού μεγέθους κατασκεύαζαν ισχυρά χυτά υλικά. Κατά τους αυτοκρατορικούς χρόνους, άρχισε και η προσθήκη κεραμάλευρου (κουρασανίου) στα κονιάματα, με αποτελέσματα πολύ καλά. Το ισχυρό μείγμα εξακολουθούσαν να το εφαρμόζουν κατά την παλαιοχριστιανική και βυζαντινή περίοδο.

Τα συστατικά των κονιαμάτων είναι: 1) η συνδετική κονία (αερική ή υδραυλική), 2) τα αδρανή υλικά 3) τα πρόσθετα, τα οποία είναι είτε οργανικής φύσης είτε ανόργανης και τέλος 4) το νερό.

Οι κονίες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : στις αερικές και τις υδραυλικές. Ο διαχωρισμός σχετίζεται με την επαφή ή όχι της κονίας με το νερό κατά την πήξη. Οι αερικές κονίες πήζουν μόνο όταν βρίσκονται στον αέρα και η επαφή με το νερό σηματοδοτεί την αποσύνθεση και την απώλεια κάθε μηχανικής αντοχής και συγκολλητικής ιδιότητας, σε αντίθεση με τις υδραυλικές, οι οποίες πήζουν και σκληρύνονται με την παρουσία νερού, με ή χωρίς την παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό (το νερό βοηθάει στην απόκτηση καλύτερων μηχανικών αντοχών).



Χαρακτηριστικά παραδείγματα αερικών και υδραυλικών κονιών:

- Στις αερικές κονίες συγκαταλέγεται ο γύψος, δηλαδή  $\text{CaSO}_4$  στην άνυδρη μορφή ή  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  στη διένυδρη μορφή του, που βρίσκεται με τη μορφή ορυκτού στη φύση. Ο γύψος παρουσιάζει υψηλή διαλυτότητα στο νερό, ενώ μία από τις ιδιότητές του σε αντίθεση με άλλες κονίες, είναι ότι ο γύψος παρουσιάζει διαστολή κατά την πήξη. Στην Ελλάδα λόγω του προβλήματος της μεγάλης διαλυτότητάς του στο νερό, έχει χρησιμοποιηθεί, έπειτα από ειδικές κατεργασίες που αυξάνουν την ανθεκτικότητά του, κυρίως υπό τη μορφή διακοσμητικών στοιχείων σε νεοκλασικά κτίσματα.
- Η υδράσβεστος ή αερική άσβεστος ( $\text{CaO}$ ) παράγεται με έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Ανάλογα με τη σύσταση του αρχικού πετρώματος (καθαρός ασβεστόλιθος ή δολομιτικός ασβεστόλιθος) λαμβάνουμε διαφορετικές ποιότητες ασβέστη. Η διαδικασία παραγωγής ασβέστη περιλαμβάνει την έψηση των πετρωμάτων προς παραγωγή του  $\text{CaO}$ , την έσβεση του  $\text{CaO}$  προς παραγωγή του  $\text{Ca(OH)}_2$  και την σκλήρυνση του  $\text{Ca(OH)}_2$  προς παραγωγή του  $\text{CaCO}_3$ . Η αερική άσβεστος, έπειτα από κατεργασία προς αύξηση της αντοχής της, βρίσκει χρήσεις σε διακοσμητικά στοιχεία (stucco), ως επίχρισμα, ως συνδετικό κονίαμα, αλλά και ως stucco αποκατάστασης.
- Στα υδραυλικά κονιάματα κατατάσσεται η υδραυλική άσβεστος, η οποία παράγεται είτε μέσω της τεχνολογίας όπτησης μαργαϊκών ασβεστόλιθων, είτε με την μοντέρνα παραγωγή τεχνητής υδραυλικής ασβέστου. Και με τις δύο τεχνικές έχουμε ανάμιξη ασβεστόλιθου με άργιλο. Οι αργιλοπυριτικές ενώσεις προσδίδουν στο κονίαμα ανθεκτικότητα και πολύ καλές μηχανικές αντοχές.

Στο επιστημονικό πεδίο της συντήρησης και αποκατάστασης μνημείων και ιστορικών κατασκευών, μελετάται ο σχεδιασμός κονιαμάτων αποκατάστασης, με κριτήριο τη συμβατότητα του υλικού αποκατάστασης με τα αυθεντικά δομικά υλικά του οικοδομήματος.

#### 1.1.2.4 Μέταλλα [1,6,7,8]

Στη Δυτική Ασία, στην ασσυροβαβυλωνιακή αρχιτεκτονική σημειώνεται, σε περιορισμένο βαθμό, πρώιμη χρήση των μετάλλων. Επίσης περιορισμένη χρήση των μετάλλων παρουσιάζεται και στην οικοδομική των αρχαίων Ελλήνων, οι οποίοι κατασκεύαζαν συνήθως σιδηρούς συνδέσμους και γόμφους, απαραίτητους για τη σύνδεση των λίθινων αρχιτεκτονικών μελών και πάντοτε φρόντιζαν να τους μολυβδοχοούν, επειδή γνώριζαν πόσο επικίνδυνη είναι η οξείδωση των σιδηρών στοιχείων στις οικοδομές. Από σίδηρο κατασκεύαζαν και κιγκλιδώματα, με τα οποία έφραζαν ενίοτε τα μετακίονια των ναών. Μεγαλύτερη χρήση βρίσκουν τα μέταλλα στην οικοδομική της ρωμαϊκής εποχής, όπου ο χαλκός και ο ορείχαλκος εφαρμόζονται στην κατασκευή μνημειωδών θυρών, ο σίδηρος στην κατασκευή σιδηρών συνδέσμων και σε σπάνιες περιπτώσεις για την παραλαβή εφελκυστικών δυνάμεων σε μαρμαροκατασκευές και τέλος, ο μόλυβδος σε μολυβδοχοήσεις συνδέσμων και στην κατασκευή σωλήνων νερού.

Τα μέταλλα κατατάσσονται στα μεταλλικά υλικά, τα υλικά δηλαδή που αποτελούνται από άτομα μεταλλικών στοιχείων και κρυσταλλώνονται σε πλέγματα μεγάλης χωρητικότητας.

Τα μέταλλα κατηγοριοποιούνται:

- A) Ως προς την τεχνολογία παρασκευής τους, σε Πυρομεταλλουργικά και Κονιομεταλλουργικά
- B) Ως προς την πυκνότητά τους, σε Ελαφρά (Al, Be) και Βαρέα (Co, Pb)
- Γ) Ως προς το χρώμα τους, σε Έγχρωμα (Cu), Λευκά (Ag) και Μελανά (Fe)
- Δ) Ως προς τη σύνθεσή τους, σε Μη σιδηρούχα, Σιδηρούχα και Χάλυβες

Η διάβρωση των μετάλλων και των κραμάτων είναι εντονότερη, ταχύτερη και έχει ως συνέπεια μεγαλύτερες οικονομικές επιπτώσεις, παρά η διάβρωση άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται στην πράξη (όπως λ.χ. πέτρα, ξύλο, μάρμαρο), και αυτό γιατί τα μέταλλα έχουν πολύ διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες από τις πρώτες ύλες τους που είναι τα μεταλλεύματα -συνήθως οξειδία-, η σταθερότερη μορφή τους. Επιπλέον, τα μέταλλα έχουν αναβαθμιστεί ενεργειακά συγκριτικά με τα μεταλλεύματα, ενώ το ξύλο, οι πέτρες, τα μάρμαρα κ.λ.π. χρησιμοποιούνται με μικρές -συνήθως μηχανικές- επεξεργασίες, χωρίς ιδιαίτερες αλλοιώσεις των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων τους ή ενεργειακή αναβάθμιση. Έτσι τα μέταλλα και τα κράματα έχουν μεγαλύτερη προδιάθεση για υποβάθμιση, μετατροπή στην αρχική σταθερότερη μορφή τους δηλαδή για διάβρωση.

#### 1.1.2.5 Συνθετικά Υλικά και Ξύλο [4,6,9]

Ως σύνθετα χαρακτηρίζονται τα μη μεταλλικά υλικά που παρουσιάζουν άμορφο δομή, είναι κακοί αγωγοί και εμφανίζουν πλαστικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτά ανήκουν οι ενώσεις μετάλλων και κεραμικών (Cermets) και κεραμικών και μη-μετάλλων: πολυμερή, σκυρόδεμα, σωματιδιακά, ινώδη ή φυλλώδη σύνθετα.

Η διαδικασία παραγωγής τσιμέντου ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

- Εξόρυξη πρώτων υλών (ασβεστόλιθος και άργιλος)
- Άλεση και παραγωγή φαρίνας
- Έψηση σε υψικάμνο σε θερμοκρασίες 1400-1450 °C και παραγωγή κλίνκερ
- Ανάμιξη με διάφορα πρόσθετα (κύρια γύψος αλλά και ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα)
- Άλεση και παραγωγή λεπτόκοκκης σκόνης (τσιμέντο)

Από τα βάθη των αιώνων το ξύλο χρησιμοποιήθηκε ως δομική πρώτη ύλη για διάφορες κατασκευές, γιατί δεν απαιτεί ιδιαίτερη επεξεργασία, αφού λαμβάνεται από τη φύση σχεδόν έτοιμο για χρήση, και συγχρόνως χαρακτηρίζεται ως η μόνη ανανεώσιμη πρώτη ύλη. Το ξύλο είναι οργανικό υλικό, επηρεαζόμενο από το περιβάλλον του, επομένως μπορεί εύκολα να προσβληθεί από βιολογικούς παράγοντες φθοράς σε συνάρτηση πάντα με τις επικρατούσες συνθήκες (υγρασίας, θερμοκρασίας κ.λ.π.).

## 1.2 ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

### 1.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΟΡΙΣΜΟΣ ΦΘΟΡΑΣ [3,4]

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

“Ως φθορά ορίζεται 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.”

Τα φαινόμενα φθοράς σε γενικές γραμμές εξαρτώνται από τα ίδια τα υλικά και την επιδεκτικότητα τους στη φθορά, από την ποιότητα της ατμόσφαιρας, από τις κλιματολογικές συνθήκες και τις συνθήκες του μικροκλίματος. Όλα τα υλικά ακολουθούν τις επιταγές του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, ο οποίος καθορίζει την αυθόρμητη εξέλιξη των φαινομένων προς καταστάσεις χαμηλότερης ελεύθερης ενέργειας (G), ελεύθερης ενθαλπίας (H), χημικού δυναμικού ( $\mu$ ), και υψηλότερης εντροπίας (S). Η τάση αυτή των υλικών να υποβαθμίζονται ενεργειακά και να μετασχηματίζονται σε άλλα σταθερότερα, αποτελεί το κύριο αίτιο της φθοράς τους. Τα δομικά υλικά, που στην πλειοψηφία τους είναι ανισότροπα, κατά τη δυναμική διεργασία της φθοράς, εκτός από ενεργειακή υποβάθμιση υφίστανται αύξηση της εντροπίας τους, δηλαδή αύξηση της αταξίας των φάσεων του συστήματός τους. Στην περίπτωση των πετρωμάτων, αυτό συνεπάγεται ρηγματώση του κρυσταλλικού τους πλέγματος, διάχυση ιόντων τους προς το περιβάλλον και σχηματισμό νέων μορφωμάτων στην επιφάνειά τους. Οι νέες φάσεις που σχηματίζονται στην επιφάνεια των δομικών υλικών βρίσκονται σε θερμοδυναμική ισορροπία με το περιβάλλον. Όσο πιο έντονη είναι η κατεργασία της πρώτης ύλης για την παρασκευή των δομικών υλικών (π.χ. μέταλλευμα σε μέταλλο - έντονη κατεργασία), τόσο πιο βίαιες είναι οι μεταβολές των δομικών υλικών στο ίδιο περιβάλλον, με αποτέλεσμα οι φθορές τους να είναι εντονότερες.

Τα φαινόμενα της φθοράς εκδηλώνονται στις διεπιφάνειες περιβάλλοντος υλικών και είναι συνάρτηση τόσο ενδογενών όσο και εξωγενών παραγόντων. Στη συνέχεια γίνεται σύντομη αναφορά στους ενδογενείς και τους εξωγενείς παράγοντες φθοράς των υλικών.

#### A) Ενδογενείς Παράγοντες Φθοράς

Οι ενδογενείς παράγοντες φθοράς αφορούν:

- στο είδος του δομικού υλικού
- στις ιδιότητές του: φυσικές, χημικές, ορυκτολογικές, μηχανικές, φυσικό-χημικές
- στην κατανομή της μάζας του σε επίπεδο μικροδομής και μακροδομής
- στην προέλευση και απόληψή του
- στις τεχνικές και την τεχνολογία παραγωγής του που αφορά στα στάδια παραγωγής – διαμόρφωσης – κατασκευής
- στο ιστορικό του υλικού στην κατασκευή που διαμορφώνεται τόσο κατά τη φάση της αρχικής κατασκευής του μνημείου, όσο και από τις ενδεχόμενες επεμβάσεις συντήρησης-ανακατασκευής που έχουν λάβει χώρα
- στη συμβατότητα μεταξύ των δομικών υλικών στην κατασκευή. Η ασυμβατότητα μεταξύ δύο υλικών υφίσταται όταν αυτά παρουσιάζουν διαφορετικές τιμές ως προς τα φυσικό-χημικά και φυσικό-μηχανικά χαρακτηριστικά.

## **B) Εξωγενείς Παράγοντες Φθοράς**

Οι εξωγενείς παράγοντες φθοράς (περιβάλλον) αφορούν:

- στο είδος των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων:
  - γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος (κατανομή, προσανατολισμός, ένταση περιβαλλοντικών παραγόντων – TOC, RH%, W.R.)
  - μικροκλίμα της περιοχής (προσανατολισμός, ιδιαίτερη θέση στο κτήριο, μέγεθος, μορφολογία επιφάνειας, τρόπος προσβολής από τη βροχή)
  - ατμόσφαιρα (ρυπασμένη, θαλασσινή)
  - παρουσία υγρασίας με την εκάστοτε μορφή του (βροχή, αερόλυμα, ανερχόμενη τριχοειδής υγρασία, συμπύκνωση, διαλύματα αλάτων)
  - βιολογικοί παράγοντες (μικροπανίδα, φυτά, πτηνά)
  - συνθήκες χρήσεις του ιστορικού κτηρίου ή κατασκευής (εξωτερικό περιβάλλον, χωροταξικές – πολεοδομικές - κυκλοφοριακές ρυθμίσεις και μέτρα, δομικό περιβάλλον κατασκευής, εσωτερικό περιβάλλον – λειτουργικές συνθήκες εσωτερικού χώρου)
  - μηχανικές φορτίσεις που επιδρούν στην ιστορική κατασκευή (θερμοκρασιακές μεταβολές, διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων, κρυστάλλωση αλάτων, παγετός, σεισμικές δονήσεις, εκτριβή)
- στο γεωτεχνικό πλαίσιο θεμελίωσης

### **1.2.2 ΦΥΣΙΚΟ-ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ, ΧΗΜΙΚΟΙ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ**

Συνήθως, η εμφάνιση κάποιου τύπου φθοράς, είναι αποτέλεσμα της συνέργειας πλήθους παραγόντων διάβρωσης. Η εκδήλωση δε ενός συγκεκριμένου τύπου φθοράς μπορεί να επιφέρει την αλυσιδωτή δράση και άλλων παραγόντων φθοράς. Έτσι, η διαδικασία της αλλοίωσης των χημικών, φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών είναι ένα σύνθετο και πολύπλοκο φαινόμενο.

Οι παράγοντες που οδηγούν σε φαινόμενα φθοράς των δομικών υλικών διακρίνονται σε φυσικό – μηχανικά, χημικά και βιολογικά.

Η μηχανική ή φυσική φθορά αφορά σε μηχανική χαλάρωση των δομών και διαχωρισμό των συστατικών του υλικού λόγω θλιπτικών, εφελκυστικών ή διατμητικών τάσεων, αναπτυσσόμενων δυνάμεων εντός του υλικού λόγω ανισοτροπίας, ή διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών αλάτων και των κύκλων ύγρανσης – ψύξης.

Η χημική φθορά περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού.

Τέλος, η βιολογική φθορά αφορά στη διαβρωτική δράση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες.

#### **A) Μηχανικοί Παράγοντες Φθοράς [3,4]**

Οι μηχανικοί παράγοντες φθοράς, ανάλογα με τα αίτια πρόκλησής τους, διακρίνονται σε εξωτερικούς και εσωτερικούς. Οι εξωτερικοί μηχανικοί παράγοντες αφορούν στις ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές ή άνισες κατανομές θερμοκρασίας καθώς και στις τάσεις που μπορούν να αναπτυχθούν μεταξύ γειτονικών υλικών λόγω ασυμβατότητας (διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής). Επίσης, στα φαινόμενα φθοράς λόγω εξωτερικών μηχανικών παραγόντων κατατάσσονται και οι καταπονήσεις των δομικών υλικών από τις σεισμικές δονήσεις

ή άλλες ανθρωπογενείς ή όχι καταστροφές. Από την άλλη μεριά, οι εσωτερικοί μηχανικοί παράγοντες, σχετίζονται με την φθορά των πορωδών υλικών λόγω της κρυστάλλωσης των αλάτων, με τη φθορά λόγω σχηματισμού πάγου, καθώς και με τη διόγκωση των μεταλλικών συνδέσμων, όπου σημειώνεται η ύπαρξη αυτών.

#### ➤ **Θερμοκρασιακές μεταβολές**

Οι ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές (π.χ. μεταξύ μέρας και νύχτας) ή οι άνισες κατανομές θερμοκρασίας σε δομικά υλικά δύνανται να αποτελέσουν την αφορμή για την ανάπτυξη τάσεων σε αυτά, με αποτέλεσμα την εκκίνηση φυσικο – 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 (π.χ. σχηματισμός πάγου). Ο εν λόγω διαβρωτικός μηχανισμός αναπτύσσεται σε επόμενη παράγραφο. Επίσης, οι διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής και θερμοχωρητικότητας των διαφόρων φάσεων και υλικών ενός συστήματος υλικών, ενισχύουν τα φαινόμενα μηχανικής φθοράς των δομικών υλικών, καθώς συνεπάγονται την ανάπτυξη τάσεων με περεταίρω επιπτώσεις στη συνοχή των λίθων.

Αναφέρεται πως, τα πιο επιρρεπή στις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος δομικά υλικά, είναι τα μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι, δεδομένου της ανισοτροπίας που παρουσιάζουν. Τα εν λόγω δομικά υλικά, ενώ θεωρητικά δύνανται 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.

Στην περίπτωση πολύ έντονης θέρμανσης και ακραίων θερμοκρασιακών μεταβολών όπως στην περίπτωση των πυρκαγιών, εκδηλώνονται ρηγματώσεις στο όριο μεταξύ θερμού και ψυχρού στρώματος. Η πολύ υψηλή θερμοκρασία (~900 °C) για τα μάρμαρα, τους ασβεστόλιθους, τα ασβεστιτικά κονιάματα καθώς και για τους δολομίτες (~800 °C), προκαλεί τη διάσπαση του ασβεστίτη (CaCO<sub>3</sub>) γεγονός που συνεπάγεται επιπτώσεις στη συνοχή του υλικού.

#### ➤ **Κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων**

Η κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων θεωρείται ο κύριος και δυνητικά πιο καταστροφικός παράγοντας φθοράς των δομικών λίθων, με επιπτώσεις σε όλα τα πορώδη υλικά, ανεξάρτητα από τη χημική τους σύσταση. Επιπλέον, με την εκδήλωση του φαινομένου, ενισχύονται οι πρωταρχικές αιτίες φθοράς των λίθων. 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 πορωδών λίθων και δομικών υλικών, μέσω της ανάπτυξης μηχανικών τάσεων στο εσωτερικό των υλικών (πόρους) από κρυστάλλους αλάτων και διάρρηξη της συνέχειας του υλικού, όταν οι τάσεις ξεπεράσουν την αντοχή του. Η διάλυση του συνδετικού υλικού μεταξύ των κόκκων του λίθου λόγω της κρυστάλλωσης αλάτων, συνεπάγεται τη λύση της συνοχής του, δημιουργώντας έτσι την αναγκαιότητα εφαρμογής κατάλληλων κατεργασιών συντήρησης (στερέωση, προστασία) για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και των μηχανικών ιδιοτήτων του λίθου. Οι κύριες πηγές αλάτων σε τοιχοποιίες (ή σε τείχη) είναι η τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), τα γειτονικά υλικά (όπως το τσιμέντο) και συχνά το ίδιο το συνδετικό κονίαμα (εάν υπάρχει).

Τα φαινόμενα φθοράς που οφείλονται στην κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων εκδηλώνονται στα υλικά με τη μορφή εξανθήσεων ή κρυπτοεξανθήσεων. Στην πρώτη περίπτωση, η ανάπτυξη και η

απόθεση των κρυστάλλων πραγματοποιείται στην επιφάνεια του λίθου. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος στην επιφάνεια υπερβαίνει το ρυθμό εξάτμισης. Στην περίπτωση της εκδήλωσης κρυπτοεξανθήσεων, η ανάπτυξη των κρυστάλλων πραγματοποιείται στο εσωτερικό των πόρων του λίθου, με ταυτόχρονη απόθεση του διαλύτη του διαλύματος άλατος εντός των πόρων. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου, σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος στην επιφάνεια είναι μικρότερος από το ρυθμό εξάτμισης. Αυτή η εκδοχή θεωρείται η πιο επικίνδυνη εκ των δύο, καθώς οδηγεί σε ανάπτυξη πίεσης στα τοιχώματα των πόρων του λίθου, ανάλογα με το είδος του άλατος, το μέγεθος και την κατανομή 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. Η πίεση που ασκείται, μπορεί να διακριθεί σε πίεση κρυστάλλωσης και πίεση ενυδάτωσης. Δεν είναι εξακριβωμένο ποιος από τους δύο τύπους πίεσης είναι κύρια υπεύθυνος για τη φθορά που προκαλείται.

#### Πίεση κρυστάλλωσης:

Ο Taber έχει προτείνει για την ανάπτυξη των κρυστάλλων του άλατος το εξής σχήμα: οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται μέσω της απόθεσης στρωμάτων υλικού το οποίο τροφοδοτούνται από το διάλυμα με το οποίο είναι σε επαφή. Όταν οι πόροι πληρωθούν με κρυστάλλους αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις που ασκούν πιέσεις στα τοιχώματα των πόρων. Γενικά η πίεση που ασκείται στα τοιχώματα δίνεται από τη σχέση:

$$P = \left( \frac{RT}{V_s} \right) \ln \frac{C}{C_s}$$

όπου

$V_s$  : ο μοριακός όγκος του στερεού άλατος

$C$ : η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας κατά την φάση της κρυστάλλωσης

$C_s$ : η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας σε κατάσταση κορεσμού

Η κρυστάλλωση μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν το διάλυμα βρίσκεται σε κατάσταση ανάμεσα στον κορεσμό και τον υπερκορεσμό. Μια τέτοια κατάσταση μπορεί θεωρητικά να προσεγγιστεί μέσω τριών διαφορετικών υποθέσεων:

*Υπερκορεσμός μέσω ψύξης:* Στην περίπτωση που η συγκέντρωση του διαλύματος είναι σταθερή και η θερμοκρασία μειώνεται, το διάλυμα φτάνει σε κατάσταση κορεσμού και πραγματοποιείται κρυστάλλωση με χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης. Όταν η μείωση της θερμοκρασίας είναι πιο έντονη το διάλυμα προσεγγίζει την κατάσταση υπερκορεσμού και η κρυστάλλωση πραγματοποιείται με πιο γρήγορο ρυθμό.

*Υπερκορεσμός μέσω αύξησης της συγκέντρωσης:* Οι καταστάσεις κορεσμού και υπερκορεσμού προσεγγίζονται για σταθερή θερμοκρασία και εξάτμιση η οποία πραγματοποιείται στην άκρη των τριχοειδών. Το αποτέλεσμα είναι γρήγορη αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος.

*Υπερκορεσμός με συνδυασμό μείωσης της θερμοκρασίας και αύξησης της συγκέντρωσης:* Αποτελεί το πιο συχνό αίτιο για την πραγματοποίηση κατάστασης υπερκορεσμού.

### Πίεση Ενυδάτωσης:

Στην περίπτωση των ένυδρων αλάτων, μόρια νερού καταλαμβάνουν συγκεκριμένες θέσεις στο κρυσταλλικό πλέγμα. Μεταβολές στην θερμοκρασία και την υγρασία της ατμόσφαιρας έχουν σαν αποτέλεσμα και μεταβολές των ένυδρων κρυσταλλικών αλάτων σε πιο σταθερές μορφές προκειμένου να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες. Οι μεταπτώσεις από μια ένυδρη κατάσταση σε κάποια άλλη, συνοδεύεται από μεταβολή του όγκου, ο οποίος με τη σειρά του προκαλεί την ανάπτυξη τάσεων στα τοιχώματα των πόρων.

Η πίεση στην περίπτωση αυτή ονομάζεται πίεση ενυδάτωσης και εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_i = \frac{nRT}{V} \ln \frac{P_o}{P_h}$$

όπου

n : ο αριθμός των μορίων του νερού που αποκτούνται κατά την ενυδάτωση

P<sub>o</sub>: η μερική τάση ατμών του νερού

P<sub>h</sub>: η τάση ατμών του ενυδατωμένου άλατος

V: η μεταβολή του όγκου του άλατος σαν συνάρτηση του χώρου του τριχοειδούς όπου πραγματοποιείται η κρυστάλλωση.

Τα πιο συνηθισμένα άλατα που συναντώνται είναι τα θειικά, τα χλωριούχα, τα νιτρικά και τα ανθρακικά.

- **Θειικά:** Τα θειικά άλατα που συναντώνται πιο συχνά είναι ο γύψος (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O) και ο τεναδρίτης (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) που βρίσκονται σε διαφορετικές καταστάσεις ενυδάτωσης. Ο αρκανίτης (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) είναι πολύ σπάνιος και μπορεί να βρεθεί σαν δευτερεύον συστατικό μαζί με το ανθρακικό νάτριο. Το θειικό μαγνήσιο σε διαφορετικές καταστάσεις ενυδάτωσης είναι επίσης πολύ σπάνιο. Τα συγκεκριμένα άλατα προέρχονται από υπόγεια νερά, θαλασσινό νερό (σε παραθαλάσσιες περιοχές συναντάται μαζί με μεγάλες ποσότητες χλωριούχων και μικρές ποσότητες θειικού μαγνησίου) και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα θειικά είναι λιγότερο διαλυτά και ευκίνητα, συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα άλατα και κατά συνέπεια μετακινούνται μέσα στους πόρους των υλικών κατά την αρχική φάση σχηματισμού τους όσο βρίσκονται δηλαδή ακόμη στο διάλυμα.

Ο τύπος και η εμφάνιση των εξανθήσεων, συνδέονται με τη φύση της κρυστάλλωσης των αλάτων και τους ρυθμούς εξάτμισης. Για παράδειγμα, το θειικό νάτριο (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) συχνά προκαλεί λευκές και μαλακές εξανθήσεις, ενώ το θειικό ασβέστιο (CaSO<sub>4</sub>) ξηρές αποθέσεις οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθούν.

- **Χλωριούχα:** Τα πιο συνηθισμένα χλωριούχα άλατα είναι ο αλίτης (NaCl), ο συλβίνης (KCl) και ο ανταρκτίτης (CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O). Τα χλωριούχα άλατα εισχωρούν στα υλικά από το υπέδαφος μέσω της αναρριχόμενης υγρασίας και από τα θαλάσσια αερολύματα με τη βοήθεια του ανέμου.

Τα χλωριούχα άλατα είναι εξαιρετικά επικίνδυνα, εξαιτίας της υψηλής διαλυτότητας, ευκινησίας και υγροσκοπικότητας που παρουσιάζουν. Η τελευταία αυτή ιδιότητα, διευκολύνει την απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα και την συγκράτησή της στο υλικό. Επιπλέον, η παρουσία τους μειώνει την θερμοκρασία μετασχηματισμού των ένυδρων αλάτων, με αποτέλεσμα να διευκολύνεται ο μετασχηματισμός από την μια κατάσταση ενυδάτωσης σε κάποια άλλη, κάτι το οποίο ισχύει κυρίως για τα θειώδη άλατα.

### ➤ Δράση παγετού

Η δράση του παγετού παρουσιάζει κοινά χαρακτηριστικά για ένα μεγάλο εύρος υλικών από την πέτρα μέχρι το τσιμέντο και τα τούβλα. Έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες για την ερμηνεία του μηχανισμού της διάβρωσης, χωρίς όμως καμία να είναι σε θέση να ερμηνεύσει το σύνολο των φαινομένων φθοράς που παρουσιάζουν τα υλικά.

Η πιο διαδομένη θεωρία είναι αυτή σύμφωνα με την οποία, πτώση της θερμοκρασίας κάτω των 0 °C προκαλεί τη στερεοποίηση του νερού που περιέχεται στους πόρους του υλικού, με ταυτόχρονη αύξηση του όγκου του (κατά 9,3%). Ως αποτέλεσμα αναπτύσσονται ισχυρές μηχανικές τάσεις στο εσωτερικό του λίθου. Σύμφωνα με την θεωρία του Powers (1955) οι εσωτερικές τάσεις προκαλούνται έμμεσα από τον πάγο. Αυτό συμβαίνει γιατί το μέτωπο του πάγου ασκεί πιέσεις στο νερό που περιέχεται στους πόρους και στις ρωγμές, με αποτέλεσμα οι πιέσεις να ασκούνται από το νερό (όχι άμεσα από τον πάγο). Το μέγεθος των πιέσεων εξαρτάται από την δυνατότητα διαφυγής του νερού μέσα στο υλικό.

Η θεωρία των Dunh και Hudec (1965) αποδίδει τις μηχανικές πιέσεις που ασκούνται στα τοιχώματα του υλικού, στην ύπαρξη και διαστολή υπόψυκτου νερού. Οι ίδιοι ανακάλυψαν ότι το νερό μέσα σε ένα πορώδες μέσο, δεν πήζει όλο στους 0 °C, αλλά ένα μέρος του παραμένει στην υγρή φάση και μάλιστα διατηρείται για καταστάσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών που φτάνουν μέχρι τους -40 °C.

Σύμφωνα με τη θεωρία του Taber οι μηχανικές πιέσεις ασκούνται από τους κρυστάλλους του πάγου, οι οποίοι αναπτύσσονται στους τριχοειδείς ή και στους μεγαλύτερους πόρους εις βάρος του νερού που έχει ροφηθεί σε αυτούς. Το νερό των τριχοειδών λειτουργεί σαν τροφοδότης του σχηματιζόμενου πάγου με αποτέλεσμα ο τελευταίος να αυξάνει συνεχώς την πίεση του.

Συνοψίζοντας τα σημαντικότερα σημεία σύγκλισης όλων των θεωριών, που έχουν προταθεί για τη διαβρωτική δράση του πάγου καταλήγουμε στα παρακάτω :

- Η ένταση της μηχανικής φθοράς που προκαλείται, είναι ανάλογη της περιεκτικότητας των πόρων του υλικού σε νερό.
- Η μηχανική φθορά γίνεται μεγαλύτερη όσο αυξάνεται ο ρυθμός ψύξης. Ένα υλικό μπορεί να ανταπεξέλθει σε αρκετούς κύκλους ψύξης-απόψυξης χωρίς φθορά, αν ο ρυθμός ψύξης είναι χαμηλός.
- Κλειστοί πόροι με αέρα αυξάνουν την αντοχή του στερεού, κάτι το οποίο ισχύει ιδιαίτερα στην περίπτωση του μπετόν και των κονιαμάτων
- Η μηχανική φθορά είναι μεγαλύτερη, όταν στους πόρους του υλικού περιέχεται διάλυμα αντί για καθαρό νερό. Κρίσιμη παράμετρος για την ένταση της φθοράς, είναι η συγκέντρωση του διαλυμένου σώματος και όχι η χημική του φύση. Για σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις της τάξης του 2-5% πραγματοποιούνται μεγάλης έκτασης φθορές.
- Υλικά με πολύ μεγάλο (τούβλο) ή πολύ μικρό (μάρμαρο) πορώδες επιδεικνύουν τις περισσότερες φορές καλή συμπεριφορά.

Στην περίπτωση των λίθων, η δράση του παγετού εκδηλώνεται είτε με τη μορφή απολέπισης των επιφανειακών στρωμάτων του υλικού, είτε με τη μορφή ρηγμάτωσης.

### ➤ Σεισμικές Δονήσεις

Στα ιστορικά κτήρια, σε αντίθεση με τα νεότερα που είναι σχεδιασμένα σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς, κυριαρχεί ο παράγοντας των υφιστάμενων βλαβών και της φθοράς των υλικών. Πιο συγκεκριμένα, κτήρια που έχουν υποστεί δομικές βλάβες είτε λόγω παρελθόντων σεισμικών δονήσεων είτε λόγω φθοράς των υλικών τους, θα υποστούν περαιτέρω ζημιές και



ίσως πλήρη κατάρρευση σε μικρότερες τιμές δυναμικών επιταχύνσεων από αυτές που μπορούν να αντέξουν καινούργια, ισχυρά και κατάλληλα σχεδιασμένα κτήρια.

#### ➤ Διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων

Στα περισσότερα μνημεία του ελλαδικού χώρου, για τη σύνδεση των διαφόρων αρχιτεκτονικών στοιχείων, έχουν χρησιμοποιηθεί μεταλλικοί σύνδεσμοι από χάλυβα, χαλκό ή ορείχαλκο βυθισμένοι σε μόλυβδο (μολυβδοχόηση) ή άλλοτε δοκοί ξύλου βυθισμένοι σε θειάφι ή πίσσα. Κατά τις αναστηλώσεις που ακολούθησαν χρησιμοποιήθηκε εκτός από τα παραπάνω υλικά και ανοξειδωτος χάλυβας βυθισμένος σε σκυρόδεμα ή κονία.

Τα προϊόντα της οξειδωσης, κυρίως οξειδία του σιδήρου ή ανθρακικά άλατα χαλκού, τα οποία δημιουργούνται στην επιφάνεια των συνδέσμων αυξάνουν σημαντικά τον όγκο του συστήματος μέταλλο – προϊόντα διάβρωσης. Τα νέα οξειδία σχηματίζονται πάντα στην εξωτερική επιφάνεια μέσω της διάχυσης των μεταλλοκατιόντων προς το διαβρωτικό περιβάλλον μέσα από το ήδη σχηματισμένο στρώμα των προϊόντων διάβρωσης. Η διόγκωση του εγκλιβωτισμένου συνδέσμου προκαλεί την ανάπτυξη ισχυρότατων τάσεων, που οδηγούν στη ρήξη του υλικού όταν υπερβούν την αντοχή του.

#### **B) Χημικοί Παράγοντες [3,4]**

Οι κυριότερες χημικές δράσεις οφείλονται σε εξωγενείς και ενδογενείς παράγοντες που είναι:

Η ατμοσφαιρική ρύπανση,

Η πυριτοαλκαλική προσβολή

Τα διαλυτά άλατα και το νερό

#### ➤ Ατμοσφαιρική ρύπανση

Τα μνημεία και τα κτήρια αρχιτεκτονικής αξίας, που είναι εκτεθειμένα για αιώνες στη δράση της ατμόσφαιρας, παρουσίαζαν μέχρι πριν από μερικές δεκαετίες πολύ αργό ρυθμό φθοράς. Κατά τον εικοστό όμως αιώνα η επιβάρυνση των αστικών κέντρων (μεγάλη αύξηση του αριθμού των αυτοκινήτων, συσσώρευση βιομηχανιών) είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των τοπικών επιπέδων ρύπανσης, προκαλώντας την επιτάχυνση της φθοράς των μνημείων και την δημιουργία νέων μορφών και μηχανισμών φθοράς.

Η ατμόσφαιρα και συγκεκριμένα ο ξηρός αέρας, αποτελείται κυρίως από άζωτο (78.09%), οξυγόνο (20.94%) και αργό (0.93%). Το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το πιο σημαντικό δευτερεύον συστατικό και περιέχεται σε ποσότητα (320ppm) ενώ σε ίχνη περιέχονται τα ευγενή αέρια νέο (18ppm), ήλιο (5.2ppm), κρυπτό (1ppm) και ξένο (0.08ppm). Τέλος σε ίχνη περιέχονται και αέρια όπως N<sub>2</sub>O, CO, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, καθώς και διάφοροι υδρογονάνθρακες. Πολλές από τις ενώσεις που συνήθως θεωρούνται ρυπαντές είναι παρούσες και στον “καθαρό” αέρα με αποτέλεσμα να επιβάλλεται η διευκρίνιση πως με τον όρο ρυπαντή –τουλάχιστον στο πεδίο της διάβρωσης των υλικών- θεωρείται κάθε συστατικό που προκαλεί σοβαρή φθορά στα μνημεία ανεξάρτητα από την προέλευσή τους (φυσική διεργασία ή ανθρώπινη δραστηριότητα).

Οι κύριες πηγές των ρυπαντών είναι:

- Οι βιομηχανίες, που ανήκουν στην κατηγορία των σταθερών πηγών ρύπανσης
- Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής (σταθερές πηγές)
- Η κεντρική θέρμανση (οικιακή πηγή)
- Τα αυτοκίνητα και τα αεροπλάνα (κινητές πηγές)
- Η μεταφερόμενη ρύπανση, από άλλες πόλεις ή χώρες

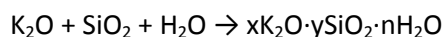
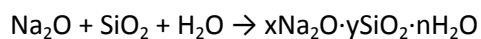
Οι ατμοσφαιρικοί διαβρωτικοί παράγοντες, είναι κυρίως οι αέριοι ρυπαντές και τα αερολύματα, των οποίων η δράση ενισχύεται με την παρουσία νερού στην αέρια ή την υγρή μορφή του. Για αρκετούς από τους αέριους ρυπαντές δεν έχει προσδιοριστεί ο μηχανισμός και η ένταση των φαινομένων διάβρωσης που προκαλούν στις επιφάνειες των υλικών (π.χ. φθόριο και υδροφθόριο) ενώ για κάποιους άλλους έχει παρατηρηθεί ότι ο ρόλος τους είναι έμμεσος στις διαδικασίες διάβρωσης, κυρίως μέσω της συμμετοχής τους σε αντιδράσεις οξειδωσης άλλων ρυπαντών (π.χ. το όζον είναι σπουδαίος οξειδωτικός παράγοντας και συμμετέχει στην οξειδωση του SO<sub>2</sub>).

#### ➤ Πυριτοαλκαλική προσβολή

Ο τύπος αυτός φθοράς, αν και εντάσσεται στην κατηγορία των χημικών αιτιών αποτελεί αποτέλεσμα συνεργασίας χημικών (χημικές αντιδράσεις) και μηχανικών (πιέσεις) παραγόντων οι οποίοι εκδηλώνονται παρουσία της διαβρωτικής δράσης του νερού.

Τα οξείδια του νατρίου (Na<sub>2</sub>O) και καλίου (K<sub>2</sub>O) που περιέχονται στα υδραυλικά, τσιμεντιτικά κονιάματα και το οξείδιο του πυριτίου SiO<sub>2</sub> που βρίσκεται στα αδρανή και τα λιθοσώματα της τοιχοποιίας, αντιδρούν σχηματίζοντας ενώσεις με μεγαλύτερο όγκο μέσα στους πόρους του υλικού. Οι ενώσεις αυτές με την σειρά τους και εξαιτίας του αυξημένου όγκου τους, ασκούν πιέσεις στα τοιχώματα των πόρων, με αποτέλεσμα τη ρηγμάτωση του υλικού.

Οι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται είναι:



#### ➤ Νερό και ο ρόλος του

Το νερό αποτελεί έναν σημαντικό διαβρωτικό παράγοντα, τόσο για τα παραδοσιακά (πέτρα, μάρμαρο) όσο και για τα σύγχρονα υλικά (σκυρόδεμα), καθώς η παρουσία και συμμετοχή του (με άμεσο ή έμμεσο τρόπο) σε χαρακτηριστικά φαινόμενα ενισχύει την δράση τόσο των μηχανικών όσο και των χημικών και βιολογικών αιτιών. Η διαβρωτική του δράση είναι έντονη και στις τρεις φυσικές του καταστάσεις (πάγος, υγρό, ατμός).

Συγκεκριμένα, το νερό:

- ελέγχει τη μεταφορά, την κρυστάλλωση, την ανακρυστάλλωση και ενυδάτωση των αλάτων στα πορώδη υλικά, ενώ παράλληλα ευθύνεται και για την ανάπτυξη ισχυρών οσμωτικών πιέσεων, όταν υπάρχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις
- μεταφέρει του αέριους ρύπους με τη βροχή ή με τη συμπύκνωση, οι οποίοι σχηματίζουν όξινα διαλύματα ιδιαίτερα επικίνδυνα για τις πέτρες ανθρακικής σύστασης
- ευνοεί πολλές αντιδράσεις στην επιφάνεια και στο εσωτερικό των υλικών, που μπορούν να συμβούν μόνο με την παρουσία νερού
- προκαλεί μηχανική φθορά όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από 0° C, ένα φαινόμενο αρκετά πολύπλοκο και ιδιαίτερα σοβαρό που ενισχύεται όσο η συχνότητα των κύκλων αυξάνει
- τροφοδοτεί το σύνολο των βιολογικών δράσεων, οι οποίες συμβαίνουν μόνο παρουσία υγρασίας
- μπορεί να προκαλέσει φθορά από ισχυρές καταιγίδες και χαλαζοπτώσεις

Το νερό μπορεί να προσβάλλει τα υλικά μέσω των παρακάτω τρόπων:

Μέσω ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (νερό της βροχής), η χημική σύσταση των οποίων συνδέεται άμεσα με την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Η διαβρωτική, κυρίως διαλυτική δράση του νερού της βροχής, οφείλεται στα διάφορα ιόντα που διαλύει, αποπλύνοντας τα ατμοσφαιρικά

σωματίδια (όξινη βροχή). Ο μηχανισμός της εισχώρησης του στα κήρια εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής, από την κατάσταση της επιφάνειας, καθώς και από την ένταση της βροχής και από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (διεύθυνση και ένταση των ανέμων)  
Με τριχοειδή αναρρίχηση από το έδαφος (υπόγεια νερά) όπου το νερό ανέρχεται αυθόρμητα μέσα στους πολύ μικρούς πόρους (τριχοειδή αγγεία), αν οι δυνάμεις έλξης προς τα τοιχώματά τους είναι ισχυρότερες από αυτές μεταξύ των μορίων του νερού.

Με συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας, όπου με τις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές, είναι δυνατόν να αποτεθούν σημαντικές ποσότητες νερού στην επιφάνεια και στο εσωτερικό των υλικών, εφόσον η ατμόσφαιρα περιέχει σχετικά μεγάλο ποσοστό υγρασίας. Το φαινόμενο εκδηλώνεται όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού πέφτει κάτω από το σημείο δρόσου των ατμών κοντά στην επιφάνεια.

Με απευθείας μεταφορά σταγονιδίων από τη θάλασσα, όπου τα σταγονίδια μπορούν να φθάσουν στα διάφορα σημεία ενός κτηρίου, άλλοτε άμεσα μέσω του αφρισμού και άλλοτε με τη βοήθεια του ανέμου σε απόσταση μερικών μέτρων έως και χιλιομέτρων από τη θάλασσα, ανάλογα με τη διεύθυνση /ένταση των ανέμων, καθώς και την μορφολογία της επιφάνειας. Το χαρακτηριστικό του θαλασσινού νερού είναι η υψηλή περιεκτικότητά του σε άλατα και κυρίως σε NaCl.

### **Γ) Βιολογικοί Παράγοντες [3,4,7,10]**

Πλήθος λίθινων μνημείων βρίσκονται εκτεθειμένα σε φυσικές αλλά και ανθρωπογενείς πηγές κινδύνου για χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα των 10.000 ετών, χωρίς να επέρχεται η ολική φθορά ή καταστροφή τους. Ωστόσο, ένα μεγάλο ποσοστό του ορυκτού φυσικού πλούτου που υφίσταται σοβαρές ζημιές ή ακόμα και ολική καταστροφή μέσα σε λίγες δεκαετίες. Είναι αρκετοί οι παράγοντες που επηρεάζουν αυτή τη γενική κατάσταση. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι οι επιβλαβείς μικροοργανισμοί, που συχνά αντιδρούν σποραδικά με τις επιφάνειες των λίθινων κατασκευών. Τα μικρόβια αυτά συνήθως είναι διαφόρων μεταβολικών τύπων, δηλαδή είναι ποικιλότροφοι οργανισμοί οι οποίοι είναι ικανοί να σχηματίσουν αυτορυθμιζόμενες μονάδες οι οποίες εγκαθίστανται στις επιφάνειες αλλά και σε ενδότερα στρώματα των λίθων και μένουν εκεί συντηρώντας μία κατάσταση για χρόνια ή ακόμα και αιώνες. Με τον τρόπο αυτό, οι μικροοργανισμοί μπορούν να επιφέρουν πολλών ειδών φυσικοχημικές αλλαγές στα υλικά που προσβάλλουν ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξής τους. Έπειτα από την επιζήμια εκκίνηση της ανάπτυξης, η σχηματιζόμενη μικροχλωρίδα μπορεί να πάρει τη μορφή βιοφίλμ, το οποίο είναι δυνατόν να συνεχίσει να ζει σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα μεταβολικής δραστηριότητας. Έτσι, οι φυσικές, χημικές και βιολογικές διαδικασίες φθοράς είναι δυνατόν να συγκαλύπτονται για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Η φθορά ενός υλικού από τους βιολογικούς παράγοντες, οφείλεται στη δραστηριότητα, συνύπαρξη και διαδοχή πολλών και διαφορετικών ομάδων οργανισμών. Οι κύριοι παράγοντες βιοδιάβρωσης στους λίθους είναι οι μύκητες, οι λειχήνες, τα άλγη και τα βακτήρια, στην πλειονότητα δε των περιπτώσεων τα φαινόμενα φθοράς οφείλονται στη συνεργιστική δράση αυτών.

Γενικά οι λιθόβιοι οργανισμοί, ανάλογα με τη θέση τους στο υπόστρωμα κατατάσσονται σε :

- Επιλιθικούς, που εντοπίζονται στην εξωτερική επιφάνεια της πέτρας και
- Ενδολιθικούς, που εντοπίζονται στο εσωτερικό της πέτρας. Αυτοί διακρίνονται περαιτέρω σε χασμοενδολιθικούς (εντοπισμός σε σχισμές), κρυπτοενδολιθικούς (σε σχισμές απομονωμένες από το εξωτερικό περιβάλλον) και ευενδολιθικούς, η διείσδυση των οποίων γίνεται με χημική δράση και εντοπίζεται αποκλειστικά σε ασβεστολιθικά πετρώματα.

Οι μικροοργανισμοί, η χλωρίδα και η πανίδα μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένες φθορές χημικής ή μηχανικής φύσης στα υλικά μιας κατασκευής. Στην περίπτωση ανώτερης χλωρίδας και πανίδας, οι δύο φύσεις της διάβρωσης συνυπάρχουν, σε αντίθεση με τα είδη της κατώτερης ζωής, που συμβάλλουν στη διάβρωση μόνο μέσω των βιοχημικών δράσεων.

Ειδικότερα, η μηχανική φθορά προκαλείται λόγω πιέσεων που ασκούν οι θαλλοί των λειχήνων στο υπόστρωμα εξαιτίας συστολών και διαστολών τους ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, (ξηρασία, υγρασία, θερμοκρασιακή διακύμανση) κατόπιν απορρόφησης νερού (επέκταση και συρρίκνωση). Με αυτό τον τρόπο μικροσκοπικά τμήματα ή κρύσταλλοι του πετρώματος αποσπώνται από αυτό και ενσωματώνονται στο λειχήνα, ενώ κατά τη μικροσκοπική παρατήρηση επιδεικνύουν συνήθως έντονη κατάτμηση. Οι λειχήνες επίσης κατακρατούν υγρασία και επιβραδύνουν την αποστράγγιση των επιφανειών, με συνέπεια το πρόβλημα της διάβρωσης να είναι εντονότερο σε περιοχές με αυξημένες τιμές υγρασίας.

Η διάβρωση λόγω χημικών διεργασιών θεωρείται σημαντικότερη και περιλαμβάνει τις εξής 3 περιπτώσεις:

α) την παραγωγή ανθρακικού οξέος,

β) την έκκριση οξαλικού οξέος και

γ) την παραγωγή υδατοδιαλυτών λειχηνικών ενώσεων που έχουν τη δυνατότητα να σχηματίζουν ευδιάλυτα μεταλλικά σύμπλοκα.

Γενικά τα φαινόμενα της φθοράς που σχετίζονται με τη δράση των μικροοργανισμών συχνά υποτιμούνται σε σχέση με αποτελέσματα άλλων παραγόντων π.χ. της άμεσης χημικής διάβρωσης, ωστόσο μπορούν να ενταθούν με την παρουσία οργανικών οξέων και διοξειδίου του άνθρακα.

#### Παράγοντες που επηρεάζουν τη βιοδιάβρωση και επιπτώσεις τους στα δομικά υλικά:

Ο όρος βιοδεκτικότητα μπορεί να ορισθεί ως η ικανότητα του υλικού, να αποικηθεί από ένα ή περισσότερους ζωντανούς οργανισμούς χωρίς απαραίτητα να υποστεί βιοδιάβρωση. Μπορεί να ορισθεί επίσης ως το σύνολο των ιδιοτήτων του υλικού που συνεισφέρουν στην εγκατάσταση και την ανάπτυξη της χλωρίδας. Η βιοδεκτικότητα εκφράζει την δυνατότητα αποικισμού όπως καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του υλικού. Ο συνδυασμός αυτής της δυνατότητας και κάποιων περιβαλλοντικών συνθηκών, είναι αυτό που επιτρέπει τον αποικισμό. Επίσης, ο δείκτης βιοδεκτικότητας ενός υλικού, μπορεί να δώσει πληροφορίες για την επικινδυνότητα του αποικισμού και να βοηθήσει στην επιλογή διαφορετικών υλικών ή διαφορετικών χρήσεων του ίδιου υλικού, ανάλογα με το αν ο αποικισμός είναι επιθυμητός ή όχι.

Η βιοδιάβρωση των μνημείων επηρεάζεται από παράγοντες όπως τα πετρογραφικά και τα χημικά χαρακτηριστικά των υλικών της πέτρας, τα μεταλλικά άλατα και οι οργανικές ουσίες των επιφανειών τους, η ατμοσφαιρική μόλυνση, το ηλιακό φως καθώς και η θερμότητα και το νερό που περιέχεται στο υπόστρωμα τους. Η βιοδιάβρωση στο αστικό κλίμα επηρεάζεται από το βιοκλίμα, που έχει σχέση με τη διακύμανση των βροχοπτώσεων και της θερμοκρασίας, και από το ρυθμό της ατμοσφαιρικής μόλυνσης. Επιπλέον, η διάλυση και ο ανασχηματισμός των ορυκτών που προκαλείται από μικροβιακές δράσεις είναι μακροπρόθεσμα πολύ σημαντικός παράγοντας επιρροής στη σταθεροποίηση και αποσταθεροποίηση των επιφανειών της φυσικής κληρονομιάς. Γενικότερα, η ανάπτυξη των μικροαποικιών που προσβάλλουν ένα μνημείο αλλά και το είδος και η ένταση της φθοράς που προκαλούν, συνδέονται άμεσα με τις περιβαλλοντικές παραμέτρους της περιοχής που εντοπίζεται το μνημείο και είναι οι παρακάτω:

- **Το φως**, το οποίο λειτουργεί ως πηγή πρωτογενούς ενεργειακής τροφοδοσίας. Οι κρίσιμες χαρακτηριστικές παράμετροι της ακτινοβολίας που επηρεάζουν την ανάπτυξη των βιολογικών παραγόντων φθοράς, είναι η ποιότητα (απόχρωση), η ένταση και η διάρκειά της. Όσον αφορά στους φωτοαυτότροφους μικροοργανισμούς όπως είναι τα βακτήρια, τα άλγη και οι λειχήνες, η ανάπτυξή τους ευνοείται σε συνθήκες υψηλού φωτισμού.
- **Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες**, στους οποίους περιλαμβάνονται όλοι οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζουν την βιολογική δραστηριότητα και αυτοί είναι:
  - η εποχιακή, ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας
  - το ύψος, η ένταση και η διάρκεια των βροχοπτώσεων
  - η ταχύτητα του ανέμου
  - τα ποσοστά υγρασίας
- **Η ρύπανση της ατμόσφαιρας**, μέσω των αέριων ρύπων ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ), ο ρόλος των οποίων δεν είναι απόλυτος. Γενικά, αύξηση των συγκεντρώσεων του  $\text{CO}_2$  ή των ενώσεων του αζώτου και του θείου έχει παρατηρηθεί ότι ευνοεί την ανάπτυξη φωτοσυνθετικών οργανισμών. Σε γενικές γραμμές, οι επιπτώσεις παραγόντων που σχετίζονται με την ατμοσφαιρική ρύπανση, μπορεί να έχουν ερμηνευτεί λάθος. Η όξινη βροχή και η επίδραση των αποθέσεων σκόνης και στάχτης έχουν θεωρηθεί ως οι πιο καταστροφικοί παράγοντες για τη φυσική μας κληρονομιά, ενώ η βιογενής σύνθεση του ανθρακικού οξέως σε κλειστά δωμάτια και σπηλιές, καθώς και ο ρόλος των οργανικών ρυπαντών που επικαθονται στις επιφάνειες, έχουν υποεκτιμηθεί. Κάποιοι συγγραφείς θεωρούν την όξινη βροχή σαν τη πιο επικίνδυνη επιρροή στους λίθους. Παραμένει αμφίβολο το αν η επιτάχυνση και η επιβράδυνση της βιοδιάβρωσης ελέγχεται κυρίως από χημικές διαδικασίες, ή από βιολογικά εισαγόμενα και ελεγχόμενα φυσικά ή μηχανικά φαινόμενα.  
 Η ρύπανση προκαλεί φαινόμενα όπως είναι η διάλυση της πέτρας, η θείωση, και ο σχηματισμός μαύρων κρουστών. Οι αέριοι ρυπαντές, επίσης προκαλούν την εξαφάνιση των πιο ευαίσθητων ειδών, όπως είναι οι λειχήνες και μειώνουν τη ποικιλία της χλωρίδας. Υπάρχουν πάντως κάποια επίμονα είδη, όπως άλγη, κυανοβακτήρια, μύκητες και κάποιες λειχήνες, τα οποία μπορούν να επιβιώσουν σε περιοχές όπου οι τιμές της υγρασίας είναι ψηλές. Η μείωση των βροχοπτώσεων και της υγρασίας φαίνεται να είναι αρνητικός παράγοντας για τη βιοδιάβρωση. Ο ρόλος του νερού, που είναι συστατικό της πέτρας, ως κύριος περιοριστικός παράγοντας είναι γεγονός, γιατί όπου υπάρχουν δέντρα τα οποία σταματούν τη βροχή δεν υπάρχει βλάστηση. Κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο δεν μπορεί να υπάρξει βιολογική ανάπτυξη. Το όριο αυτό δεν σχετίζεται μόνο με τη φυσιολογία και την οικολογία των ειδών, αλλά και το πορώδες και την ικανότητα του πετρώματος να απορροφά το νερό.
- **Οι θρεπτικοί παράγοντες**, οι οποίοι διακρίνονται σε εκείνους που προέρχονται από την ορυκτολογική σύνθεση του υλικού, καθώς και στις ανόργανες και οργανικές επικαθήσεις της εξωτερικής του επιφάνειας. Οι τελευταίες αυτές επικαθήσεις μπορούν να προέρχονται είτε από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα, είτε από προϊόντα προηγούμενων κατεργασιών (π.χ. κηροί, έλαια, καζεΐνη).

Η βιολογική φθορά των υλικών, περιλαμβάνει φυσικές και χημικές διεργασίες. Στις φυσικές διεργασίες, ανήκει κυρίως η μηχανική ρηγμάτωση, που προκαλείται από τις πιέσεις που ασκεί κατά την ανάπτυξή του ο οργανισμός, ολόκληρος, ή κάποια τμήματά του π.χ. οι ρίζες του. Το φαινόμενο αυτό, μπορεί να περιορίζεται στην επιφάνεια του υλικού, ή να εκδηλώνεται και στο εσωτερικό του οπότε και η δράση του γίνεται πιο καταστροφική. Οι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στο εσωτερικό των υλικών, δημιουργούν ένα διάτρητο ανάγλυφο, καθιστώντας με τον τρόπο αυτό πιο ευάλωτο το υλικό στους υπόλοιπους παράγοντες φθοράς (π.χ. χημική προσβολή, δράση αλάτων κ.α.). Η παρουσία τους αποτελεί ακόμη κρίσιμο παράγοντα φθοράς, μέσω της συγκράτησης σημαντικών ποσοτήτων νερού οπότε και δημιουργούνται οι συνθήκες για καταστροφή από κύκλους παγετού.

Οι χημικές διεργασίες της βιολογικής φθοράς πραγματοποιούνται κύρια μέσω της δράσης των προϊόντων του μεταβολισμού και μπορεί να είναι:

- Παραγωγή οργανικών ή/και ανόργανων ουσιών
- Παραγωγή ουσιών που έχουν την ιδιότητα να σχηματίζουν σύμπλοκα με τα κατιόντα του υποστρώματος.

## 2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 2.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ [3,4,7,8,11,12]

Η πολυπλοκότητα του συστήματος περιβάλλοντος – υλικού και οι διάφορες παράμετροι του συστήματος που πρέπει να ληφθούν υπόψη καθιστούν δύσκολο τον προσδιορισμό ενός γενικευμένου τρόπου διάγνωσης της φθοράς. Έτσι, κάθε συγκεκριμένη περίπτωση πρέπει να μελετάται στην κατεύθυνση της αποκάλυψης του μηχανισμού που επιδρά κάθε φορά σε επίπεδο μακροκλίματος (μορφολογία διάβρωσης) και μικροκλίματος (ταχύτητα και πιθανότητα διάβρωσης). Αυτός ο ιδιαίτερα τόπο-χρονικός και τόπο-χημικός χαρακτήρας της διάβρωσης δυσχεραίνει πολύ ακόμα και τη σύγκριση φαινομενικά παρόμοιων περιπτώσεων διάβρωσης.

Κατά την εφαρμογή των εργασιών συντήρησης σε ένα μνημείο, αυτό πρέπει να αντιμετωπίζεται με σεβασμό και πρέπει να τίθεται ως στόχος η επανένταξή του με κάποια λειτουργική χρήση που δεν θα αλλοιώνει τις αξίες του και ούτε θα εμπεριέχει κινδύνους για την περαιτέρω φθορά του. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν πρόκειται για την εφαρμογή μη αναστρέψιμης επέμβασης, όπου πάντα πρέπει να προηγείται μελέτη και πιλοτική επέμβαση.

Βασική προϋπόθεση κάθε επέμβασης σε αρχιτεκτονικό μνημείο είναι η κατανόησή του σε βάθος, που συνίσταται αφενός σε ένα σύστημα γνώσεων και αφετέρου στην ερευνά.

Τα αντικείμενα μελέτης για την απόκτηση δεδομένων και τον καθορισμό προδιαγραφών για τη συντήρηση ενός μνημείου είναι:

1. Ιστορικό (ηλικία, δομικά υλικά, προηγούμενες αποκαταστάσεις, αναστηλώσεις)
2. Παρούσα κατάσταση
  - Σχέδια, Μετρήσεις, Φωτογραφίες
  - Αρχιτεκτονική χαρτογράφηση
  - Πετρογραφική ανάλυση
  - Φυσικοχημικές ιδιότητες υλικών
  - Βιολογική χαρτογράφηση
  - Ανάλυση κονιαμάτων
  - Στατικά
  - Περιβαλλοντικά δεδομένα
    - α) Μακροκλίμα (Τ °C, υγρασία, ρυπαντές)
    - β) Μικροκλίμα (τοπικά ή μέσα στο μνημείο)
3. Συντήρηση
  - A. Δομική Συντήρηση (αποκατάσταση στατικής ευστάθειας)
    - Μέταλλα (μηχανική αντοχή, αντοχή στη διάβρωση, συντελεστής θερμικής διαστολής).
    - Κονιάματα, τσιμέντα, σκυρόδεμα, ενέματα, πετρώματα (μηχανική αντοχή, αντοχή στη διάβρωση, συντελεστής θερμικής διαστολής, επίδραση των κονιαμάτων σε μέταλλα και δομικά πετρώματα).

## B. Συντήρηση επιφάνειας

- Μετρήσεις (ταχύτητα φθοράς, τριχοειδής αναρρίχηση, απορρόφηση νερού, πορώδες, κατανομή πόρων, ηλεκτρική αγωγιμότητα, συντελεστής θερμικής διαστολής των πετρωμάτων).
- Μηχανισμοί φθοράς.
- Εργαστηριακές μετρήσεις και επί τόπου δοκιμές επιλεγμένων ή προτεινόμενων μεθόδων και υλικών.

Σήμερα, πριν από οποιαδήποτε επέμβαση σε ένα μνημείο, λαμβάνεται υπόψη το θεσμικό πλαίσιο που προσδιορίζει, με τα αντίστοιχα όργανα του Υπουργείου Πολιτισμού, τον τρόπο που γίνονται οι μελέτες επεμβάσεων και η υλοποίησή τους. Τοιουτοτρόπως, τηρουμένης της νομοθεσίας και των διεθνών αρχών για την προστασία των μνημείων, αποτρέπεται ή ελαχιστοποιείται η πιθανότητα μιας άστοχης και ίσως επιζήμιας, μακροπρόθεσμα, εφαρμογής.

### 2.1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ [3,4,7,8,11]

Για την ολοκλήρωση μιας μελέτης συντήρησης, απαιτείται μια ολοκληρωμένη μεθοδολογία διάγνωσης της φθοράς των υλικών, που θέτει τους ακόλουθους στόχους:

- ✓ Να προβλεφθεί η συμπεριφορά των υλικών ως προς συγκεκριμένο διαβρωτικό περιβάλλον.
- ✓ Να προβλεφθεί το είδος της διάβρωσης που πρόκειται να παρουσιαστεί.
- ✓ Να διαγνωστεί το είδος και να προβλεφθεί η εξέλιξη της διάβρωσης, που έχει αρχίσει.
- ✓ Να βρεθεί η ταχύτερη ή και εντονότερη περίπτωση διάβρωσης καθώς και τα αίτιά της.
- ✓ Να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητα των μεθόδων προστασίας.

Η πορεία της διαγνωστικής μελέτης (ως προς τα δομικά υλικά και τα αίτια, τους μηχανισμούς, τα φαινόμενα και τα προϊόντα διάβρωσης) περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

#### 1. Ιστορικό - προγενέστερες επεμβάσεις (ιστορική τεκμηρίωση)

Η μελέτη των ιστορικών αρχείων και η σύγκριση παλαιότερων φωτογραφιών με νεότερες προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες τόσο για την προέλευση των υλικών όσο και για τυχόν προγενέστερες επεμβάσεις. Η γνώση των μνημείων και του είδους των επεμβάσεων που έγιναν παλαιότερα αποτελούν στοιχεία απαραίτητα, που συμπληρώνουν και πολλές, φορές εξηγούν τη σημερινή εικόνα του μνημείου, γι' αυτό και η τήρηση λεπτομερών αρχείων κάθε επέμβασης, μπορεί να βοηθήσει καθοριστικά τον επόμενο μελετητή ή συντηρητή.

#### 2. Μελέτη των χαρακτηριστικών των δομικών υλικών και έρευνα για την προέλευση τους (ταυτοποίηση)

Η μελέτη των χαρακτηριστικών των υλικών προϋποθέτει δειγματοληψία από υγιές (αδιάβρωτο) μέρος του υλικού στο μνημείο. Επιπλέον, η δειγματοληψία πρέπει να καλύπτει όλα τα είδη των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στην αρχική κατασκευή όσο και στις μεταγενέστερες επεμβάσεις. Η εξέταση των δειγμάτων με τις μεθόδους που αναφέρονται στη συνέχεια οδηγεί στην αποκάλυψη των χαρακτηριστικών των υλικών δομής και μέσω αυτών στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την προέλευση τους (περιοχή, λατομείο):

- Πετρογραφική μελέτη με εξέταση λεπτών τομών στο πολωτικό μικροσκόπιο
- Ορυκτολογική μελέτη με τη μέθοδο της περίθλασης ακτινών Χ. Η τεχνική αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τον εντοπισμό αργίλων, ορυκτών ευαίσθητων στους παράγοντες



διάβρωσης.

- Μελέτη της χημικής σύστασης. Συμπληρώνει την εικόνα (ταυτότητα) του δομικού υλικού, και ανάλογα με το σημείο που θέλουμε να διερευνήσουμε χρησιμοποιούμε την κατάλληλη μέθοδο ή συνδυασμό μεθόδων (μικροανάλυση ατομική απορρόφηση, διαφορική θερμική ανάλυση).
- Μελέτη των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών, όπως είναι το πορώδες, το μέσο μέγεθος πόρων, η κατανομή πορώδους, η διαπερατότητα σε νερό και ατμούς, συντελεστής κορεσμού, και υδαταπορόφησης, τα μηχανικά χαρακτηριστικά κ.α. Οι μετρήσεις αυτές γίνονται επί δοκιμίων που προέρχονται από το λατομείο, αφού έχει συμπληρωθεί, ήδη η αναγνώριση της προέλευσης του δομικού υλικού.

### **3. Επί τόπου παρατηρήσεις και μετρήσεις**

- Τεκμηρίωση της κατάστασης. Κατά το στάδιο αυτό συλλέγονται και ταξινομούνται στοιχεία, κατά το δυνατόν λεπτομερή σχετικά με τη σοβαρότητα της φθοράς (φωτογραφική, φωτογραμμετρική, σχεδιαστική αποτύπωση προϋποτίθεται).
- Μακροσκοπικές παρατηρήσεις (τυπολογία των φαινομένων διάβρωσης). Επιχειρείται η περιγραφή και καταγραφή των διαφόρων μορφών φθοράς, και η συσχέτιση τους με παράγοντες όπως το μικροκλίμα.
- Επιτόπου μετρήσεις στο μνημείο και στο άμεσο περιβάλλον. Το στάδιο περιλαμβάνει την εφαρμογή μη καταστρεπτικών τεχνικών στα πλαίσια της εξέτασης της μορφολογίας των επιφανειών (υφή, χρώμα), της μικροδομής των υλικών και της κατανομή της υγρασίας, καθώς και ελέγχων για παρουσία ρύπων στην ατμόσφαιρα, για τυχόν ύπαρξη υπογείων νερών κ.λ.π. Ακόμα, συλλογή στοιχείων σχετικά με τα υδροθερμικά και γενικά τα κλιματικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής. Αν κριθεί αναγκαίο, ορισμένοι από τους προηγούμενους παράγοντες είναι δυνατόν να παρακολουθούνται μόνιμα, στο άμεσο περιβάλλον του μνημείου.

### **4. Μελέτη στο εργαστήριο δειγμάτων από διαβρωμένο μέρος υλικού του μνημείου**

Προϋποθέτει συστηματική δειγματοληψία από τα διαβρωμένα εξωτερικά τμήματα του υλικού και με τρόπο ώστε να καλύπτει όλες τις μορφές διάβρωσης που κατεγράφησαν κατά το προηγούμενο στάδιο. Η μελέτη των δειγμάτων γίνεται με τις ίδιες μεθόδους που αναφέρθηκαν στο δεύτερο στάδιο. Τα αποτελέσματα αυτής της εξέτασης συγκρινόμενα με τα αντίστοιχα από τη μελέτη δειγμάτων υγιούς πέτρας οδηγούν σε συμπεράσματα σχετικά με:

- το είδος και το βαθμό διάβρωσης
- την κατάσταση των προϊόντων διάβρωσης
- τη φυσική κατάσταση της διαβρωμένης πέτρας
- τα αίτια

### **5. Αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα δομικά υλικά και τις επιφάνειες**

Σε δεύτερο επίπεδο, γίνεται προσπάθεια να συσχετισθούν τα αποτελέσματα που προκύπτουν τόσο με τις πραγματικές επιφάνειες του μνημείου, όσο και με τους παράγοντες που συνθέτουν το μικροκλίμα της κάθε θέσης (προσανατολισμός επιφάνειας, ύψος, έκθεση στη βροχή, στους ανέμους κ.λ.π.) και το είδος του υλικού.

- Χαρτογράφηση της φθοράς
- Συσχέτιση των δεδομένων του περιβάλλοντος και της φθοράς των υλικών

## 6. Διατύπωση υποθέσεων για τα αίτια και το μηχανισμό της διάβρωσης

### 7. Παραμετρική ανάλυση

Οι φυσικές ή/και χημικές δράσεις που πραγματοποιούνται αυθόρμητα στη φύση είναι αργές. Γι' αυτό είναι σημαντικό να επιταχυνθούν οι δράσεις αυτές στο εργαστήριο (τεχνητή γήρανση), ώστε σε εύλογο χρονικό διάστημα να αποκαλυφθεί ο μηχανισμός της κάθε μιας, αλλιώς θα χρειαζόνταν χρόνια για να παρακολουθήσουμε τη χρονική τους εξέλιξη, απαραίτητη προϋπόθεση για την αποκάλυψη μηχανισμού τους. Θα πρέπει, όμως, να καθοριστούν με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια οι συνθήκες και η ένταση αυτής της επιτάχυνσης, ώστε να αποκτηθούν ακριβή, αναπαραγωγίσιμα και συγκρίσιμα αποτελέσματα, που να βρίσκονται κοντά στην πραγματικότητα. Κάποιες γενικές οδηγίες είναι:

- Η εντατικοποίηση των συνθηκών δεν πρέπει να αλλάζει το μηχανισμό φθοράς.
- Η εντατικοποίηση των συνθηκών δεν πρέπει να αλλάζουν τα προϊόντα του της φθοράς.
- Θα πρέπει τα διαφορετικής αντοχή στη διάβρωση υλικά, να διατηρούν αυτή τη διαφορά και στις συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης.

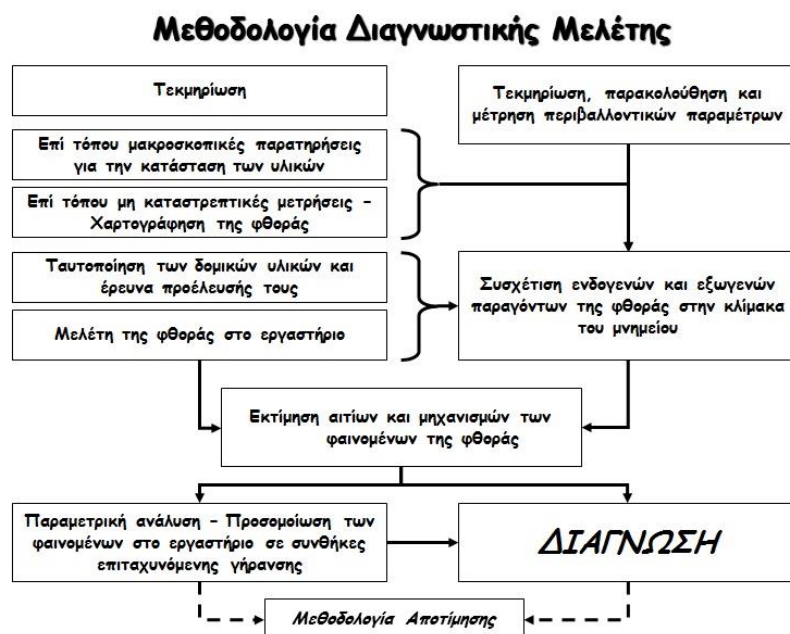
Γενικά, η πορεία της παραμετρικής ανάλυσης είναι :

- Προσομοίωση συνθηκών στο εργαστήριο
- Υποβολή δοκιμών φυσικής πέτρας σε δοκιμές τεχνητής επιταχυνόμενης γήρανσης (ASTM).
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα αναμενόμενα από την υπόθεση του σταδίου 5.

### 8. Συμπεράσματα

Κατά το στάδιο αυτό ελέγχεται η δυνατότητα μοντελοποίησης και μαθηματικής αναπαράστασης του μηχανισμού φθοράς. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα της διάγνωσης ελέγχονται και επιβεβαιώνονται από τα αποτελέσματα της έρευνας για την προστασία των υλικών από το συγκεκριμένο μηχανισμό διάβρωσης.

Η παραπάνω μεθοδολογία διάγνωσης δίνεται συνοπτικά στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 2.1.2.1 Μεθοδολογία Διάγνωσης [4]

### ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ [3,4,7,11,13]

Σήμερα, η επιλογή μιας μεθόδου διάγνωσης δεν προϋποθέτει μονάχα ικανοποιητική ακρίβεια και επαναληψιμότητα, αλλά πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και τα εξής κριτήρια:

- ✓ Ταχύτητα εκτέλεσης
- ✓ Χρήση σχετικά απλών αντιδραστηρίων και συσκευών
- ✓ Κόστος ανάλυσης
- ✓ Η φιλικότητα της ανάλυσης προς το περιβάλλον
- ✓ Απαίτηση μικρής ποσότητας δείγματος
- ✓ Χαμηλό όριο ανίχνευσης
- ✓ Χρόνος ανάλυσης
- ✓ Δυνατότητα χρήσης από μη εξαιρετικά εξειδικευμένο προσωπικό
- ✓ Δυνατότητα αξιόπιστης καταγραφής του αποτελέσματος της μεθόδου
- ✓ Δυνατότητα αυτοματισμού της μεθόδου
- ✓ Δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των δράσεων

Οι απαιτούμενες ενέργειες, από τη δειγματοληψία μέχρι την απόκτηση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας ανάλυσης, συνθέτουν την “στρατηγική της ανάλυσης”. Το πρώτο βήμα για το σχεδιασμό της στρατηγικής είναι η σαφής διατύπωση του προβλήματος. Σε αυτή πρέπει να εμπεριέχονται τα εξής: ο χαρακτηρισμός του αντικειμένου της μελέτης, ο καθορισμός των προς ανάλυση ουσιών, η οριοθέτηση των περιοχών συγκέντρωσης στο δεδομένο μητρικό υλικό και ο τρόπος δειγματοληψίας ανάλογα με το υλικό και την μέθοδο ανάλυσης.

Ακολουθεί η προετοιμασία των δειγμάτων, με σκοπό την μετατροπή τους στην κατάλληλη μορφή. Η σωστή επιλογή του δειγματολήπτη, πρέπει να συνοδεύεται και από την σωστή προετοιμασία (σχεδιασμό) της δειγματοληψίας. Σκοπός του σχεδιασμού της δειγματοληψίας είναι:

1. Να ληφθεί αντιπροσωπευτικό δείγμα, σε συνθήκες που να μπορούν να επαναληφθούν.
2. Να γίνει σωστή απόληψη του δείγματος και η κατάλληλη προφύλαξη ή διατήρησή του (εάν χρειάζεται) κατά την μεταφορά, πριν την ανάλυση.
3. Να είναι απόλυτα γνωστές οι συνθήκες ώστε να αξιολογηθεί κατάλληλα και το αποτέλεσμα της ανάλυσης και να δοθεί εντολή επανάληψης εάν χρειάζεται.

Στη συνέχεια, εκτελείται η μέθοδος ανάλυσης και επεξεργάζονται τα αποτελέσματα της με σκοπό τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό του προς ανάλυση δείγματος. Τελικά, αξιολογούνται τα συμπεράσματα ως προς το αντικείμενο της μελέτης, γίνεται ανάλυση των σφαλμάτων της μέτρησης και τεκμηριώνονται τα αποτελέσματα.

Τα σφάλματα των μεθόδων ανάλυσης χωρίζονται σε συστηματικά και τυχαία. Τα τυχαία σφάλματα καθορίζουν την ακρίβεια της μεθόδου που είναι γνωστή, ενώ τα συστηματικά σφάλματα είναι πιο επικίνδυνα και εντοπίζονται δυσκολότερα. Τα συστηματικά σφάλματα μπορεί να οφείλονται σε τυφλές τιμές, σε ανομοιογενές δείγμα, σε αλλοιωμένο δείγμα, στη βαθμονόμηση της συσκευής και στην ίδια τη μέτρηση. Το ποσοστό σφάλματος στη δειγματοληψία, είναι κατά κανόνα σημαντικά υψηλότερο από αυτό της ίδιας της τεχνικής μέτρησης.

Τα δύο βασικά στατιστικά μεγέθη για τη αξιολόγηση μίας σειράς τιμών των αποτελεσμάτων μίας μεθόδου ανάλυσης είναι η μέση τιμή των μετρήσεων:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Όπου

$x_i$  η τιμή της κάθε μέτρησης και

$n$  ο συνολικός αριθμός των ανεξάρτητων μετρήσεων

και η τυπική απόκλιση η οποία υπολογίζεται ως η τετραγωνική ρίζα των μέσων των τετραγωνικών σφαλμάτων:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Όσο μικρότερη είναι η τυπική απόκλιση τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια των μετρήσεών μας, το 68% όλων των τιμών μέτρησης βρίσκονται στη περιοχή  $\bar{x} \pm \sigma$  και η πιθανότητα μία τιμή μέτρησης που εμπεριέχει τυχαίο σφάλμα να βρίσκεται εντός της ίδιας περιοχής υπερβαίνει το 95%. Για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις περιοχές  $\bar{x} \pm 2\sigma$  ή  $\bar{x} \pm 3\sigma$  όπου έχουμε αντίστοιχα διάστημα εμπιστοσύνης 95% και 99%. Δηλαδή η τυπική απόκλιση είναι ένα ποσοτικό μέγεθος που εκφράζει την επαναληψιμότητα των μετρήσεών μας. Υπάρχουν διάφοροι ακόμα στατιστικοί συντελεστές και μέθοδοι για την επιβεβαίωση της ακρίβειας των μετρήσεων μέσα σε συγκεκριμένα διαστήματα πιθανοτήτων (π.χ. σχετική τυπική απόκλιση, students t-test, Q-test), όμως αυτό που είναι απαραίτητο για την αξιοπιστία κάθε μέτρησης είναι η δήλωση της αβεβαιότητας με τα δύο βασικά στατιστικά μεγέθη, κάτι που συμβαδίζει με τη σωστή λειτουργία ενός συστήματος ποιότητας για τη λειτουργία ενός εργαστηρίου.

### 2.1.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΝΩΣΗΣ [3,14]

Για τη διασφάλιση της ποιότητας στην διαχείριση των κτηρίων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι απαραίτητο:

- ✓ Να υπάρχει συνεχής παρακολούθηση του κτιρίου για να προλαμβάνονται προβλήματα πριν την γέννηση τους.
- ✓ Να υπάρχει τακτική επιθεώρηση του κτιρίου, ειδικά αν δεν υπάρχει παρακολούθηση
- ✓ Να διεξάγεται διαγνωστική μελέτη, για τον χαρακτηρισμό των υλικών, και των προβλημάτων
- ✓ Να συντάσσεται μελέτη επεμβάσεων, σύμφωνα με την διαγνωστική μελέτη
- ✓ Να γίνονται εργασίες επεμβάσεων, μόνο κατόπιν και σύμφωνα με μελέτη επεμβάσεων.

Οι βασικές αρχές που πρέπει να τηρούνται για την διασφάλιση της ποιότητας στη διαγνωστική μελέτη είναι οι εξής:

- ✓ Σύνταξη Προγράμματος Ποιότητας για την διαγνωστική μελέτη
- ✓ Σχεδιασμός και ορισμός προδιαγραφών μετρήσεων
- ✓ Χρήση μη-καταστρεπτικών τεχνικών
- ✓ Η δειγματοληψία να γίνεται σπάνια και με βάση πρότυπα και νόρμες
- ✓ Πρόγραμμα Ποιότητας της διαγνωστικής Κοινότητας
- ✓ Απασχόληση εξειδικευμένου προσωπικού
- ✓ Χρήση βαθμονομημένων και πιστοποιημένων οργάνων
- ✓ Σύνταξη και χρήση εγχειριδίου για την εκτέλεση των μετρήσεων
- ✓ Συμπλήρωση δελτίων ελέγχου κατά την εκτέλεση των επί-τόπου, αλλά και των εργαστηριακών μετρήσεων.

Επιπροσθέτως, κατά το σχεδιασμό της διαγνωστικής μελέτης θα πρέπει να υπάρχει πρόγραμμα πρόληψης και ελέγχου, σχεδίαση και προγραμματισμός εκτέλεσης των διαγνωστικών μετρήσεων, βέλτιστη διαχείριση των αρχείων και του Πληροφοριακού Συστήματος, ανάλυση ρίσκου μη-συμμορφώσεων στην διαγνωστική διαδικασία. Μέσα στους στόχους της διαγνωστικής μελέτης είναι να επιτευχθεί ένα επίπεδο ποιότητας όσον αφορά στις τεχνικές προδιαγραφές και τον προγραμματισμό έτσι ώστε να διασφαλισθεί ότι η διαγνωστική μελέτη θα είναι πραγματοποιήσιμη και ελεγχόμενη κατά την διάρκεια της εκτέλεσης των μετρήσεων.

Με σκοπό τα ανωτέρω, είναι χρήσιμο να αναλύσουμε την διαγνωστική μελέτη σε στοιχειώδεις διεργασίες, γεγονός που θα βοηθήσει στην ανάλυση κινδύνου μη-συμμορφώσεων για λόγους τεχνικούς, οργάνωσης ή περιβαλλοντικούς, από τους οποίους εξαρτάται η επιτυχής διεκπεραίωση της διαγνωστικής μελέτης.

Η χρήση Δελτίων Ελέγχου αποπνέει ένα θετικό αίσθημα επίτευξης στόχων και παροτρύνει για δημιουργικότητα και συνεργασία. Επίσης κάνει ορατές όλες τις πιθανές μη συμβατότητες μεταξύ των οργάνων ελέγχου και των αντικειμένων προς έλεγχο.

#### **2.1.4 Η ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΦΘΟΡΑΣ [7,13]**

Οι δείκτες αναγκαιότητας αποτελούνται από μία σειρά κριτηρίων βάσει των οποίων μπορούμε να πάρουμε αποφάσεις για την διενέργεια διαφόρων εργασιών στα μνημεία. Αυτοί είναι:

##### **1. Δείκτης Αναγκαιότητας Επιθεώρησης**

Είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται τακτική επιθεώρηση στα κτήρια για την αποτίμηση της κατάστασης τους. Για να διαμορφωθεί ο δείκτης αναγκαιότητας επιθεώρησης απαραίτητες πληροφορίες είναι οι εξής:

- Ιστορική και καλλιτεχνική αξία του κτιρίου
- Εκθέσεις και ερωτηματολόγια των διαχειριστών των κτηρίων, των ενοίκων, των επισκεπτών σχετικά με την κατάσταση του κτιρίου και την απόδοση με βάση κάποιους δείκτες
- Έτος κατασκευής, υλικά κατασκευής, απαιτήσεις σε απόδοση, αλλαγή στην χρήση
- Μοντέλα πρόγνωσης της φθοράς, όπως οι συναρτήσεις δόσης-απόκρισης (dose response functions)
- Έκθεση σε περιβαλλοντικά και ρυπαντικά φορτία
- Προηγούμενες επιθεωρήσεις, διαγνωστικές μελέτες, μελέτες επεμβάσεων, και έργα επεμβάσεων.

##### **2. Δείκτης Αναγκαιότητας Διάγνωσης**

Για να διαμορφωθεί ο Δείκτης αναγκαιότητας διάγνωσης απαραίτητες πληροφορίες είναι οι εξής:

- Έκθεση επιθεώρησης
- Δελτία Ελέγχου
- Προηγούμενες διαγνωστικές εκθέσεις, αν υπάρχουν
- Προηγούμενες Μελέτες Επεμβάσεων και Αρχεία Εργασιών Επεμβάσεων

##### **3. Δείκτης Αναγκαιότητας Επέμβασης**

Για να διαμορφωθεί ο δείκτης αναγκαιότητας επέμβασης απαραίτητες πληροφορίες είναι οι εξής:

- Ιστορική και καλλιτεχνική αξία των κτιρίων
- Εκθέσεις και ερωτηματολόγια των διαχειριστών των κτιρίων, των ενοίκων, των επισκεπτών σχετικά με την κατάσταση του κτιρίου και την απόδοση με βάση κάποιους δείκτες
- Μοντέλα πρόγνωσης φθοράς
- Έκθεση σε περιβαλλοντικούς παράγοντες
- Δελτία Επιθεώρησης και Διαγνωστική Έκθεση
- Περιορισμοί στον προϋπολογισμό
- Απαιτήσεις απόδοσης
- Ανάγκη για αλλαγή χρήσης.

Οι τρεις ανωτέρω δείκτες θα βαθμολογήσουν κάθε κτήριο βάσει των ίδιων κριτηρίων και θα κατατάξουν τα κτήρια, αποτελώντας ένα εργαλείο για τη λήψη απόφασης για τις προτεραιότητες των εργασιών. Οι διαχειριστές θα μπορούν να διαλέγουν συντελεστές βαρύτητας για κάθε ένα από τα κριτήρια απόδοσης, έτσι ώστε να περιλαμβάνουν στο μηχανισμό λήψης αποφάσεων τις προτεραιότητες και τις ιδιαιτερότητες που έχουν χαραχτεί ως διαχειριστική αρχή.

## 2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ [3]

### 2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα δομικά υλικά υπόκεινται σε φθορά λόγω διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων. Τέτοιοι παράγοντες είναι τα γενικά χαρακτηριστικά κλίματος και μικροκλίματος, η ρυπασμένη ή θαλασσινή ατμόσφαιρα, το νερό (ανερχόμενη υγρασία, αεροζόλ, συμπύκνωση υδρατμών, βροχή, διαλύματα αλάτων), οι μηχανικές φορτίσεις (θερμοκρασιακές μεταβολές, διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων, κρυστάλλωση αλάτων, παγετός, σεισμικές δονήσεις, εκτριβή), οι βιολογικοί παράγοντες (μικροπανίδα-χλωρίδα, φυτά, πτηνά) οι λειτουργικές συνθήκες (εσωτερική ατμόσφαιρα, εξωτερικό περιβάλλον γεωτεχνικό πλαίσιο θεμελίωσης).

Η φθορά των δομικών υλικών είναι σημαντικό πρόβλημα καθώς προκαλεί απομείωση των φυσικομαθηματικών και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των λίθων, απομείωση των επιφανειών και σε προχωρημένο στάδιο φθοράς, υποβάθμιση μηχανικών αντοχών και παθολογία του δομικού συνόλου. Το κυριότερο ζήτημα στην επιλογή των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης δομικών συνόλων εστιάζεται στην εμπειρική προσέγγιση του προβλήματος. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται έλλειψη διαγνωστικής μελέτης, αποσπασματικές επεμβάσεις συντήρησης χωρίς στρατηγικό σχεδιασμό, έλλειψη μελέτης των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης, άκριτη χρήση ασύμβατων υλικών και ποικιλομορφία/πολυπλοκότητα των παραδοσιακών/ιστορικών δομικών υλικών.

Σήμερα επιβάλλεται, πριν επιχειρηθεί οποιαδήποτε επέμβαση σε ένα μνημείο, να ακολουθείται ρητά η πορεία εργασίας που υποδεικνύεται από τις αρχές του Χάρτη της Βενετίας που έχει στόχο να αποτρέψει ή να ελαχιστοποιήσει τις πιθανότητες μιας άστοχης και ίσως – μακροπρόθεσμα- βλαπτικής εφαρμογής.

### 2.2.2 ΣΤΑΔΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Στη σύγχρονη εποχή είναι επιτακτική ανάγκη η διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς. Στα πλαίσια αυτά καταβάλλεται σημαντική προσπάθεια για την προστασία των μνημείων και των κτιρίων σημαντικής αρχιτεκτονικής αξίας μέσω ολοκληρωμένου σχεδίου και με την συνεργασία διαφόρων φορέων. Η προστασία των μνημείων συνιστάται στην επέμβαση στο ίδιο το μνημείο και στην επέμβαση στο περιβάλλον.

Η επέμβαση στο μνημείο αφορά τέσσερις κύριες κατευθύνσεις:

- ✓ Διαγνωστική μελέτη
  - Μελέτη ιδιοτήτων των αυθεντικών υλικών και των μηχανισμών φθοράς τους
- ✓ Συντήρηση –Επέμβαση στα υλικά
  - Προστερέωση (μόνο σε περιπτώσεις προχωρημένης διάβρωσης)
  - Καθαρισμός (μηχανική, φυσική ή χημική απομάκρυνση επιφανειακών επικαθήσεων)
  - Στερέωση (αποκατάσταση της συνοχής της διαβρωμένης πέτρας)
  - Επιφανειακή προστασία (απομόνωση και προστασία του λίθου από τη διαβρωτική δράση των ατμοσφαιρικών παραγόντων)
  - Σύνθεση και εφαρμογή κονιαμάτων αποκατάστασης συμβατών με τα ιστορικά δομικά υλικά του κτιρίου
  - Αντιμετώπιση ανερχόμενης υγρασίας
  - Ολοκλήρωση της επέμβασης στα υλικά με συνεχή παρακολούθηση και έλεγχο αυτών για την βελτιστοποίηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης

- ✓ Αποκατάσταση του φορέα
  - Δομοστατικές επεμβάσεις
- ✓ Αναστήλωση του μνημείου
  - Αρχιτεκτονικές επεμβάσεις

Η επέμβαση στο περιβάλλον περιλαμβάνει μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας των μνημείων (έλεγχος των μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων) και διαχείριση περιβάλλοντος για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών κινδύνων(χωροταξικές, πολεοδομικές ρυθμίσεις). Είναι επομένως προφανές ότι η συντήρηση είναι ένα ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος.

Τα κριτήρια επιλογής υλικών και μεθόδων επέμβασης πρέπει να βασίζονται σε μια γενικότερη δεοντολογία των επεμβάσεων συντήρησης (Χάρτης Βενετίας και αναθεώρηση του βάσει νεωτέρων απόψεων),σε συμβατότητα των δομικών υλικών μεταξύ τους και ως προς τα υλικά επέμβασης και στην αντιστρεψιμότητα της επέμβασης, στο μέτρο που αυτό είναι δυνατό.

### 2.2.3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Ο καθαρισμός συνιστάται στην απομάκρυνση των βλαβερών και ανεπιθύμητων επιφανειακών ουσιών που αλλοιώνουν (χρωματικά, φυσικά ή φυσικοχημικά) την επιφάνεια. Επεμβάσεις καθαρισμού σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες απαιτούνται όταν εμφανίζονται επιφανειακές αλλοιώσεις που οφείλονται σε φυτικούς ή ζωικούς μικροοργανισμούς, σε επικαθίσεις αιωρούμενων σωματιδίων σε γυψοποιημένες επιφάνειες ή σε συνδυασμό των ανωτέρων με ανακρυστάλλωση ανθρακικού ασβεστίου. Επιπρόσθετα καθαρισμός μπορεί να απαιτηθεί σε περιπτώσεις παλαιότερων επεμβάσεων ή διάχυσης και οξείδωσης ιόντων (π. χ Fe) από το εσωτερικό του υλικού( π. χ. μάρμαρο)

#### Κριτήρια επιλογής υλικών και επεμβάσεων καθαρισμού

Η επιλογή των υλικών και των επεμβάσεων καθαρισμού πρέπει να γίνεται με βάση μιας σειράς κριτηρίων. Τα κυριότερα είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Να μην προκαλούνται άμεσες ή έμμεσες φθορές που ενεργοποιούν περισσότερο τις αρχιτεκτονικές επιφάνειες
- ✓ Να διατηρείται η αυθεντική πάτινα και οι πολυχρωμίες σε αισθητικά/κοινωνικά αποδεκτά επίπεδα
- ✓ Να μη δημιουργούνται επιβλαβή παραπροϊόντα -υπολείμματα
- ✓ Να ελέγχεται η ταχύτητα δράσης
- ✓ Να μην απαλείφονται οι λεπτομέρειες σε αγάλματα και γλυπτούς διακόσμους (διατήρηση του γύψου)
- ✓ Να γίνεται εφαρμογή από έμπειρο και καλά εκπαιδευμένο προσωπικό (συντηρητές)
- ✓ Να πραγματοποιείται Πιλοτική εφαρμογή μεθόδων καθαρισμού και αποτίμησή τους, σε σχέση με:
  - τη χημική και ορυκτολογική δομή του υλικού
  - τη μικροδομή
  - τον τύπο και την ένταση της φθοράς
  - το είδος των αποθέσεων προς απομάκρυνση
  - το είδος της επιφάνειας
  - την ιστορική και καλλιτεχνική αξία του κτιρίου



- το κόστος και τη διάρκεια της επέμβασης καθαρισμού

#### Κατηγορίες επεμβάσεων καθαρισμού

Οι επεμβάσεις καθαρισμού διαχωρίζονται ανάλογα με τον τύπο της χρησιμοποιούμενης μεθόδου. Συγκεκριμένα:

#### A) Φυσικές μέθοδοι (κυρίως με βάση το νερό)

- ράντισμα
- υδρονέφωση
- ατμός
- ατομικό νερό

#### B) Μηχανικές μέθοδοι:

- υγρή αμμοβολή
- ξηρή αμμοβολή
- μικροαμμοβολή
- με υπέρηχους
- με εργαλεία

#### Γ) Χημικές μέθοδοι

- με οξέα, βάσεις, απορρυπαντικά
- πάστα Moga , AB57
- με ιοντοανταλλακτικές ρητίνες
- όξινο ανθρακικό αμμώνιο και ανθρακικό αμμώνιο
- βιολογικό επίθεμα

#### Δ) Θερμικές μέθοδοι

- laser

### **2.2.4 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ**

#### Κριτήρια επιλογής υλικών και επεμβάσεων στερέωσης

Η επιλογή υλικών και επεμβάσεων στερέωσης πρέπει να γίνεται με βάση ορισμένων κριτηρίων που περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- ✓ Αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας των υλικών στο χρόνο
- ✓ Ικανοποιητικό βάθος διείσδυσης
- ✓ Μεταβολή της κατανομής του πορώδους ώστε να μειώνεται η επιδεκτικότητα σε φθορά από κρυστάλλωση αλάτων και να διασφαλίζεται η συμβατότητα με ισότροπη μεταφορά υγρών/ατμού (αναπνοή) στην τοιχοποιία.
- ✓ Φυσικοχημική και μηχανική συμβατότητα υγιούς και στερεωμένου λίθου (απουσία παραπροϊόντων, διαλυτών αλάτων, ανάλογο συντελεστή θερμικής διαστολής κ.α )
- ✓ Αποφυγή χρωματικής αλλοίωσης της επιφάνειας
- ✓ Μεγάλη διάρκεια ζωής

### Είδη υλικών στερέωσης

Τα υλικά στερέωσης είναι συνήθως είτε ανόργανα υλικά, είτε αλκοξυσιλάνια (ανόργανα πολυμερή), είτε οργανικά σύνθετα πολυμερή, είτε ανήκουν στην κατηγορία των προηγμένων υλικών στερέωσης όπως τα σωματιδιακά σύνθετα.

### Αποτίμηση υλικών και επεμβάσεων στερέωσης

Η αποτίμηση των υλικών και επεμβάσεων στερέωσης μπορεί να γίνει είτε στο εργαστήριο(με μελέτη δοκιμών), είτε επί τόπου (in situ):

#### *A) Εργαστηριακές μέθοδοι αποτίμησης κατεργασιών στερέωσης:*

Από τις εργαστηριακές μεθόδους αποτίμησης, ο έλεγχος μικροδομής εξετάζει την μεταβολή της κατανομής του μεγέθους των πόρων που αποτελεί σημαντικό εκτιμώμενο στοιχείο, δεδομένης της συσχέτισης του με την επιδεκτικότητα του υλικού στη φθορά. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι ελέγχου της μικροδομής είναι οι εξής, η ποροσιμετρία υδραργύρου, η υδατοαπορρόφηση και η ηλεκτρονική μικροσκόπια σάρωσης.

Η αύξηση της ανθεκτικότητας αναφέρεται στη δημιουργία χημικών δεσμών συνάφειας μεταξύ τοιχωμάτων πόρων του λίθου και στερεωτικού. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι θερμικές μέθοδοι ανάλυσης, η οπτική μικροσκόπια, η ηλεκτρονική μικροσκόπια σάρωσης, και η φασματοσκοπία υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier.

Ο έλεγχος του βάθους διείσδυσης στερεωτικού γίνεται με την βοήθεια της φασματοσκοπίας υπερύθρου μετασχηματισμού Fourier όπου λαμβάνονται και αναλύονται φάσματα από διαφορετικά βάθη του στερεωμένου λίθου.(π. χ. 0-3cm, 3-6cm,6-9cm).

Ο έλεγχος της φυσικοχημικής συμβατότητας γίνεται με βάση τον συντελεστή θερμικής διαστολής (προσδιορίζεται από τη θερμομηχανική ανάλυση), ο οποίος θα πρέπει να παρουσιάζει παραπλήσιες τιμές πριν και μετά την εφαρμογή στερέωσης.

Σημαντικό στοιχείο στην αποτίμηση μιας κατεργασίας στερέωσης αποτελεί ο μηχανισμός δράσης του στερεωτικού (φιλμογενής ή απόθεσης), που σχετίζεται άμεσα με την μετέπειτα αποτελεσματικότητα του. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τη διαπίστωση του φαινομένου είναι η μικροσκόπια οπτικών ινών και η ηλεκτρονική μικροσκόπια σάρωσης.

Το κριτήριο αξιολόγησης της ανθεκτικότητας αναφέρεται στη κατανομή των πόρων διαφορετικών ακτίνων που προκύπτουν από την ψηφιακή επεξεργασία εικόνων, οι οποίες λαμβάνονται από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, σε συνδυασμό με αποτελέσματα μηχανικών μετρήσεων, και οδηγούν στην ανάπτυξη ενός θερμοδυναμικού σεναρίου, το οποίο υποδεικνύει την ευμενέστερη ή όχι συμπεριφορά του στερεωμένου λίθου, όσον αφορά στη διάρρηξη των κρυστάλλων του. Σημαντικό μέγεθος αποτελεί η πίεση αποκρυστάλλωσης:

$$P=2\sigma V_{r_i}/V_R (1/r-1/R)$$

όπου  $\sigma$  είναι η διεπιφανειακή τάση μεταξύ κρυστάλλου άλατος και διαλύματος,  $r$  και  $R$  είναι οι ακτίνες του μικρού και μεγάλου πόρου αντίστοιχα,  $V_{r_i}$  είναι ο % όγκος των πόρων ακτίνας  $r_i$  και

$V_R$  είναι ο % όγκος των πόρων μεγαλύτερης ακτίνας.

Εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης κρυστάλλωσης μετά την πλήρωση των μεγάλων πόρων είναι τα ακόλουθα:

- Ρήξη των τοιχωμάτων των πόρων

$$\Delta G_1 = \Delta G_{\text{bulk}} + \Delta W$$

όπου  $\Delta W$  είναι το απαιτούμενο έργο για τη διάρρηξη των τοιχωμάτων των πόρων και  $\Delta G$  είναι η ελεύθερη ενέργεια σχηματισμού κρυστάλλου

- Διαδοχική πλήρωση των μικρότερων πόρων

$$\Delta G_2 = \Delta G_{\text{bulk}} + \Delta G_{\text{surf}}$$

όταν  $\Delta W \leq \Delta G_{\text{surf}}$  η ανάπτυξη της μάζας κρυστάλλων NaCl και η επακόλουθη αστοχία του υλικού είναι η θερμοδυναμικώς προτιμητέα διαδικασία.

Το κριτήριο χρόνου ζωής είναι άλλη μία εργαστηριακή μέθοδος αποτίμησης της στερέωσης και βασίζεται σε δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης που παρέχουν πληροφορίες για τη συμπεριφορά και τις ιδιότητες των κατεργασμένων υλικών στη διάρκεια του χρόνου.

#### *B) Επί τόπου μέθοδοι αποτίμησης κατεργασιών στερέωσης*

Μία από τις επιτόπιες μεθόδους αποτίμησης στερέωσης είναι ο έλεγχος φυσικοχημικής συμβατότητας. Η θερμογραφία υπερύθρου παρέχει πληροφορίες για τη συμβατότητα των εφαρμοσμένων υλοκών στερέωσης, καθώς και για τις μεταβολές στην κατακράτηση της περιεχόμενης υγρασίας.

Ο έλεγχος του βάθους διείσδυσης στερεωτικού και η αύξηση των αντοχών μπορεί επίσης να γίνει επί τόπου με τη βοήθεια της υπερηχοσκόπησης η οποία δίνει πληροφορίες σχετικά με το βάθος διείσδυσης του στερεωτικού, και τη βελτίωση των μηχανικών αντοχών του διαβρωμένου τμήματος του λίθου.

Τέλος, η επιτόπια ανάλυση της μικροδομής είναι δυνατή να γίνει με την μικροσκοπία οπτικών ινών, όπου ταυτόχρονα γίνεται και έλεγχος του τρόπου απόθεσης το στερεωτικού στο λίθο.

### **2.2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ**

#### Κριτήρια σχεδιασμού

Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Προσομοίωση των ιδιοτήτων των ιστορικών κονιαμάτων
- ✓ Βελτίωση των χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων
- ✓ Αναπαραγωγιμότητα και έλεγχος της παρασκευής τους βάσει συγκεκριμένων προδιαγραφών
- ✓ Αντίστροφη μηχανική προσέγγιση

Η αντίστροφη μηχανική προσέγγιση (reverse engineering) για τον σχεδιασμό συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης αποτελείται από τις ακόλουθες φάσεις:

- Φάση 1: Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων
- Φάση 2: Παρασκευή κονιαμάτων αποκατάστασης
- Φάση 3: Αποτίμηση των χαρακτηριστικών τους
- Φάση 4: Αριστοποίηση παρασκευής
- Φάση 5: Αποτίμηση με πιλοτική, επί τόπου εφαρμογή

#### Αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης

Στο εργαστήριο, το κύριο κριτήριο βελτιστοποίησης για νωπά κονιάματα είναι το κριτήριο ελάχιστης ποσότητας νερού(με συνεπαγόμενη αύξηση των μηχανικών αντοχών) που σχετίζεται με την εργασιμότητα. Επιδιώκεται δηλαδή ο βέλτιστος συνδυασμός μηχανικών αντοχών και εργασιμότητας. Κατά την πήξη-σκλήρυνση τα κριτήρια βελτιστοποίησης είναι η ενανθράκωση-ανάπτυξη υδραυλικών φάσεων, η εξέλιξη της μικροδομής, και η ανάπτυξη μηχανικών αντοχών. Σε επιτόπιες εφαρμογές, γίνεται χρήση μη καταστρεπτικών μεθόδων, όπως η θερμογραφία υπερύθρου, η υπερηχοσκόπηση και η μικροσκοπία οπτικών ινών.

### **2.2.6 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Η βέλτιστη μέθοδος αντιμετώπισης του προβλήματος της ανερχόμενης υγρασίας είναι ουσιαστικά η πρόληψη του. Σε περιπτώσεις όμως που έγινε ελλιπής αρχικός σχεδιασμός είναι αναγκαία η αντιμετώπιση του προβλήματος καθώς σε αντίθετη περίπτωση, το μνημείο ή μέρος αυτού μπορεί υποστεί ανεπανόρθωτη ζημιά.

Τα γενικά κριτήρια επιλογής των επεμβάσεων για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ανερχόμενης υγρασίας σε μια τοιχοποιία βασίζονται στην ιστορική και καλλιτεχνική αξία του μνημείου, στην στατική κατάσταση του κτιρίου, στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος εδάφους και σε ορισμένες περιπτώσεις στην σεισμικότητα της περιοχής.

Επιπρόσθετα γενικά κριτήρια αποτελούν η δυνατότητα επέμβασης κατά ζώνες, το κόστος επέμβασης (και η μελλοντικής συντήρησης), η αντιστρεψιμότητα της επέμβασης, η συμβατότητα της χρησιμοποιούμενης μεθόδου με τα μηχανικά και τα θερμοϋγρομετρικά χαρακτηριστικά της τοιχοποιίας, η αποτελεσματικότητα της επέμβασης και η ανθεκτικότητά της στο χρόνο.

Οι μέθοδοι αντιμετώπισης της ανερχόμενης υγρασίας διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες: επιθετικές και μη επιθετικές μεθόδους αντίστοιχα.

Οι επιθετικές μέθοδοι αντιμετώπισης της ανερχόμενης υγρασίας περιλαμβάνουν:

- Οριζόντια στεγανοποίηση
- Εισαγωγή διαφράγματος
- Δημιουργία αδιαπέραστης ζώνης με τη χρήση χημικών ουσιών (έγχυση με ή χωρίς πίεση)
- Ατμοσφαιρικά σιφώνια (σωλήνες Knapen)
- Δημιουργία κενών μεταξύ των τοίχων
- Επίχρισμα ελεγχόμενης μικροδομής

Από τις παραπάνω επιθετικές μεθόδους ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή επιχρισμάτων ελεγχόμενης μικροδομής. Τα επιχρίσματα αυτά επιτρέπουν τη διακίνηση της υγρασίας στην τοιχοποιία, αυξάνουν το ρυθμό εξάτμισης της υγρασίας, αποτελούν θυσιαζόμενο (sacrificial) προστατευτικό επίστρωμα της τοιχοποιίας στους περιβαλλοντικούς παράγοντες

φθοράς, παρουσιάζουν ελαστομηχανική και χημική συμβατότητα με το υπόστρωμα, αντέχουν στη διάβρωση από διαλυτά άλατα, εφαρμόζονται εύκολα και έχουν λογικό κόστος.

Οι μη-επιθετικές μέθοδοι αντιμετώπισης της ανερχόμενης υγρασίας περιλαμβάνουν:

- Ηλεκτρικά συστήματα
- Ηλεκτροεξώσμωση (παθητική και ενεργητική)
- Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι
- Εξαερισμός-Κλιματισμός
- Αποστράγγιση του εδάφους γύρω από τις θεμελιώσεις της τοιχοποιίας

### **2.2.7 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ**

Σε εργαστηριακή κλίμακα αρχικά υπολογίζεται η απώλεια βάρους δειγμάτων που ελήφθησαν από τη τοιχοποιία από κατάλληλα ύψη και βάθη, με την βοήθεια της βαρυμετρικής μεθόδου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται καταγραφή και χαρτογράφηση της υγρασίας στην προς εξέταση τοιχοποιία. Παράλληλα γίνεται ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των διαλυτών αλάτων, χαρακτηρισμός των δομικών υλικών (αναλύσεις χημικές, φυσικές, ορυκτολογικές, πετρογραφικές, βιολογικές κλπ) και ολοκληρωμένη ανάλυση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Οι επιτόπιες μέθοδοι αποτίμησης των επεμβάσεων αντιμετώπισης της ανερχόμενης υγρασίας περιλαμβάνουν την θερμογραφία υπερύθρου που παρέχει μια εποπτική εικόνα της ύπαρξης και της κατανομής της υγρασίας στην τοιχοποιία καθώς και την χρήση υγρόμετρου με ειδικούς ακροδέκτες που αποκαλύπτει την περιεχόμενη σε υγρασία στα υλικά.



### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

#### 3.1. ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ [3,10, 15-25]

Ως μη καταστρεπτικές χαρακτηρίζονται οι τεχνικές εκείνες που παρέχουν τη δυνατότητα εξέτασης των επιφανειών επί τόπου (in situ), χωρίς τη λήψη δειγμάτων. Οι τεχνικές αυτές αποτελούν μοναδικό και απαραίτητο εργαλείο για τη χαρτογράφηση των υλικών και της φθοράς, τον έλεγχο ποιότητας υλικών αλλά και συμβατότητας των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης. Επιπλέον, μπορούν να δώσουν πληροφορίες για τη στρωματογραφία υλικών, τοιχοποιιών και επικαλυμμένων επιφανειών.

Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται μέσω των μη καταστρεπτικών τεχνικών είναι, μεταξύ άλλων, η μορφολογία της επιφάνειας (υφή, χρώμα), η μικροδομή των υλικών και η κατανομή υγρασίας. Με τη βοήθεια των χαρακτηριστικών αυτών, μπορούμε να αποφανθούμε σχετικά με την εφαρμογή των κατάλληλων μεθόδων συντήρησης, αφού πρώτα έχει προηγηθεί πιλοτική επέμβαση. Επιπλέον, οι μη καταστρεπτικές τεχνικές αποτελούν το βασικό εργαλείο για την αποτίμηση των μεθόδων συντήρησης επειδή προσφέρουν τη δυνατότητα σύγκρισης των επιφανειών πριν και μετά την επέμβαση. Οι πιο διαδεδομένες μη καταστρεπτικές τεχνικές, είναι η υπερηχοσκόπηση, η μικροσκοπία οπτικών ινών, η υπέρυθρη θερμογραφία, η ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, η χρωματομετρία και η τεχνική του γεωραντάρ. Αρχικά οι τεχνικές αυτές διακρίνονται σε άμεσες ή έμμεσες. Αν ο έλεγχος πραγματοποιείται χωρίς τη χρήση κάποιας παραμέτρου του υλικού, τότε η τεχνική χαρακτηρίζεται ως άμεση (π.χ. μικροσκοπία οπτικών ινών), ενώ σε περιπτώσεις που χρησιμοποιείται κάποια παράμετρος του προς εξέταση υλικού η τεχνική χαρακτηρίζεται ως έμμεση (π.χ. υπέρυθρη θερμογραφία, όπου η ιδιότητα που χρησιμοποιείται είναι ο συντελεστής εκπομπής). Μια άλλη διάκριση των τεχνικών αυτών βασίζεται στο πεδίο εφαρμογής τους. Με αυτόν τον τρόπο διακρίνονται σε τεχνικές σημείου, όταν εφαρμόζονται σε συγκεκριμένο σημείο (μικροσκοπία οπτικών ινών, υπερηχοσκόπηση, χρωματομετρία), σε τεχνικές επιφάνειας, όταν εξετάζουν ευρύτερη περιοχή (υπέρυθρη θερμογραφία, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας) και τεχνικές γραμμής, όταν η εξέταση πραγματοποιείται κατά μήκος μιας νοητής γραμμής-τομής (γεωραντάρ).

##### 3.1.1. ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΟΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (Fiber Optics Microscopy - F.O.M.)

###### Εισαγωγή

Η μέθοδος της μικροσκοπίας οπτικών ινών αποτελεί μια νέα μέθοδο, η εφαρμογή της οποίας άρχισε σχετικά πρόσφατα κατά την επί τόπου μη καταστρεπτική εξέταση αρχιτεκτονικών επιφανειών σε ιστορικά κτήρια στην Ιταλία. εφαρμόζεται πρόσφατα. Η ιδιαίτερη σημασία της μεθόδου συνίσταται στον μη καταστρεπτικό της χαρακτήρα, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό σε περιπτώσεις εξέτασης υλικών μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας. Οι συνδυαστικές εκτιμήσεις αποτελεσμάτων, που προέρχονται από τη μικροσκοπία οπτικών ινών και από άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους εξέτασης των υλικών (θερμογραφία υπέρυθρου, υπερηχοσκόπηση, ψηφιακή επεξεργασία εικόνας), παρέχουν σημαντικότερες πληροφορίες για το βαθμό φθοράς των υλικών καθώς και τις πιθανές επεμβάσεις συντήρησης που έχει υποστεί.

###### Αρχή της Μεθόδου

Οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως αντί ηλεκτρικού ρεύματος ως φορέα των σημάτων και οπτικές ίνες αντί μεταλλικών αγωγών για τη μετάδοσή του. Το προς μετάδοση

ηλεκτρομαγνητικό σήμα (φωνή, εικόνα, δεδομένα κ.τ.λ.) μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης κατά κανόνα σε ακολουθία ψηφιακών παλμών που διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί και μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα.

### **Οπτικές ίνες**

Δομή οπτικής ίνας: Η οπτική ίνα αποτελείται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό, με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από αυτόν του πυρήνα. Αυτό έχει σαν συνέπεια, όταν η ακτίνα φωτός εισέρχεται στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία, να ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και να μεταδίδεται παγιδευμένη στην ίνα.

Ανάλογα με την κατασκευή της ίνας και τον τρόπο διάδοσης του φωτός έχουμε:

- Την ίνα Multimode step-index fiber με βηματική μεταβολή του δείκτη διάθλασης, όπου το φως διαδίδεται με ολικές ανακλάσεις στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα περιβλήματος.
- Την ίνα Multimode graded-index fiber με βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης και πολλαπλά κύματα.
- Την ίνα Monomode ή single mode-index fiber, η πιο εξελιγμένη ίνα που έχει βηματική μεταβολή του δείκτη διάθλασης και ένα μόνο κύμα.

### **Πειραματική διάταξη**

Πρόκειται για ένα φορητό μικροσκόπιο, με το οποίο μπορεί να εξεταστεί επί τόπου ολόκληρη η επιφάνεια ενός ιστορικού συνόλου χωρίς να απαιτείται προηγούμενη κατεργασία ή αλλοίωση των υλικών. Το σημαντικότερο τμήμα του μικροσκοπίου είναι οι φακοί οπτικών ινών. Στις αρχές λειτουργίας τους βασίζεται και η λειτουργία της μεθόδου.

Τα κυριότερα τμήματα της συσκευής είναι:

- Λάμπα αλογόνου που λειτουργεί στα 100 W.
- Σύστημα ελέγχου της έντασης του φωτός. Η ποσότητα φωτός που ανακλάται από το αντικείμενο, εξαρτάται από το χρώμα και το υλικό του αντικειμένου. Το μικροσκόπιο αυτόματα προσαρμόζει την ένταση του φωτός της λάμπας, έτσι ώστε να υπάρχει ένα σταθερό επίπεδο φωτεινότητας στη λαμβανόμενη εικόνα.
- Σύστημα εστίασης.
- Αντικειμενικοί φακοί. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής μπορεί να αλλάξει κανείς περισσότερους φακούς, για να πάρει εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων (οι δυνατές λαμβανόμενες μεγεθύνσεις είναι από x25 έως x600). Οι φακοί συνδέονται στο σύστημα μετάδοσης εικόνας μέσω οπτικών ινών.

### **Πειραματική Διαδικασία**

Κατά τη διαδικασία της μικροσκοπικής εξέτασης, το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος και να ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών. Συνεπώς, σημαντικό ρόλο παίζει η μορφή της εξεταζόμενης επιφάνειας, καθώς και ο βαθμός τραχύτητας αυτής, αφού σε μία εντελώς επίπεδη επιφάνεια ο φακός του μικροσκοπίου προσαρμόζεται πολύ καλύτερα, με αποτέλεσμα οι εικόνες που παίρνουμε να είναι καλύτερης ποιότητας.

Το Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών, όπως και το οπτικό μικροσκόπιο, χρησιμοποιεί ως φωτεινή πηγή λευκό φως, συγκεκριμένα λάμπα αλογόνου. Το λευκό φως χαρακτηρίζεται από μήκη κύματος από 400 nm έως 760 nm περίπου. Επειδή τα χαρακτηριστικά μεγέθη του πλέγματος των κρυστάλλων κυμαίνονται από 0,15 μέχρι 2 nm, είναι δηλαδή τρεις τάξεις μεγέθους μικρότερα, οι κρύσταλλοι φαίνονται σαν συνεχές μέσον όταν φωτίζονται από λευκό φως. Οι οπτικές ιδιότητες των άμορφων και των κρυσταλλικών σωμάτων οφείλονται στην αλληλεπίδρασή τους με το



προσπίπτον φως. Τα κύρια φαινόμενα που καθορίζουν αυτήν την αλληλεπίδραση είναι η ανάκλαση, η διάθλαση και η απορρόφηση. Τα φαινόμενα αυτά αντιμετωπίζονται στην οπτική μικροσκοπία με βάση τις εξισώσεις του Maxwell, για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Η φωτεινή πηγή περιγράφεται σαν ένας αρμονικός ταλαντωτής, που χαρακτηρίζεται από τις μεταβολές του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο χώρο και στο χρόνο. Όλες οι σχέσεις που διέπουν την οπτική μικροσκοπία, βασίζονται στην πόλωση του φωτός, που επιτυγχάνεται με τα πρίσματα Nicols. Στη μικροσκοπία οπτικών ινών χρησιμοποιείται όμως λευκό φως που δεν είναι ούτε πολωμένο, ούτε μονοχρωματικό. Το γεγονός αυτό κάνει αδύνατη την ποσοτικοποίηση των συμπερασμάτων, που εξάγονται με τη μικροσκοπία οπτικών ινών. Αυτό φυσικά δεν αναιρεί τη σημασία των ποιοτικών παρατηρήσεων.

Οι μεγεθύνσεις που μπορεί να δώσει το όργανο ποικίλλουν ανάλογα με τον χρησιμοποιούμενο φακό. Η χρήση κάποιου συγκεκριμένου φακού, ώστε να πάρουμε την αντίστοιχη μεγέθυνση, είναι άμεση συνάρτηση του τύπου του εξεταζόμενου υλικού. Τέλος, το μικροσκόπιο οπτικών ινών διαθέτει έξοδο τύπου USB, παρέχοντας τη δυνατότητα σύνδεσης με φορητό υπολογιστή.

### **Εφαρμογές**

Μέσω της Μικροσκοπίας Οπτικών Ινών πραγματοποιούνται παρατηρήσεις επί των μορφολογικών χαρακτηριστικών του προς εξέταση υλικού. Επιπλέον, η μέθοδος χρησιμοποιείται για την επί τόπου αναγνώριση των τύπων φθοράς και την εκτίμηση των αποτελεσμάτων εφαρμογών μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας επιφανειών. Επίσης χρησιμοποιείται για την αρχική εκτίμηση της μικροδομής του υλικού, την επί τόπου παρατήρηση σύνθετων υλικών (κονιαμάτων, χαρτιού κ.α.), καθώς και για παρατήρηση διεπιφανειακών φαινομένων. Από εφαρμογές στο εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών προκύπτει και η συμπληρωματικότητά της με την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, στο πλαίσιο χαρτογράφησης της φθοράς και αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες.

Το μικροσκόπιο οπτικών ινών, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, ήταν το i-Score – Moritex.

### **3.1.2. ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (Infrared Thermography – IR-Th)**

#### **Γενικά**

Η υπέρυθη θερμογραφία είναι μια μη καταστρεπτική τεχνική κατά την οποία μετράται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού στην υπέρυθη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αποτέλεσμα μιας τέτοιας καταγραφής είναι το θερμογράφημα, δηλαδή η "θερμική" εικόνα της εξεταζόμενης επιφάνειας, το οποίο παρουσιάζεται είτε σε έγχρωμη ή σε ασπρόμαυρη μορφή. Η τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας εφαρμόζεται, μεταξύ άλλων, και στον καθορισμό της συμβατότητας των εξεταζόμενων υλικών, της υγρασίας και της φθοράς των υλικών.

Σήμερα η θερμογραφία υπέρυθρου βρίσκει ευρύτατες εφαρμογές στην ιατρική, τη βιολογία, την αστρονομία, τη γεωργία, τη βιομηχανική παραγωγή, τον έλεγχο του μηχανολογικού-ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, τη διαχείριση και συντήρηση κτηρίων καθώς και αρχιτεκτονικών επιφανειών των ιστορικών μνημείων.

#### **Υπέρυθρο φάσμα**

Η περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που εκτείνεται μεταξύ 0,75 και 1000 μm ονομάζεται υπέρυθρη. Μπορούμε να πούμε ότι κάθε περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

καθορίζεται πλήρως από την συχνότητα, το μήκος κύματος και την έντασή του. Η περιοχή του φάσματος της υπέρυθρης ακτινοβολίας διαχωρίζεται σε τρεις περιοχές, το εγγύς (0,75μm-1,5μm), το μέσο (1,5μm-7μm) και το άπω υπέρυθρο (7μm-1000μm). Τα όρια συχνότητας ή μήκους κύματος είναι αυθαίρετα για κάθε περιοχή. Στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος πραγματοποιούνται οι ταλαντώσεις των ατόμων και μορίων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα υλικά λόγω της θερμικής κίνησης των μορίων τους. Η κίνηση αυτή γίνεται πιο έντονη με την αύξηση της θερμοκρασίας και μειώνεται με μείωσή της. Η ένταση, η συχνότητα και το μήκος της υπέρυθρης ακτινοβολίας εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία, το μέγεθος της πηγής και από την ικανότητα εκπομπής του υλικού.

### **Ανάκλαση, διαπερατότητα και απορρόφηση**

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από μία πηγή συναντήσει ένα υλικό, μέρος αυτής το διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από το υλικό. Εάν όλη η ακτινοβολία πέσει πάνω στο υλικό, τότε ισχύει η σχέση:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

όπου  $\tau$ ,  $\rho$  και  $\alpha$  είναι αντίστοιχα η διαπερατότητα, η ανάκλαση και η απορρόφηση του υλικού.

Αν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας διαπεράσει το υλικό, τότε το υλικό αυτό θα λέγεται διαφανές. Ακόμη διακρίνουμε αδιαφανή υλικά (ακτινοβολούν μόνο από την επιφάνειά τους) και ημιδιαπερατά (ακτινοβολούν από τη μάζα τους). Η απορροφητική ικανότητα των υλικών αυξάνει όταν η επιφάνειά τους είναι ανώμαλη.

### **Νόμος Kirchhoff**

Η πιο βασική αρχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι γνωστή ως νόμος του Kirchhoff, ο οποίος είναι αποτέλεσμα της ισότητας της ισχύος της ακτινοβολίας ενός υλικού με την ισχύ της απορροφητικής του ικανότητας, κατά τη θερμική ισορροπία. Καθώς η απορροφητικότητα μιας επιφάνειας δε μπορεί να ξεπεράσει την τιμή της μονάδας, η εκπεμπόμενη ισχύς είναι η μέγιστη για ένα ιδανικό απορροφητικό μέσο. Για λιγότερο απορροφητικά υλικά, η εκπομπή είναι αντίστοιχα χαμηλότερη και μπορεί να εκφραστεί από το νόμο του Kirchhoff, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$a = e$$

όπου:  $a$  η απορροφητικότητα και  $e$  ο συντελεστής εκπομπής, ο οποίος παίρνει τιμές από 0 έως 1 και εκφράζει τη χαρακτηριστική εκπομπή κάθε επιφάνειας.

### **Ακτινοβολία μέλανος σώματος (black body)**

Ως μέλαν σώμα ορίζεται ένα αντικείμενο, το οποίο απορροφά όλη την ποσότητα της ακτινοβολίας, που προσπίπτει σε αυτό σε οποιοδήποτε μήκος κύματος. Η ονομασία "μέλαν" που σχετίζεται με ένα σώμα το οποίο εκπέμπει ακτινοβολία εξηγείται από τον νόμο του Kirchhoff που αναφέρει ότι "ένα σώμα που απορροφά όλη την ακτινοβολία σε οποιοδήποτε μήκος κύματος είναι εξίσου ικανό να την εκπέμψει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις". Ο νόμος του Kirchhoff οδηγεί σε μια πολύ σημαντική έννοια, αυτή του ιδανικού απορροφητή ή «μέλανος σώματος» (black body), που είναι επίσης και ο πιο σημαντικός πομπός θερμικής ακτινοβολίας. Ένα μελανό σώμα μπορεί να περιγραφεί με ένα άνοιγμα που οδηγεί σε μία κοιλότητα, τα τοιχώματα της οποίας είναι μαύρα και έχουν σταθερή θερμοκρασία. Ακόμα και αν ο συντελεστής απορρόφησης των τοιχωμάτων είναι μικρότερος της μονάδας, η ακτινοβολία που διέρχεται από το άνοιγμα θα υποστεί τόσες πολλές ανακλάσεις πριν εξέλθει, που τελικά θεωρείται ότι απορροφήθηκε ολικά. Η έννοια του «μέλανος σώματος» είναι πολύ σπουδαία, όχι μόνο επειδή

είναι ο πιο αποτελεσματικός πομπός θερμικής ενέργειας, αλλά και γιατί μπορεί να αποδείξει ότι η ολική ισχύς της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας και ο φασματικός διαχωρισμός της εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία.

### **Ακτινοβολία γκρίζου σώματος**

Τα πραγματικά αντικείμενα ή έγχρωμα σώματα σχεδόν ποτέ δεν ακολουθούν τους νόμους ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, σε μια ευρεία περιοχή μήκους κύματος, αν και μπορεί να προσεγγίζουν την συμπεριφορά του μέλανος σώματος σε συγκεκριμένα διαστήματα φάσματος. Υπάρχουν τρεις διεργασίες που μπορεί να συμβούν και εμποδίζουν ένα πραγματικό αντικείμενο από το να συμπεριφερθεί ως μέλαν σώμα. Ένα μέρος,  $\alpha$ , της ακτινοβολίας μπορεί να απορροφηθεί, ένα άλλο,  $\rho$ , μπορεί να ανακλαστεί και ένα μέρος,  $\tau$ , μπορεί να μεταδοθεί. Όλοι αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από το μήκος κύματος  $\lambda$ . Έτσι:

- Για την απορρόφηση ακτινοβολίας, το  $\alpha_\lambda$  ισούται με το λόγο της απορροφούμενης ακτινοβολίας από ένα αντικείμενο, προς την προσπίπτουσα.
- Για την ανάκλαση της ακτινοβολίας, το  $\rho_\lambda$  ισούται με το λόγο της ακτινοβολίας που ανακλάται από ένα αντικείμενο, προς την προσπίπτουσα.
- Για τη μεταδιδόμενη ακτινοβολία, το  $\tau_\lambda$  ισούται με το λόγο της ακτινοβολίας που διαπερνά δια μέσου ενός αντικειμένου, προς την προσπίπτουσα.

Το άθροισμα αυτών των συντελεστών σε κάθε μήκος κύματος πρέπει να ισούται με την μονάδα.

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

Για αδιαφανή αντικείμενα έχουμε  $\tau_\lambda = 0$  και άρα  $\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ .

### **Μήκος κύματος και διακριτική ικανότητα**

Το υπέρυθρο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται στην περιοχή μεταξύ 0,75  $\mu\text{m}$  και 1000  $\mu\text{m}$ . Στην περιοχή αυτή του φάσματος υπάρχουν δύο "παράθυρα", στα οποία η απορρόφηση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα είναι η χαμηλότερη δυνατή. Συνεπώς, σε αυτές τις δύο περιοχές καταγράφουμε με μεγαλύτερη προσέγγιση την ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα σώμα-επιφάνεια. Για το λόγο αυτό, τα θερμογραφικά συστήματα είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν σε δύο περιοχές μήκους κύματος. Σε αυτές του χαμηλού μήκους κύματος (2-5,6  $\mu\text{m}$ ) και στις αντίστοιχες του υψηλού μήκους κύματος (8-14  $\mu\text{m}$ ). Μια άλλη διάκριση, που υιοθετείται από μέρος επιστημόνων, κάνει λόγο για μικρό μήκος κύματος, όταν πρόκειται για περιοχές του φάσματος μέχρι 3  $\mu\text{m}$ , μεσαίο μήκος κύματος για περιοχές μεταξύ 3-5,6  $\mu\text{m}$  και υψηλό για περιοχές μεταξύ 8-14  $\mu\text{m}$ .

Το υλικό που χρησιμοποιείται στον ανιχνευτή του θερμογραφικού συστήματος διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος στο οποίο λειτουργεί το σύστημα. Έτσι, για τα θερμογραφικά συστήματα μικρού-μεσαίου μήκους κύματος (2-5,6  $\mu\text{m}$ ), τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ίνδιο και το αντιμόνιο, ενώ για τα αντίστοιχα συστήματα υψηλού μήκους κύματος (8-14  $\mu\text{m}$ ) χρησιμοποιούνται τελλούριο, κάδμιο και υδράργυρος.

Στο χαμηλό μήκος κύματος μπορούμε να πραγματοποιήσουμε καταγραφή σε υψηλές θερμοκρασίες. Σε αυτήν την περίπτωση όμως, δεν έχουμε μεγάλη διακριτική ικανότητα σε μεγάλες αποστάσεις, δηλαδή δε λαμβάνουμε καλές εικόνες. Αντίθετα, στο υψηλό μήκος κύματος εμφανίζεται μεγάλη ευαισθησία, στην καταγραφή σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του περιβάλλοντος, ενώ ταυτόχρονα έχουμε μεγάλη διακριτική ικανότητα σε μεγάλες αποστάσεις.

## **Θερμογραφικός έλεγχος**

Υπάρχουν δύο βασικές μεθοδολογίες θερμογραφικού ελέγχου:

- ο παθητικός έλεγχος (passive)
- ο ενεργητικός έλεγχος (active)

### **A. Παθητικός έλεγχος**

Με τον παθητικό θερμογραφικό έλεγχο εξετάζονται υλικά και κατασκευές που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασιακή κλίμακα από το περιβάλλον (συνήθως υψηλότερη), δηλαδή αφορά σε εφαρμογές που το υλικό περιέχει τη δική του πηγή θερμότητας (π.χ. το ανθρώπινο σώμα). Κατά τη μέθοδο αυτή, καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθρη ακτινοβολία, χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμότητας.

Τα κυριότερα μέρη του εξοπλισμού είναι:

- Μια κάμερα υπέρυθρου (imager) με κατάλληλους φακούς και σύστημα ψύξης
- Ένας τρίποδας στήριξης της κάμερας
- Επεξεργαστής και monitor
- Καταγραφέας (video)
- Προσωπικός υπολογιστής για την επεξεργασία των θερμογραφημάτων.

### **B. Ενεργητικός έλεγχος**

Στην ενεργητική μέθοδο ελέγχου χρησιμοποιείται μια εξωτερική πηγή διέγερσης των εξεταζόμενων υλικών. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται στα πλαίσια της δομικής θερμογραφίας, για την ανίχνευση ασυνεχειών και ελαττωμάτων σε μια αρχιτεκτονική επιφάνεια. Ποιοτικά ο μηχανισμός λειτουργίας της είναι ο εξής: Με τη βοήθεια της εξωτερικής πηγής διέγερσης, το υπό εξέταση υλικό δέχεται ένα θερμικό παλμό, ο οποίος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ των 3,8 με 47 Btu. Η θερμοκρασία του υλικού μεταβάλλεται απότομα μετά την εφαρμογή του θερμικού παλμού, λόγω φαινομένων διάχυσης της ακτινοβολίας κάτω από την επιφάνεια και απωλειών λόγω φαινομένων μεταφοράς με συναγωγή και ακτινοβολία. Η παρουσία ενός άλλου υλικού ή κενού μειώνει το ρυθμό διάχυσης. Επομένως, παρατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η ανομοιογένεια του υλικού φαίνεται σαν περιοχή με διαφορετική θερμοκρασία σε σχέση με τη γύρω "υγιή" ομοιογενή περιοχή. Η εφαρμογή του ενεργητικού θερμογραφικού ελέγχου σε μια τοιχοποιία με τη λήψη θερμογραφημάτων της επιφάνειας μετά από μια διαδικασία θέρμανσης – ψύξης, μπορεί να δώσει πληροφορίες σχετικά με το εσωτερικό μιας τοιχοποιίας.

Προς αυτήν την κατεύθυνση έχουν γίνει πολλές εφαρμογές, οι οποίες όμως παρουσιάζουν δυσκολία στην εφαρμογή τους στα ιστορικά αρχιτεκτονικά κτίρια για τρεις κυρίως λόγους:

- Σε μια ιστορική τοιχοποιία τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των δομικών υλικών μεταβάλλονται από σημείο σε σημείο.
- Η κατάσταση φθοράς της τοιχοποιίας, που τροποποιεί τις φυσικές (πορώδες, θερμική αγωγιμότητα) και τις οπτικές παραμέτρους (ανάκλαση, συντελεστή εκπομπής) της επιφάνειας, θεμελιώδεις για τον καθορισμό της θερμικής συμπεριφοράς των εξεταζόμενων υλικών, είναι σε μεγάλο βαθμό ανομοιογενής.
- Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες (όπως ο φυσικός αερισμός και η υγρασία του εδάφους) δε μπορούν να παραμετροποιηθούν με ακρίβεια σε ένα θερμοδυναμικό μοντέλο του συστήματος τοιχοποιίας-περιβάλλοντος.

Δεδομένης της πολυπλοκότητας των φαινομένων και της ανομοιογένειας που παρουσιάζει μια τοιχοποιία, κρίνεται απαραίτητο να προηγείται συλλογή πληροφοριών (ιστορικών, τεχνικο-κατασκευαστικών), για την υπό εξέταση τοιχοποιία, ώστε η ανάγνωση των θερμογραφημάτων να είναι ευκολότερη.

Συμπερασματικά, ο ενεργητικός έλεγχος επιτρέπει την εξέταση της επιφάνειας σε βάθος, παρουσιάζει όμως λειτουργικά προβλήματα, αφού δεν είναι εύκολη η εφαρμογή του σε εξωτερικούς χώρους. Σε αυτούς συνήθως εφαρμόζουμε τον παθητικό έλεγχο, με τον οποίο παίρνουμε γρήγορα και ακριβή αποτελέσματα.

### **Συντελεστής Εκπομπής**

Ένας άλλος παράγοντας, που ονομάζεται συντελεστής εκπομπής  $\epsilon$  (emissivity), απαιτείται για να περιγράψει το μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ενός σώματος σε συγκεκριμένη θερμοκρασία. Παίρνει τιμές από 0 έως 1. Ο φασματικός συντελεστής εκπομπής  $\epsilon_\lambda$  ισούται με το λόγο της ενέργειας που εκπέμπει ένα αντικείμενο προς την ενέργεια που εκπέμπει το μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία και μήκος κύματος.

### **Εφαρμογές σε αρχιτεκτονικές επιφάνειες**

Η Υπέρυθηρη Θερμογραφία είναι αρκετά αποτελεσματική στον έλεγχο δομικών υλικών και αρχιτεκτονικών επιφανειών. Ανιχνεύει εσωτερικά κενά, φθορές και ανωμαλίες στην δομή των υλικών. Βασίζεται στην αρχή ότι οι ανωμαλίες στην επιφάνεια και στην δομή ενός υλικού επηρεάζουν την μεταφορά θερμότητας διαμέσου του υλικού. Έτσι, οι διαφορές στην ροή της θερμότητας προκαλούν την εμφάνιση διαφορετικών θερμοκρασιών στην επιφάνεια του υλικού. Κατά αυτό τον τρόπο, μετρώντας την θερμοκρασία μπορεί κανείς να προσδιορίσει την ύπαρξη φθορών στο εσωτερικό του υλικού.

Ωστόσο, η επιφανειακή θερμοκρασία που μετράει ένα θερμογραφικό σύστημα εξαρτάται, εκτός από την δομή του υλικού, και από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Έτσι σε μια επί τόπου μέτρηση πρέπει να ληφθούν υπόψη παράγοντες όπως:

- Ηλιακή ακτινοβολία
- Ύπαρξη συννεφιάς
- Θερμοκρασία του περιβάλλοντος
- Ταχύτητα ανέμου
- Σχετική υγρασία

Η θερμοκάμερα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ήταν η FLIR\_B200\_Western με φακό FOL18 σε μήκος κύματος  $\lambda=7,5-13\mu\text{m}$ .

### **3.1.3. ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ [Ground Penetrating Radar - GPR]**

#### **Εισαγωγή**

Το γεωραντάρ (GPR) είναι μια υψηλής ανάλυσης τεχνική που χρησιμοποιεί την διάδοση και διάχυση ηλεκτρομαγνητικού κύματος για ανίχνευση, απεικόνιση και ποσοτικό προσδιορισμό μεταβολών στις ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες του υπεδάφους, δομικών υλικών και κατασκευών. Τα γεωραντάρ μπορούν να λειτουργούν είτε από την επιφάνεια του εδάφους είτε από τον αέρα (αεροσκάφη ή δορυφόροι) και αυτό προσδίδει στην μέθοδο τεράστια ευελιξία. Το γεωραντάρ είναι η γεωφυσική μέθοδος με την μεγαλύτερη ανάλυση στην απεικόνιση υπεδάφους (τάξης cm σε μερικές περιπτώσεις), ενώ το βάθος απεικόνισης κυμαίνεται από λιγότερο του ενός μέτρου έως και μερικά χιλιόμετρα, ανάλογα με τις ιδιότητες του υποστρώματος. Η μέθοδος μπορεί, με κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, να παράγει ψευδο-τριδιάστατες απεικονίσεις του υπεδάφους, ενώ υπό ιδανικές συνθήκες μπορεί να αποδώσει ακριβή δεδομένα για τα αντικείμενα/δομές που είναι ενσωματωμένα στο υπέδαφος ή στο δομικό υλικό προς εξέταση.

## Αρχή λειτουργίας

Το γεωραντάρ χρησιμοποιεί υψηλής συχνότητας (10-10000 MHz), μικρής διάρκειας ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς για αποκάλυψη πληροφοριών στο υπέδαφος ή στην υπό εξέταση κατασκευή. Η μέθοδος βασίζεται στην διάχυση και διάθλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Το ηλεκτρομαγνητικό σήμα (παλμός) παράγεται από έναν πομπό και διοχετεύεται στο υπέδαφος με ταχύτητα που εξαρτάται κυρίως από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Κατά την καθοδική διάχυση και όταν ο παλμός συναντήσει διεπιφάνεια υλικών με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται ή διαχέεται πίσω στην επιφάνεια (όπου και ανιχνεύεται και καταγράφεται από έναν δέκτη στην επιφάνεια του εδάφους) ενώ η υπολειπόμενη ενέργεια του παλμού διοχετεύεται σε βαθύτερα επίπεδα.

*Πίνακας 3.1.2.1 Προσεγγιστικές ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες διαφόρων υλικών*

Υλικό	Σχετική διαπερατότητα	Ταχύτητες παλμού m/ns	Αγωγιμότητα mS/m
Αέρας	1	0,3	0
Φρέσκο νερό	81	0,033	0,10-30
Θαλασσινό νερό	70	0,033	400
Άμμος (ξηρή)	4-6	0,15-0,12	0,0001-1
Άμμος (κορεσμένη)	25	0,0055	0,1-1
Ιλύς (κορεσμένη)	10	0,095	1-10
Πηλός (κορεσμένος)	8-12	0,106-0,087	100-1000
Ξηρή αμμώδης παραθαλάσσια γη	10	0,095	2
Πάγος από φρέσκο νερό	4	0,15	0,1-10
Πάγος από θαλασσινό νερό	4-12	0,15-0,087	
Μόνιμο στρώμα πάγου	4-8	0,15-0,106	0,01-10
Γρανίτης (ξηρός)	5	0,134	0,00001
Ασβεστόλιθος (ξηρός)	7-9	0,113-0,1	0,000001
Δολομίτης	6-8	0,122-0,106	
Χαλαζίας	4	0,15	
Κάρβουνο	4-5	0,15-0,134	
Τσιμέντο	5-10	0,134-0,095	
Άσφαλτος	3-5	0,173-0,134	

## Διάταξη γεωραντάρ

Το γεωραντάρ αποτελείται από την φορητή μονάδα H/Y, την μονάδα ελέγχου (ProEX), την κεραία εκπομπής και λήψης, το καλώδιο που συνδέει την μονάδα ελέγχου με την κεραία, και μια πηγή ενέργειας. Η μονάδα ελέγχου παράγει συγχρονισμένους παλμούς οδήγησης στις κεραίες εκπομπής και λήψης. Οι παλμοί αυτοί ελέγχουν τις κεραίες έτσι ώστε να δημιουργηθεί η κυματομορφή του ανακλασμένου σήματος. Η κεραία λαμβάνει τον ηλεκτρικό παλμό που παράγεται από την κεντρική μονάδα, τον ενισχύει και τον εκπέμπει στο έδαφος ή στην κατασκευή υπό εξέταση με συγκεκριμένη συχνότητα. Η συχνότητα της κεραίας είναι σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει το βάθος διείσδυσης της ακτινοβολίας και επομένως και του βάθους ανάλυσης. Ο έλεγχος της ακτινοβολίας γίνεται με κατάλληλη σχεδίαση της κεραίας. Η κεντρική συχνότητα των τυπικών κεραιών κυμαίνεται από 10 έως 1000 MHz. Οι κεραίες παράγουν παλμούς με εύρος ζώνης 2-3 οκτάβων. Η επιλογή της κεντρικής συχνότητας εξαρτάται από την επιθυμητή διεισδυτικότητα για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι χαμηλές συχνότητες παρέχουν μικρότερες απώλειες ανά μονάδα μήκους, δηλαδή μεγαλύτερη διεισδυτικότητα σε σχέση με τις υψηλότερες συχνότητες, αλλά υστερούν στην ανάλυση που

παρέχουν. Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει την συχνότητα κεραίας, το κατά προσέγγιση βάθος διείσδυσης και τυπικές εφαρμογές

*Πίνακας 3.1.2.2 Βάθη διείσδυσης και τυπικές εφαρμογές κεραιών γεωραντάρ.*

<i>Βάθος διείσδυσης</i>	<i>Κύρια επιλογή</i>	<i>Δευτερεύουσα επιλογή</i>	<i>Εφαρμογή</i>
<i>0 – 0,5m</i>	1600 MHz	900 MHz	Δομικό σκυρόδεμα, οδοστρώματα, καταστρώματα γεφυρών
<i>0 - 1m</i>	900 MHz	400 MHz	Σκυρόδεμα, ρηχά εδάφη, αρχαιολογία
<i>0 – 9m</i>	400 MHz	200 MHz	Αβαθής γεωλογία, ανίχνευση σωληνώσεων, αρχαιολογία
<i>0 – 9m</i>	200 MHz	100 MHz	Γεωλογικές έρευνες, ανίχνευση υπόγειων δικτύων, αρχαιολογία
<i>0 – 30m</i>	<100 MHz		Γεωλογικές έρευνες

Ο παλμός εκπομπής διαχέεται στο υπέδαφος (χώμα) και όταν προσπίπτει σε κάποια ανομοιογένεια -διαφορετικές ηλεκτρικές ή μαγνητικές ιδιότητες σε σχέση με το μητρικό υλικό- μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται προς την επιφάνεια ενώ το υπόλοιπο διαχέεται προς βαθύτερα επίπεδα. Οι πολλαπλές ανακλάσεις αντιστοιχούν στις διάφορες διεπιφάνειες που συναντά ο παλμός μέχρι πλήρους εξασθένησής του.

### **Τρόπος λειτουργίας**

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος λειτουργίας του γεωραντάρ είναι η “μέθοδος προφίλ αντανάκλασης” (reflection profiling method). Στην μέθοδο αυτή ένας παλμός εκπέμπεται προς το υπό εξέταση υλικό και καταγράφονται η ένταση και ο χρόνος που παρέρχεται για την επιστροφή οποιωνδήποτε ανακλάσεων. Άλλος τρόπος λειτουργίας είναι η «διαπεραστική επισκόπηση» (transillumination), όπου ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται στις αντίθετες πλευρές του υλικού προς εξέταση. Εφαρμογή αυτής της μεθόδου γίνεται για παράδειγμα στα ορυχεία, όπου και εφαρμόζονται τομογραφικές τεχνικές αναπαράστασης για παρουσίαση του όγκου ανάμεσα στα σημεία που εξετάστηκαν.

Όπως προαναφέρθηκε, οι ανακλάσεις παράγονται όταν ο παλμός εισδύσει σε υλικό με διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα (διηλεκτρική σταθερά) σε σχέση με το υλικό στο οποίο ταξίδευε. Η ένταση της ανάκλασης καθορίζεται από την διαφορά των διηλεκτρικών σταθερών των δύο υλικών. Για παράδειγμα, παλμός ο οποίος μετακινείται από ξηρή άμμο (σχετική διαπερατότητα ~5) σε υγρή άμμο (σχετική διαπερατότητα ~25) θα παράγει ισχυρή αντανάκλαση, ενώ αντίθετα παλμός ο οποίος μετακινείται από ξηρή άμμο (σχετική διαπερατότητα ~5) σε ασβεστόλιθο (σχετική διαπερατότητα ~7) θα παράγει ασθενείς ανακλάσεις.

Μέρος της ενέργειας του παλμού του γεωραντάρ ανακλάται πίσω προς την κεραία και μέρος του παλμού συνεχίζει να διαχέεται προς τον κύριο όγκο του υλικού μέχρι είτε να εξασθενήσει είτε μέχρι το γεωραντάρ να ολοκληρώσει τον χρονικό κύκλο λειτουργίας του. Ο ρυθμός εξασθένησης του σήματος κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος και εξαρτάται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού στο οποίο κινείται. Υλικά με μεγάλη διηλεκτρική σταθερά είναι ιδιαίτερα αγωγίμα και επομένως εξασθενούν το σήμα με μεγάλο ρυθμό. Ο κορεσμός με νερό του υλικού υπό εξέταση αυξάνει πάρα πολύ την διηλεκτρική σταθερά του υλικού και επομένως εξασθενεί γρήγορα το σήμα, μη επιτρέποντας ικανοποιητική διείσδυση του παλμού.

Τα μέταλλα θεωρούνται ως πλήρεις ανακλαστήρες και δεν επιτρέπουν κανένα μέρος του παλμού να διαχυθεί διαμέσου αυτών, επομένως υλικά κάτω από μεταλλικές πλάκες ή μεταλλικά πλέγματα δεν θα είναι ανιχνεύσιμα από το γεωραντάρ.

Η ενέργεια του ραντάρ δεν εκπέμπεται σε ευθεία γραμμή. Εκπέμπεται σε μορφή κώνου. Ο χρόνος μετ'επιστροφής για ενέργεια στα πλαϊνά του κώνου είναι μεγαλύτερος από τον χρόνο μετ'επιστροφής ακριβώς στον άξονα της κεραίας. Επειδή χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να ανιχνευθεί αυτή η ενέργεια, καταγράφεται σε μεγαλύτερες τιμές σε προφίλ χρόνου. Καθώς η κεραία μετακινείται πάνω από έναν «στόχο», η απόσταση μεταξύ της κεραίας και του στόχου αρχικά μειώνεται μέχρις ότου η κεραία βρεθεί πάνω ακριβώς από τον στόχο, ενώ στην συνέχεια αυξάνει καθώς απομακρύνεται από αυτόν. Για τον λόγο αυτό, ένας τυπικός στόχος θα εμφανίζεται στα δεδομένα σάρωσης με την μορφή υπερβολής (ανάποδο U). Ουσιαστικά ο στόχος βρίσκεται στην κορυφή της υπερβολής αυτής

### **Εφαρμογές**

Το γεωραντάρ βρίσκει εφαρμογές σε αρκετά ερευνητικά και τεχνικά πεδία, συμπεριλαμβανομένων των ακόλουθων:

- Αρχαιολογία: Ανίχνευση θεμελιώσεων αρχαίων κτισμάτων και υπολείμματα διαφόρων κατασκευών
- Χαρτογράφηση υπόγειων σωληνώσεων (ύδρευσης, φυσικού αερίου κ.λ.π.)
- Μη καταστρεπτική εξέταση τσιμέντου και οπλισμένου σκυροδέματος: Ποιοτικός έλεγχος τσιμέντου, ανίχνευση φθοράς και ανομοιογενειών, εξέταση πάχους τσιμέντου κ.λ.π.
- Εξέταση οδοστρωμάτων: Χαρτογράφηση ατελειών, πάχους ασφάλτου
- Γεωλογική χαρτογράφηση: Αποκάλυψη της τοπογραφίας των πετρωμάτων, χαρτογράφηση βυθού ποταμών και λιμνών, αποκάλυψη υπόγειων νερών και υπόγειων κοιλοτήτων
- Ορυχεία: Ανίχνευση πετρωμάτων, κοιλοτήτων και άλλων ανομοιογενειών

Το γεωραντά που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι το MALA ProEX System Control Unit με κεραία συχνότητας 1,6 GHz.



### **3.2. ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΩΝ [3,4,6,10,15,26,27]**

Για τον χαρακτηρισμό των υλικών και των τύπων φθοράς είναι δυνατόν να εφαρμοστούν οι παρακάτω η μέθοδος της πετρογραφικής-ορυκτολογικής μελέτης, φυσικές μέθοδοι, χημικές μέθοδοι, η μέθοδος μελέτης μικροδομής, μέθοδοι δοκιμών μηχανικών αντοχών.

#### **3.2.1. ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΣΕ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΟ ΠΟΛΩΜΕΝΟΥ ΦΩΤΟΣ (Ο.Μ.)**

##### **Σκοπός**

Η πετρογραφική μελέτη χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της γεωγραφικής προέλευσης ενός δομικού υλικού και για την αναγνώριση των δομικών ορυκτών του. Η αναγνώριση επιτυγχάνεται με την εξέταση μιας λεπτής τομής από την προς εξέταση πέτρα και λεπτών τομών δειγμάτων από πυκνές πηγές προέλευσης του υλικού σε πετρογραφικό (πολωτικό) μικροσκόπιο.

Στην αναγνώριση ενός ορυκτού σε λεπτή τομή με τη χρήση πετρογραφικού μικροσκοπίου, τα αρχικά διαγνωστικά στοιχεία είναι το σχήμα του κρυστάλλου, τα επίπεδα σχισμών και οι οπτικές ιδιότητες σε επίπεδο πολωμένο φως. Η αναγνώριση μέσω του σχήματος είναι περιορισμένης χρήσης, γιατί στις πέτρες τα ορυκτά σπάνια μπορούν να αναπτυχθούν σε καλοσηματισμένους κρυστάλλους. Ακόμα, το σχήμα που παρατηρείται εξαρτάται από σχήμα του κρυστάλλου που έχει κοπεί από τη λεπτή τομή και έτσι είναι τυχαίο. Παρ' όλα αυτά, επειδή υπάρχει σχέση ανάμεσα στον τύπο του κρυστάλλου και των διαρρήξεων, οι γραμμές διάρρηξης οι οποίες παρουσιάζονται στις λεπτές τομές σαν ραβδώσεις που διατρέχουν τον κρύσταλλο, αποτελούν ένα αξιόπιστο διαγνωστικό στοιχείο.

Το πολωτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιείται και όταν τα ορυκτά ενός πετρώματος δεν είναι δυνατό να διακριθούν με το μάτι (μικροκρυσταλλικά πετρώματα) αλλά πολλές φορές ορισμένα πετρώματα είναι ακόμη πιο λεπτοκρυσταλλικά (κρυπτοκρυσταλλικά πχ. αργιλικός σχιστόλιθος), ώστε να χρειάζονται άλλες ορυκτολογικές μέθοδοι. Το πολωτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιείται επίσης και στη μελέτη μεταξύ των ορυκτών γεωμετρικών σχέσεων στη σύνθεση των πετρωμάτων, δηλαδή στη μελέτη της δομής τους, που είναι χαρακτηριστική των μεγάλων κατηγοριών πετρωμάτων.

##### **Αρχή της Μεθόδου**

Με τη μέθοδο λαμβάνονται αρχικά διαγνωστικά στοιχεία (σχήμα κρυστάλλου, επίπεδα σχισμών, οπτικές ιδιότητες σε επίπεδο πολωμένου φωτός) στην αναγνώριση ενός ορυκτού σε λεπτή τομή. Με τη χρήση του πρίσματος Nicols, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναλυτής του πολωμένου φωτός, μπορούν να διακριθούν τα ισότροπα από τα ανισότροπα ορυκτά καθώς και τα ανισότροπα ορυκτά μεταξύ τους.

Το φυσικό φως που παράγεται από συνήθεις πηγές όπως ο ήλιος ή οι λάμπες πυράκτωσης αποτελείται από στοιχειώδη κύματα, κάθε ένα από τα οποία έχει άλλο επίπεδο ταλάντωσης, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται γωνίες οποιασδήποτε τιμής ως προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και το φυσικό φως να μην εμφανίζεται πολωμένο. Όταν όμως διέρχεται μέσα από ένα πρίσμα Nicols που δρα ως πολωτής, αναλύεται λόγω διπλοδιαθλαστικότητας σε δύο πολωμένες γραμμικές ακτίνες, από τις οποίες η μία μόνο εξέρχεται από το πρίσμα παράλληλη προς το χαρακτηριστικό επίπεδο του πολωτή, με μειωμένη την ένταση της στο μισό. Το πρίσμα Nicols μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως αναλυτής.

### **Περιγραφή Τεχνικής**

Για την παρασκευή των λεπτών τομών κόβεται από το υλικό ένα κομμάτι πάχους, κατά προσέγγιση 1mm και επιφάνειας 2cm<sup>2</sup>. Η μία πλευρά λειαίνεται βαθμιαία με γυαλόχαρτα όλων και μικρότερων κόκκων μέχρι να γίνει η επιφάνεια λεία και επίπεδη. Η λειασμένη επιφάνεια επικολλάται πάνω σε αντικειμενοφόρο πλάκα και στην άλλη πλευρά αρχίζει να μειώνεται το πάχος μέχρι τα 30μm.

Η πλειοψηφία των ορυκτών που υπάρχουν είναι διαφανή σ' αυτό το πάχος και το δείγμα εξετάζεται στο πετρογραφικό μικροσκόπιο. Η διαφορά αυτού του μικροσκοπίου από το σύνθετος οπτικό μικροσκόπιο έγκειται στην προσθήκη πολωτή και αναλυτή οι οποίοι είναι δύο πρίσματα Nicols.

Το φως από κατάλληλη πηγή αντανακλάται μ' έναν καθρέφτη μέσα στον πολωτή όπου εστιάζεται πάνω στην λεπτή τομή με συγκεντρωτικούς φακούς. Η μεγέθυνση σε τυπική κλίμακα από 20 ως 200 φορές επιτυγχάνεται από τους αντικειμενικούς φακούς και το σύστημα της διόπτρας, ανάμεσα στα οποία βρίσκεται ο αναλυτής. Το επίπεδο, όπου βρίσκονται η λεπτή τομή και ο πολωτής μπορεί να περιστραφεί σε βαθμονομημένη κλίμακα.

Το οπτικού πολωτικού μικροσκοπίου διερχομένου φωτός που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι τύπου Zeiss Axioskop 40.

### **3.2.2. ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)**

#### **Αρχή λειτουργίας**

Όλα τα υλικά, εκτός από τα άμορφα, καθορίζονται από συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή. Ακόμα και ορυκτά που έχουν την ίδια χημική σύσταση, π.χ. αραγωνίτης και ασβεστίτης, έχουν διαφορετικούς κρυστάλλους. Η μέθοδος της περίθλασης ακτινών Χ είναι μια από τις χρησιμότερες φυσικές μεθόδους ανάλυσης για την ποιοτική ταυτοποίηση κρυσταλλικών ενώσεων με ποσοστό συγκέντρωσης πάνω από 5%. Το γεγονός ότι η μέθοδος ανιχνεύει κρυσταλλικές ενώσεις και όχι στοιχεία είναι εξαιρετικά ενδιαφέρον γιατί υπάρχουν πολλές ενώσεις που ενώ περιέχουν τα ίδια χημικά στοιχεία παρουσιάζουν διαφορετική κρυσταλλική δομή.

Όταν μια δέσμη εστιασμένων ακτινών Χ αλληλεπιδρά με τα επίπεδα των κρυστάλλων, μέρος της δέσμης υφίσταται διάθλαση και σκεδασμό, και άλλο μέρος της υφίσταται περίθλαση. Η περίθλαση μιας δέσμης ακτινών Χ από ένα κρυσταλλικό υλικό, είναι ανάλογη με την περίθλαση του φωτός σε σταγόνες νερού, όπου παράγεται το ουράνιο τόξο. Οι ακτίνες Χ διαθλούνται διαφορετικά από κάθε ορυκτό, ανάλογα με το είδος των ατόμων, αλλά και τη διάταξη τους στην κρυσταλλική δομή.

Στην Περιθλασιμετρία Ακτινών Χ, οι ακτίνες Χ παράγονται σε ένα κλειστό σωλήνα υπό κενό. Νήμα πυράκτωσης τροφοδοτείται με ρεύμα, και όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα τόσο μεγαλύτερος και ο αριθμός των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από το νήμα. Εφαρμόζεται μεγάλη, συνήθως, τάση στον σωλήνα, η οποία επιταχύνει τα ηλεκτρόνια, που προσκρούουν σε ένα υλικό. Στην περίπτωση τη δική μας το υλικό αυτό είναι ο χαλκός. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται οι Ακτίνες Χ, των οποίων το μήκος κύματος είναι χαρακτηριστικό του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί ως στόχος. Αυτές οι Ακτίνες εστιάζονται και κατευθύνονται προς το δείγμα. Ένας ανιχνευτής ανιχνεύει το σήμα των ακτινών, το οποίο επεξεργάζεται, και μετατρέπεται σε τιμή μέτρησης. Η γωνία μεταξύ της πηγής, του δείγματος και του ανιχνευτή αλλάζει με ελεγχόμενη ταχύτητα μέχρι μια προκαθορισμένη τιμή. Όταν μια δέσμη ακτινών Χ προσκρούει σε ένα δείγμα

και περιθλάται, είναι δυνατό να μετρηθούν οι αποστάσεις ανάμεσα στα επίπεδα των ατόμων με τη βοήθεια του νόμου *Bragg*:

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

όπου  $n$  είναι η τάξη της περιθλασμένης ακτίνας,  
 $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της δέσμης ακτίνων  $X$ ,  
 $d$  είναι η απόσταση γειτονικών επιπέδων που δημιουργούν τα άτομα και  
 $\theta$  είναι η γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων  $X$ .

Με αυτόν τον τύπο μπορεί κανείς να υπολογίσει τα  $d$ -spacings των κρυστάλλων. Μια ομάδα των τελευταίων αποτελεί το χαρακτηριστικό αποτύπωμα ενός συγκεκριμένου ορυκτού. Είναι φανερό ότι τα άμορφα υλικά δεν αναγνωρίζονται με τη μέθοδο, όπως το γυαλί καθώς και οι περισσότερες οργανικές ενώσεις.

### **Χρήσεις της Μεθόδου Περίθλασης Ακτίνων Χ**

Η βασικότερη χρήση της μεθόδου αυτής είναι η ποιοτική ταυτοποίηση των κρυσταλλικών φάσεων ή συστατικών στα υπό εξέταση υλικά, αλλά και ο ημιποσοτικός προσδιορισμός του ποσοστού της άμορφης φάσης σε αυτά.

Η μέθοδος εφαρμόζεται με σκοπό τα κατωτέρω:

- Το χαρακτηρισμό των υλικών από τα "δακτυλικά αποτυπώματα" των γωνιογραμμάτων περίθλασης ακτίνων  $X$  που δίνουν
- Την ποιοτική ανάλυση των φάσεων (αν υπάρχουν ή όχι και ποιες)
- Την ποσοτική ανάλυση των φάσεων
- Τη μελέτη της μετατροπής των φάσεων
- Τον προσδιορισμό των παραμέτρων της μοναδιαίας κυψελίδας
- Τη μελέτη του σχηματισμού στερεών διαλυμάτων
- Τη μελέτη των αντιδράσεων των στερεών
- Τον προσδιορισμό του μέσου μεγέθους των κρυστάλλων
- Τον προσδιορισμό των κρυσταλλογραφικών προσανατολισμών
- Τον προσδιορισμό της κρυσταλλικής δομής - ύπαρξη ατελειών - πυκνότητα κρυσταλλογραφικού πλέγματος
- Τη μελέτη των κρυσταλλικών παραμορφώσεων λόγω εσωτερικών τάσεων
- Τη μέτρηση των συντελεστών θερμικής διαστολής (με περίθλαση ακτίνων  $X$  υψηλών θερμοκρασιών - high temperature X-ray diffraction - HTXRD)
- Τον προσδιορισμό των διαγραμμάτων φάσεων υψηλών θερμοκρασιών

### **Προετοιμασία των δειγμάτων**

Για τη διεξαγωγή πειραμάτων μέσω της μεθόδου απαιτείται ποσότητα δείγματος ~2-3 g, η οποία κνοιορτοποιείται και τοποθετείται σε δειγματοφορέα σχηματίζοντας ευθεία επιφάνεια.

Το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις στην παρούσα εργασία είναι το X-ray Diffractometer D5005, Siemens.

### 3.2.3. ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Η μέθοδος της ποροσιμετρίας υδραργύρου χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του πορώδους και τον υπολογισμό και άλλων χαρακτηριστικών της μικροδομής όπως του ειδικού όγκου, της φαινόμενης πυκνότητας, της ειδικής επιφάνειας, του ολικού πορώδους και της κατανομής του μεγέθους των πόρων. Ο προσδιορισμός του πορώδους με την τεχνική εισόδου του υδραργύρου βασίζεται στη συμπεριφορά των μη διαβρεχόντων υγρών στους πόρους των υλικών. Ο υδράργυρος αποτελεί ένα μη διαβρέχον υγρό για το σύνολο σχεδόν των υλικών. Συνεπώς απαιτείται η εφαρμογή πίεσης για να εισδύσει στους πόρους ενός εκκενωμένου υγρού. Η πίεση αυτή δίνεται από την εξίσωση Washbourn:

$$Pr = -2\sigma\cos\theta$$

όπου  $r$  είναι η ακτίνα των πόρων,  
 $\sigma$  είναι η επιφανειακή τάση του υδραργύρου,  
 $\theta$  είναι η γωνία επαφής και  
 $P$  είναι η πίεση

Η πειραματική διαδικασία ακολουθεί μια σειρά βημάτων όπου χρησιμοποιούνται δύο όργανα συνδεδεμένα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου γίνεται απευθείας η αποθήκευση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων με αποτέλεσμα την απευθείας καταγραφή της καμπύλης διείσδυσης-απομάκρυνσης υδραργύρου και τον υπολογισμό του ολικού ειδικού όγκου  $TCV$  ( $mm^3/g$ ), της ειδικής επιφάνειας των πόρων  $A_s$  ( $m^2/g$ ), της μέσης ακτίνας των πόρων  $r_{av}$  ( $\mu m$ ), της φαινόμενης πυκνότητας  $dbulk$  ( $g/cm^3$ ) και του ολικού ανοιχτού πορώδους  $P\%$

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα: Macropores Unit 120 που μετρά τους μεγαλύτερους πόρους και Pascal 440 για τη μέτρηση των μικρότερων πόρων. την πορομετρία υδραργύρου με τα και

### 3.2.4. ΘΕΡΜΟΒΑΡΥΜΕΤΡΙΚΗ-TG ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-DTA (DTA-TG)

Η συνδυασμένη τεχνική της θερμοβαρυμετρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης επιτρέπουν τη συνεχή καταγραφή δεδομένων με τη μορφή θερμικών φασμάτων. Τα φάσματα αυτά χαρακτηρίζουν ένα απλό ή σύνθετο σύστημα υλικών βάσει των μεταβολών των θερμοδυναμικών, φυσικών ή μηχανικών ιδιοτήτων τους καθώς και των μεταβολών της δομής τους, αλλά και της κινητικής των χημικών αντιδράσεων και φυσικοχημικών δράσεων που λαμβάνουν χώρα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

Το αποτέλεσμα μιας μέτρησης Διαφορικής Θερμικής Ανάλυσης είναι μια θερμοβαρυμετρική καμπύλη. Με βάση τη μορφή των θερμοβαρυμετρικών καμπυλών αναγνωρίζονται οι επερχόμενες φυσικές και χημικές μεταβολές στις προκαθορισμένες θερμοκρασιακές αλλαγές. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του θερμοκρασιακού προγράμματος μπορεί να λάβουν χώρα τα ακόλουθα: Διάσπαση ενώσεων, αντίδραση του εξεταζόμενου δείγματος με το περιβάλλον του κ.α. Έτσι, η καμπύλη που παίρνουμε έχει διάφορες κορυφές από το εύρος και την θερμοκρασία στην οποία αυτές βρίσκονται μπορούμε να βγάλουμε αφενός ποιοτικά και αφετέρου ποσοτικά συμπεράσματα για τη σύσταση της ουσίας που μελετάται. Η παρατηρήσεις αυτές έχουν απαραίτητο συμπλήρωμα την καμπύλη απώλειας-αύξησης βάρους.

Το θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο μπορούμε να μετρήσουμε είναι 25-1400 °C. Τα βασικά στοιχεία ενός θερμοδιαγράμματος περιγράφονται παρακάτω:

Κορυφή (peak): Είναι το σημείο εκείνο της καμπύλης στο οποίο φθάνει αυτή όταν έχει απομακρυνθεί από τη βασική γραμμή (baseline) και από το σημείο αυτό αρχίζει την επιστροφή της στην βασική γραμμή.

Βασική γραμμή (baseline): Είναι το κομμάτι εκείνο της γραμμής στο οποίο δεν συμβαίνει καμιά μεταβολή στη θερμική κατάσταση του δείγματος.

Περιοχή κορυφής (peak area): Η περιοχή (επιφάνεια) κορυφής είναι το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης και της υπολογιζόμενης δια παρεμβολής βασικής γραμμής. Από το εμβαδόν αυτής της επιφάνειας υπολογίζεται και το ποσό της ενθαλπίας που απορροφάται ή εκλύεται (ανάλογα αν η δράση είναι ενδόθερμη ή εξώθερμη) με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta H = F / (mK),$$

όπου: H = ενθαλπία,

F: εμβαδόν περιοχής κορυφής (peak area),

K: παράγοντας βαθμονόμησης (calibration factor),

m: μάζα δείγματος

Για την εξέταση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε το όργανο STA 409 EP Netzsch.

### **3.2.5. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΚΟΝΙΑΣ/ΑΔΡΑΝΩΝ**

Κατά την εν λόγω μέθοδο πραγματοποιείται κοκκομετρική κατανομή των αδρανών και διαχωρισμός τους από την συνδετική ύλη για την εύρεση της αναλογίας των αδρανών και της κονίας.

Με την χρήση κόσκινων γίνεται ο διαχωρισμός κονίας – αδρανών, καθώς και ο διαχωρισμός των αδρανών σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιούνται είναι ISO 565 και διαμέτρων οπών από 8mm μέχρι και κάτω από 63μm.

### **3.2.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ (SST%) & ΔΟΚΙΜΕΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΧΗΜΙΚΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ (SPOT TESTS)**

Για τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών αλάτων εφαρμόστηκε το ιταλικό πρότυπο “Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83”, κατά το οποίο λαμβάνει χώρα ζύγιση  $100 \pm 5$  mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή των διαλυμάτων μετρείται η αγωγιμότητά τους, η οποία εκφράζεται σε μSiemens. Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$SST\% = (C \times 6,88) / m$$

όπου:

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS

m: το βάρος του προς εξέταση δείγματος σε mg

Η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων και του τυφλού ήταν 20 – 21 °C κατά τη μέτρηση της αγωγιμότητάς τους.

Συμπληρωματικά του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων ( $\text{Cl}^-$ ) και θειικών αλάτων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), δεδομένης της καθοριστικής συμβολής τους στη φθορά των υλικών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα υδατικά διαλύματα βάσει των οποίων έγινε ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας. Γενικά, για την παρασκευή των διαλυμάτων απαιτείται η χρήση απιονισμένου νερού υψηλής καθαρότητας.

Για τον προσδιορισμό των χλωριούχων αλάτων κάθε δείγματος τοποθετήθηκε μέρος του υδατικού του διαλύματος εντός δοκιμαστικού σωλήνα και προστέθηκε μικρή ποσότητα (λίγες σταγόνες) νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,1 N. Παρουσία χλωριόντων σχηματίζεται χλωριούχος άργυρος ( $\text{AgCl}$ ) που δημιουργεί χαρακτηριστικό λευκό θόλωμα. Η ποσότητα των περιεχομένων χλωριόντων καθορίζει την ένταση του παρατηρούμενου θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των θειικών ιόντων προστέθηκε, βάσει της ίδιας διαδικασίας, μικρή ποσότητα χλωριούχου βαρίου ( $\text{BaCl}_2$ ) 0,1 M. Παρουσία θειικών ιόντων παράγεται θειικό βάριο ( $\text{BaSO}_4$ ), που και αυτό προκαλεί λευκό θόλωμα. Η ποσοτική παρουσία των θειικών ιόντων καθορίζει την ένταση του θολώματος.

Ποιοτικά, η παρουσία των χλωριόντων και των θειικών ιόντων μπορεί να χαρακτηριστεί ως πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, μικρή, πολύ μικρή ή ίχνη. Επισημαίνεται ότι μέτρο σύγκρισης για την πολύ μεγάλη παρουσία χλωριόντων είναι το πόσιμο νερό.

### 3.3 Η ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ – ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

#### 3.3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ [28,29,30]

Τα περισσότερα ιστορικά στοιχεία που υπάρχουν αφορούν στο σύνολο του συγκροτήματος του Μεταξουργείου, ενώ λίγες πληροφορίες καταγράφονται για την Οικία Δουρούτη ως ανεξάρτητου κτηρίου. Τα στοιχεία προκύπτουν από τη μελέτη του βιβλίου “Το Μεταξουργείο της Αθήνας” των Χ. Αγριαντώνη και Μ. Χ. Χατζηϊωάννου που εκδόθηκε το 1995 και συγκεκριμένα από το κεφάλαιο “Το Οικοδομικό Χρονικό του Κτηριακού Συγκροτήματος του Μεταξουργείου” των Γ. Πουλημένου, Μ. Δανιήλ και Α. Πουλούδη, όπου περιγράφεται το κτηριακό συγκρότημα του Μεταξουργείου με λεπτομέρειες για την ιστορία του.

Η ανέγερση του κτηριακού συγκροτήματος του Μεταξουργείου, από τα παλαιότερα νεοκλασικά της Αθήνας, ξεκίνησε το 1833 μ.Χ. σε οικόπεδο που είχε αγοράσει ο Γεώργιος Καντακουζηνός με σχέδια του δανού αρχιτέκτονα Christian Hansen. Τα χαρακτηριστικά του κτηρίου συμπίπτουν με τα γενικά χαρακτηριστικά κτηρίων εκείνης της περιόδου (1834-1860).

Ο Καντακουζηνός ήθελε να κατασκευάσει ένα κτηριακό συγκρότημα που θα περιελάμβανε την ιδιόκτητη κατοικία του και εμπορικό κέντρο με καταστήματα και κατοικίες για του εμπόρους. Η διαδικασία ανέγερσης του συγκεκριμένου οικοδομικού συνόλου αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια ίδρυσης στεγασμένου εμπορικού κέντρου κατά τα ευρωπαϊκά πρότυπα.

Η τοποθεσία κατασκευής του συγκροτήματος επιλέχθηκε γιατί, βάσει του πολεοδομικού σχεδίου του Leo von Klentze, στην περιοχή του Κεραμικού θα κατασκευαζόντουσαν τα βασιλικά ανάκτορα.

Την ίδια χρονιά ολοκληρώθηκε η οικία του Γ. Καντακουζηνού, ενώ δεν είναι γνωστή η ακριβής περίοδος κατοίκησης του εκεί. Είναι γνωστό όμως ότι ο Καντακουζηνός νοίκιασε την οικία του αρχικά στον Ο. Gropius (προ του 1842 μ.Χ.) και από το 1842 μ.Χ. και μετά στον Christian Erik Siegel. Τόσο ο Gropius όσο και ο Siegel υπενοικίαζαν χώρους που δεν χρησιμοποιούσαν.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών του εμπορικού κέντρου δημιουργήθηκαν προβλήματα ανάμεσα στον ιδιοκτήτη και τον αρχιτέκτονα σχετικά με μια προσθήκη ορόφου που επιθυμούσε ο Καντακουζηνός. Αποτέλεσμα της διαφωνίας ήταν η παραίτηση του Hansen (η προσθήκη ορόφου τελικά δεν πραγματοποιήθηκε και το κτήριο στεγάστηκε με την κατασκευή δίριχτης στέγης). Τελικά, το σχέδιο του Klentze δεν εφαρμόστηκε και τα βασιλικά ανάκτορα κατασκευάστηκαν στην Πλατεία Ανακτόρων, νυν Πλατεία Συντάγματος. Έτσι, το εγχείρημα ανέγερσης του εμπορικού κέντρου δεν ολοκληρώθηκε και αυτό παρέμεινε ημιτελές, χωρίς στέγη στη δυτική πλευρά και με τους τοίχους να ακουμπούν σε ξύλινες αντιστηρίξεις και σκαλωσιές.

Με την πάροδο του χρόνου, το κτηριακό συγκρότημα του Μεταξουργείου άλλαξε χρήσεις και ιδιοκτησιακό καθεστώς.

Το 1852 μ.Χ. η εταιρία ‘Augustus Wramppe & Co’ αγόρασε την οικία του Καντακουζηνού και το εμπορικό κέντρο με σκοπό την μετατροπή του οικοδομήματος σε μεταξουργείο. Για την μετατροπή, έγιναν αλλαγές στο αρχικό σχέδιο του Hansen, κυρίως στη δυτική πτέρυγα (πραγματοποιήθηκε κατεδάφιση του υπερυψωμένου τμήματος), ενώ διαμορφώθηκε το ισόγειο και ο όροφος σε δυο ενιαίους χώρους για την κάλυψη των λειτουργικών αναγκών του Μεταξουργείου. Επιπροσθέτως μεταφέρθηκε η κεντρική είσοδος στη βόρεια πλευρά. Βάσει της έκθεσης της κα Αριστέας Παπανικολάου – Κρίστενσεν, η μεταφορά της κεντρικής εισόδου οδήγησε στην «διαμόρφωση δύο συνθέσεων από έξι παράθυρα σε δύο επάλληλες σειρές

μεταξύ τεσσάρων παραστάδων, οι οποίες κλείνουν σε τριγωνικό αέτωμα στην πρόσοψη». Στις 20 Αυγούστου του 1853 η εταιρία πτώχευσε και το μεταξουργείο δε λειτούργησε. Μετά την πτώχευση της εταιρίας μετατράπηκε προσωρινά σε 'Νοσοκομείο Χολεριώντων' (1854 μ.Χ.). Το 1854 πραγματοποιείται πλειστηριασμός και το οικοδόμημα περνά στην ιδιοκτησία της ελληνικής σηρικής εταιρίας «Σηρική Εταιρία της Ελλάδος 'Αθανάσιος Δουρούτης & Σια'». Η σηρική εταιρία λειτουργεί το εργοστάσιο μεταξουργίας για 20 χρόνια (1855 – 1875 μ.Χ.). Λόγω χρεών προς την Εθνική Τράπεζα το κτηριακό σύνολο εκτίθεται ξανά σε πλειστηριασμό στον οποίο πλειοδοτεί ο Γ. Α. Δουρούτης. Από το 1886 μ.Χ. ο Α. Δουρούτης αξιοποίησε το οικοδομικό συγκρότημα με την μετατροπή του σε κατοικίες και αποθηκευτικούς χώρους (η Μαρία Κοτοπούλη χρησιμοποίησε μια από αυτές τις αποθήκες ως αποθήκη του θεάτρου της), με το βορειοδυτικό τμήμα, επί της οδού Μ. Αλεξάνδρου, να μετατρέπεται σε κατοικία της οικογένειας Δουρούτη.

Το 1944 μ.Χ. το κτήριο του Μεταξουργείου χρησιμοποιήθηκε ως φρουραρχείο του ΕΛΑΣ, ενώ ύστερα από πυρκαγιά το 1960 οι κατοικίες και τα καταστήματα εγκαταλείφθηκαν σταδιακά. Η εγκατάλειψη ολοκληρώθηκε το 1993 μ.Χ. οπότε και το κτηριακό συγκρότημα πέρασε ως δωρεά στον Δήμο Αθηναίων. Η Οικία Δουρούτη (επί της Μ. Αλεξάνδρου & Γιατράκου) κατοικήθηκε από την οικογένεια Δουρούτη (τελευταίος κάτοικος ο Ιωάννης Δούρος - Δουρούτης) μέχρι το 2009, ενώ, σε αντίθεση με το υπόλοιπο κτηριακό συγκρότημα, δεν έχει χαρακτηριστεί ως διατηρητέο κτήριο.

Ως συνέπεια των ανωτέρω, το κύριο χαρακτηριστικό του κτηρίου είναι οι πολλές και ποικίλες προσθήκες που έχει δεχθεί. Ανά διαστήματα, ο εκάστοτε ιδιοκτήτης προέβινε σε τροποποιήσεις, για τις οποίες δεν υπάρχει τεκμηρίωση. Ο κατακόρυφος φέρων οργανισμός της Οικίας Δουρούτη διαμορφώνεται από λιθόδητους τοίχους (αργολιθοδομή). Οι διαχωριστικοί τοίχοι του κτηρίου είναι κατασκευασμένοι από οπτόπλινθο και μπαγδατί. Τα κατώφλια των παραθύρων είναι κατασκευασμένα από διαφορετικά υλικά. Τα παλαιότερα πατώματα του κτηρίου είναι κατασκευασμένα από ξύλο, ενώ τμήμα του κτηρίου, το οποίο βρίσκεται στη δυτική πλευρά και είναι αυτό που συνορεύει με την τωρινή Πινακοθήκη, καλύπτεται με μεταλλικό πάτωμα. Το κτήριο καλύπτεται από δικλινή στέγη, τα κεραμίδια της οποίας έχουν προσφάτως αντικατασταθεί. Κατά τη διάρκεια αυτής της αποκατάστασης, η οποία πραγματοποιήθηκε κατά την τελευταία δεκαετία με αυτεπιστασία του Δήμου Αθηναίων, εκτός από τα κεραμίδια αντικαταστάθηκε και το εξωτερικό επίχρισμα του κτηρίου.

Το ισχυρό επίχρισμα, που καλύπτει το σύνολο του κτηρίου, καθιστά εξαιρετικά δύσκολο τον προσδιορισμό των φάσεων κατασκευής και καλύπτει πολλές προσθήκες και διαφορετικά υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί.



### 3.3.2 ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ

Η Οικία Δουρούτη αποτελεί τμήμα του συγκροτήματος του Μεταξουργείου Αθηνών. Τα χαρακτηριστικά του κτηρίου συμπίπτουν με τα γενικά χαρακτηριστικά κτηρίων εκείνης της περιόδου. Μακροσκοπικά, το κτήριο παρουσιάζεται σε πολύ καλή κατάσταση διατήρησης. Το επίχρισμα του κτηρίου, πρόσφατα αντικατεστημένο κατά τις εργασίες αποκατάστασης που πραγματοποίησε ο Δήμος Αθηναίων κατά την τελευταία δεκαετία με αυτεπιστασία, δεν επιτρέπει την πλήρη κατανόηση του κτηρίου και καλύπτει πολλές προσθήκες και διαφορετικά υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί [29].



Εικόνα 3.3.2.1 Όψη Οικίας από οδό Μ. Αλεξάνδρου, Βόρεια όψη

Στη Βόρεια όψη της Οικίας παρατηρείται ήπια έκπλυση μεταξύ των ανοιγμάτων του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> ορόφου.



Εικόνα 3.3.2.2 Λεπτομέρεια ακροκέραμων, πρόσφατα αντικατεστημένων, βόρεια όψη

Τα ακροκέραμα αντικαταστάθηκαν κατά την αποκατάσταση του Δήμου Αθηναίων [29]. Παράλληλα, διακρίνεται η παρουσία ρωγμών στο άνω άκρο της όψης, εξωτερικά.



Εικόνα 3.3.2.3 Νότια όψη Οικίας Δουρούτη, από εσωτερική αυλή

Στη Νότια όψη της Οικίας παρατηρούνται οι περισσότερες φθορές στο εξωτερικό του κτηρίου.



Εικόνα 3.3.2.4 Νότια όψη Οικίας, 2<sup>ος</sup> όροφος

Στην στηθαίο (απόληξη του υποστυλώματος) δεξιά, παρατηρούνται εκτεταμένες χρωματικές αλλοιώσεις που πιθανότατα οφείλονται σε φθορά από βιολογικούς παράγοντες, ενώ στην όψη του μπαλκονιού παρουσιάζονται επίσης εκτεταμένες επιφανειακές φθορές και αποφλοιώσεις (Εικ. 3.3.2.4).

Στο υποστύλωμα αριστερά (Εικ. 3.3.2.4), το οποίο σε παλιά φωτογραφία του αρχείου της κ. Μαρίας Δανιήλ παρουσιάζει σοβαρές αστοχίες (Εικ. 3.3.2.5), έχει υποστεί αποκατάσταση με τσιμεντοκονίαμα [29]. Σε αυτό παρουσιάζονται εκτεταμένες αποφλοιώσεις.



Εικόνα 3.3.2.5 Παλαιά φωτογραφία της όψης της αυλής (Φωτογραφικό αρχείο κ. Μαρίας Δανιήλ)



Εικόνα 3.3.2.6 Δεύτερος από τα δεξιά πεσσός, νότια όψη, εξωτερικά, 2<sup>ος</sup> όροφος



Εικόνα 3.3.2.7 Κάτω μέρος μπαλκονιού 2<sup>ου</sup> ορόφου, νότια όψη

Την παρουσία ρωγμών έχουμε και στον 2<sup>ο</sup> όροφο, εξωτερικά, στη νότια όψη του κτηρίου (Εικ. 3.3.2.6). Επιπλέον, το κάτω μέρος του μπαλκονιού του 2<sup>ου</sup> ορόφου καλύπτεται με σχιστόλιθο, ενώ περιμετρικά τοποθετούνται μεταλλικές δοκοί, οι οποίες εμφανίζονται οξειδωμένες (Εικ. 3.3.2.7) [29,31].



Εικόνα 3.3.2.8 Δάπεδο μπαλκονιού 1<sup>ου</sup> ορόφου, νότια όψη

Ρωγμές παρουσιάζονται επίσης στο κάτω μέρος του δαπέδου του μπαλκονιού του 1<sup>ου</sup> ορόφου (Εικ. 3.3.2.8) καθώς και στην εξωτερική νότια όψη του κτηρίου, στον 1<sup>ο</sup> όροφο σε χαμηλό ύψος (Εικ. 3.3.2.9), φαινόμενο που επεκτείνεται και εσωτερικά (Εικ. 3.3.2.10).



Εικόνα 3.3.2.9 Νότια όψη, εξωτερικά, 1<sup>ος</sup> όροφος σε χαμηλό ύψος



Εικόνα 3.3.2.10 Νότια όψη, εσωτερικά, δωμάτιο κεντρικής εισόδου, αντίστοιχη θέση της Εικ. 3.3.2.8



Εικόνα 3.3.2.11 Ισόγειο, νότια εξωτερική τοιχοποιία, χαμηλό ύψος, δεξί άκρο. Τοιχοποιία της λέσχης.



Εικόνα 3.3.2.12 Ισόγειο, νότια εξωτερική τοιχοποιία, αριστερό άκρο. Αριστερά της κλεισμένης εισόδου.

Η περιοχή της Εικ. 3.3.2.11 βρίσκεται σε τοιχοποιία του μπάνιου της λέσχης φίλιας Δουρούτη. Πιθανότατα στην περιοχή παρουσιάζεται τιμέντο, που έχει αποκαλυφθεί με την ταυτόχρονη ανάπτυξη επιφανειακών ρωγμών και αποφλοιώσεων, ενώ είναι επίσης πιθανή η παρουσία σωληνώσεων στην τοιχοποιία.

Στην περιοχή της Εικ. 3.3.2.12, τοιχοποιία του Ισογείου πάνω από το φεγγίτη του Υπογείου, παρουσιάζονται επίσης επιφανειακές αποκολλήσεις, ενώ δεν αποκλείεται η παρουσία βιολογικών παραγόντων φθοράς, λόγω της παρουσιαζόμενης χρωματικής αλλοίωσης.



Εικόνα 3.3.2.13 Ισόγειο, κολώνα στην περιοχή της αυλής μπροστά από τον φεγγίτη του Υπογείου

Στην κολώνα της αυλής παρουσιάζονται εκτεταμένες αποκολλήσεις και χρωματικές αλλοιώσεις, γεγονός που υποδεικνύει την έντονη παρουσία υγρασίας, συνεπώς και βιολογικών παραγόντων φθοράς.



Εικόνα 3.3.2.14 Αποθήκη αυλής



Εικόνα 3.3.2.15 Αποθήκη αυλής

Η αποθήκη της αυλής, καθώς και η σκάλα αποτελούν μεταγενέστερες προσθήκες του κτηρίου, στην οποία πιθανότατα παρουσιάζεται η χρήση τσιμέντου [29]. Στην επιφάνεια παρατηρούνται έντονες αποφλοιώσεις καθώς και χρωματικές αλλοιώσεις που υπαγορεύουν την παρουσία βιολογικών παραγόντων φθοράς.



Εικόνα 3.3.2.16 Υπόγειο, νότιος προσανατολισμός



Εικόνα 3.3.2.17 Cours d' anglais – Υπόγειο



Εικόνα 3.3.2.18 Κάτω από την Καμάρα κοντά στο φεγγίτη του Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία

Το υπόγειο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, το οποίο τροφοδοτεί τις τοιχοποιίες με υγρασία. Στην εικ. 3.3.2.18 παρατηρούνται εξανθήσεις αλάτων σε χαμηλό ύψος από το έδαφος, ενώ άνω των εξανθήσεων παρουσιάζονται αποκολλήσεις τις επίστρωσης.



Εικόνα 3.3.2.19 Βορειοανατολική όψη της Οικίας, σημειώνεται η σοφίτα [29]



Εικόνα 3.3.2.20 Σοφίτα [32]



Εικόνα 3.3.2.21 Στέγη από τη σοφίτα [32]

Τέλος, το οικοδόμημα περιλαμβάνει σοφίτα που φαίνεται στην εικ. 3.3.2.19 και απεικονίζεται στην εικ. 3.3.2.20 από όπου είναι ορατή η στέγη (εικ. 3.3.2.21) [32].

Ο κορμός του κτηρίου αποτελείται από αργολιθοδομή, ωστόσο το ισχυρό επίχρισμα που έχει πρόσφατα αντικατασταθεί [29] επικαλύπτει τα δομικά υλικά καθώς και την πραγματική κατάσταση διατήρησης. Συνεπώς, κρίθηκε σκόπιμο να αφαιρεθεί το επίχρισμα σε αντιπροσωπευτικά σημεία στα οποία ήταν δυνατή η πρόσβαση, με σκοπό την επιλογή των θέσεων δειγματοληψίας. Η αποκάλυψη των τοιχοποιιών πίσω από το επίχρισμα εκπλήσσει, αφού αποκάλυπτει ποικιλία δομικών υλικών και τρόπων δόμησης.

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο τρόπος κωδικοποίησης των δειγμάτων που ελήφθησαν και κατόπιν παρουσιάζονται τα δείγματα και οι θέσεις του κτηρίου από της οποίες ελήφθησαν.

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων έχει ως εξής:

Η 1<sup>η</sup> θέση του κωδικού είναι πάντα το γράμμα “D” που δηλώνει την Οικία Δουρούτη.

Στη 2<sup>η</sup> θέση έχουμε τους χαρακτήρες:

- “B” (Basement) για τα δείγματα που ελήφθησαν από το Υπόγειο
- “G” (Ground floor) για τα δείγματα που ελήφθησαν από το Ισόγειο
- “1” για τα δείγματα που ελήφθησαν από τον 1<sup>ο</sup> όροφο
- “2” για τα δείγματα που ελήφθησαν από το 2<sup>ο</sup> όροφο

Η 3<sup>η</sup> θέση της κωδικοποίησης είναι αριθμός και δηλώνει τη θέση δειγματοληψίας σε κάθε όροφο. Έτσι έχουμε τα γράμματα 1, 2, 3 για τις θέσεις δειγματοληψίας 1, 2, 3 αντίστοιχα.

**Κατόπιν, ακολουθεί ο χαρακτήρας “\_” σε όλα τα δείγματα.**

Ακολουθεί γράμμα που δηλώνει το είδος του υλικού. Έτσι έχουμε τα γράμματα:

- **s (stone) για λίθο**
- **c (ceramic) για οπτόπλινθο**
- **m (mortar) για κονίαμα**
- **p (plaster) για επίχρισμα**

Ξεχωριστά για το κάθε είδος υλικού σημειώνονται τα εξής:

Από κάθε θέση δειγματοληψίας ελήφθησαν δύο διαφορετικοί λίθοι. Έτσι, μετά το γράμμα που δηλώνει ότι το δείγμα αποτελεί λίθο (“s”) ακολουθεί είτε αριθμός (1, 2) για να ξεχωρίσει τον ένα λίθο από τον άλλο, είτε γράμμα που δηλώνει το χρώμα του λίθου (δηλαδή g (grey) για γκριζο λίθο, w (white) για λίθο υπόλευκου χρωματισμού, b (beige) για λίθο μπεζ χρώματος, r (red) για κόκκινο λίθο).

Για τους οπτόπλινθους, μετά το γράμμα “c” ακολουθεί είτε το γράμμα “r” (red) για τους κόκκινους, είτε το γράμμα “y” (yellow) για τους κίτρινους.

Στα κονιάματα, συνήθως μετά το γράμμα “m” δεν ακολουθεί άλλος χαρακτήρας, αφού από τις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας ελήφθη ένα δείγμα κονιαμάτων. Ωστόσο, από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου ελήφθησαν δύο δείγματα κονιαμάτων, ένα από την ποδιά του παραθύρου, χρώματος καστανού και γι’ αυτό, για το συγκεκριμένο δείγμα μετά το γράμμα “m” ακολουθεί το γράμμα “b” (brown) και ένα από σημείο αριστερά της ποδιάς του παραθύρου, γκριζου χρώματος και γι’ αυτό, για το συγκεκριμένο δείγμα μετά το γράμμα “m” ακολουθεί το γράμμα “g” (grey).

Στους κωδικούς των επιχρισμάτων, κατά την παρουσίαση της δειγματοληψίας αυτών, μετά το γράμμα “p” δεν ακολουθεί άλλος χαρακτήρας, αφού από τις περισσότερες θέσεις δειγματοληψίας ελήφθη ένα δείγμα επιχρίσματος. Ωστόσο, από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου ελήφθησαν δύο δείγματα επιχρισμάτων, ένα από την ποδιά του παραθύρου που είναι ροδόχρωμο και γι’ αυτό, για το συγκεκριμένο δείγμα μετά το γράμμα “p” ακολουθεί ξανά το γράμμα “p” (pink) και ένα από σημείο αριστερά της ποδιάς του παραθύρου, γκριζου χρώματος και γι’ αυτό, για το συγκεκριμένο δείγμα μετά το γράμμα “p” ακολουθεί το γράμμα “g” (grey). Όμως, τα περισσότερα επιχρίσματα περιλαμβάνουν δύο στρώματα το υπόστρωμα και το φινίρισμα. Έτσι, κατά την παρουσίαση των αποτελεσμάτων των αναλυτικών τεχνικών που εφαρμόζονται ξεχωριστά στο κάθε στρώμα, μετά από το γράμμα “p” ακολουθούν οι χαρακτήρες “\_r” (\_raw) όταν παρουσιάζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος, ή οι χαρακτήρες “\_f” (\_fine) όταν παρουσιάζεται το φινίρισμα του επιχρίσματος.



## ΥΠΟΓΕΙΟ

Στο υπόγειο, ελήφθησαν δείγματα από 3 θέσεις δειγματοληψίας. Το επίχρισμα όλων των θέσεων δειγματοληψίας ήταν εξαιρετικά σαθρό, ενώ στη θέση δειγματοληψίας 1 (ακολουθεί) είχε ήδη αποκολληθεί σε μικρή περιοχή πριν την πραγματοποίηση της περαιτέρω καθαίρεσής του για τη δειγματοληψία (β.λ. θέση δειγματοληψίας 1 Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία).

Η θέση δειγματοληψίας 1 βρίσκεται στην πρώτη, κατά την είσοδο στο υπόγειο, καμάρα -στην καμάρα κοντά στη σκάλα-, στην ανατολική τοιχοποιία του υπογείου -ο τρόπος δόμησης της οποίας φαίνεται στην αντίστοιχη εικόνα-, η δομή της οποίας περιλαμβάνει οπτόπλινθους κόκκινου χρώματος, λίθους, κονιάμα και εξαιρετικά σαθρή και μικρού πάχους επίστρωση (β.λ. θέση δειγματοληψίας 1 Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία). Από εκεί ελήφθη δείγμα κόκκινου οπτόπλινθου σε ύψος 150 cm από το έδαφος.

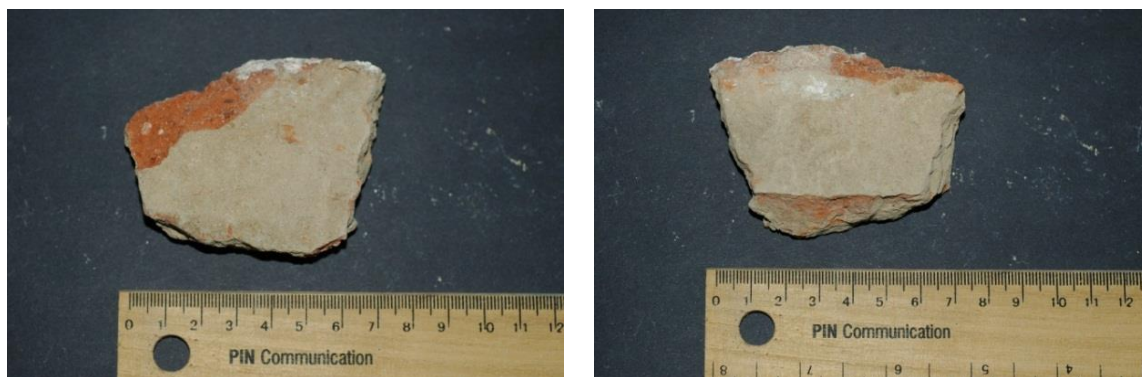
Οι θέσεις 2 και 3 βρίσκονται κοντά στο φεγγίτη που βλέπει στον κήπο, η μεν θέση 2 στην απόληξη του σταυροθολίου και η θέση 3 στην τοιχοποιία. Ο προσανατολισμός των θέσεων είναι νότιος. Σε αυτές παρουσιάζεται ο ίδιος τρόπος δόμησης, όπως στη θέση 1.

Από τη θέση 2 ελήφθησαν δείγματα κόκκινου οπτόπλινθου, κονιάματος αρμολόγησης καθώς και επιχρίσματος πάχους 2 cm το οποίο εμπεριέχει άχυρο, σε ύψος 165 cm από το έδαφος.

Από τη θέση 3 ελήφθησαν δύο λίθοι που θα ερευνηθεί εάν είναι της ίδιας προέλευσης, κόκκινος οπτόπλινθος καθώς και επίχρισμα πάχους 3 cm το οποίο εμπεριέχει άχυρο, σε ύψος 150 cm από το έδαφος.



Θέση δειγματοληψίας 1 Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία



DB1\_cr



**Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 1 Υπογείου από τη Μαρία Κάβουρα [32]**



**Θέση δειγματοληψίας 2 Υπογείου**

**Θέση δειγματοληψίας 3 Υπογείου**



**Θέση δειγματοληψίας 2 Υπογείου – νότιος (αριστερά) και ανατολικός (δεξιά) προσανατολισμός**



DB2\_cr



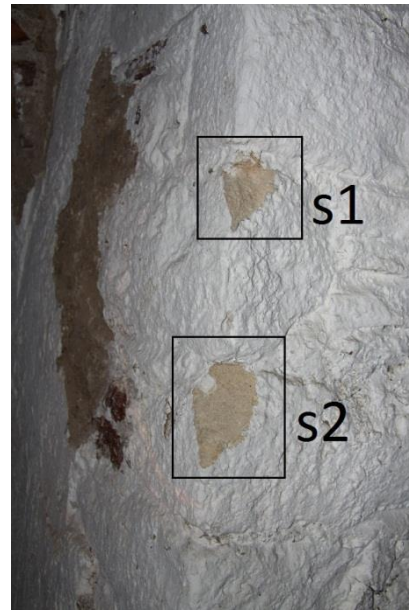
DB2\_m



Σημείο λήψης επιχρίσματος της θέσης δειγματοληψίας 2 Υπογείου



DB2\_p



Θέση δειγματοληψίας 3 Υπογείου – νότιος (αριστερά) και ανατολικός (δεξιά) προσανατολισμός



Θέση δειγματοληψίας 3 Υπογείου



DB3\_s1



DB3\_s2



DB3\_cr



DB3\_p

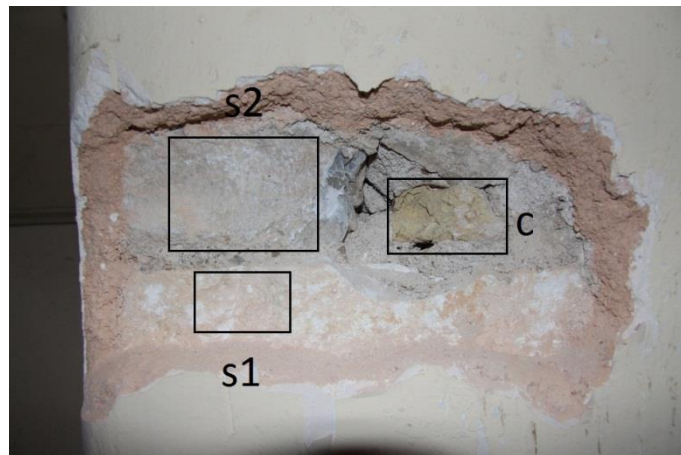
## ΙΣΟΓΕΙΟ

Στο ισόγειο ελήφθησαν δείγματα από δύο θέσεις δειγματοληψίας. Το επίχρισμα, και στις δύο θέσεις δειγματοληψίας, παρουσίαζε εξαιρετικά καλή συνοχή και ήταν σε πολύ καλή συνάφεια με την τοιχοποιία, επομένως ήταν πολύ δύσκολο να αφαιρεθεί.

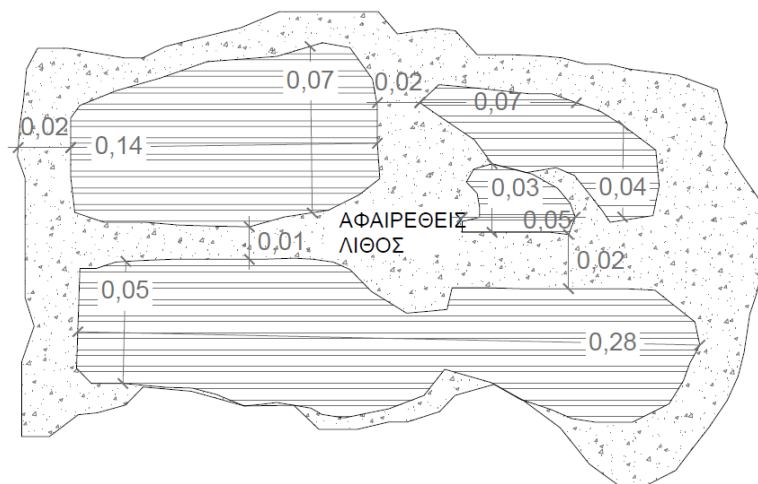
Η θέση 1 βρίσκεται στον πεσσό αριστερά της πόρτας, νότιου προσανατολισμού, που βγαίνει στον κήπο. Η δόμηση της τοιχοποιίας δεν ακολουθεί τη δόμηση που παρουσιάζεται στο υπόγειο. Στη θέση 1 του Ισογείου (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 1 Ισογείου) παρουσιάζονται δύο χρωμάτων λίθοι (γκρίζος και υπόλευκος), οπτόπλινθος κίτρινου χρώματος, κονίαμα αρμολόγησης και ροδόχρωμο επίχρισμα πάχους 3,1 cm που εμπεριέχει άχυρο. Από τη θέση 1 ελήφθησαν δείγματα όλων των παρουσιαζόμενων υλικών σε ύψος 135 cm από το δάπεδο.

Η θέση 2 βρίσκεται στην ανατολική τοιχοποιία του Ισογείου, στην οποία παρουσιάζεται τελείως διαφορετικός τρόπος δόμησης: Στην περιοχή έχουμε πιθανότατα το κλείσιμο παλαιότερου ανοίγματος με διάτρητα τούβλα σύγχρονου τύπου, ενώ γύρω από την περιοχή αποκαλύπτεται δόμηση αποκλειστικά με κόκκινους, μεγάλους, ολόκληρους οπτόπλινθους και κονίαμα. Από τη

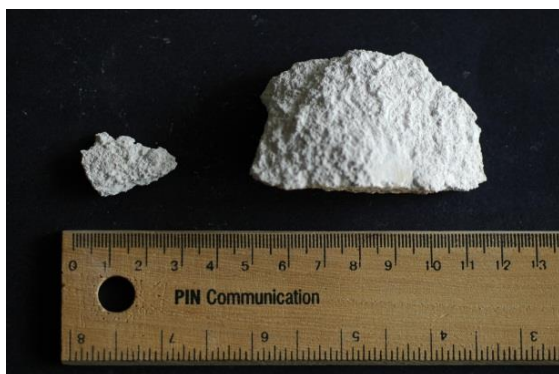
θέση 2 ελήφθη ολόκληρος οπτόπλινθος πάχους 3,2 cm και ροδόχρωμο επίχρισμα πάχους 3,3 cm, σε ύψος 165 cm από το δάπεδο.



Θέση δειγματοληψίας 1 Ισογείου – νοτιοανατολικός (αριστερά) και ανατολικός (δεξιά) προσανατολισμός



Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 1 Ισογείου από τη Μαρία Κάβουρα [32]



DG1\_s1



DG1\_s2



DG1\_cy



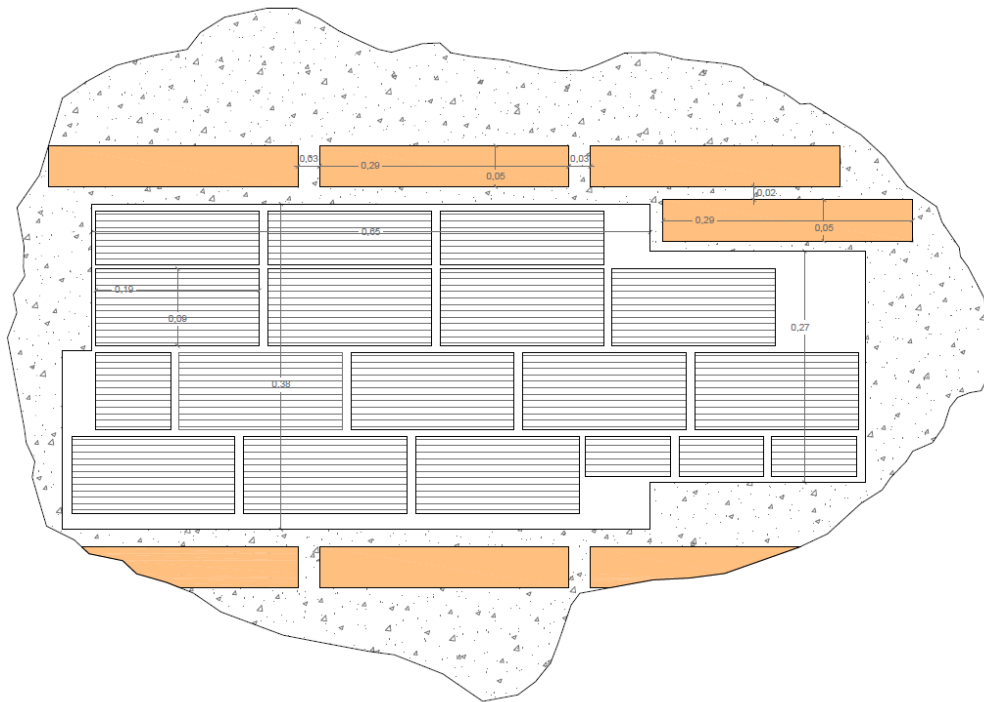
DG1\_m



DG1\_p



Θέση δειγματοληψίας 2 Ισογείου



Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 2 Ισογείου από τη Μαρία Κάβουρα [32] – με πορτοκαλί χρώμα οι παραδοσιακοί οπτόπλινθοι



DG2\_cr





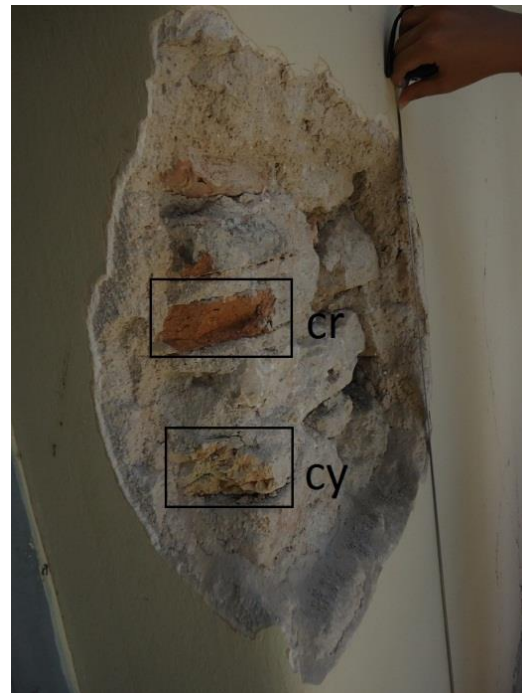
DG2\_p

### 1<sup>ος</sup> ΟΡΟΦΟΣ

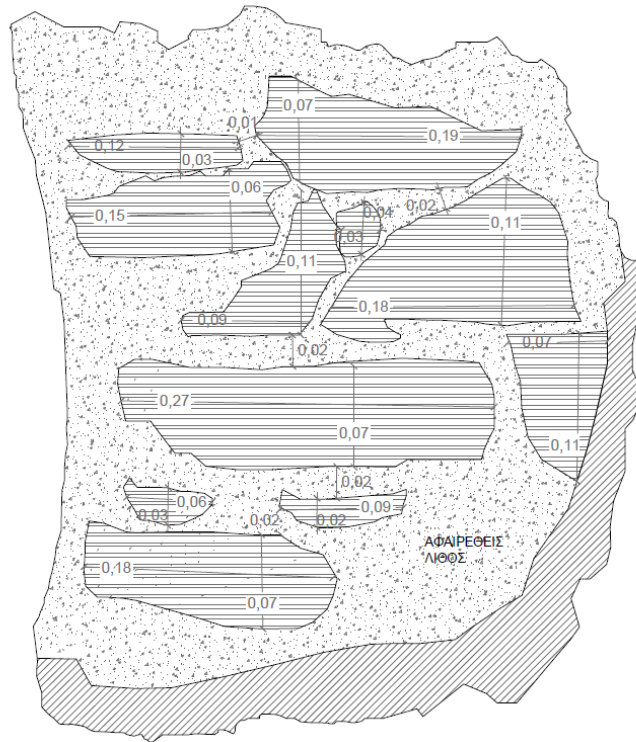
Στον 1<sup>ο</sup> όροφο ελήφθησαν δείγματα από δύο θέσεις δειγματοληψίας. Αυτές είναι οι αντίστοιχες θέσεις των εικόνων 3.3.2.9 και 3.3.2.10, εξωτερικά και εσωτερικά αντίστοιχα, όπου παρατηρήθηκε η παρουσία έντονων ρωγμών.

Έτσι, η θέση 1 βρίσκεται στη νότια όψη, δεξιά της κεντρικής εισόδου στην εξωτερική τοιχοποιία, όπου παρουσιάζονται δύο χρωμάτων λίθοι (υπόλευκης και γκριζας απόχρωσης), δύο χρωμάτων οπτόπλινθοι (κόκκινοι και κίτρινοι), κονίαμα και επίχρισμα πάχους 4,2 cm (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 1 1<sup>ου</sup> ορόφου – νότια τοιχοποιία). Από τη θέση 1 ελήφθησαν δείγματα από όλα τα παρουσιαζόμενα υλικά σε ύψος 120-140 cm από το δάπεδο.

Η θέση 2 είναι η αντίστοιχη περιοχή της θέσης 1 εσωτερικά του κτιρίου, δηλαδή στην εσωτερική τοιχοποιία του δωματίου της εισόδου, αριστερά της κεντρικής εισόδου, όπου βρέθηκαν επίσης δύο διαφορετικοί λίθοι (λευκής και μπεζ απόχρωσης), δύο χρωμάτων οπτόπλινθοι (κόκκινοι και κίτρινοι), κονίαμα και επίχρισμα πάχους 5 cm που εμπεριέχει άχυρο (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 2 1<sup>ου</sup> ορόφου – νότια τοιχοποιία). Από τη θέση 2 ελήφθησαν δείγματα από όλα τα παρουσιαζόμενα υλικά, στο ίδιο ύψος.



Θέση δειγματοληψίας 1 1<sup>ου</sup> ορόφου – νότια τοιχοποιία



Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 1<sup>ου</sup> ορόφου από τη Μαρία Κάβουρα [32]



D11\_sg



D11\_sw





D11\_cr



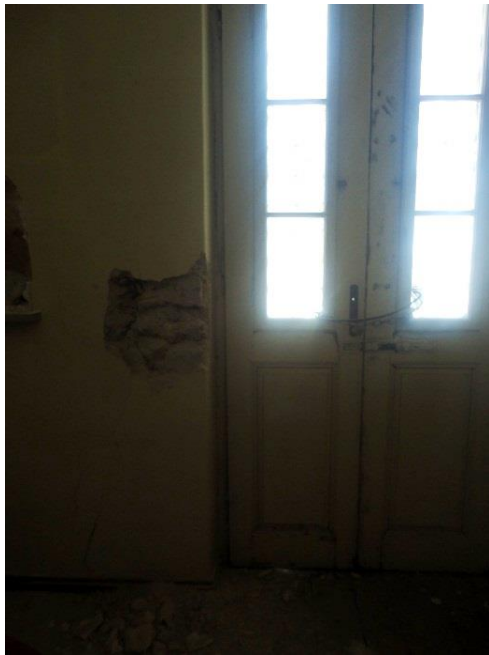
D11\_cy



D11\_m



D11\_p



Θέση δειγματοληψίας 2<sup>ου</sup> ορόφου – νότια τοιχοποιία



Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 2<sup>ου</sup> ορόφου από τη Μαρία Κάβουρα [32]



D12\_sb



D12\_sw



D12\_cr



D12\_cy



D12\_m



D12\_p

## 2<sup>ος</sup> ΟΡΟΦΟΣ

Στον 2<sup>ο</sup> όροφο ελήφθησαν δείγματα από 3 θέσεις δειγματοληψίας.

Η θέση 1 βρίσκεται σε μεταγενέστερη φάση οικοδόμησης του κτηρίου [30], στη βόρεια όψη, στην εξωτερική τοιχοποιία του δωματίου επί της Μ. Αλεξάνδρου, στο μπαλκόνι, από την κολώνα αριστερά της μπαλκονόπορτας όπου η δόμηση δεν ακολουθεί τα προαναφερθέντα και περιλαμβάνει οπτόπλινθους κίτρινου χρωματισμού, κονίαμα και επίχρισμα πάχους 4,5 cm, γκρίζου χρωματισμού (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 1 – πριν τη δειγματοληψία). Από εκεί ελήφθησαν δείγματα όλων των υλικών που βρέθηκαν σε ύψος 145-160 cm από το δάπεδο.

Η θέση 2 βρίσκεται επίσης σε μεταγενέστερη φάση [30], στο ίδιο δωμάτιο, στη δυτική όψη, στην τοιχοποιία που βρίσκεται σε επαφή με την Πινακοθήκη του Δήμου Αθηναίων, σε θέση δεξιά από το παράθυρο όπου η δόμηση της τοιχοποιίας περιλαμβάνει δύο χρωμάτων λίθους (κόκκινο και γκρίζο), δύο χρωμάτων οπτόπλινθους (κόκκινο και κίτρινο), κονίαμα και επίχρισμα πάχους 4 cm στη μάζα του οποίου βρέθηκε δόντι μεγάλου μεγέθους και κομμάτι κάρβουνου (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 2 2<sup>ου</sup> ορόφου). Από τη θέση 2 ελήφθησαν δείγματα από όλα τα ήδη των υλικών σε ύψος 65-75 cm από το δάπεδο.

Η θέση 3 βρίσκεται στο χωλ αριστερά της σκάλας, κάτω από το παράθυρο στην οδό Μ. Αλεξάνδρου, από την περιοχή της ποδιάς του παραθύρου και αριστερά αυτής. Οι δύο περιοχές διαφέρουν, ως προς τον τρόπο δόμησης, από τις ανωτέρω παρουσιαζόμενες αλλά και μεταξύ τους. Στην ποδιά του παραθύρου βρέθηκε οπτόπλινθος κίτρινου χρωματισμού, καστανόχρωμο κονίαμα και ροδόχρωμο επίχρισμα πάχους 4 cm, ενώ αριστερά της ποδιάς του παραθύρου παρουσιάζονται λίθοι δύο χρωματισμών (υπόλευκου και μπεζ), κονίαμα γκρίζου χρώματος και επίχρισμα γκρίζου χρώματος πάχους 3,5 cm που περιέχει άχυρο (β.λ. Θέση δειγματοληψίας 3 2<sup>ου</sup> ορόφου – βόρεια τοιχοποιία). Από τη θέση 3 ελήφθησαν δείγματα από όλα τα παρουσιαζόμενα υλικά σε ύψος 45-55 cm από το δάπεδο.



Θέση δειγματοληψίας 1 2<sup>ου</sup> ορόφου – βόρειος προσανατολισμός



Θέση 1 2<sup>ου</sup> ορόφου πριν τη δειγματοληψία



Θέση 1 2<sup>ου</sup> ορόφου μετά τη δειγματοληψία



D21\_cy



D21\_m



D21\_p

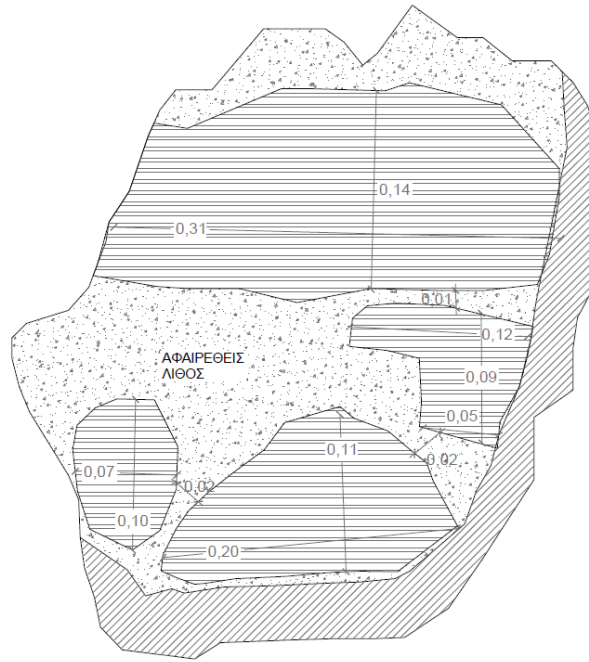


Θέση δειγματοληψίας 2<sup>ου</sup> ορόφου – δυτική τοιχοποιία



Θέση δειγματοληψίας 2<sup>ου</sup> ορόφου





Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 2<sup>ου</sup> ορόφου από τη Μαρία Κάβουρα [32]



D22\_sr



D22\_sg



D22\_cr



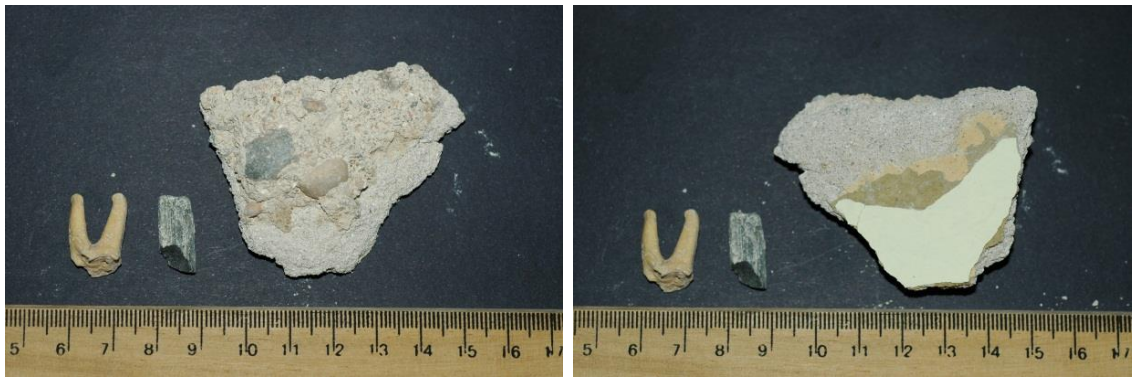
D22\_cy



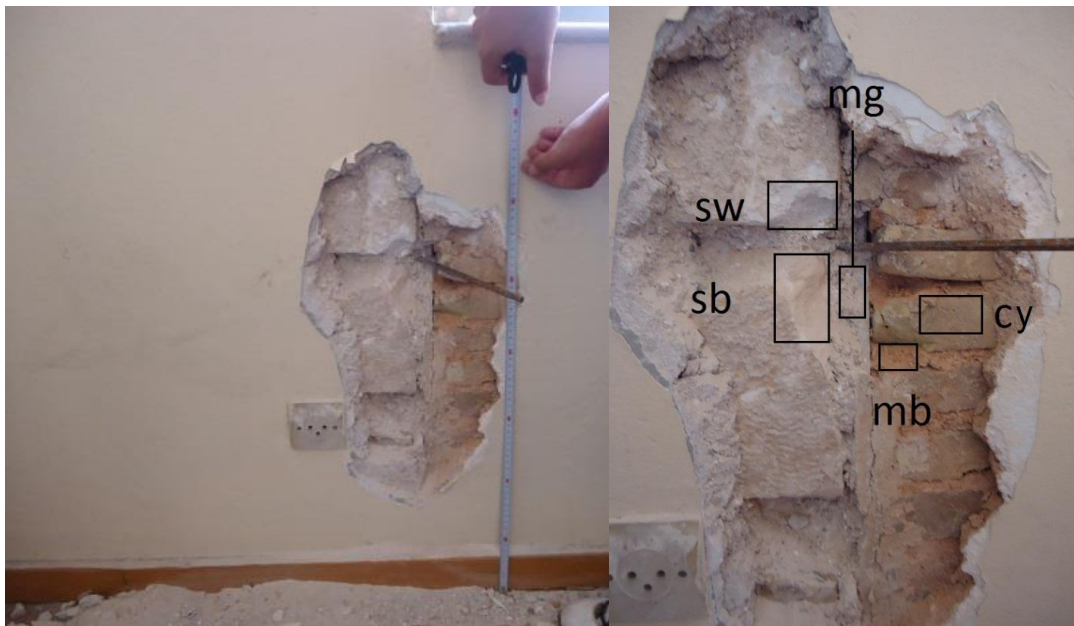
D22\_m



D22\_p



D22\_p



Θέση δειγματοληψίας 3<sup>ου</sup> ορόφου – βόρεια τοιχοποιία

ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ  
ΚΛΙΜΑΚΟΣΤΑΣΙΟΥ  
Β' ΟΡΟΦΟΥ



Αποτύπωση θέσης δειγματοληψίας 3<sup>ου</sup> ορόφου από τη Μαρία Κάβουρα [32]

**Δείγματα από την περιοχή της ποδιάς του παραθύρου:**



D23\_cy

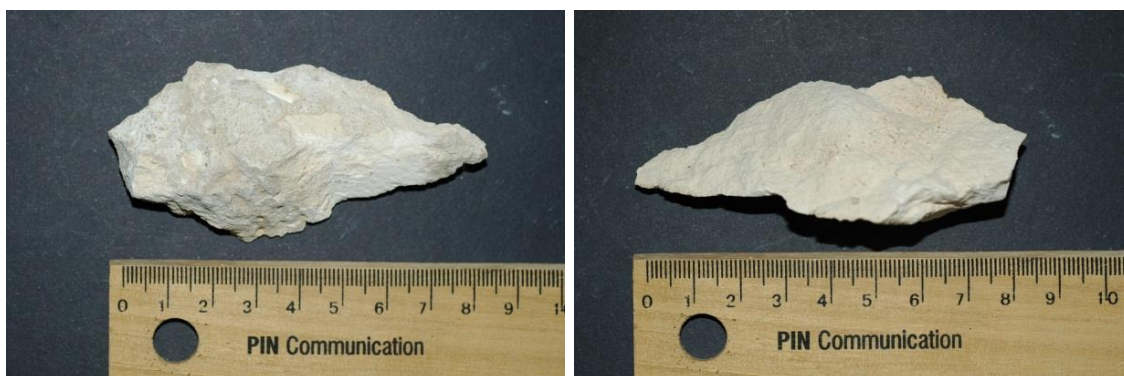


D23\_mb



D23\_pp

**Δείγματα από την περιοχή αριστερά της ποδιάς του παραθύρου:**



D23\_sb



D23\_sw



D23\_mg



D23\_pg

### 3.3.3 ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑ

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι αναλυτικές τεχνικές που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε δείγμα.

*Πίνακας 3.3.3.1 Αναλυτικές τεχνικές που πραγματοποιήθηκαν ανά δείγμα*

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑ ΔΕΙΓΜΑ					
	ΟΜ	XRD	Ποροσιμετρία Hg	DTA-TG	Κοκκοδιαβάθμιση	SST% Spot Tests
<b>ΛΙΘΟΙ</b>						
DB3_s1	✓	✓	✓	✓		✓
DB3_s2	✓	✓	✓			✓
DG1_s1	✓	✓	✓			✓
DG1_s2		✓	✓			
D11_sg		✓	✓			
D11_sw		✓	✓			
D12_sb		✓	✓			✓
D12_sw		✓	✓			✓
D22_sr	✓	✓	✓			
D22_sg	✓	✓	✓			
D23_sb			✓			
D23_sw			✓			
<b>ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ</b>						
DB1_cr			✓			
DB2_cr		✓	✓	✓		✓
DB3_cr		✓	✓	✓		✓
DG1_cy		✓	✓	✓		✓
DG2_cr		✓	✓	✓		✓
D11_cr		✓	✓	✓		✓
D11_cy		✓	✓	✓		✓
D12_cr						
D12_cy		✓	✓	✓		✓
D21_cy		✓	✓	✓		✓
D22_cr			✓			
D22_cy			✓			
D23_cy						

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ					
	ΟΜ	ΧRD	Ποροσιμετρία Hg	DTA-TG	Κοκκοδιαβάθμιση	SST% Spot Tests
<b>ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ</b>						
DB2_m		✓	✓	✓		✓
DG1_m		✓	✓	✓		✓
D11_m		✓	✓	✓		✓
D12_m		✓	✓	✓		✓
D21_m						
D22_m			✓	✓		✓
D23_mb						
D23_mg						
<b>ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ</b>						
DB2_p		✓	✓	✓		✓
DB3_p		✓	✓	✓		✓
DG1_p						
DG2_p_r		✓	✓	✓	✓	✓
DG2_p_f		✓	✓	✓		
D11_p_r		✓	✓	✓	✓	✓
D11_p_f		✓	✓	✓		
D12_p_r			✓			✓
D12_p_f						
D21_p			✓			✓
D22_p_r			✓	✓		
D22_p_f			✓	✓		
D23_pp						
D23_pg						





## 4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 4.1 ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

#### 4.1.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ (FOM)

Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται οι εικόνες που ελήφθησαν από τα εξεταζόμενα δείγματα μέσω του μικροσκοπίου οπτικών ινών, με τη βοήθεια των οποίων λαμβάνουν χώρα παρατηρήσεις επί των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους ανά κατηγορία υλικού. Επιπλέον, για τα δείγματα κονιαμάτων και επιχρισμάτων που εξετάστηκαν περαιτέρω με αναλυτικές μεθόδους, με τη βοήθεια παχύμετρου μετρούνται οι διαστάσεις του μέγιστου κόκκου αδρανούς που περιλαμβάνουν.

##### 4.1.1.1 Λίθοι



DB3\_s1: Απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος θέσης 3 Υπογείου x30, x50, x120

Στις εικόνες που λαμβάνονται με τη βοήθεια του μικροσκοπίου οπτικών ινών απεικονίζεται δείγμα λίθου DB3\_s1 της θέσης δειγματοληψίας 3 του Υπογείου. Η εικόνα αριστερά αποτυπώνει καθαρά το γεγονός ότι ο παρών λίθος είναι ένας απολιθωματοφόρος λίθος, όπου διακρίνονται τα αποτυπώματα των απολιθωμάτων και τα κενά που έχουν μείνει σε θέσεις όπου αυτά έχουν απομακρυνθεί. Στην κεντρική εικόνα διακρίνουμε ένα ολόκληρο απολίθωμα. Στην εικόνα δεξιά παρουσιάζονται διακριτοί οι κόκκοι του σώματος του λίθου καθώς και μικροσπές που έχουν δημιουργηθεί στη μάζα του. Αποτέλεσμα αυτών αποτελεί η διάνοιξη του πορώδους.



DB3\_s2: Ασβεστόλιθος με σφαιροειδείς κόκκους θέσης 3 Υπογείου x50, x120, x120

Οι παρουσιαζόμενες εικόνες, που ελήφθησαν από το δείγμα λίθου DB3\_s2 της θέσης δειγματοληψίας 3 του Υπογείου, αποκαλύπτουν ότι ο εν λόγω λίθος αποτελείται από σφαιροειδείς κόκκους, τα περατωτικά όρια των οποίων είναι εμφανή, ενώ μεταξύ τους δημιουργούνται διάκενα, χωρίς μεγάλη παρουσία συνδετικής ύλης. Επίσης, παρατηρούμε την

απόσπαση κόκκων που συνεπάγεται τη διάνοιξη του πορώδους. Επιπλέον, καταγράφεται η παρουσία καστανέρυθρων, λεπτόκοκκων σχηματισμών κατά τόπους.



DG1\_s1: Άμορφος λίθος θέσης 1 Ισογείου x30, x50, x50

Ο λίθος DG1\_s1, από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, εμφανίζεται ως συμπαγής, υπόλευκου χρωματισμού, ενώ κατά τόπους παρατηρούνται σκουρόχρωμοι σχηματισμοί. Στις εικόνες δεν καταγράφεται ορατή διάκριση κρυσταλλικών κόκκων, γεγονός που παραπέμπει σε αμορφία του λίθου.



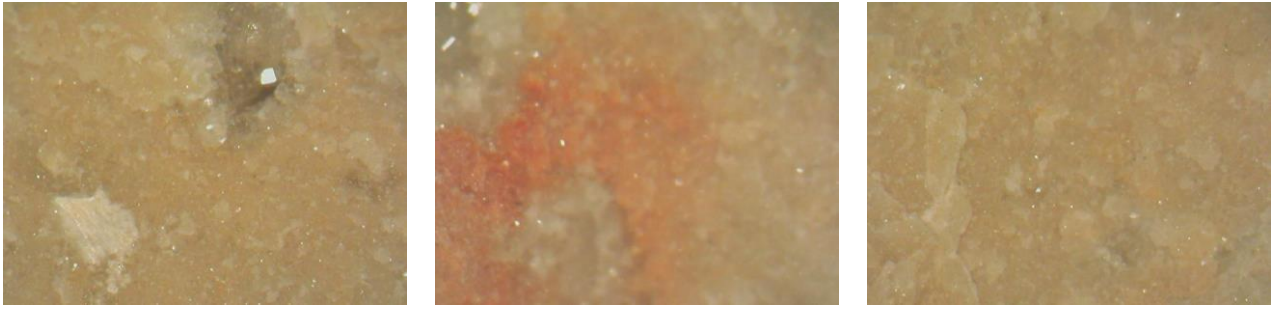
DG1\_s2: Γκριζος συμπαγής ασβεστόλιθος θέσης 1 Ισογείου x50, x50, x50

Ο λίθος DG1\_s2, από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, παρουσιάζεται συμπαγής, γκριζωπού χρωματισμού στο κυρίως μέρος της επιφάνειάς του, ενώ κατά τόπους παρουσιάζονται περιοχές φαιοκάστανου χρωματισμού που οφείλονται σε φλέβες οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου.



D11\_sg: Φαιοκάστανος – γκριζος ασβεστόλιθος με σφαιροειδείς σχηματισμούς θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Ο λίθος D11\_sg, από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, παρουσιάζεται κατά κύριο λόγο συμπαγής, ενώ εμφανίζονται κάποιες οπές και κρατήρες, καθώς και ρωγμή στην κεντρική εικόνα και στην εικόνα δεξιά. Παράλληλα, στη φαιοκάστανη – γκριζωπή ασβεστιτική μήτρα του λίθου βρίσκονται ενταγμένοι σφαιροειδείς σχηματισμοί ανοιχτού καστανού χρώματος αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη, καθώς και περιοχές μικρής και μεγαλύτερης έκτασης επίσης ανοιχτού καστανού χρωματισμού. Η υφή του εν λόγω λίθου προσομοιάζει σε εκείνη του DG1\_s2.



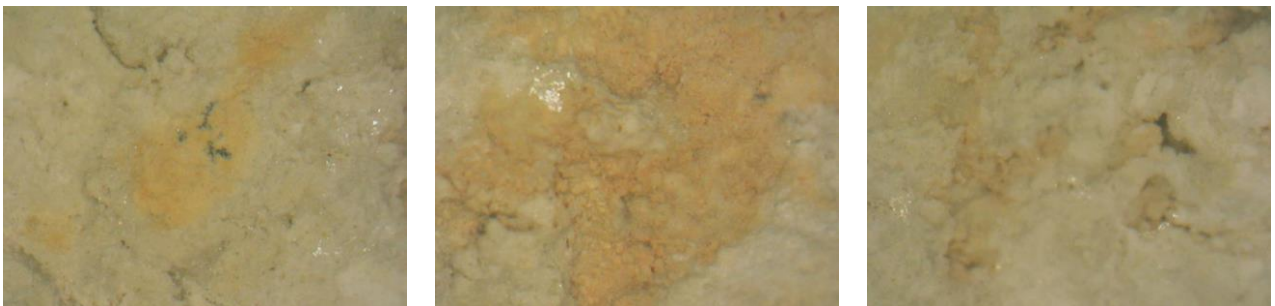
D11\_sw: Γκρίζος συμπαγής λίθος θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στον λίθο D11\_sw της θέσης δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου κυριαρχεί το ανοιχτό καστανό χρώμα, ωστόσο, στην κεντρική εικόνα εμφανίζεται περιοχή πορτοκαλέρυθρης απόχρωσης που οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου. Η μάζα του είναι κατά κύριο λόγο συμπαγής, ενώ κατά τόπους παρατηρούνται καλοσηματισμένοι και αδροί κόκκοι του λίθου, η απόσπαση των οποίων δημιουργεί κρατήρες (εικόνα αριστερά).



D12\_sb: Πορώδης λίθος ανοιχτού καστανού χρωματισμού θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Ο λίθος D12\_sb της θέσης δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου μπορούμε να πούμε ότι προσομοιάζει στο λίθο DB3\_s2, ωστόσο η απόχρωσή του είναι περισσότερο καστανοκίτρινη, ενώ στις εικόνες παρατηρείται η παρόμοια μορφολογία τους. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται μικρής διαμέτρου κόκκοι, όχι όμως τόσο καλοσηματισμένοι όπως εκείνοι του DB3\_s2, στα περατωτικά όρια των οποίων έχουμε τη δημιουργία διάκενων από απόσπαση της συνδετικής ύλης.



D12\_sw: Υπόλευκος ασβεστόλιθος, κατά τόπους πορτοκαλόχρους θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Ο λίθος D12\_sw της θέσης δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου εμφανίζεται υπόλευκου χρωματισμού κατά κύριο λόγο, ενώ κατά περιοχές είναι πορτοκαλόχρωμος λόγω αυξημένης συγκέντρωσης οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου. Παρατηρείται η μικροκοκκώδης δομή του, ενώ σε περιοχές έχουμε απώλεια της συνδετικής ύλης με την εμφάνιση ρωγμών και κρατήρων που συνεπάγονται τη διάνοιξη του πορώδους.



D22\_sr: Ποικιλόμορφος κροκαλοπαγής ασβεστόλιθος θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x30, x50, x50



D22\_sr: Ποικιλόμορφος κροκαλοπαγής ασβεστόλιθος θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x120

Στις εικόνες του λίθου D22\_sr της θέσης δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζεται ένας ποικιλόμορφος λίθος που με τη χαρακτηριστική υφή κροκαλοπαγούς πετρώματος. Έχουμε συμπαγή τμήματα καλοκρυσταλλωμένου αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη ενταγμένα στη συνδετική ύλη η οποία σε περιοχές παρουσιάζει πορτοκαλοκάστανη χροιά λόγω αυξημένης συγκέντρωσης οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου, ενώ εντοπίζονται και φλέβες πορτοκαλοκάστανης απόχρωσης που επίσης αποδίδονται στην υψηλή συγκέντρωση σιδήρου. Κατά τόπους παρουσιάζονται και μεγαλύτερες περιοχές αδροκρυσταλλικού ασβεστίτη, ενώ παρατηρούμε τη δημιουργία κρατήρων από απόσπαση ολόκληρων κόκκων αυτού. Στην εικόνα όπου απεικονίζεται περιοχή ερυθρού χρωματισμού διακρίνονται εξανθήσεις αλάτων στην επιφάνειά του, καθώς και λεπτόκοκκοι σχηματισμοί μαύρου χρώματος.



D22\_sg: Γκριζος ασβεστόλιθος θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x30, x50, x120

Στις εικόνες αποτυπώνεται ο λίθος D22\_sg της θέσης δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου και απεικονίζεται ως συμπαγής, γκριζου χρωματισμού που κατά τόπους παρουσιάζει περιοχές υπόλευκου χρώματος. Στην εικόνα δεξιά παρατηρούμε σε μεγαλύτερη μεγέθυνση τη μορφολογία του και μπορούμε να πούμε ότι προσομοιάζει σε γκριζο συμπαγή ασβεστόλιθο.



D23\_sb: Μπεζ λίθος θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

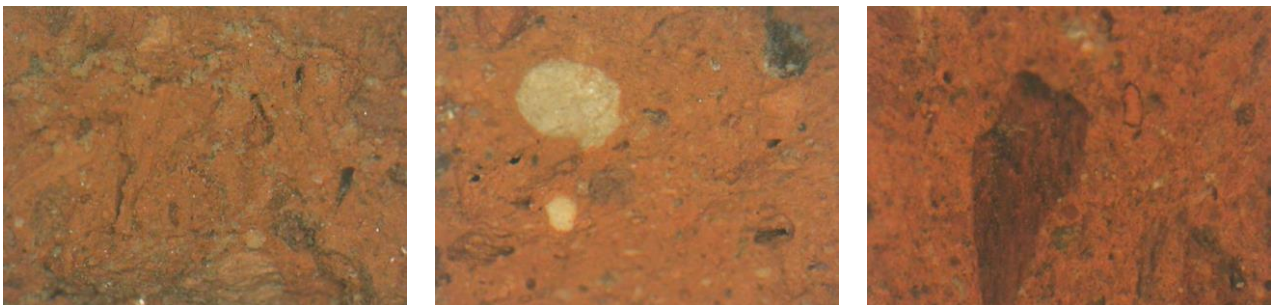
Στις εικόνες παρουσιάζεται ο λίθος D23\_sb της θέσης δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, είναι μπεζ – ανοιχτού καστανού χρωματισμού, με μικρότερες περιοχές και σημεία σκούρου καστανού χρωματισμού και μαύρου χρωματισμού, ενώ επίσης μαύρου χρώματος είναι κάποιες γραμμές και καμπύλες που διακρίνονται στο σώμα του λίθου. Στην εικόνα δεξιά παρατηρούμε περιοχές φαιοκάστανες και άλλες μπεζ, ενώ εντός αυτών εντοπίζονται μικρότερες περιοχές πορτοκαλοκάστανου χρώματος που υποδηλώνουν περιοχές αυξημένης συγκέντρωσης οξειδίων και υδροξειδίων του σιδήρου.



D23\_sw: Υπόλευκος λίθος θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Οι εικόνες παρουσιάζουν το λίθο D23\_sw της θέσης δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, ο οποίος εμφανίζεται υπόλευκου χρώματος, όπου εντοπίζονται και περιοχές καστανοκίτρινου χρωματισμού, καθώς και εγκλείσματα μαύρου χρωματισμού. Παράλληλα, διακρίνονται σπές και κρατήρες που έχουν δημιουργηθεί στο σώμα του λίθου με αποτέλεσμα τη διάνοιξη του πορώδους. Μορφολογικά ο παρών λίθος προσομοιάζει στο λίθο DG1\_s1 του υπογείου στον οποίο δεν παρατηρείται διάκριση κρυσταλλικών κόκκων που συνεπάγεται την αμορφία του λίθου.

#### 4.1.1.2 Οπτόπλινθοι



DB1\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 1 Υπογείου x30, x50, x120

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κόκκινος οπτόπλινθος καστανέρυθρης απόχρωσης DB1\_cr της θέσης δειγματοληψίας 1 του Υπογείου. Στην εικόνα αριστερά διακρίνονται μικρορωγμές στη

μάζα του, ενώ στην κεντρική εικόνα παρατηρούνται τα αδρανή διαφόρων διαμέτρων και χρωματισμών, ενώ παρατηρούνται επίσης μικροσπές και κρατήρες στη μάζα του. Η εικόνα δεξιά σε μεγέθυνση x120 μας δίνει σαφέστερη άποψη του σώματος του οπτόπλινθου, όπου ξεχωρίζει αδρανές σκούρου ερυθρού χρώματος.



DB2\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 2 Υπογείου x30, x30, x50



DB2\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 2 Υπογείου x50, x120, x50

Στις περισσότερες εικόνες του οπτικού μικροσκοπίου που λαμβάνουμε από το δείγμα κόκκινου οπτόπλινθου DB2\_cr της θέσης δειγματοληψίας 2 του Υπογείου, παρατηρούμε γενικά την παρουσία ρηγματώσεων και οπών και συμπερασματικά τη διάνοιξη του πορώδους, με ταυτόχρονη απόσπαση αυθεντικού υλικού.

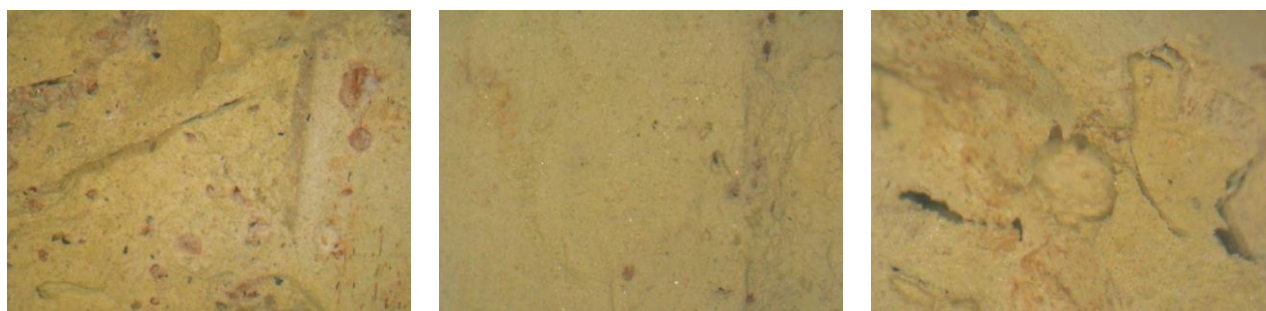
Στην εικόνα κάτω αριστερά παρατηρούμε εξανθήσεις αλάτων στην επιφάνειά του. Στην κάτω κεντρική εικόνα, στο άνω μέρος της, παρουσιάζεται ινίδιο βιολογικής προέλευσης (βιοδιάβρωση), ενώ σε σημείο επάνω δεξιά παρουσιάζεται σκουρόχρωμος σχηματισμός που προέρχεται επίσης από βιοδιάβρωση. Επιπλέον, στην κάτω δεξιά εικόνα εντοπίζεται κέλυφος στη μάζα του οπτόπλινθου, πιθανότατα ασβεστιτικής σύστασης.



DB3\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 3 Υπογείου x50, x50, x50

Στις εικόνες αποτυπώνεται ο κόκκινος οπτόπλινθος DB3\_cr της θέσης δειγματοληψίας 3 του Υπογείου, η απόχρωση του οποίου είναι καστανέρυθρη, ενώ είναι διακριτά τα αδρανή γκριζου χρωματισμού που περιέχει. Στην κεντρική εικόνα παρατηρείται ευμέγεθες αδρανές γκριζου χρωματισμού. Σε σημεία παρατηρείται η δημιουργία κρατήρων με συνέπεια τη διάνοιξη του

πορώδους, ενώ κατά τόπους παρουσιάζονται και μικροσπές. Παράλληλα, εντοπίζονται υπόλευκες επικαθήσεις που πιθανότατα αποδίδονται σε εξανθήσεις αλάτων.



DG1\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 1 Ισογείου x50, x50, x50

Οι εικόνες του μικροσκοπίου οπτικών ινών αποτυπώνουν τον κίτρινο οπτόπλινθο DG1\_cy, από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, η μορφολογία του οποίου εμφανίζεται ιδιαίτερη (εικόνα αριστερά) και στη μάζα του περιέχονται πολλά αδρανή ερυθρής απόχρωσης. Παράλληλα, στη μάζα του οπτόπλινθου παρουσιάζονται πολλές οπές και ρωγμές με συνέπεια τη διάνοιξη του πορώδους. Στην εικόνα δεξιά αποτυπώνεται η ιδιαίτερη μορφολογία κρατήρων και ρωγμών, ενώ παρατηρούνται και σχηματισμού πορτοκαλέρυθρου χρωματισμού.



DG2\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 2 Ισογείου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κόκκινος οπτόπλινθος DG2\_cr, από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Ισογείου, ο οποίος εμφανίζεται πορτοκαλέρυθρης απόχρωσης και στο σώμα του εντοπίζονται διαφόρων μεγεθών αδρανή, μερικά εκ των οποίων ευμεγέθη, φαιοκάστανου, γκρίζου και μπεζ χρώματος. Παράλληλα, στο σώμα του οπτόπλινθου εντοπίζονται οπές και κρατήρες που συνεπάγονται τη διάνοιξη του πορώδους.



D11\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κόκκινος ανοιχτόχρωμος οπτόπλινθος D11\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, στη μάζα του οποίου παρουσιάζονται μεγάλου μεγέθους σχισμοί και ρωγμές, καθώς και οπές. Τα αδρανή του ποικίλουν σε μεγέθη και χρώματα:

παρουσιάζονται αδρανή μικρού και μεγαλύτερου μεγέθους, σκουρόχρωμα και ανοιχτόχρωμα. Παράλληλα, στην εικόνα δεξιά παρατηρείται η ιδιαίτερη μορφολογία του: η μάζα του μοιάζει να είναι δομημένη σε "στρώσεις", ενώ εντοπίζονται επιφανειακά λεπτόκοκκοι σχηματισμοί υπόλευκου χρώματος.



D11\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κίτρινος σκουρόχρωμος οπτόπλινθος D11\_cy της θέσης δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, που εμφανίζει ιδιαίτερη μορφολογία και μάλλον "φυλλώδη" δομή. Στο σώμα του εντοπίζονται αδρανή διαφόρων μεγεθών, κυρίως ανοιχτού μπεζ χρώματος, ενώ παράλληλα παρουσιάζονται μικροσπές, με αποτέλεσμα τη διάνοιξη του πορώδους.



D12\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Οι εικόνες του μικροσκοπίου οπτικών ινών παρουσιάζουν τον κόκκινο οπτόπλινθο D12\_cr της θέσης δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, στη μάζα του οποίου διακρίνονται αδρανή διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων, κυρίως σκουρόχρωμα. Συγκεκριμένα ξεχωρίζει στην κεντρική εικόνα ευμέγεθες αδρανές καστανέρυθρου χρώματος, περιμετρικά του οποίου εμφανίζονται ρηγματώσεις, ενώ στην εικόνα δεξιά παρουσιάζεται περιοχή μεγάλου αδρανούς μαύρου χρωματισμού. Παράλληλα, στο σώμα του παρουσιάζονται σπές μικρής έκτασης.



D12\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο οπτόπλινθος κίτρινου χρωματισμού D12\_cy της θέσης δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, όπου στη μάζα του εντοπίζονται περιοχές κόκκινου



χρωματισμού, καθώς και λίγα αδρανή επίσης κόκκινου χρωματισμού και σκουρόχρωμα, ενώ εντοπίζονται και λίγες μικροσπές. Ομοίως με τα προηγούμενα, η δομή του είναι μάλλον φυλλώδης (εικόνα δεξιά) και η μορφολογία του ιδιαίτερη.



D21\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κίτρινος σκουρόχρωμος οπτόπλινθος D21\_cy της θέσης δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, στο σώμα του οποίου διακρίνουμε αδρανή διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων. Εντοπίζονται επίσης κρατήρες και μικροσπές, ενώ στην εικόνα δεξιά φαίνεται η φυλλώδης μορφή του.



D22\_cr: Κόκκινος οπτόπλινθος θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες του μικροσκοπίου οπτικών ινών παρουσιάζεται ο κόκκινος οπτόπλινθος D22\_cr της θέσης δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, ο οποίος εμφανίζεται καστανέρυθρης, κατά κύριο λόγο, απόχρωσης και στη μάζα του παρουσιάζονται πολλές σχισμές, ρωγμές, οπές και κρατήρες με αποτέλεσμα τη διάνοιξη του πορώδους. Επιπλέον, από τα απεικονιζόμενα στην κεντρική εικόνα συμπεραίνουμε τη φυλλώδη δομή του οπτόπλινθου.



D22\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται ο κίτρινος, ελαφρώς σκουρόχρωμος οπτόπλινθος D22\_cy της θέσης δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, στο σώμα του οποίου διακρίνουμε κρατήρες, οπές και μικρορωγμές που έχουν αναπτυχθεί με αποτέλεσμα τη διάνοιξη του πορώδους. Παράλληλα, στις

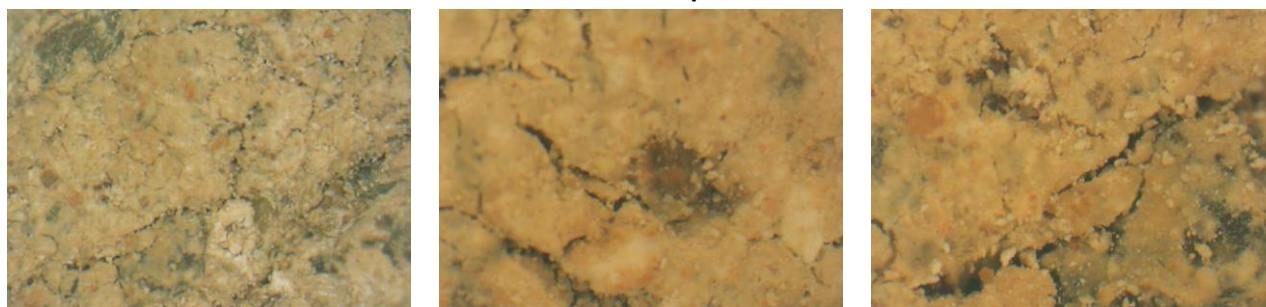
εικόνες παρατηρούμε την ιδιαίτερη μορφολογία του ενώ εμφανίζεται και αποτύπωμα κελύφους (κεντρική εικόνα).



D23\_cy: Κίτρινος οπτόπλινθος θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες του μικροσκοπίου οπτικών ινών που λαμβάνουμε από τον κίτρινο οπτόπλινθο D23\_cy, της θέσης δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, παρατηρούνται παρόμοια στοιχεία με εκείνα του δείγματος D21\_cy. Στη μάζα του διακρίνονται σκουρόχρωμα αδρανή, διαφόρων αποχρώσεων, σε μεγάλη περιεκτικότητα, ενώ παρατηρούνται επίσης κρατήρες και μικροσπές.

#### 4.1.1.3 Κονιάματα



DB2\_m: Κονίαμα θέσης 2 Υπογείου x50, x120, x120

Στις εικόνες που λαμβάνουμε με τη βοήθεια του μικροσκοπίου οπτικών ινών από το δείγμα κονιάματος DB2\_m της θέσης δειγματοληψίας 2 του Υπογείου, παρατηρείται ότι προσομοιάζει σε ασβεστοπηλοκονίαμα και παρουσιάζει έντονη αποσάρθρωση. Στην εικόνα αριστερά η κονία εμφανίζεται υποκίτρινου χρωματισμού, ενώ παρατηρούνται επίσης τα αδρανή διαφόρων χρωμάτων όπως γκρίζου και μπεζ, και διαφόρων διαμέτρων που περιέχονται στο κονίαμα σε υψηλό ποσοστό. Αρκετά από αυτά είναι ευμεγέθη, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς έχει διαστάσεις 0,918 x 0,876 cm. Παράλληλα, εμφανίζονται ρωγμές στο σώμα της κονιάς, ιδιαιτέρως έντονες περιμετρικά των αδρανών. Επιπλέον, εντοπίζονται λευκοί κόκκοι στην επιφάνεια του κονιάματος που πιθανότατα αποτελούν κρυστάλλους αλάτων. Οι εικόνες στο κέντρο και δεξιά αποτυπώνουν σαφέστερα την υφή του κονιάματος όπου παρατηρούμε την απώλεια της συνοχής μεταξύ κονιάς και αδρανών περιμετρικά των κόκκων και την απόσπαση αυθεντικού υλικού της κονιάς (έκπλυση της κονιάς).



DG1\_m: Κονίαμα θέσης 1 Ισογείου x50, x50, x50

Στις εικόνες του δείγματος DG1\_m της θέσης δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, η κονία εμφανίζεται υπόλευκου χρωματισμού και αποσαθρωμένη. Επιπλέον, παρουσιάζονται αδρανή διαφόρων χρωμάτων, κυρίως γκρίζα και καστανά σκουρόχρωμα και ανοιχτόχρωμα, διαφόρων διαμέτρων, αρκετά εκ των οποίων είναι ευμεγέθη, σε υψηλή περιεκτικότητα. Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς έχει διαστάσεις 1,326 x 0,864 cm.



D11\_m: Κονίαμα θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται το δείγμα κονιάματος D11\_m της θέσης δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, η κονία του οποίου είναι σκουρόχρωμη. Γενικά, το δείγμα παρουσιάζει καλή συνοχή, ενώ κατά τόπους εμφανίζονται μικροσπές και λίγοι κρατήρες. Τα αδρανή είναι κυρίως γκρίζα, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 0,685 x 0,446 cm. Επιπλέον, παρουσιάζονται κατά τόπους καστανέρυθροι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί, ενώ στην κεντρική εικόνα παρουσιάζονται λευκά συσσωματώματα ασβέστη (lumps).



D12\_m: Κονίαμα θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες του μικροσκοπίου οπτικών ινών αποτυπώνεται το δείγμα D12\_m της θέσης δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, η κονία του οποίου είναι υπόλευκου χρωματισμού που παρουσιάζει γενικά καλή συνοχή, ωστόσο στην κεντρική εικόνα έχουμε την εμφάνιση οπής. Επιπλέον, παρουσιάζονται αδρανή διαφόρων μεγεθών, σχημάτων και χρωμάτων, κυρίως σκουρόχρωμα, σε υψηλή περιεκτικότητα, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων

1,206 x 0,332 cm. Παράλληλα, παρατηρούνται κατά τόπους πορτοκαλοκάστανοι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί.



D22\_m: Κονίαμα θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες του κονιάματος D22\_m της θέσης δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, αυτό παρουσιάζεται αποσαθρωμένο με διάνοιξη του πορώδους και σχηματισμό κρατήρων λόγω της απώλειας αυθεντικού υλικού. Τα αδρανή παρουσιάζονται σε υψηλή περιεκτικότητα, διαφόρων χρωματισμών, κυρίως γκρίζου, μπεζ και καστανέρυθρου, μικρού μεγέθους αλλά και ευμεγέθη, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 1,030 x 0,573 cm. Επιπλέον, έχουμε την παρουσία λευκών συσσωματωμάτων ασβέστη (lumps).



D23\_mb: Κονίαμα θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες του δείγματος D23\_mb, από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, παρατηρείται το καστανέρυθρο χρώμα της κονιάς, στην οποία εμφανίζονται μικρορηγματώσεις και κρατήρες από την απώλεια αυθεντικού υλικού που συνεπάγεται τη διάνοιξη του πορώδους. Τα αδρανή περιέχονται σε μεγάλο ποσοστό, σε διάφορα μεγέθη, σκουρόχρωμα αλλά και ανοιχτόχρωμα, ενώ παρατηρούμε επίσης και την παρουσία λευκών συσσωματωμάτων ασβέστη (lumps).



D23\_mg: Κονίαμα θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στο δείγμα D23\_mg, που ελήφθη από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, η κονιά παρουσιάζεται υπόλευκου χρωματισμού με μικρορωγμές και οπές στη μάζα της και ενίοτε

περιμετρικά των αδρανών. Τα αδρανή είναι διαφόρων χρωμάτων και μεγεθών και περιέχονται σε μεγάλο ποσοστό στο κονίαμα, ενώ εμφανίζονται επίσης μικρά συσσωματώματα ασβέστη.

#### 4.1.1.4 Επιχρίσματα



DB2\_p: Επίχρισμα θέσης 2 Υπογείου x30, x50, x120

Οι παρουσιαζόμενες εικόνες ελήφθησαν από το δείγμα επιχρίσματος DB2\_p της θέσης δειγματοληψίας 2 του Υπογείου. Στην εικόνα αριστερά, το δείγμα παρουσιάζει τη χαρακτηριστική υφή του ασβεστοπηλοκονιάματος. Γενικά, εμφανίζονται αδρανή, κυρίως σκουρόχρωμα, ποικίλης κοκκομετρίας, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 0,746 x 0,434 cm. Παράλληλα, η κονία εμφανίζεται ρηγματωμένη, ενίοτε και στη διεπιφάνεια κονιάς-αδρανών. Στην κεντρική εικόνα παρουσιάζεται άχυρο στο σώμα του κονιάματος, ενώ παράλληλα εμφανίζονται συσσωματώματα ασβέστη καθώς και εκτεταμένες ρηγματώσεις στο σώμα του και περιμετρικά του ευμεγέθους αδρανούς στο κάτω μέρος της εικόνας. Στην εικόνα δεξιά φαίνεται καθαρά το άχυρο στο σώμα του κονιάματος.



DB3\_p: Επίχρισμα θέσης 3 Υπογείου x30, x30, x30

Στις εικόνες που λαμβάνονται με τη βοήθεια του μικροσκοπίου οπτικών ινών από το δείγμα DB3\_p της θέσης δειγματοληψίας 3 του Υπογείου, αυτό παρουσιάζει επίσης υφή ασβεστοπηλοκονιάματος, όπως και το προαναφερθέν. Επιπλέον, παρουσιάζονται μικρορωγμές στη συνδετική ύλη, ενώ εμφανίζονται λευκά συσσωματώματα ασβέστη, αδρανή μικρής αλλά και μεγάλης διαμέτρου, γκρίζα αλλά και κόκκινα που πιθανότατα αποτελούν θραύσματα κεραμικού. Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 0,489 x 0,369, ενώ στη μάζα του επιχρίσματος εντοπίζεται και άχυρο (κεντρική εικόνα).



DG1\_p: Επίχρισμα θέσης 1 Ισογείου x50, x50



DG1\_p: Επίχρισμα θέσης 1 Ισογείου x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG1\_p, από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, που περιλαμβάνει σκουρόχρωμα αδρανή, αρκετά εκ των οποίων είναι ευμεγέθη, ενώ η κονία είναι ροδόχρωμη. Επιπλέον, παρατηρείται έντονα η παρουσία ρηγματώσεων και κρατήρων που συνεπάγονται τη διάνοιξη του πορώδους. Στην άνω αριστερά εικόνα παρουσιάζονται λευκά συσσωματώματα, πιθανότατα αλάτων, στην επιφάνεια του επιχρίσματος. Στην άνω δεξιά εικόνα παρουσιάζονται πολλά μικρά ινίδια που αποτελούν άχυρα, ενώ στην κάτω αριστερά εικόνα αποτυπώνεται μεγάλο άχυρο.



DG2\_p: Επίχρισμα θέσης 2 Ισογείου x50, x50



DG2\_p: Επίχρισμα θέσης 2 Ισογείου x120, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται το υπόστρωμα του δείγματος DG2\_p, της θέσης δειγματοληψίας 2 του Υπογείου, το οποίο αποτελείται από ροδόχρωμη κονία και αδρανή ευμεγέθη αλλά και μικρότερα, υπόλευκα και σκουρόχρωμα, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων

0,63 x 0,462 cm. Συγκεκριμένα, στην κάτω αριστερά εικόνα παρουσιάζεται σε μεγάλη μεγέθυνση μεγάλο αδρανές γκρίζου χρωματισμού, ενώ στην κάτω δεξιά εικόνα έχουμε την παρουσία λευκών συσσωματωμάτων στην επιφάνεια του δείγματος που πιθανότατα αποτελούν άλατα.



D11\_p: Επίχρισμα θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες απεικονίζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος D11\_p, που ελήφθη από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, το οποίο περιλαμβάνει κονία υπόλευκου – μπεζ χρωματισμού, ενώ διακρίνονται πολλά, μικρά και μεγάλα αδρανή, διαφόρων χρωμάτων. Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 0,55 x 0,37 cm. Επιπλέον, κυρίως στην κεντρική εικόνα και στην εικόνα δεξιά παρουσιάζονται κρατήρες στο σώμα του επιχρίσματος που συνεπάγονται τη διάνοιξη του πορώδους.



D12\_p: Επίχρισμα θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες απεικονίζεται υπόστρωμα του επιχρίσματος D12\_p (δείγμα D12\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, το οποίο προσομοιάζει στον προαναφερθέν D11\_p\_r. Η κονία είναι υπόλευκου – μπεζ χρώματος, ενώ διακρίνονται πολλά, μικρά και ευμεγέθη σκουρόχρωμα αδρανή. Ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 0,642 x 0,404 cm. Στη μάζα του επιχρίσματος διακρίνονται, επίσης, μικροοπές, ενώ κατά τόπους (εικόνα δεξιά) εντοπίζονται λεπτόκοκκοι σχηματισμοί πορτοκαλί απόχρωσης στην επιφάνεια του δείγματος, καθώς και μικρής έκτασης υπόλευκες επικαθίσεις που είναι πιθανό να αποτελούν αποθέσεις αλάτων.



D21\_p: Επίχρισμα θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται το κονίαμα D21\_p της θέσης δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, που είναι ανοιχτού γκριζου χρωματισμού, στο οποίο εντοπίζονται πολλά αδρανή, διαφόρων διαστάσεων, διαφόρων χρωμάτων αλλά κυρίως γκριζα και καστανέρυθρα, ενώ οι διαστάσεις του μέγιστου κόκκου αδρανούς είναι 0,632 x 0,460 cm. Επιπλέον, στις δύο πρώτες εικόνες, αλλά κυρίως στην κεντρική, παρατηρούνται συσσωματώματα ασβέστη, ενώ στο σύνολο των εικόνων διακρίνονται ρωγμές και μικροσπές στο σώμα του δείγματος.



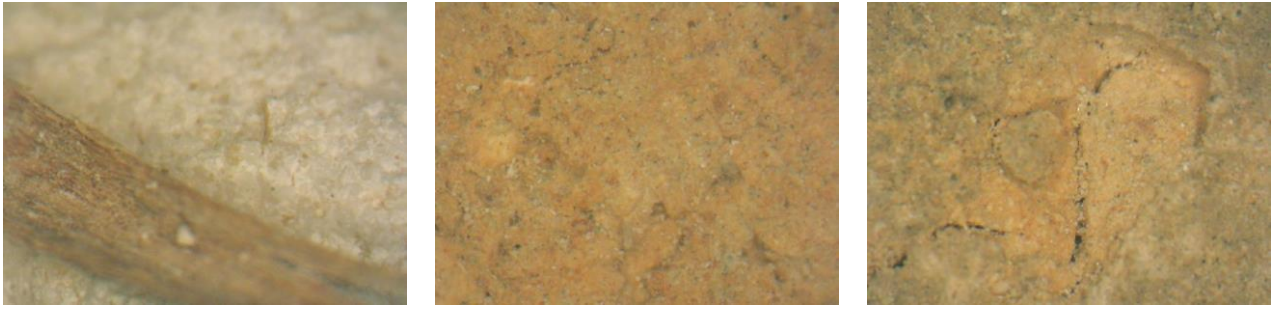
D22\_p: Επίχρισμα θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50



D22\_p: Επίχρισμα θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες απεικονίζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος D22\_p, από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, που αποτελείται από κονία υπόλευκου – μπεζ χρωματισμού και αδρανή που περιέχονται σε υψηλό ποσοστό στο κονίαμα, διαφόρων χρωμάτων και διαμέτρων, αρκετά εκ των οποίων είναι ευμεγέθη, ενώ ο μέγιστος κόκκος αδρανούς είναι διαστάσεων 2,125 x 1,238 cm. Συγκεκριμένα, στην άνω δεξιά εικόνα απεικονίζεται ευμέγεθες αδρανές μπεζ χρωματισμού, ενώ στην κάτω αριστερά εικόνα έχουμε μεγάλο καστανέρυθρο αδρανές. Σε όλες τις εικόνες του κονιάματος παρουσιάζεται η κακή συνοχή μεταξύ της συνδετικής ύλης και των αδρανών: έχουμε ένα σαθρό δείγμα με εκτεταμένες ρηγματώσεις, ενίοτε και περιμετρικά των αδρανών. Παράλληλα, στην άνω κεντρική εικόνα παρουσιάζεται μικρό λευκό συσσωμάτωμα ασβέστη, ενώ η κάτω κεντρική εικόνα ελήφθη από δόντι ζώου, μεγάλου μεγέθους, που βρέθηκε στη μάζα του επιχρίσματος κατά τη δειγματοληψία και η κάτω δεξιά εικόνα ελήφθη από κομμάτι κάρβουνο που βρέθηκε επίσης στο επίχρισμα.





D23\_pp: Επίχρισμα θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες παρουσιάζεται το δείγμα D23\_pp που ελήφθη από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου. Η εικόνα αριστερά απεικονίζει άχυρο που εντοπίζεται στη μάζα του επιχρίσματος με φόντο το φινίρισμα του επιχρίσματος, το οποίο είναι υπόλευκου χρωματισμού και φαίνεται συμπαγές. Στις άλλες εικόνες απεικονίζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος, το οποίο είναι ροδόχρωμο, ενώ στη μάζα του έχουν αναπτυχθεί εκτεταμένες ρωγμές και οπές. Τα αδρανή περιλαμβάνονται σε υψηλό ποσοστό, είναι μικρά και μεγάλα, διαφόρων χρωμάτων αλλά κυρίως γκρίζα. Επιπλέον, κυρίως στην κεντρική εικόνα, αλλά και στη δεξιά εικόνα διακρίνονται υπόλευκες επικαθήσεις που πιθανά αποτελούν επικαθήσεις αλάτων.



D23\_pg: Επίχρισμα θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου x50, x50, x50

Στις εικόνες απεικονίζεται δείγμα επιχρίσματος D23\_pg, που ελήφθη από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου, το οποίο αποτελείται από κονία υπόλευκου χρωματισμού και αδρανή που περιέχονται σε μεγάλο ποσοστό, διαφόρων χρωμάτων, διαφόρων διαμέτρων, αρκετά εκ των οποίων είναι ευμεγέθη. Επιπλέον, στις εικόνες παρατηρούνται ρηγματώσεις και μικροοπές που έχουν αναπτυχθεί στη μάζα του επιχρίσματος, ενίοτε και περιμετρικά των κόκκων (κεντρική εικόνα), με αποτέλεσμα τη διάνοιξη του πορώδους.



#### 4.1.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (IR-Th)

Επί τόπου στο κτήριο εφαρμόστηκε η μη καταστρεπτική τεχνική της Θερμογραφίας Υπερύθρου, κατά την οποία μετράται και καταγράφεται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια ενός υλικού. Αποτέλεσμα της καταγραφής είναι τα θερμογραφήματα, δηλαδή οι “θερμικές” εικόνες των εξεταζόμενων επιφανειών που μεταφράζονται σε θερμοκρασιακούς “χάρτες” των επιφανειών. Μέσω αυτών, αναμένεται ο προσδιορισμός της συμβατότητας ή ασυμβατότητας διαφορετικών χρησιμοποιημένων υλικών, η ανίχνευση της υγρασίας, της φθοράς των υλικών καθώς και επιφανειακών ανωμαλιών και εσωτερικών κενών και ρωγμών, ενώ σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και την έκθεση της κάθε επιφάνειας στον ήλιο. Η τεχνική πραγματοποιήθηκε, κατά κύριο λόγο, ανά όψη του κτηρίου, ωστόσο δεν κατέστη δυνατή η λήψη όλων των όψεων λόγω συνθηκών και αδυναμίας πρόσβασης σε πολλά σημεία. Ταυτόχρονα με τη λήψη των θερμογραφημάτων κατεγράφησαν οι παράμετροι: απόσταση από την εξεταζόμενη επιφάνεια (d), θερμοκρασία (T), σχετική υγρασία (RH%), ενώ η θερμοκάμερα τοποθετήθηκε κάθετα στην εξεταζόμενη επιφάνεια, κατά το δυνατό. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται ανά όψη και σχολιάζονται τα θερμογραφήματα που ελήφθησαν από το ιστορικό κτήριο της Οικίας Δουρούτη.

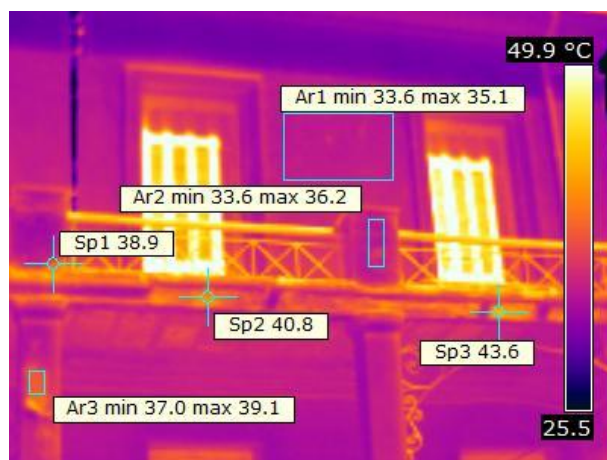
##### ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ, ΑΠΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΥΛΗ



Εικόνα 4.1.2.1 Νότια όψη Οικίας Δουρούτη, από εσωτερική αυλή. Στην εικόνα σημειώνονται οι περιοχές από όπου ελήφθησαν θερμογραφήματα 1, 2, 3, 4 και 5.



Περιοχή θερμογραφήματος 1



Θερμογράφημα 1

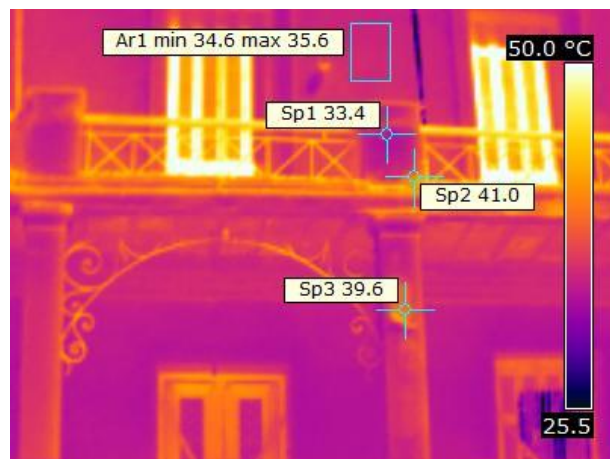
Αναλυτικότερα για το κάθε θερμογράφημα λαμβάνουν χώρα οι παρατηρήσεις:

#### Θερμογράφημα 1:

Στην περιοχή Ar1 της εικόνας, που αποτελεί οπτικά ομοιογενή περιοχή της επιφάνειας, καταγράφονται θερμοκρασίες 33,6-35,1 °C, δηλαδή καταγράφεται θερμοκρασιακό εύρος 1,5 °C που αποδίδεται σε ανομοιογένεια της περιοχής ή σε σημεία που έχουν υποστεί μεγαλύτερη φθορά από τα γειτονικά. Οι περιοχές Ar2 και Ar3 καθώς και τα σημεία Sp1, Sp2 και Sp3 προεξέχουν της αρχιτεκτονικής επιφάνειας και άρα υπόκεινται σε μεγαλύτερη έκθεση στον ήλιο, συνεπώς συγκρίνονται μεταξύ τους και όχι με την περιοχή Ar1. Στην περιοχή Ar2 καταγράφονται θερμοκρασίες 33,6-36,2 °C, με σημαντική θερμοκρασιακή ανομοιογένεια, γεγονός που οφείλεται στις εκτεταμένες χρωματικές αλλοιώσεις που παρατηρούνται μακροσκοπικά και μπορεί να οφείλεται σε φθορά από βιολογικούς παράγοντες. Συνεπώς, απαιτείται επισταμένη μελέτη για τη συγκεκριμένη περιοχή που θα αποκαλύψει τους ακριβείς λόγους της καταγραφόμενης ανομοιογένειας. Στην περιοχή Ar3 καταγράφονται θερμοκρασίες 37,0-39,1 °C, σημαντικά υψηλότερες εκείνων της περιοχής Ar2, γεγονός που αποδίδεται στην αποκατάσταση με τσιμεντοκονίαμα που έχει λάβει χώρα στο συγκεκριμένο υποστύλωμα, όπου παρατηρούνται εκτεταμένες αποφλοιώσεις [29]. Επιπλέον, στα σημεία Sp1, Sp2 και Sp3, που αποτελούν σημεία της όψης του μπαλκονιού του 2<sup>ου</sup> ορόφου όπου παρατηρείται η παρουσία εκτεταμένων επιφανειακών φθορών και αποφλοιώσεων, καταγράφονται θερμοκρασίες 38,9 °C, 40,8 °C και 43,6 °C αντίστοιχα.



Περιοχή θερμογραφήματος 2



Θερμογράφημα 2

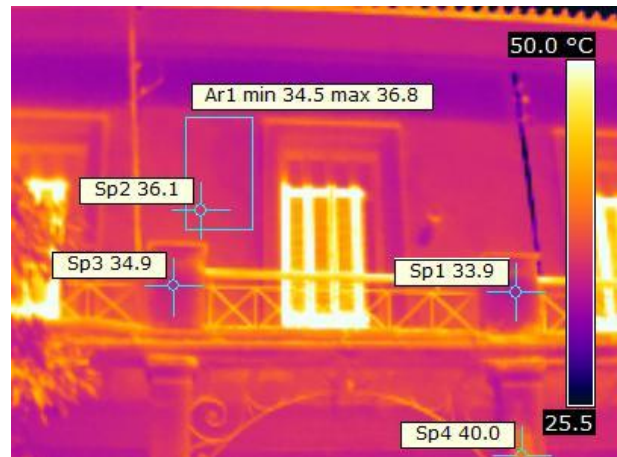
#### Θερμογράφημα 2:

Η περιοχή Ar1 του θερμογραφήματος αποτελεί οπτικά ομοιογενή περιοχή της επιφάνειας όπου καταγράφονται θερμοκρασίες 34,6-35,6 °C, κοντινές της περιοχής Ar1 του θερμογραφήματος 1, αλλά με μικρότερο θερμοκρασιακό εύρος (1 °C) και γενικά, δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφορά μεταξύ τους. Επιπλέον, καταγράφεται η θερμοκρασία του σημείο Sp1 στους 33,4 °C, ελαφρώς χαμηλότερα από τη χαμηλότερη θερμοκρασία της περιοχής Ar2 του θερμογραφήματος 1, αντίστοιχης περιοχής διπλανού υποστυλώματος, που αποδίδεται σε φθορά πιθανότατα από βιολογικούς παράγοντες, καθώς η θερμοκρασία που καταγράφεται είναι χαμηλότερη των θερμοκρασιών της Ar1 του παρόντος θερμογραφήματος, παρόλο που το σημείο Sp1 προεξέχει αυτής και ακτινοβολείται περισσότερο από τον ήλιο. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγεί η παρατήρηση των χρωματικών αλλοιώσεων στην επιφάνεια. Επιπλέον, στο υποστύλωμα δεξιά (που φέρει τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης όπου παρατηρούνται εκτεταμένες αποφλοιώσεις) καταγράφεται η θερμοκρασία του σημείου Sp2 στους 41,0 °C, σχετικά υψηλή, αντίστοιχα με το θερμογράφημα 1 (Sp1 στους 38,9 °C) καθώς και η θερμοκρασία του σημείου Sp3 στους 39,6 °C,

επίσης αντίστοιχα με το θερμογραφία 1 (Ar3 στους 37-39,1 °C).



Περιοχή θερμογραφήματος 3



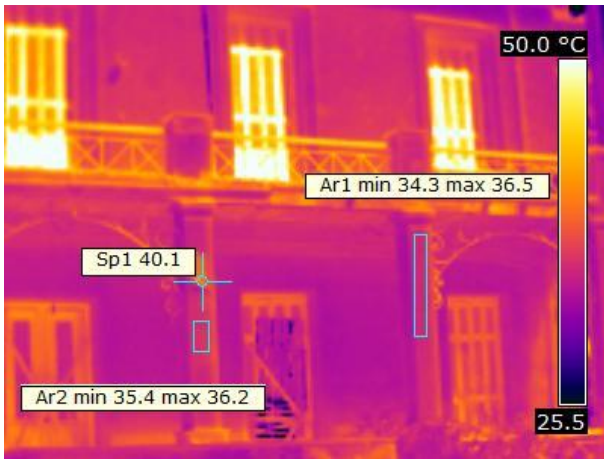
Θερμογράφημα 3

### Θερμογράφημα 3:

Η περιοχή Ar 1 του θερμογραφήματος αποτυπώνει οπτικά ομοιογενή περιοχή της επιφάνειας στην οποία καταγράφονται θερμοκρασίες 34,5-36,8 °C, δηλαδή παρουσιάζεται διαφορά θερμοκρασίας 2,3 °C εντός της περιοχής, ενώ το ψυχρότερο μέρος της περιοχής βρίσκεται κοντά στο άνοιγμα, γεγονός που αποδίδεται σε πιο επαρκή αερισμό στο εκεί σημείο. Στην ίδια περιοχή καταγράφεται και η θερμοκρασία ενός σημείου της (Sp1) στους 36,1 °C, σημείο που βρίσκεται στο αριστερό μέρος της περιοχής, το θερμότερο. Στα σημεία Sp2 και Sp3 καταγράφονται θερμοκρασίες 34,9 °C και 33,9 °C αντίστοιχα, χαμηλότερες από την αναμενόμενη, γεγονός που αποδίδεται σε βιολογικούς παράγοντες φθοράς, αντίστοιχα με τα θερμογραφήματα 1 και 2. Για το σημείο Sp4 καταγράφεται θερμοκρασία 40,0 °C, σαφώς υψηλότερη από τη γειτονιά του, αφού αποδίδεται με θερμότερο χρώμα από αυτή, αντίστοιχα της περιοχής Ar3 του θερμογραφήματος 1 και του σημείου Sp3 του θερμογραφήματος 2 (υποστύλωμα που φέρει τσιμεντοκονίαμα αποκατάστασης και παρουσιάζει εκτεταμένες αποφλοιώσεις).



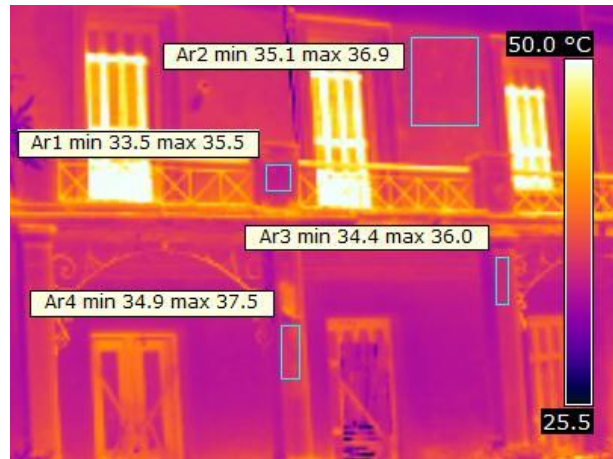
Περιοχή θερμογραφημάτων 4α και 4β.



Θερμογράφημα 4<sup>α</sup>

Θερμογράφημα 4α:

Η περιοχή Ar1 του θερμογραφήματος αντιστοιχεί σε περιοχή υποστυλώματος όπου δεν παρατηρείται φθορά μακροσκοπικά, στην οποία καταγράφονται θερμοκρασίες 34,3-36,5 °C, δηλαδή διαφορά θερμοκρασίας 2,2 °C εντός της περιοχής, γεγονός που συνεπάγεται την ανάγκη για περαιτέρω μελέτη με σκοπό να αποκαλυφθούν οι λόγοι της θερμοκρασιακής ανομοιογένειας. Η περιοχή Ar2 αντιστοιχεί σε οπτικά ομοιογενή περιοχή υποστυλώματος που έχει υποστεί ασύμβατη αποκατάσταση, στην οποία καταγράφεται θερμοκρασιακό εύρος 35,4-36,2 °C, εντός του θερμοκρασιακού εύρους της περιοχής Ar1 διπλανού υποστυλώματος. Στο σημείο Sp1, σημείο του υποστυλώματος με αποφλοίωση καταγράφεται θερμοκρασία 40,1 °C, σαφώς υψηλότερη εκείνων των προαναφερθέντων περιοχών, αντίστοιχα με τα θερμογραφήματα 1, 2 και 3.



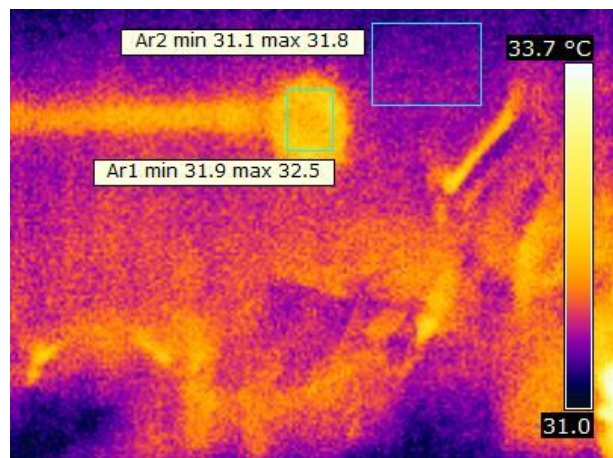
Θερμογράφημα 4β

Θερμογράφημα 4β:

Στην περιοχή Ar1 καταγράφονται θερμοκρασίες 33,5-35,5 °C, αντίστοιχα των σημείων Sp1 του θερμογραφήματος 2 και Sp1 του θερμογραφήματος 3. Επιπλέον, στην περιοχή Ar2 καταγράφονται θερμοκρασίες 35,1-36,9 °C, υψηλότερες εκείνων της αντίστοιχης περιοχής Ar1 του θερμογραφήματος 1, εντός της οποίας παρουσιάζεται διαφορά θερμοκρασίας σχεδόν 2 °C, γεγονός που οδηγεί στην ανάγκη για περαιτέρω μελέτη, όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω. Στην περιοχή Ar3 καταγράφονται αντίστοιχες θερμοκρασίες με εκείνες της περιοχής Ar1 του θερμογραφήματος 4α, ενώ στην περιοχή Ar4 καταγράφεται μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών από εκείνο της περιοχής Ar2 του θερμογραφήματος 4α.



Περιοχή θερμογραφήματος 5



Θερμογράφημα 5

### Θερμογράφημα 5:

Η περιοχή βρίσκεται σε τοιχοποιία του μπάνιου της λέσχης φιλίας Δουρούτη. Πιθανότατα, η περιοχή Ar1 αποτελεί περιοχή που έχει αποκαλυφθεί τσιμέντο, ενώ είναι επίσης πιθανή η παρουσία σωληνώσεων στην τοιχοποιία. Στο θερμογράφημα παρατηρείται ότι οι περιοχές και τα σημεία με ρωγμές και αποφλοιώσεις, καθώς και η περιοχή όπου έχει αποκαλυφθεί το τσιμέντο αποδίδονται με θερμότερα χρώματα από τη γειτονιά τους. Στην περιοχή Ar1 καταγράφονται θερμοκρασίες 31,9-32,5 °C σαφώς υψηλότερες από εκείνες της οπτικά ομοιογενούς περιοχής Ar2 όπου καταγράφονται θερμοκρασίες 31,1-31,8 °C.

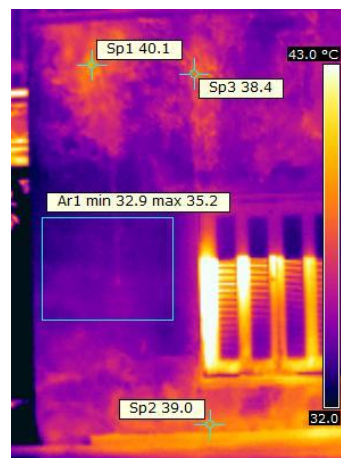
### ΑΠΟΘΗΚΗ, ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ



Εικόνα 4.1.2.2 όπου σημειώνονται οι περιοχές της αποθήκης από όπου ελήφθησαν τα θερμογραφήματα 6 και 7



Περιοχή θερμογραφήματος 6



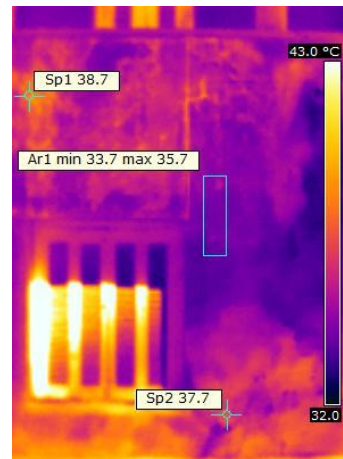
Θερμογράφημα 6

### Θερμογράφημα 6:

Η αποθήκη αποτελεί μεταγενέστερη της αρχικής κατασκευής προσθήκη, η οποία αποτελείται από αργολιθοδομή, ενώ πιθανότατα έχει χρησιμοποιηθεί και τσιμέντο [29]. Στο θερμογράφημα σημειώνεται η περιοχή Ar1 που αντιστοιχεί σε οπτικά ομοιογενή περιοχή, στην οποία καταγράφονται θερμοκρασίες 32,9-35,2 °C, εντός της οποίας παρουσιάζεται διαφορά θερμοκρασίας 2,3 °C που μπορεί να αποδίδεται σε διαφορετικά χρησιμοποιημένα υλικά στην περιοχή ή σε κενά και ρωγμές κάτω από την επιφάνεια. Παράλληλα, στο σημείο Sp1 καταγράφεται θερμοκρασία 40,1 °C, στο σημείο Sp2 39,0 °C και στο σημείο Sp3 38,4 °C, θερμοκρασίες σαφώς υψηλότερες εκείνων της περιοχής Ar1, τα οποία βρίσκονται σε περιοχές όπου παρατηρείται έντονη αποφλοίωση, ενώ οι χρωματικές αλλοιώσεις της περιοχής ενδιάμεσα των σημείων Sp1 και Sp3 υπαγορεύουν την παρουσία βιολογικών παραγόντων φθοράς.



Περιοχή θερμογραφήματος 7



Θερμογράφημα 7

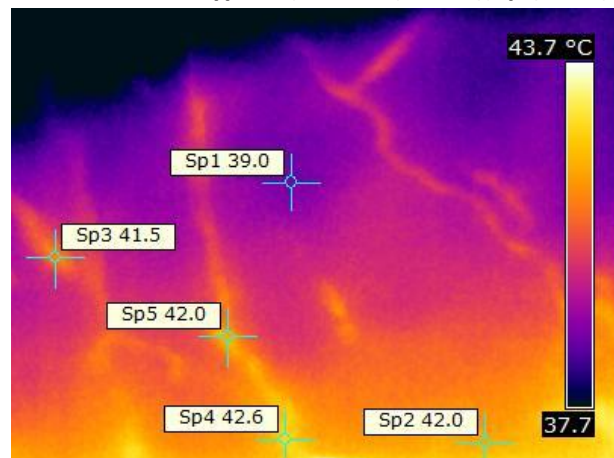
#### Θερμογράφημα 7:

Στην περιοχή Ar1 καθώς και στα σημεία Sp1 και Sp2 καταγράφονται θερμοκρασίες αντίστοιχες με εκείνες του θερμογραφήματος 6, κι έτσι λαμβάνουμε παρόμοια εικόνα με εκείνη του προηγούμενου θερμογραφήματος. Γενικά στο θερμογράφημα αποδίδονται με θερμότερες αποχρώσεις τα σημεία και οι περιοχές όπου η επίστρωση έχει αποφλοιωθεί.

**Νότια όψη, 1<sup>ος</sup> όροφος, εξωτερική τοιχοποιία, μεταξύ 1<sup>ου</sup> και 2<sup>ου</sup> ανοίγματος από δεξιά, σε χαμηλό ύψος**



Περιοχή θερμογραφήματος 8



Θερμογράφημα 8

#### Θερμογράφημα 8:

Στην περιοχή του θερμογραφήματος παρατηρείται έντονα την παρουσία αποκολλήσεων, όπου στα σημεία αποκόλλησης της επίστρωσης Sp2, Sp3, Sp4, Sp5 καταγράφονται οι θερμοκρασίες 42,0 °C, 41,5 °C, 42,6 °C, 42,0 °C αντίστοιχα, σημαντικά υψηλότερες από τη θερμοκρασία του σημείου Sp1 που είναι 39,0 °C. Γενικά στο θερμογράφημα παρουσιάζονται τα σημεία αποκόλλησης με θερμότερες αποχρώσεις.



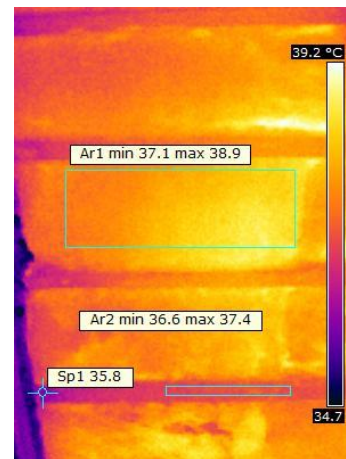
### Νότια όψη, κάτω μέρος μπαλκονιού 2<sup>ου</sup> ορόφου



Εικόνα 4.1.2.3 όπου σημειώνεται η περιοχή από όπου ελήφθη το θερμογράφημα 9



Περιοχή θερμογραφήματος 9



Θερμογράφημα 9

#### Θερμογράφημα 9:

Τα μπαλκόνια της Οικίας είναι κατασκευασμένα από μεταλλικές δοκούς πέλματος, ενώ το κάτω πέλμα καλύπτεται με σχιστόλιθους [29]. Στο θερμογράφημα καταγράφεται η θερμοκρασία της περιοχής Ar1 που αντιστοιχεί στο λίθο στους 37,1-38,9 °C, ενώ στην περιοχή Ar2 που αντιστοιχεί σε ξύλο βαμμένο σε γκριζο χρώμα η θερμοκρασία κυμαίνεται από 36,6 έως 38,9 °C. Σε σημείο Sp1 της περιοχής του ξύλου σε επαφή με την τοιχοποιία καταγράφεται θερμοκρασία 35,8 °C.

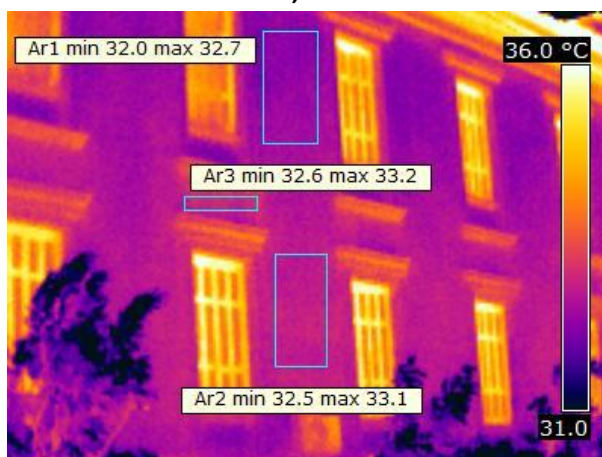
Συμπερασματικά, στη νότια όψη του κτηρίου παρουσιάζονται σημάδια φθοράς που αφορούν κυρίως σε αποκολλήσεις και ρωγμές, αλλοιώσεις της χρωματικής επίστρωσης με την παρουσία βιολογικών παραγόντων φθοράς καθώς και ασυμβατότητα χρησιμοποιημένων υλικών (αποθήκη).

Η ανατολική όψη της Οικίας Δουρούτη δεν κατέστη δυνατόν να εξεταστεί με τη μέθοδο της θερμογραφίας, καθώς η οδός Γιατράκου είναι στενό που δεν έχει το απαιτούμενο πλάτος έτσι ώστε να επαρκεί η απόσταση της θερμοκάμερας από την επιφάνεια. Επιπλέον, λόγω του κτίσματος της άλλης μεριάς της οδού Γιατράκου, το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας ήταν υπό σκίαση, συνθήκη που δεν ευνοεί την εξαγωγή συμπερασμάτων.

## ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ, ΑΠΟ ΟΔΟ Μ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ, ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ



Περιοχή θερμογραφήματος 10, βόρεια όψη Οικίας, υπό γωνία



Θερμογράφημα 10

### Θερμογράφημα 10:

Στην επιφάνεια του θερμογραφήματος, το οποίο ελήφθη υπό γωνία, σημειώνεται η περιοχή Ar1, που αντιστοιχεί σε πεσσό του 2<sup>ου</sup> ορόφου, καταγράφονται θερμοκρασίες 32-32,7 °C, ενώ η περιοχή Ar2, που αντιστοιχεί σε πεσσό του 1<sup>ου</sup> ορόφου, καταγράφονται θερμοκρασίες 32,5-33,1 °C. Επιπλέον, στην περιοχή Ar3, που βρίσκεται μεταξύ των ορόφων και μεταξύ των άνω και κάτω ανοιγμάτων, καταγράφονται θερμοκρασίες 32,6-33,2 °C. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις, παρόλο που μακροσκοπικά παρουσιάζεται ήπια έκπλυση στην περιοχή Ar3.

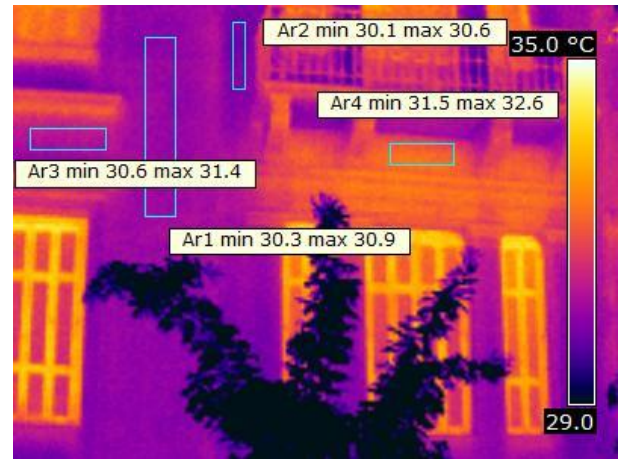
## ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ, ΑΠΟ ΟΔΟ Μ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ



Εικόνα 4.1.2.4 Όψη Οικίας Δουρούτη από την οδό Μ. Αλεξάνδρου όπου σημειώνονται οι περιοχές από όπου ελήφθησαν τα κατωτέρω θερμογραφήματα



Περιοχή θερμογραφήματος 11



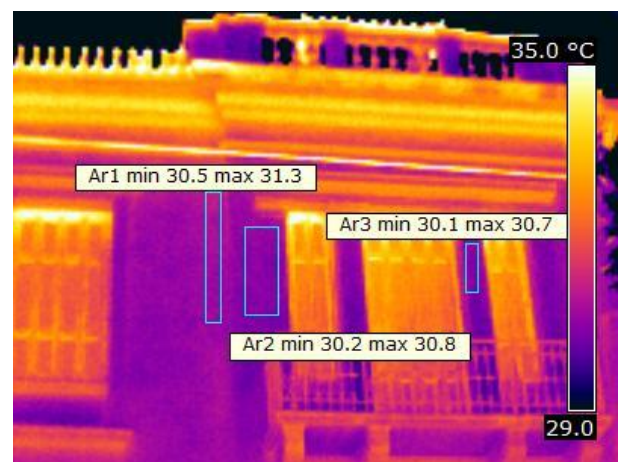
Θερμογράφημα 11

#### Θερμογράφημα 11:

Στην περιοχή Ar1 της επιφάνειας του θερμογραφήματος καταγράφονται θερμοκρασίες 30,3-30,9 °C, ενώ στην περιοχή Ar2 καταγράφονται θερμοκρασίες 30,1-30,6 °C δηλαδή λίγο χαμηλότερες από εκείνες της Ar1. Στην περιοχή Ar3 που βρίσκεται μεταξύ του άνω και του κάτω ανοίγματος αριστερά καταγράφονται λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες των προαναφερθέντων περιοχών, θερμοκρασίες 30,6-31,4 °C, ενώ ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες 31,5-32,6 °C καταγράφονται στην περιοχή Ar4 κάτω από το μπαλκόνι.



Περιοχή θερμογραφήματος 12



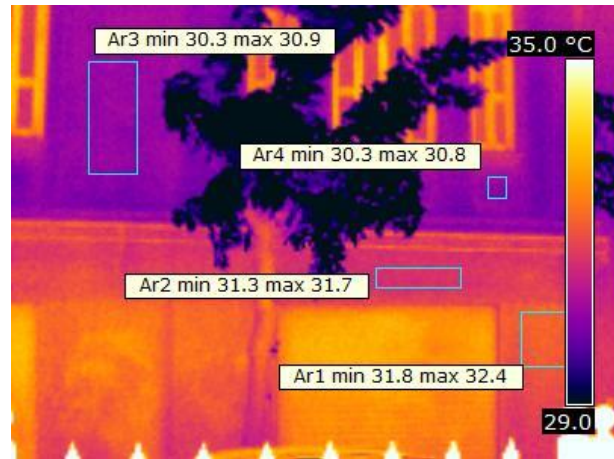
Θερμογράφημα 12

#### Θερμογράφημα 12:

Αντίστοιχες παρατηρήσεις σημειώνονται για την επιφάνεια του παρόντος θερμογραφήματος. Στην περιοχή Ar1 καταγράφονται θερμοκρασίες 30,5-31,3 °C, ενώ στην περιοχή Ar2 που αποτυπώνει την περιοχή της αριστερής κολώνας του μπαλκονιού και της επιφάνειας αριστερά από αυτή καταγράφονται θερμοκρασίες 30,2-30,8 °C δηλαδή ελαφρώς χαμηλότερες από εκείνες της περιοχής Ar1. Στην περιοχή Ar3 που περιλαμβάνει τον πεσσό δεξιά του κεντρικού ανοίγματος του μπαλκονιού καταγράφονται επίσης χαμηλές θερμοκρασίες 30,1-30,7 °C.



Περιοχή θερμογραφήματος 13



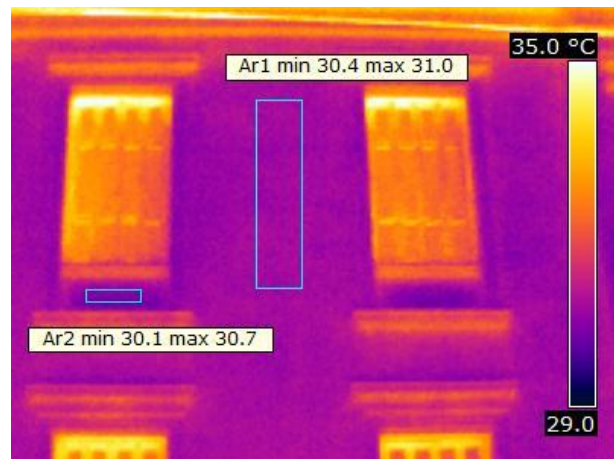
Θερμογράφημα 13

#### Θερμογράφημα 13:

Οι περιοχές Ar1 και Ar2 αντιστοιχούν μέρος του ισογείου του κτηρίου που έχει αποκατασταθεί με μπετό και δεν ανήκει πλέον στην Οικία, στις οποίες καταγράφονται θερμοκρασίες 31,8-32,4 °C και 31,3-31,7 °C αντίστοιχα. Αντίθετα, στις περιοχές Ar3 και Ar4 που αντιστοιχούν στον 1<sup>ο</sup> όροφο της Οικίας καταγράφονται χαμηλότερες θερμοκρασίες 30,3-30,9 °C και 30,3-30,8 °C αντίστοιχα, σε αντιστοιχία με τα θερμογραφήματα 11 και 12.



Περιοχή θερμογραφήματος 14



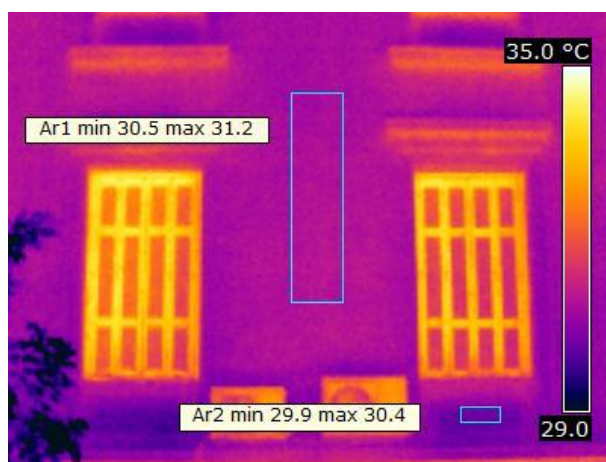
Θερμογράφημα 14

#### Θερμογράφημα 14:

Στην επιφάνεια που αποτυπώνεται στο θερμογράφημα σημειώνονται η περιοχή Ar1 στην οποία καταγράφονται θερμοκρασίες 30,4-31,0 °C, ενώ ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες 30,1-30,7 °C καταγράφονται στην περιοχή Ar2, η οποία αντιστοιχεί στη διακοσμητική επιφάνεια κάτω από το παράθυρο. Οι καταγραφόμενες θερμοκρασίες είναι παρόμοιες με εκείνες των αντίστοιχων περιοχών των προηγούμενων θερμογραφημάτων της όψης.



Περιοχή θερμογραφήματος 15



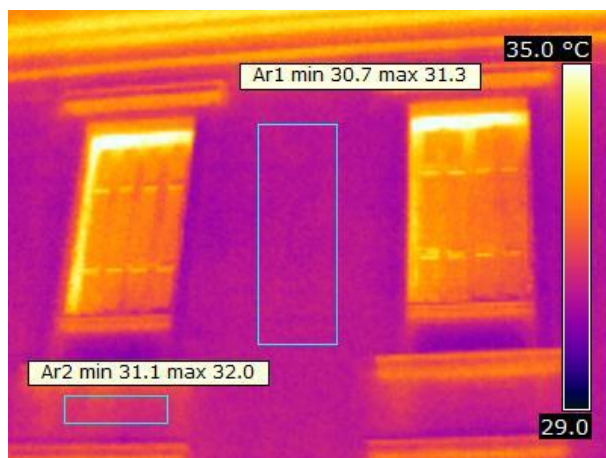
Θερμογράφημα 15

#### Θερμογράφημα 15:

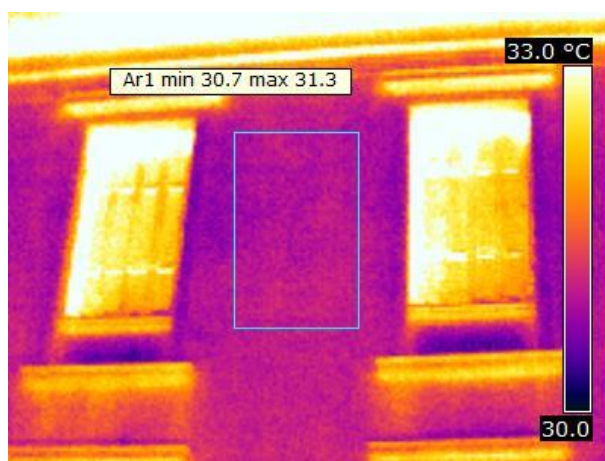
Αντίστοιχες παρατηρήσεις λαμβάνουν χώρα και εδώ: Στην περιοχή της επιφάνειας Ar1 καταγράφονται θερμοκρασίες 30,5-31,2 °C, ενώ στην περιοχή Ar2, η οποία αντιστοιχεί στη διακοσμητική επιφάνεια κάτω από το παράθυρο καταγράφονται ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες 29,9-30,4 °C, σε αντιστοιχία με τα προηγούμενα θερμογραφήματα.



Περιοχή θερμογραφήματος 16



Θερμογράφημα 16



Θερμογράφημα 16 σε στενότερο θερμοκρασιακό εύρος

#### Θερμογράφημα 16:

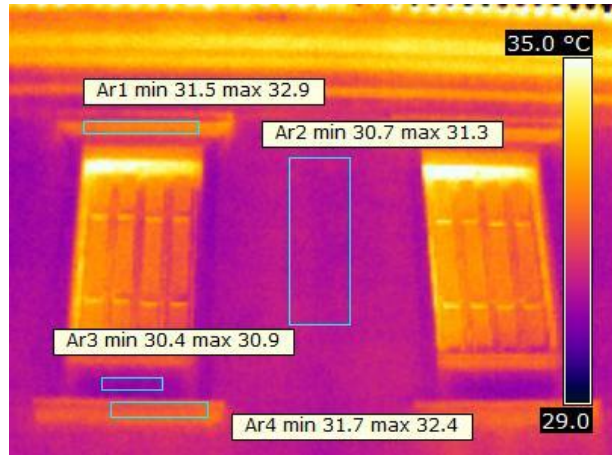
Στην περιοχή Ar1 η θερμοκρασία κυμαίνεται από 30,7 έως 31,3 °C. Παράλληλα, εντός της περιοχής

διαγράφεται σχήμα ψυχρότερης απόχρωσης που πιθανότατα αποτελεί παλαιότερο διακοσμητικό στοιχείο επικαλυμμένο, ίσως γύψινο. Το εν λόγω θερμογράφημα ρυθμίστηκε σε στενότερο θερμοκρασιακό εύρος με σκοπό την καλύτερη παρατήρηση του σχήματος, το οποίο προσομοιάζει σε λουλούδι.

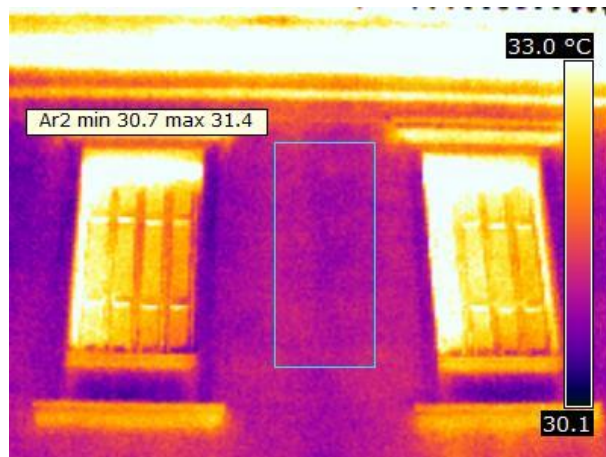
Στην περιοχή Ar2 που βρίσκεται μεταξύ των πάνω και κάτω ανοιγμάτων καταγράφονται ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες 31,1-32,0 °C. Επιπλέον, σημειώνεται ότι στην εν λόγω περιοχή μακροσκοπικά παρατηρείται ήπια έκπλυση.



Περιοχή θερμογραφήματος 17



Θερμογράφημα 17



Θερμογράφημα 17 σε στενότερο θερμοκρασιακό εύρος

#### Θερμογράφημα 17:

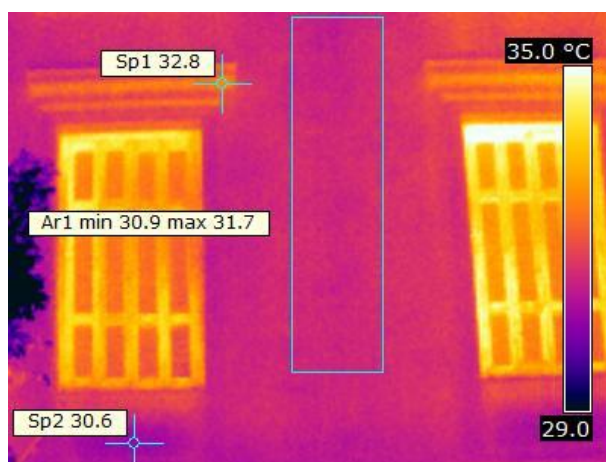
Το ίδιο φαινόμενο με εκείνο του θερμογραφήματος 16, ακόμα πιο εμφανές, παρουσιάζεται εδώ. Στην περιοχή Ar2 καταγράφονται θερμοκρασίες 30,7-31,3 °C όπου διαγράφεται ένα σχήμα το οποίο θα μπορούσε να είναι παλαιότερο διακοσμητικό στοιχείο της επιφάνειας. Το θερμογράφημα ρυθμίστηκε και σε στενότερο θερμοκρασιακό εύρος για την καλύτερη παρατήρηση του σχήματος.

Υψηλότερες θερμοκρασίες, 31,5-32,9 °C και 31,7-32,4 °C, καταγράφονται στις περιοχές Ar1 και Ar4 αντίστοιχα, που αποτελούν τα νεότερα διακοσμητικά στοιχεία πάνω και κάτω από το παράθυρο, θερμοκρασίες παρόμοιες μεταξύ τους.

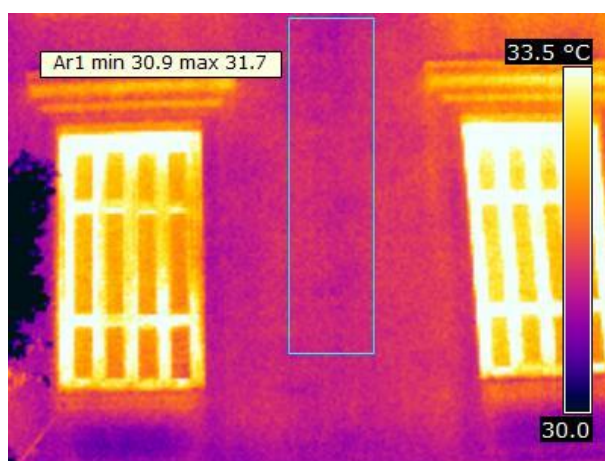
Ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες της Ar2, 30,4-30,9 °C, καταγράφονται στην περιοχή Ar3 που αντιστοιχεί σε νεότερη διακοσμητική επιφάνεια κάτω από το παράθυρο.



Περιοχή θερμογραφήματος 18



Θερμογράφημα 18



Θερμογράφημα 18 σε στενότερο θερμοκρασιακό εύρος

#### Θερμογράφημα 18:

Και εδώ παρατηρούνται τα αντίστοιχα των θερμογραφημάτων 16 και 17. Στην περιοχή Ar1 διαγράφεται υποκείμενο σχήμα στην επιφάνεια του οποίου καταγράφονται ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες από τα αντίστοιχα των προηγούμενων θερμογραφημάτων, που παρατηρείται καλύτερα όταν το θερμοκρασιακό εύρος ρυθμίζεται σε στενότερο εύρος.

Υψηλότερη θερμοκρασία, 32,8 °C καταγράφεται στο σημείο Sp1 που βρίσκεται εντός της περιοχής του νεότερου διακοσμητικού στοιχείου πάνω από το παράθυρο, ενώ χαμηλότερη θερμοκρασία από εκείνες της περιοχής Ar1, 30,6 °C καταγράφεται στο σημείο Sp2 που βρίσκεται εντός της νεότερης διακοσμητικής επιφάνειας κάτω από το παράθυρο, σε αντιστοιχία με τα προαναφερθέντα.

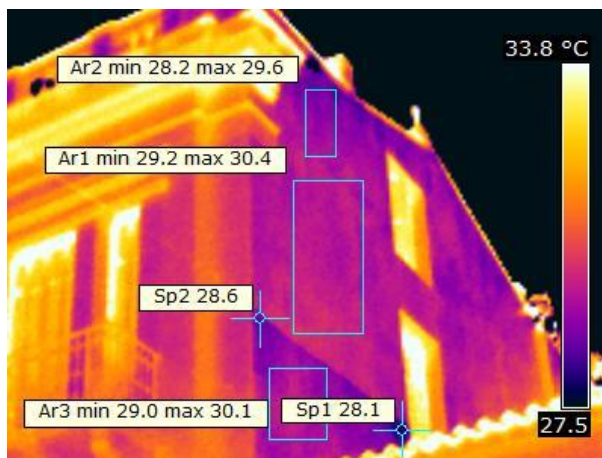
Στη Βόρεια όψη της Οικίας Δουρούτη, ως επί το πλείστον, δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις στις θερμοκρασίες που καταγράφονται σε σημεία και περιοχές. Διαφορές καταγράφονται στο Ισόγειο του κτίσματος που ανήκει στη λέσχη φιλίας Δουρούτη, στο ιατρείο και σε διπλανό χώρο, καθώς και στα νεότερα διακοσμητικά στοιχεία και επιφάνειες πάνω και κάτω από τα παράθυρα που ανήκουν σε πρόσφατη αποκατάσταση που πραγματοποίησε ο Δήμος Αθηναίων με αυτεπιστασία [29]. Επιπλέον, πιθανά παρουσιάζονται παλαιότερα διακοσμητικά στοιχεία της όψης που είναι καλυμμένα, στο αριστερό μέρος της.

### ΓΩΝΙΑ ΒΟΡΕΙΑΣ ΟΨΗΣ, ΕΠΙ ΤΗΣ Μ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ & ΔΥΤΙΚΗΣ ΟΨΗΣ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΗΝ ΠΙΝΑΚΟΘΗΚΗ

Η δυτική όψη της Οικίας εφάπτεται με την Πινακοθήκη του Δήμου και άρα η κάθετη λήψη της επιφάνειας δεν κατέστη δυνατή. Συνεπώς, η δυτική όψη ελήφθη υπό γωνία.



Περιοχή θερμογραφήματος 19



Θερμογράφημα 19

#### Θερμογράφημα 19:

Στην επιχρισμένη επιφάνεια της δυτικής όψης της Οικία Δουρουύτη, ο θερμοκρασιακός χάρτης παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στις θερμοκρασίες που καταγράφονται. Αρχικά, είναι ορατή μια νοητή γραμμή που παρουσιάζεται στο κάτω άκρο του κάτω ανοίγματος όπου το χρώμα πάνω από αυτή είναι θερμότερα από εκείνα της περιοχής κάτω από αυτή. Στην περιοχή Ar1, άνω της νοητής γραμμής, καταγράφονται θερμοκρασίες 29,2-30,4 °C. Στην περιοχή Ar3 που βρίσκεται κάτω από τη νοητή γραμμή καταγράφονται θερμοκρασίες 29-30,1 °C, δηλαδή χαμηλότερες από εκείνες της Ar1, ενώ στα σημεία Sp1 και Sp2 που βρίσκονται επίσης κάτω από τη γραμμή καταγράφονται θερμοκρασίες 28,1 °C και 28,6 °C αντίστοιχα, δηλαδή αισθητά χαμηλότερες. Επιπλέον, στο άνω μέρος του κτηρίου διακρίνεται περιοχή (Ar2) με ψυχρότερα χρώματα από εκείνα της περιοχής Ar1, στην οποία καταγράφονται θερμοκρασίες 28,2-29,6 °C, δηλαδή επίσης χαμηλότερες από εκείνες της περιοχής Ar1.

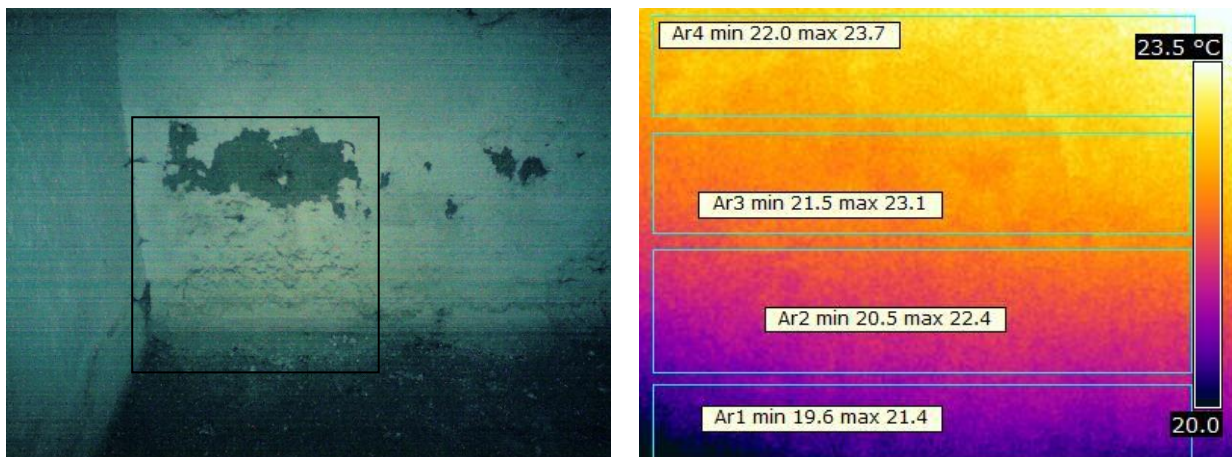
Μετά από έρευνα που διεξήχθη από τις μεταπτυχιακές φοιτήτριες Κάβουρα Μαρία και Νικολοπούλου Βασιλική, παρουσιάζονται ενδείξεις ότι οι δύο όροφοι του κτηρίου υψώθηκαν περαιτέρω του αρχικού τους ύψους, κάποια στιγμή μεταγενέστερα της αρχικής κατασκευής. Συνεπώς, η νοητή γραμμή που εμφανίζεται στο θερμογράφημα ενδεχομένως να αντιστοιχεί στο ύψος του προγενέστερου διαφράγματος. Άλλη πιθανή εξήγηση μπορεί να αποτελεί η ενδεχόμενη παρουσία ξυλοδεσιών, όπως έχει παρατηρηθεί γενικά στο συγκρότημα του Μεταξουργείου [29, 32].

Γενικά, η πραγματική κατάσταση της Οικίας είναι καλυμμένη από το ισχυρό επίχρισμα που φέρει. Όταν καθαιρεθούν τα επίχρισματα εσωτερικά θα καταστεί δυνατή η επισταμένη έρευνα που απαιτεί η ολοκληρωμένη και πλήρης μελέτη του κτηρίου.



## ΥΠΟΓΕΙΟ

### ΚΑΜΑΡΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΟΝΤΑ ΣΤΟ ΦΕΓΓΙΤΗ ΤΟΥ ΚΗΠΟΥ – Η ΔΕΥΤΕΡΗ ΚΑΜΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΣΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ – ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ

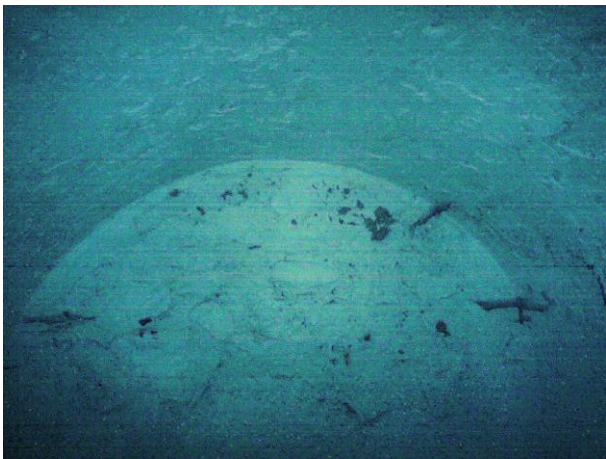


Περιοχή θερμογραφήματος 20 – Κάτω από την Καμάρα κοντά στο φεγγίτη του Υπογείου

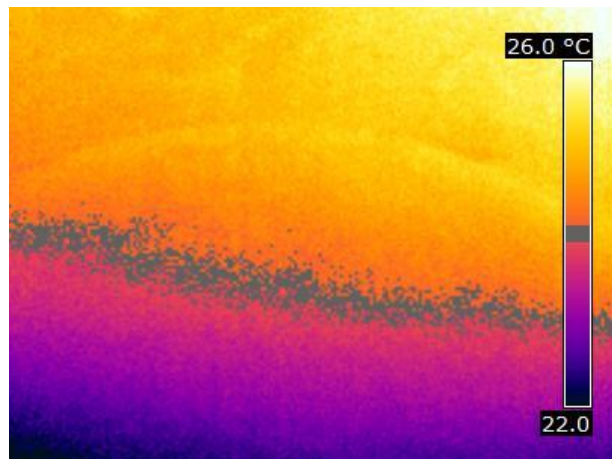
Θερμογράφημα 20

#### Θερμογράφημα 20:

Στην περιοχή του θερμογραφήματος διακρίνουμε 4 διαφορετικές θερμοκρασιακές ζώνες, των οποίων η θερμοκρασία αυξάνει αυξανόμενου του ύψους από το δάπεδο. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή του δαπέδου Ar1 καταγράφονται θερμοκρασίες 19,6-21,4 °C. Στην περιοχή Ar2, που αποτελεί περιοχή που παρατηρούνται εξανθίσεις αλάτων (κάτω από τις αποφλοιώσεις), καταγράφονται θερμοκρασίες 20,5-22,4 °C. Σε ανώτερη ζώνη της τοιχοποιίας, στην περιοχή των αποκολλήσεων, καταγράφονται θερμοκρασίες 21,5-23,1 °C, ενώ σε ακόμα ανώτερη ζώνη της τοιχοποιίας καταγράφονται θερμοκρασίες 22,0-23,7 °C. Γενικά, το χρώμα του θερμογραφήματος ξεκινάει από το μπλε στο κάτω μέρος και σταδιακά γίνεται κίτρινο στο πάνω μέρος. Επιπλέον, παρατηρούνται ευρείες θερμοκρασιακές διαφορές εντός περιοχών μικρής, σχετικά, επιφάνειας. Επίσης, σε όλες τις ζώνες που διακρίνονται, παρατηρούνται θερμότερα χρώματα στο δεξί μέρος συγκριτικά με το αριστερό μέρος της κάθε ζώνης, που σημαίνει μεγαλύτερες θερμοκρασίες δεξιά σε σύγκριση με αριστερά, πιθανότατα λόγω της θέσης του φεγγίτη, που βρίσκεται δεξιά της καμάρας, από όπου ο χώρος αερίζεται, σε μικρό βαθμό. Από τα ανωτέρω, και δεδομένου ότι η τοιχοποιία βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος που την τροφοδοτεί με υγρασία, συμπεραίνουμε ότι στις ανώτερες ζώνες παρουσιάζεται εντονότερη παρουσία υγρασίας από ότι στις κατώτερες ζώνες. Συνεπώς, το υπόγειο υποφέρει από τον παράγοντα φθορά της αναρριχόμενης υγρασίας. Σημειώνεται ότι η θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται από 19,6 έως 23,8 °C ενώ το θερμοκρασιακό εύρος του θερμογραφήματος είναι λίγο στενότερο για καλύτερη διακριτική ικανότητα στις αποχρώσεις.



Περιοχή θερμογραφήματος 21 – Καμάρα κοντά στο φεγγίτη του Υπογείου



Θερμογράφημα 21

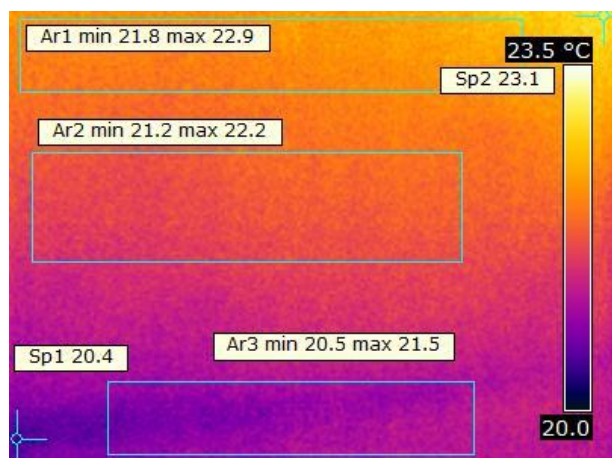
#### Θερμογράφημα 21:

Το θερμογράφημα 21 πραγματοποιήθηκε στην περιοχή καμάρας του υπογείου που βρίσκεται κοντά στο φεγγίτη του κήπου, όπου παρατηρείται, όπως και στο προηγούμενο, ότι τα χρώματα μεταβαίνουν από το μπλε στο κίτρινο σταδιακά από κάτω προς τα πάνω, δηλαδή η θερμοκρασία της επιφάνειας αυξάνει με την αύξηση του ύψους, ενώ με τα θερμότερα χρώματα αποδίδεται η οροφή της καμάρας. Επίσης, όπως και στο προηγούμενο θερμογράφημα, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη στα δεξιά από ότι στα αριστερά στο ίδιο ύψος. Η μέση θερμοκρασία της περιοχής είναι στους 24 °C. Ακριβώς στους 24 °C μετράται η θερμοκρασία στη ζώνη των σημείων με γκριζό χρώμα (ισόθερμη). Σημειώνεται ότι το θερμοκρασιακό εύρος του θερμογραφήματος δεν είναι το ίδιο με εκείνο του προηγούμενου θερμογραφήματος που αντιπροσωπεύει την περιοχή κάτω από καμάρα, διότι οι θερμοκρασίες διαφέρουν σημαντικά και η διάκριση αυτών δεν είναι δυνατή στο ίδιο εύρος. Η θερμοκρασία της περιοχής κυμαίνεται από 21,8 έως 26,2 °C ενώ το θερμοκρασιακό εύρος του θερμογραφήματος είναι λίγο στενότερο για καλύτερη διακριτική ικανότητα στις αποχρώσεις.

#### **ΚΑΜΑΡΑ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΟΝΤΑ ΣΤΗ ΣΚΑΛΑ – ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ 1 ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ – Η ΠΡΩΤΗ ΚΑΜΑΡΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΙΣΟΔΟ ΣΤΟ ΥΠΟΓΕΙΟ – ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ**



Περιοχή θερμογραφήματος 22 – Κάτω από την Καμάρα του Υπογείου κοντά στη σκάλα



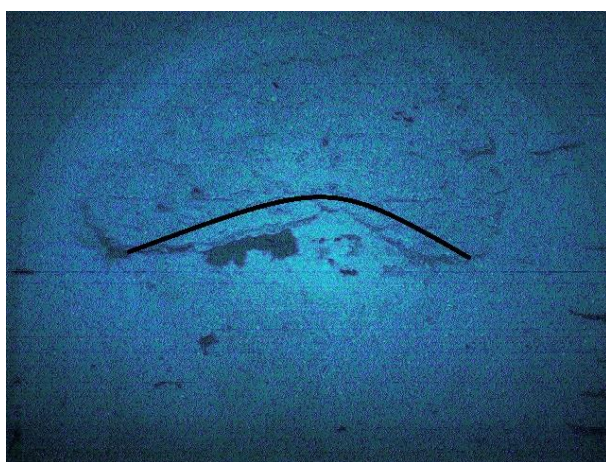
Θερμογράφημα 22

#### Θερμογράφημα 22:

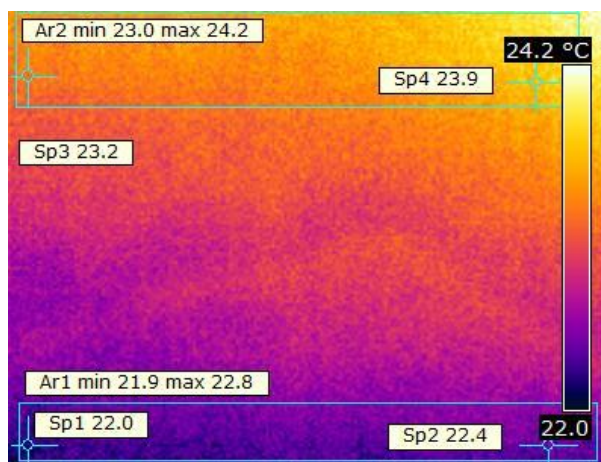
Το θερμογράφημα της περιοχής παρουσιάζει παρόμοια εικόνα με εκείνη των προηγούμενων που

ελήφθησαν από το υπόγειο και ειδικά με το θερμογράφημα 20 της περιοχής της καμάρας που βρίσκεται κοντά στο φεγγίτη του κήπου. Η θερμοκρασία αυξάνεται από κάτω προς το πάνω, ενώ κυμαίνεται σε διαφορετικές τιμές από το θερμογράφημα 20, ωστόσο οι θερμοκρασίες που αποδίδει το θερμογράφημα έχουν ρυθμιστεί στο ίδιο εύρος με εκείνο του θερμογραφήματος 20, με σκοπό την καλύτερη σύγκριση μεταξύ τους. Έτσι, από τα χρώματα και από τις καταγεγραμμένες θερμοκρασίες παρατηρείται ότι το θερμοκρασιακό εύρος είναι στενότερο από εκείνο της καμάρας κοντά στο φεγγίτη. Σημειώνεται ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται στα σημεία επαφής του εδάφους με την τοιχοποιία, ενώ και εδώ οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες δεξιά από ότι αριστερά.

Σημειώνεται επίσης ότι το πραγματικό θερμοκρασιακό εύρος της περιοχής κυμαίνεται από 20,4 έως 23,2 °C, δηλαδή στενότερο από το ρυθμισμένο, ενώ στο θερμογράφημα 20 το ρυθμισμένο θερμοκρασιακό εύρος είναι στενότερο από το πραγματικό.



Περιοχή θερμογραφήματος 23 –Καμάρα του Υπογείου κοντά στη σκάλα πριν τη δειγματοληψία



Θερμογράφημα 23

#### Θερμογράφημα 23:

Και σε αυτό το θερμογράφημα παρατηρείται παρόμοια κατάσταση με εκείνη των προηγούμενων θερμογραφήματων του υπογείου, και ειδικότερα με το θερμογράφημα 21 της καμάρας που βρίσκεται κοντά στο φεγγίτη του κήπου. Στο θερμογράφημα παρατηρείται καμπύλη γραμμή, που ακολουθεί προσεγγιστικά την καμπύλη που σχηματίζουν οι λίθοι της τοιχοποιίας που σημειώνεται στη φωτογραφία, όπου η θερμοκρασίες είναι ελαφρώς υψηλότερες από το κοντινά γειτονικά σημεία. Και εδώ, καταγράφονται μεγαλύτερες θερμοκρασίες δεξιά από ότι αριστερά στο ίδιο ύψος: Στο σημείο Sp1, που βρίσκεται στην περιοχή κάτω αριστερά, καταγράφεται θερμοκρασία 22,0 °C, ενώ στο σημείο Sp2, που βρίσκεται αριστερά στο ίδιο ύψος, καταγράφεται θερμοκρασία 22,4 °C. Ανάλογα κινούνται οι θερμοκρασίες των σημείων Sp3 και Sp4, που βρίσκονται στην επάνω περιοχή, στο ίδιο ύψος, αριστερά και δεξιά αντίστοιχα.

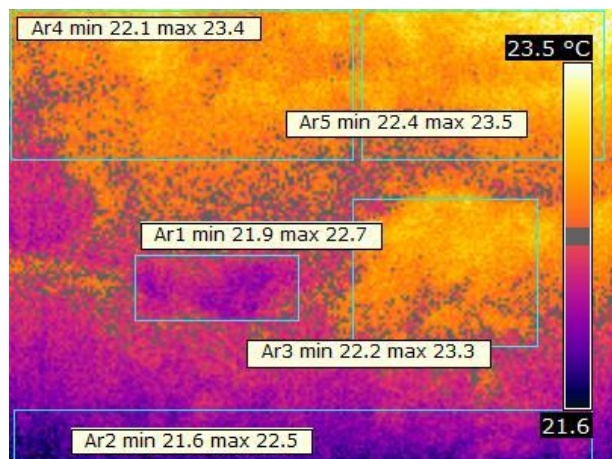
Σημειώνεται ότι το θερμοκρασιακό εύρος του θερμογραφήματος έχει ρυθμιστεί στο 22,0 – 24,2 °C, ενώ το πραγματικό θερμοκρασιακό εύρος της περιοχή είναι 21,9 – 24,4 °C. Αυτό έγινε με σκοπό να είναι διακριτή η καμπύλη, ενώ σημειώνεται επίσης ότι η ανώτερη θερμοκρασία αυτής της περιοχής είναι χαμηλότερη από εκείνη της καμάρας που βρίσκεται κοντά στο φεγγίτη του κήπου του θερμογραφήματος 21 (24,4 °C και 26,2 °C αντίστοιχα). Γενικά, σε αυτή την καμάρα το φαινόμενο της έντονης θερμοκρασιακής ανομοιογένειας είναι πιο ήπιο σχετικά με την καμάρα κοντά στο φεγγίτη.



Καμάρα κοντά στη σκάλα -μετά τη δειγματοληψία- Θέση δειγματοληψία 1 Υπογείου.



Περιοχή θερμογραφήματος 24 – Καμάρα του Υπογείου κοντά στη σκάλα μετά τη δειγματοληψία



Θερμογράφημα 24

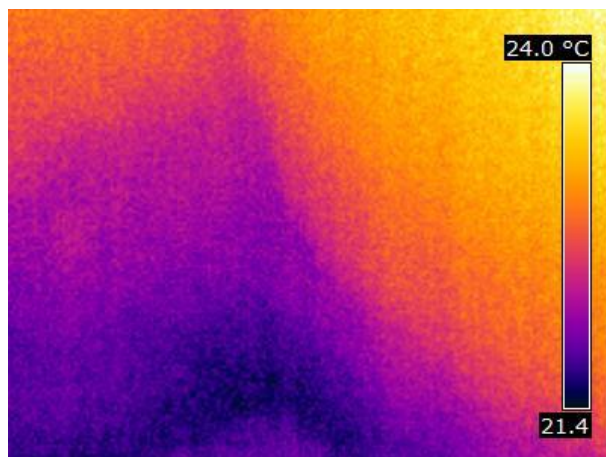
#### Θερμογράφημα 24:

Κατόπιν της καθαίρεσης της επικάλυψης της τοιχοποιίας με σκοπό την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας, η επιφάνεια μελετήθηκε εκ νέου, επικεντρώνοντας στα υλικά που αποκαλύφθηκαν που είναι κόκκινοι σπτόπλινθοι, λίθοι και κονίαμα αρμολόγησης. Κατά τα ανωτέρω, παρατηρείται και πάλι αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση του ύψους από το έδαφος, ενώ στο παρόν, παρατηρείται επίσης θερμοκρασιακή ανομοιογένεια μεταξύ των διαφορετικών υλικών που αποκαλύφθηκαν. Τα γκρίζα σημεία του θερμογραφήματος αποτελούν σημεία στα οποία καταγράφεται η μέση θερμοκρασία της περιοχής (ισόθερμη). Το θερμοκρασιακό εύρος της περιοχής είναι 21,6-23,5 °C

## ΔΥΤΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ



Περιοχή θερμογραφήματος 25 – Υπόγειο – Δυτική τοιχοποιία (αριστερά) με εγκάρσιο τοίχο (δεξιά)



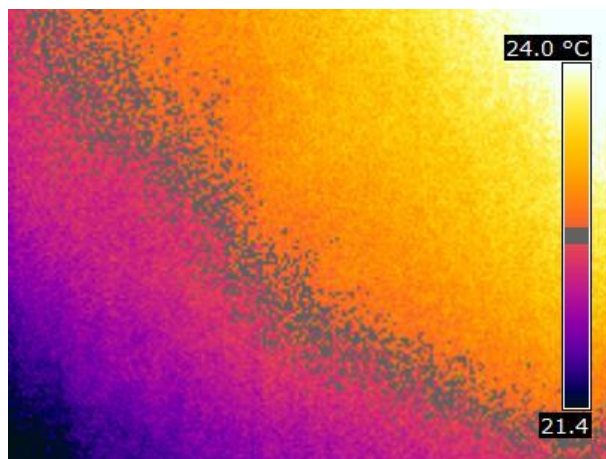
Θερμογράφημα 25

### Θερμογράφημα 25:

Το θερμοκρασιακό εύρος της περιοχής είναι 21,3-24,4 °C, ωστόσο έχει ρυθμιστεί σε ελαφρώς στενότερα όρια, με σκοπό την καλύτερη παρατήρηση της κατάστασης. Στην περιοχή παρατηρείται ότι στην επαφή του εδάφους με τους δύο τοίχους η θερμοκρασία είναι χαμηλή, η χαμηλότερη της περιοχής, ενώ χαμηλή θερμοκρασία καταγράφεται στα σημεία γύρω από την επαφή. Η υγρασία ανέρχεται υψηλότερα στον τοίχο αριστερά από ότι στον δεξί τοίχο, γεγονός που παρατηρείται από τις ψυχρές αποχρώσεις που καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση αριστερά από ότι δεξιά. Αντίστοιχα, σε ανώτερες ζώνες των τοίχων καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασίες, φαινόμενο που παρατηρείται από χαμηλότερο ύψος για τον τοίχο δεξιά από ότι για τον αριστερό τοίχο. Γενικά, η περιοχή παρουσιάζει θερμοκρασιακή ανομοιογένεια, ωστόσο, μακροσκοπικά, δεν παρατηρούνται αποφλοιώσεις και εμφανή σημάδια φθοράς.



Περιοχή θερμογραφήματος 26 – Δυτική τοιχοποιία (δεξιά) με εγκάρσια επιφάνεια (αριστερά) – Αριστερά της περιοχής του θερμογραφήματος 25



Θερμογράφημα 26

### Θερμογράφημα 26:

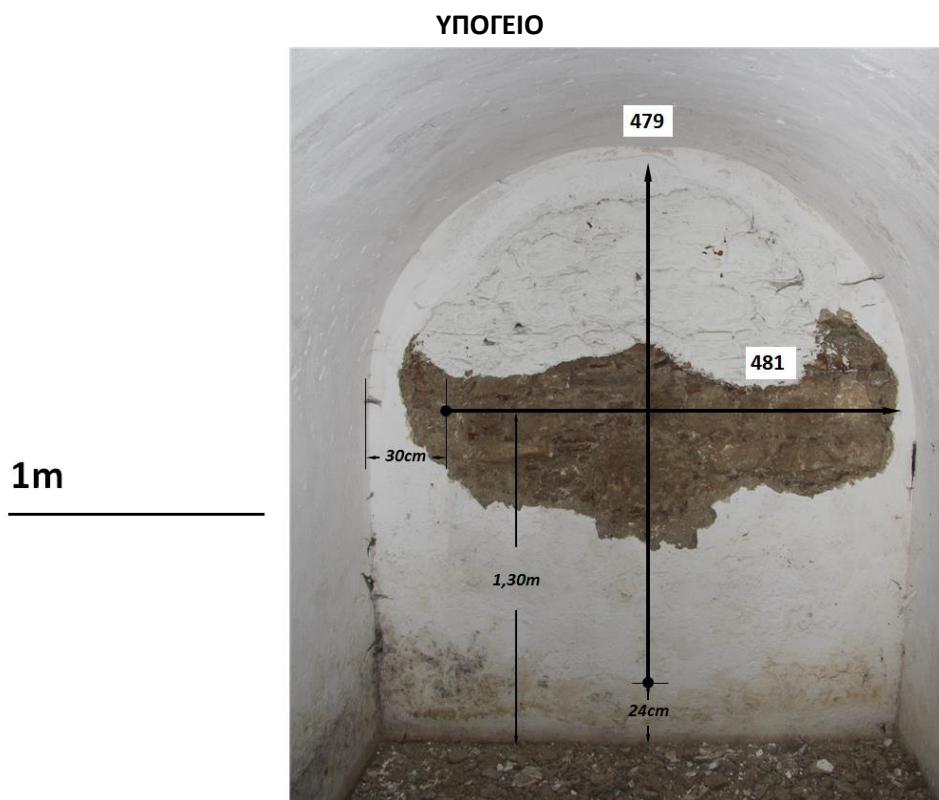
Το πραγματικό θερμοκρασιακό εύρος της περιοχής είναι 21,0 – 24,8 °C, ευρύτερο και στα δύο όριά του από εκείνο του θερμογραφήματος 25 που αντιπροσωπεύει την περιοχή δεξιά από αυτή. Ωστόσο, το θερμοκρασιακό εύρος του θερμογραφήματος έχει ρυθμιστεί έτσι ώστε να είναι το ίδιο με εκείνο του

θερμογραφήματος 25 με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ τους. Παρατηρείται ότι η περιοχή κοντά στις σωληνώσεις αποδίδεται με ψυχρότερα χρώματα, τα ψυχρότερα εκ των οποίων στο κάτω αριστερά άκρο της περιοχής. Επιπλέον, στην δυτική τοιχοποιία, ψυχρότερα χρώματα έχουμε χαμηλά και κοντά στην εγκάρσια επιφάνεια, ενώ σε κοντινότερες στην εγκάρσια επιφάνεια περιοχές, το πρόβλημα επεκτείνεται και σε μεγαλύτερο ύψος στην τοιχοποιία. Αυτό επιβεβαιώνεται από την ισόθερμη καμπύλη (τα σημεία με γκρίζο χρώμα) που αντιπροσωπεύει τα σημεία στα οποία μετράται η μέση θερμοκρασία της περιοχής.

Σε γενικές γραμμές, η Οικία Δουρούτη παρουσιάζει σημάδια φθοράς κυρίως στο υπόγειο όπου εντοπίζεται το φαινόμενο της αναρριχόμενης από το έδαφος υγρασίας. Παρουσιάζονται επίσης, αποκολλήσεις της επίστρωσης και εξανθήσεις αλάτων. Από τις εξεταζόμενες όψεις του κτηρίου, η νότια είναι εκείνη όπου παρουσιάζονται τα περισσότερα σημάδια φθοράς, όπως ρωγμές στον 1<sup>ο</sup> και το 2<sup>ο</sup> όροφο, χρωματικές αλλοιώσεις στα στηθαία όπου καταγράφονται χαμηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες των γειτονικών περιοχών, αποκολλήσεις σε υποσύλωμα όπου καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασίες από τις αναμενόμενες καθώς και έντονες αποκολλήσεις και χρωματικές αλλοιώσεις στην όψη της αποθήκης (μεταγενέστερη προσθήκη).

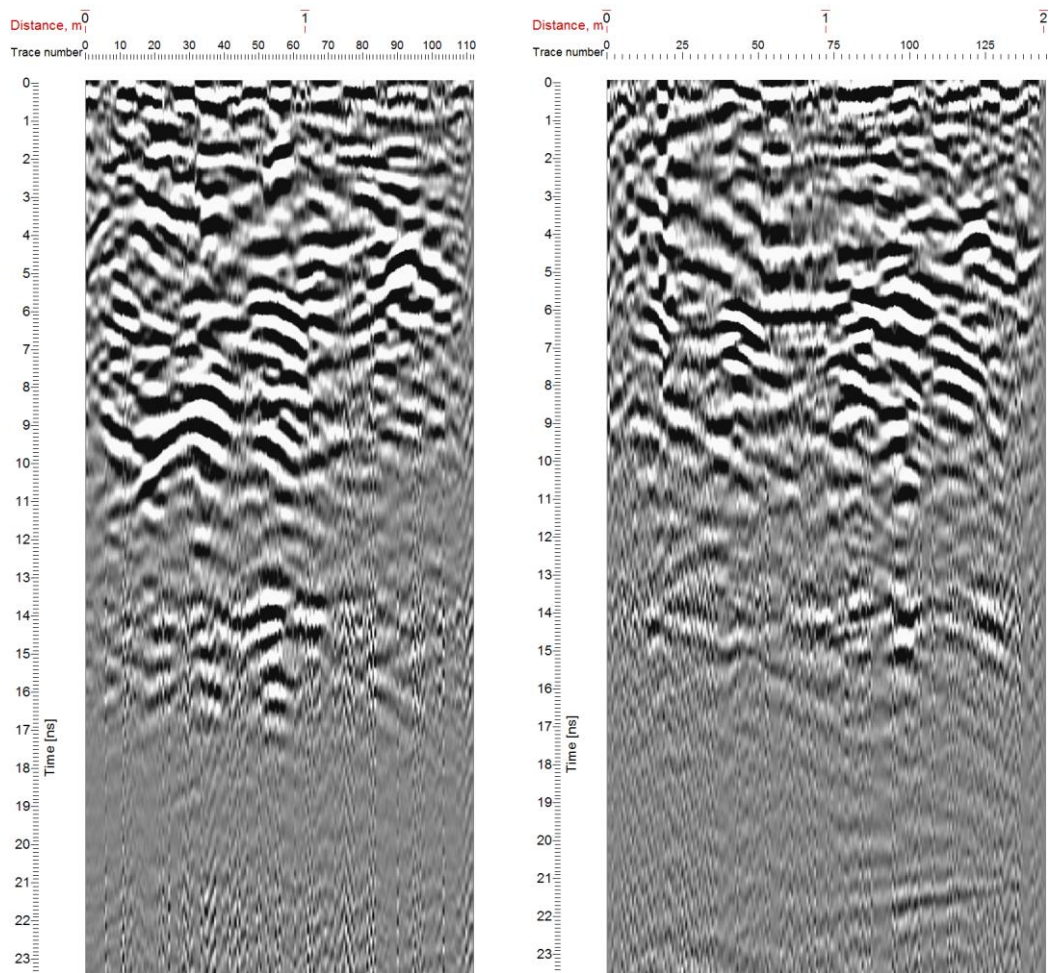
#### 4.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ ΜΕ ΓΕΩΡΑΝΤΑΡ (GPR)

Για τη μη καταστρεπτική εξέταση των τοιχοποιιών της οικίας Δουρούτη πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το Γεωραντάρ, που παρουσιάζονται στα ακόλουθα σχέδια, όπου σημειώνονται και τα μήκη των μετρήσεων καθώς και οι αποστάσεις από το έδαφος και από τα στοιχεία των τοιχοποιιών.



Εικόνα 4.1.3.1 Θέση σάρωσης στο Υπόγειο – Θέση δειγματοληψίας 1 Υπογείου – Καμάρα κοντά στη σκάλα

Για τα δεδομένα υλικά της τοιχοποιίας, η ταχύτητα του παλμού που υπολογίζεται στα 0,082 m/ns (βλ. σαρώσεις 427, 428, 429, 430, 432, 433) και καθώς η τοιχοποιία απεικονίζεται μέχρι τα 14-15 ns (Εικόνα 4.1.3.2), υπολογίζεται πάχος τοιχοποιίας στα 57-62 cm αντίστοιχα.



Εικόνα 4.1.3.2 Σαρώσεις 481 (αριστερά) και 479 (δεξιά)

### ΙΣΟΓΕΙΟ

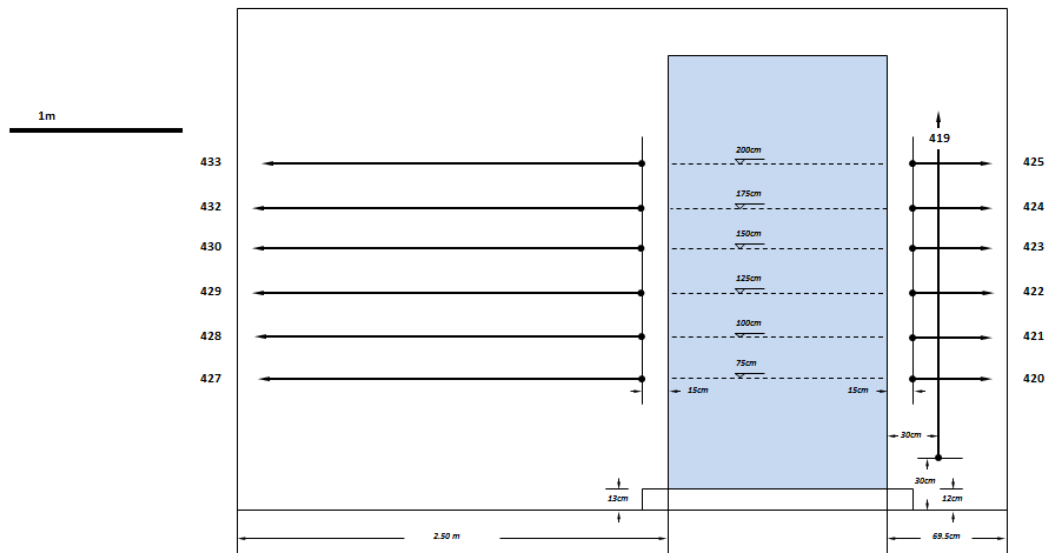
Στο επίπεδο του Ισογείου έλαβαν χώρα μετρήσεις στη νότια τοιχοποιία αριστερά της σκάλας εξωτερικά, αλλά και εσωτερικά (βλ. Εικόνα 4.1.3.3 Τοιχοποιία που εξετάστηκε – Ισόγειο). Από την περιοχή της τοιχοποιίας που μετρήθηκε στο ισόγειο, από την εξωτερική πλευρά και αριστερά του ανοίγματος (βλ. Εικόνα 4.1.3.4), ελήφθησαν οι οριζόντιες μετρήσεις 427, 428, 429, 430, 432 και 433, με σειρά αυξανόμενου ύψους από το έδαφος και με φορά προς τα αριστερά. Σε αυτές παρατηρούνται τα εξής: Μέχρι το ύψος των 125 cm (μέχρι και τη μέτρηση 429) εντοπίζονται πιθανές εσωτερικές ρηγματώσεις, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο ότι η ισόγεια τοιχοποιία βαίνει σε καμάρα του υπογείου (βλ. Εικόνα 4.1.3.6 – ύπαρξη «Cours d'anglais») και αντιστοιχεί ικανοποιητικά στην κατανομή τάσεων πάνω από την καμάρα. Η παρουσιαζόμενη κατάσταση της τοιχοποιίας συνεπάγεται την ανάγκη για παρακολούθησή της. Επιπλέον, παρατηρείται η εμφάνιση υγρασίας μέχρι τα 75 cm (μέτρηση 427), λόγω του υποκείμενου υπογείου, αλλά και λόγω της παρουσίας του φυτού εξωτερικά. Το πάχος της δεδομένης τοιχοποιίας είναι 70 cm και καθώς διακρίνουμε στα γεωγραφήματα ότι η τοιχοποιία απεικονίζεται μέχρι τα 17 ns (βλ. οριζόντιες γραμμές στα 17 ns στις μετρήσεις 427, 428, 429, 430, 432, 433), υπολογίζεται η ταχύτητα του παλμού στα 0,082 m/ns. Σημειώνεται ότι όπου έχουμε σήμα για χρόνο μεγαλύτερο των 17 ns, αυτό αντιστοιχεί σε δεύτερες ανακλάσεις των κυμάτων.





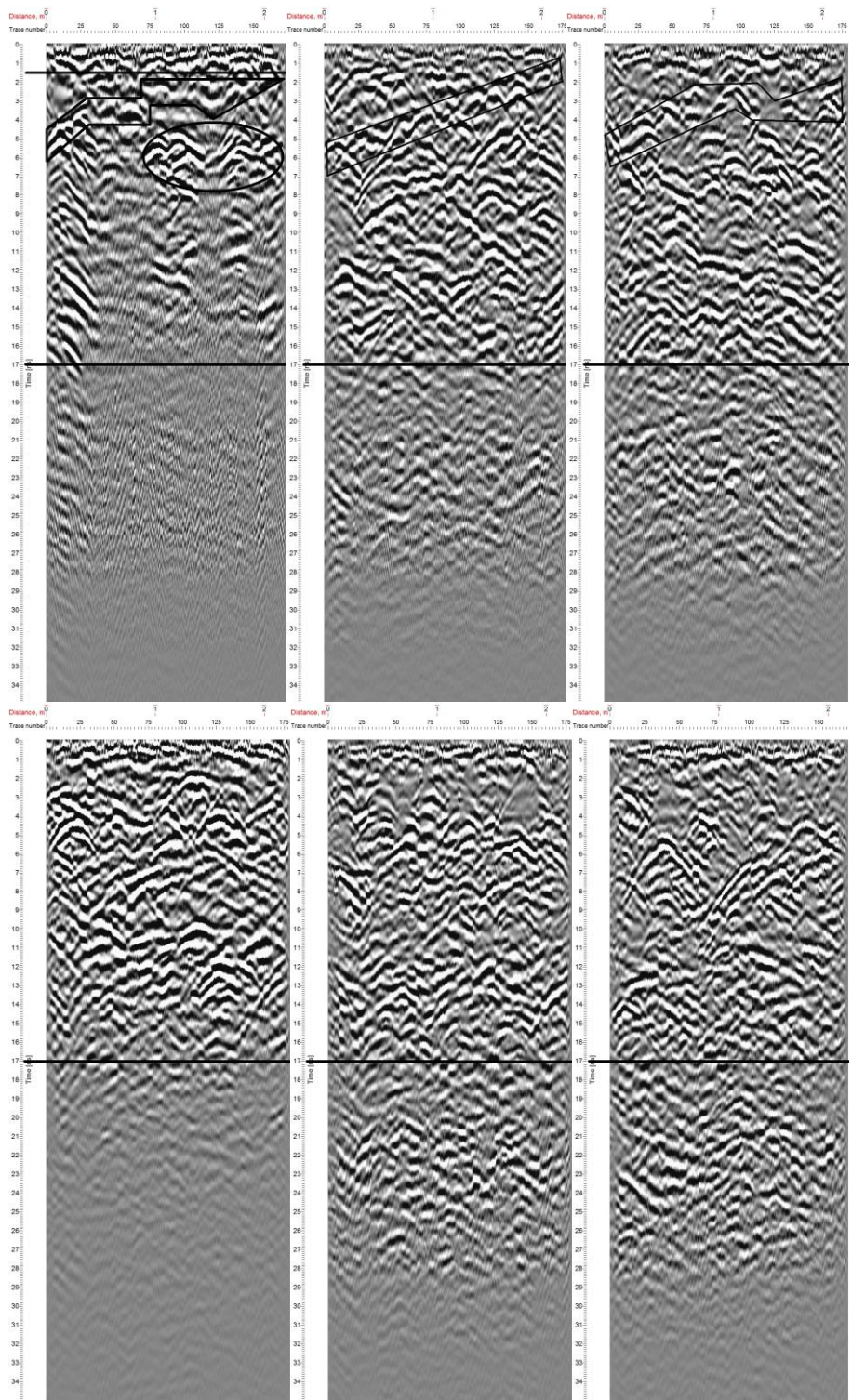
Εικόνα 4.1.3.3 Τοιχοποιία που εξετάστηκε – Ισόγειο

### ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ



Εικόνα 4.1.3.4 Κάναβος σαρώσεων ισόγειας τοιχοποιίας

Πιο συγκεκριμένα, στη μέτρηση 427 παρατηρούμε αρχικά ότι δεν υπάρχει καλό σήμα πιθανότατα λόγω υγρασίας καθώς η σάρωση αυτή είναι σε χαμηλό ύψος. Επιπλέον, εντοπίζουμε το πάχος του επιχρίσματος (οριζόντια γραμμή στο 1,5 ns) και κάποιους στόχους (πολύγωνο και οβάλ) που αντιπροσωπεύουν διεπιφάνειες υλικού με υλικό ή υλικού με τον αέρα. Στην περίπτωση μας, πιθανότατα είναι διεπιφάνειες υλικού-αέρα, δηλαδή κοιλότητες (εσωτερικές ρηγματώσεις) που έχουν προκληθεί λόγω των φορτίων που αναπτύσσονται, εξαιτίας της υποκείμενης καμάρας του υπογείου. Στην περιοχή ενδιάμεσα από το επίχρισμα και τις κοιλότητες, παρατηρείται η καλή συνοχή του επιχρίσματος με την τοιχοποιία. Ανάλογοι στόχοι εντοπίζονται και σημειώνονται στις μετρήσεις 428 και 429, όμως το φαινόμενο εμφανίζεται πιο έντονα στην 427 που βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος.

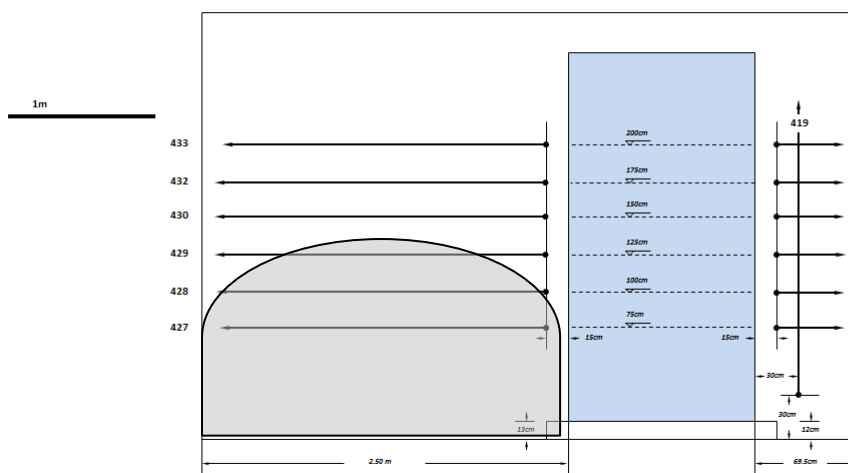


Εικόνα 4.1.3.5 Σαρώσεις 427, 428, 429(πάνω), 430, 432, 433(κάτω), από αριστερά προς τα δεξιά



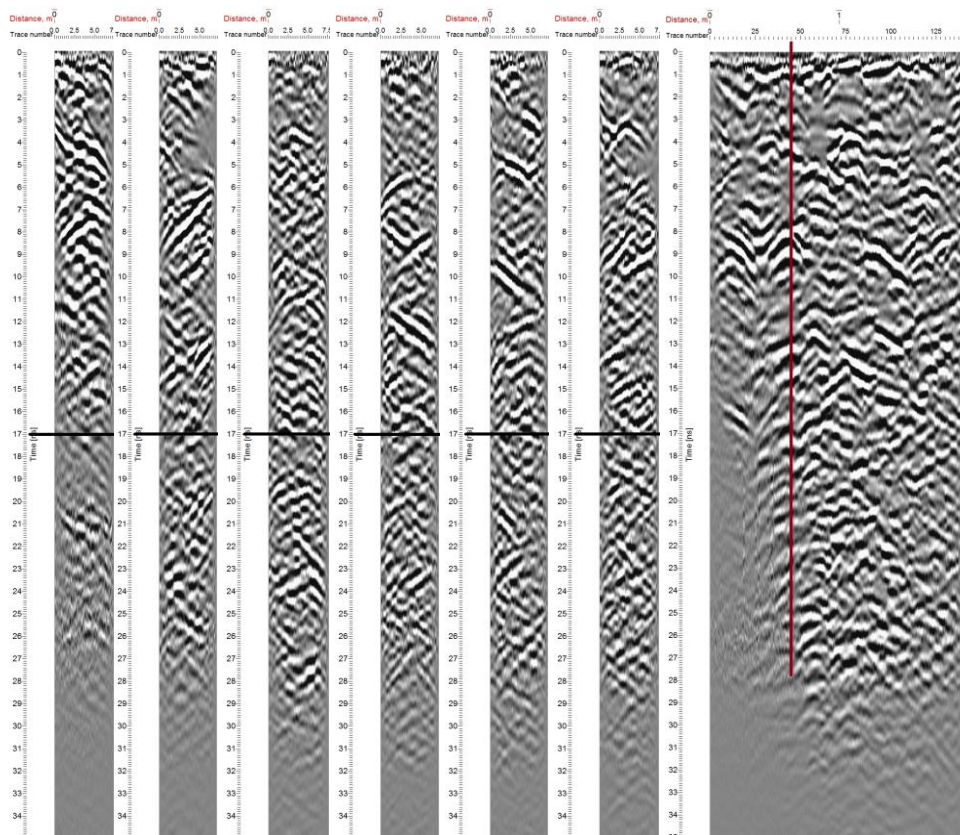
Εικόνα 4.1.3.6 Cours d' anglais Υπογείου

**ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ**



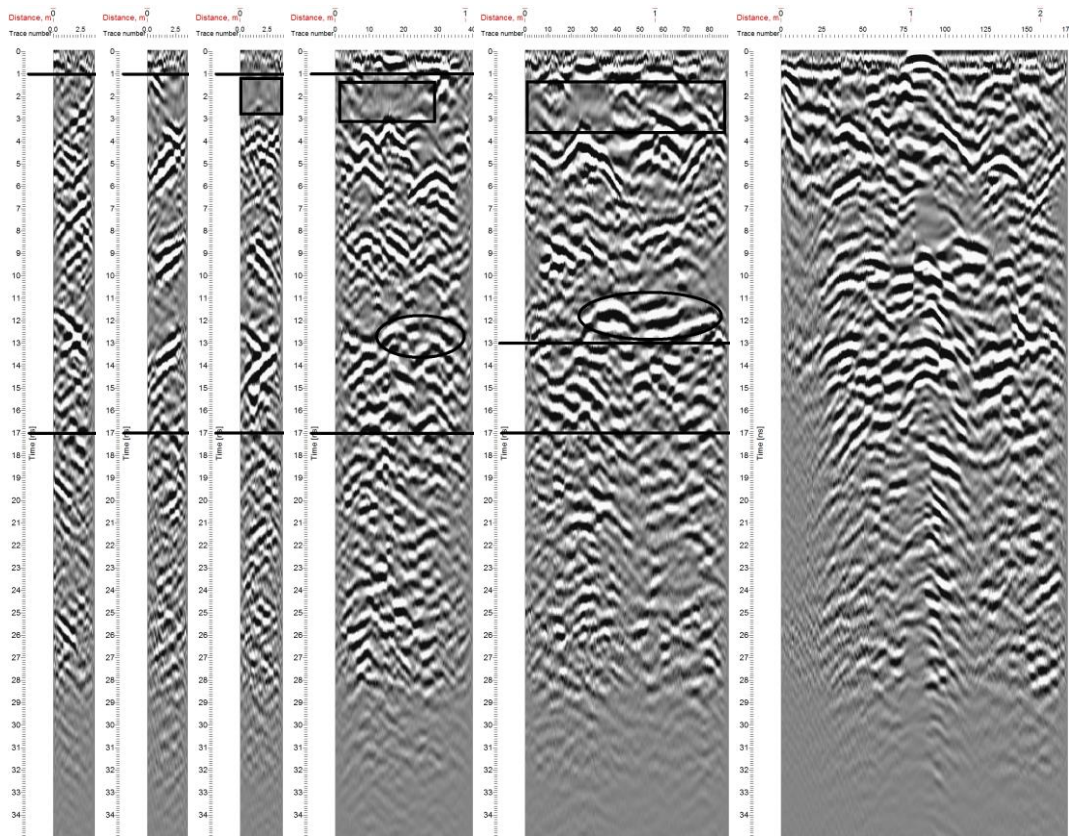
Εικόνα 4.1.3.7 Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής της ισόγειας τοιχοποιίας όπου υπάρχουν ενδείξεις για εσωτερικές ρηγματώσεις

Από την ίδια περιοχή και δεξιά του ανοίγματος ελήφθησαν οι οριζόντιες μετρήσεις 420, 421, 422, 423, 424 και 425, επίσης με σειρά αυξανόμενου ύψους από το έδαφος, με φορά προς τα δεξιά. Επιπλέον, η μέτρηση 420 που πραγματοποιήθηκε σε ύψος 75 cm όπως και η 427 επιβεβαιώνει την παρουσία υγρασίας μέχρι αυτό το ύψος. Ακολουθούν οι εν λόγω μετρήσεις (Εικόνα 4.1.3.8). Επιπροσθέτως ελήφθη η κατακόρυφη μέτρηση 419 με φορά προς τα πάνω, η οποία επιβεβαιώνει την παρουσία υγρασίας σε χαμηλό ύψος (75 cm από το έδαφος, δηλαδή 45 cm από την αρχή της μέτρησης). Η ζώνη αυτή ορίζεται με την κατακόρυφη γραμμή στη μέτρηση 419.



Εικόνα 4.1.3.8 Σαρώσεις 420 – 425 (αριστερά) και 419 (δεξιά)

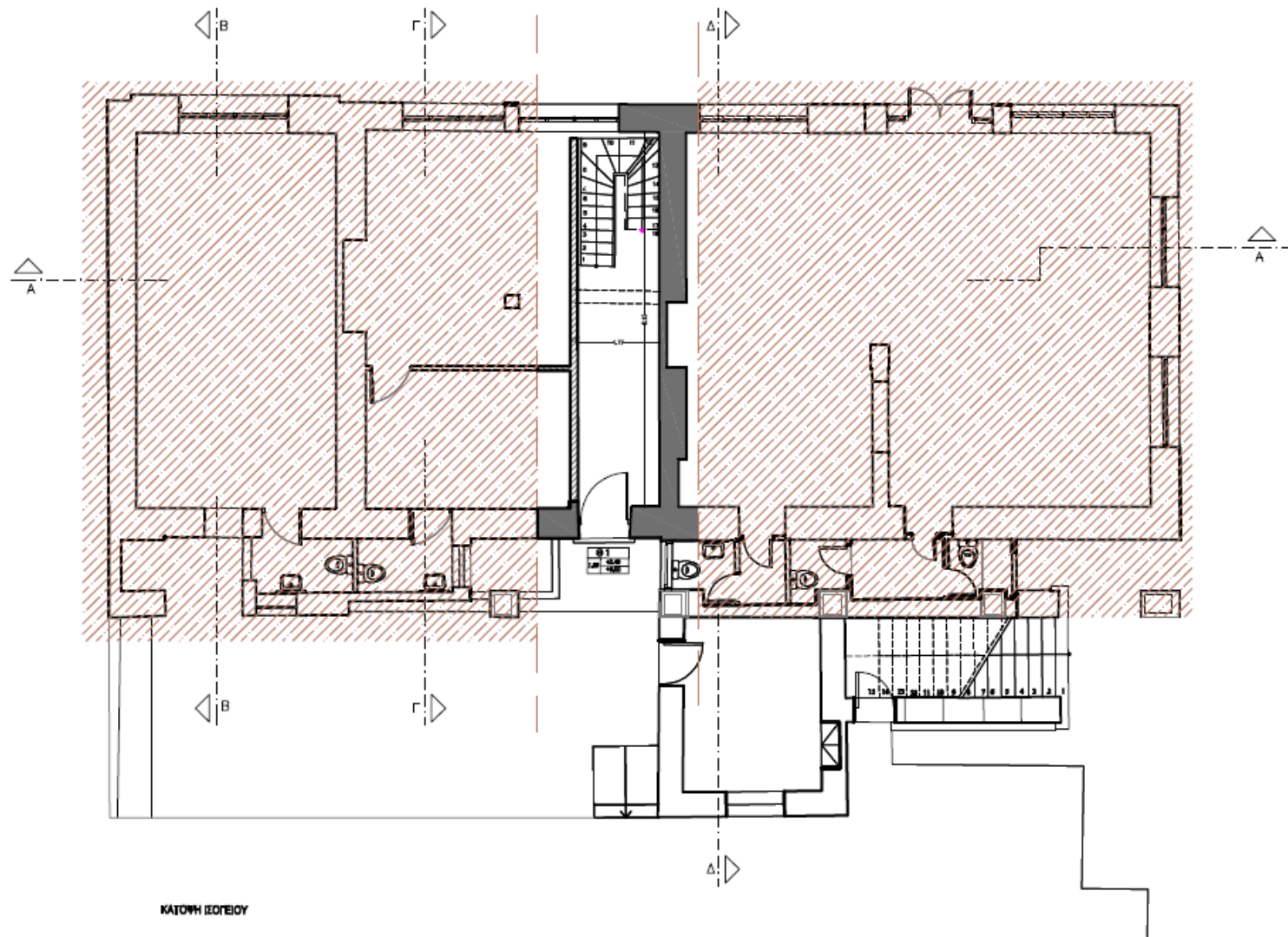
Στην ίδια τοιχοποιία, αυτή του ισογείου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και από την εσωτερική πλευρά της (επιφάνεια I1). Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκαν οι οριζόντιες μετρήσεις 472, 473 και 474 σε αντιστοιχία με τις 421, 422 και 423 που ελήφθησαν από την εξωτερική πλευρά, καθώς και οι κατακόρυφες μετρήσεις 470 και 471 σε αντιστοιχία με την 419 της εξωτερικής πλευράς αλλά με μικρότερο μήκος μέτρησης και με διαφορετικό ύψος έναρξης, λόγω του γεγονότος ότι ο τοίχος δεν είναι ευθύς από την εσωτερική πλευρά. Στις μετρήσεις αυτές σημειώνονται με οριζόντια γραμμή στο 1 ns το πάχος του επιχρίσματος και με οριζόντια γραμμή στα 17 ns το πάχος της τοιχοποιίας (βλ. Εικόνα 4.1.3.9), όπως επιβεβαιώνεται και από την κάτοψη του Ισογείου (Εικόνα 4.1.3.10 – Κάτοψη Ισογείου Μαρίας Κάβουρα [32]). Επιπλέον, στην οριζόντια μέτρηση 474 και στην κατακόρυφη μέτρηση 470 σημειώνεται με παραλληλόγραμμο η περιοχή που αντιστοιχεί στους λίθους πίσω από το επίχρισμα, όπου και λόγω της έλλειψης έντονου στόχου στην διεπιφάνεια αυτή, εκτιμάται καλή συνοχή του επιχρίσματος με το υπόστρωμα. Στις σαρώσεις 470 και 471 σημειώνεται επιπλέον και η περιοχή που αντιπροσωπεύει το κούφωμα της θύρας με οβάλ περίγραμμα, ενώ σημειώνεται με οριζόντια γραμμή στα 13 ns το πάχος στο οποίο εντοπίζεται το κούφωμα της πόρτας (50-60 cm). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και στην επιφάνεια I2, (βλ. Κάναβο σαρώσεων – Εικόνα 4.1.3.11) και συγκεκριμένα παρατίθεται η κατακόρυφη μέτρηση 476, στην οποία παρατηρούνται τα ίδια στοιχεία με εκείνα της επιφάνειας I1.



Εικόνα 4.1.3.9 Σαρώσεις Ισόγειου τοίχου, εσωτερικά, 472, 473, 474, 470, 471, 476 από αριστερά προς τα δεξιά, σε αντιστοιχία με την Εικόνα 4.1.3.8

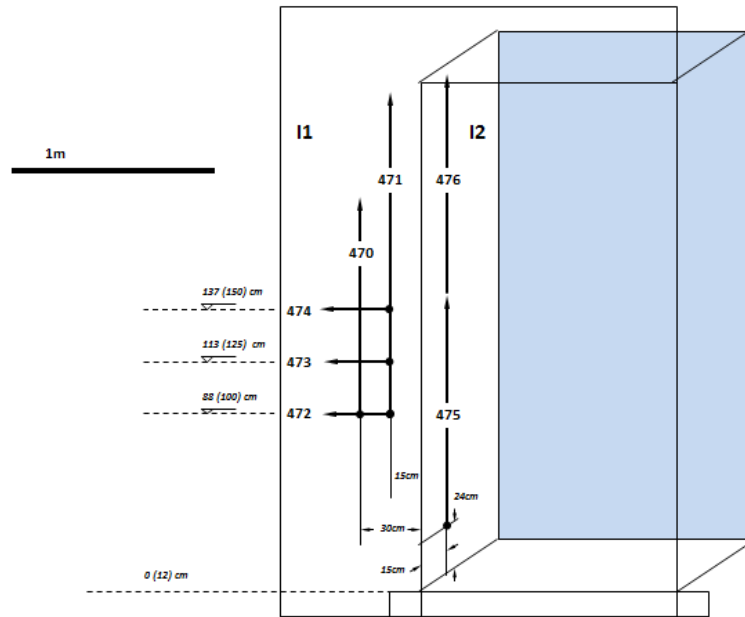
Στην εξωτερική κολώνα του ισογείου, της αυλής (βλ. Κάναβος σαρώσεων κολώνας Ισογείου (εξωτερική) – Φωτογραφία κολώνας Ισογείου) πραγματοποιήθηκαν οι κατακόρυφες μετρήσεις 436, 439, 440 και 438, όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.1.3.13. Σε αυτές σημειώνεται το πάχος περίπου στα 10 ns, που γνωρίζουμε ότι είναι 54-55 cm (βλ. Εικόνα 4.1.3.12). Άρα προκύπτει ταχύτητα παλμού ίση με 0,108-0,11 m/ns αντίστοιχα, δηλαδή ταχύτητα αρκετά μεγαλύτερη από την τοιχοποιία του ισογείου. Πιθανές εξηγήσεις για αυτό είναι: Το γεγονός ότι εμφανίζεται μεγαλύτερο πάχος επιχρίσματος (~10 αντί ~2,5 cm), ή το υλικό δόμησης να είναι καθοριστικός παράγοντας, που στην περίπτωση της κολώνας είναι μόνο κίτρινος οπτόπλινθος [29], σε αντίθεση με τις τοιχοποιίες που είναι δομημένες με κίτρινους και κόκκινους οπτόπλινθους, λίθους και κονίαμα.

Στις μετρήσεις σημειώνεται με οριζόντια γραμμή στα 10 ns το πάχος, ενώ τα καταγραφόμενα πέραν των 10 ns αποτελούν δεύτερες ανακλάσεις του παλμού, όπου παρουσιάζεται κανονικότητα. Επιπλέον, στην 438 σημειώνεται με κατακόρυφη γραμμή το ύψος όπου εμφανίζεται υγρασία στα 50 cm, οπότε η υγρασία παρατηρείται σε ύψος 1 m από το έδαφος (50 cm από την έναρξη των μετρήσεων + 50 cm του ύψους της έναρξης των μετρήσεων από το έδαφος). Συνεπώς, βλέπουμε ότι η υγρασία εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ύψος από αυτό των 75 cm που καταγράφηκε στην ισόγεια τοιχοποιία. Αυτό συμβαίνει κατ' αρχήν λόγω της επαφής με το φυτό και λόγω της άμεσης επαφής με το έδαφος που δεν έχει ο ισόγειος τοίχος που, όπως προαναφέρθηκε, βαίνει στην καμάρα του φωταγωγού του υπογείου.



Εικόνα 4.1.3.10 – Κάτοψη Ισογείου Μαρίας Κάβουρα [32]

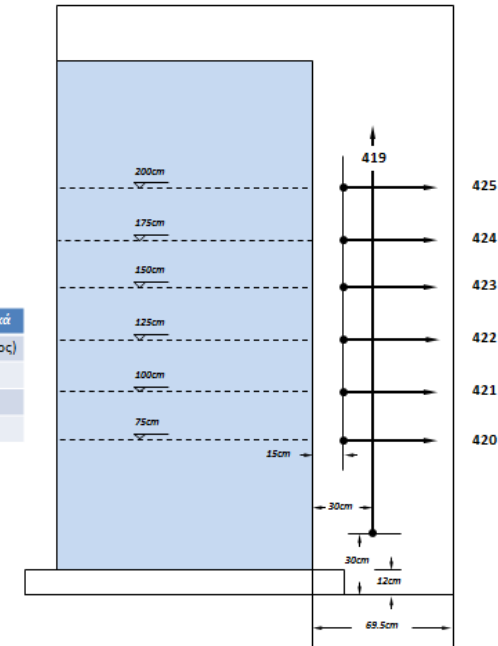
## ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ



## ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ

### Αντιστοίχιση

Εσωτερικά	Εξωτερικά
470	419 (μέρος)
472	421
473	422
474	423



### Πάχος επιχρίσματος

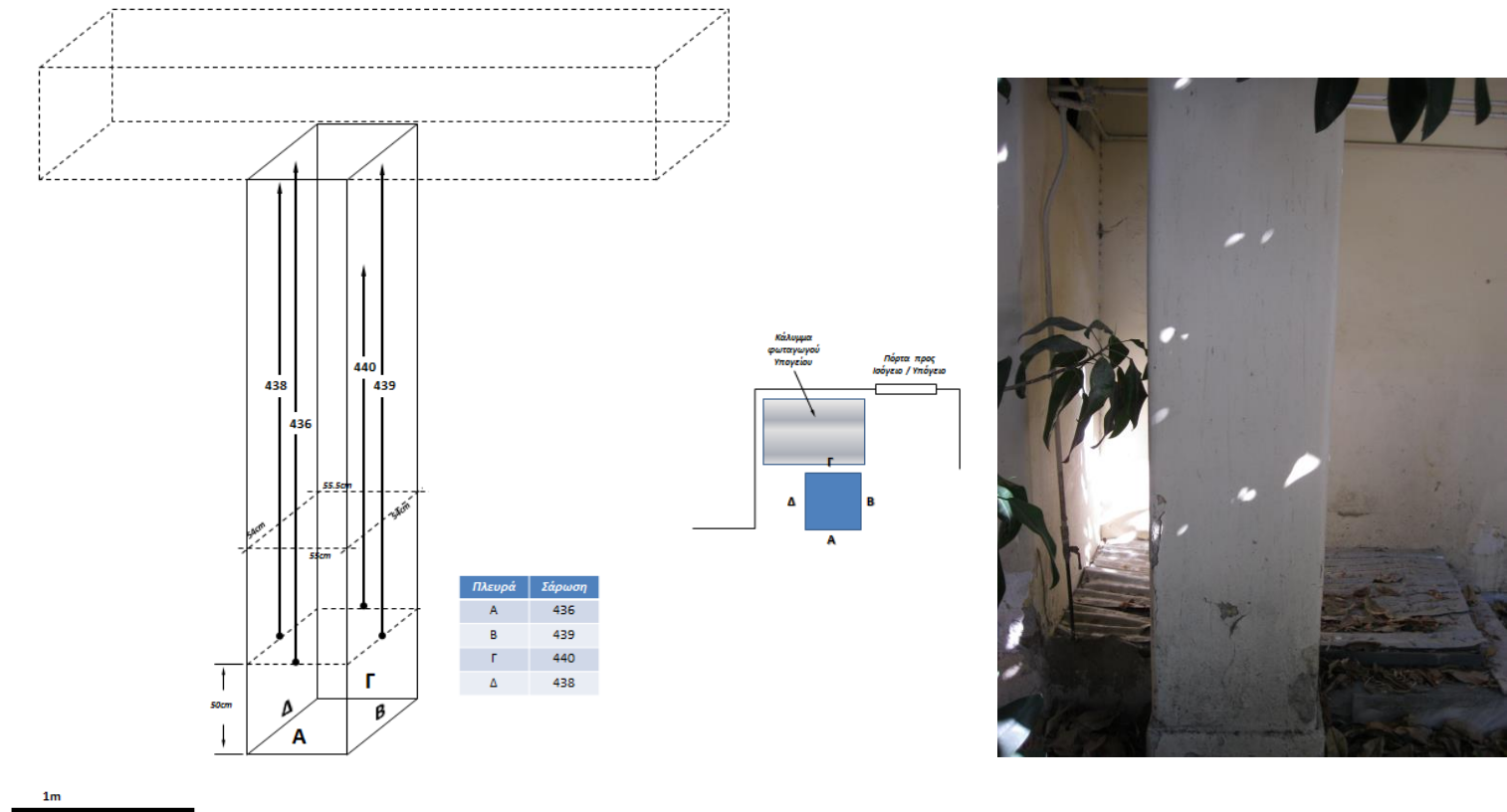
Επιφάνεια	Πάχος (cm)
I1	3
I2	3.5



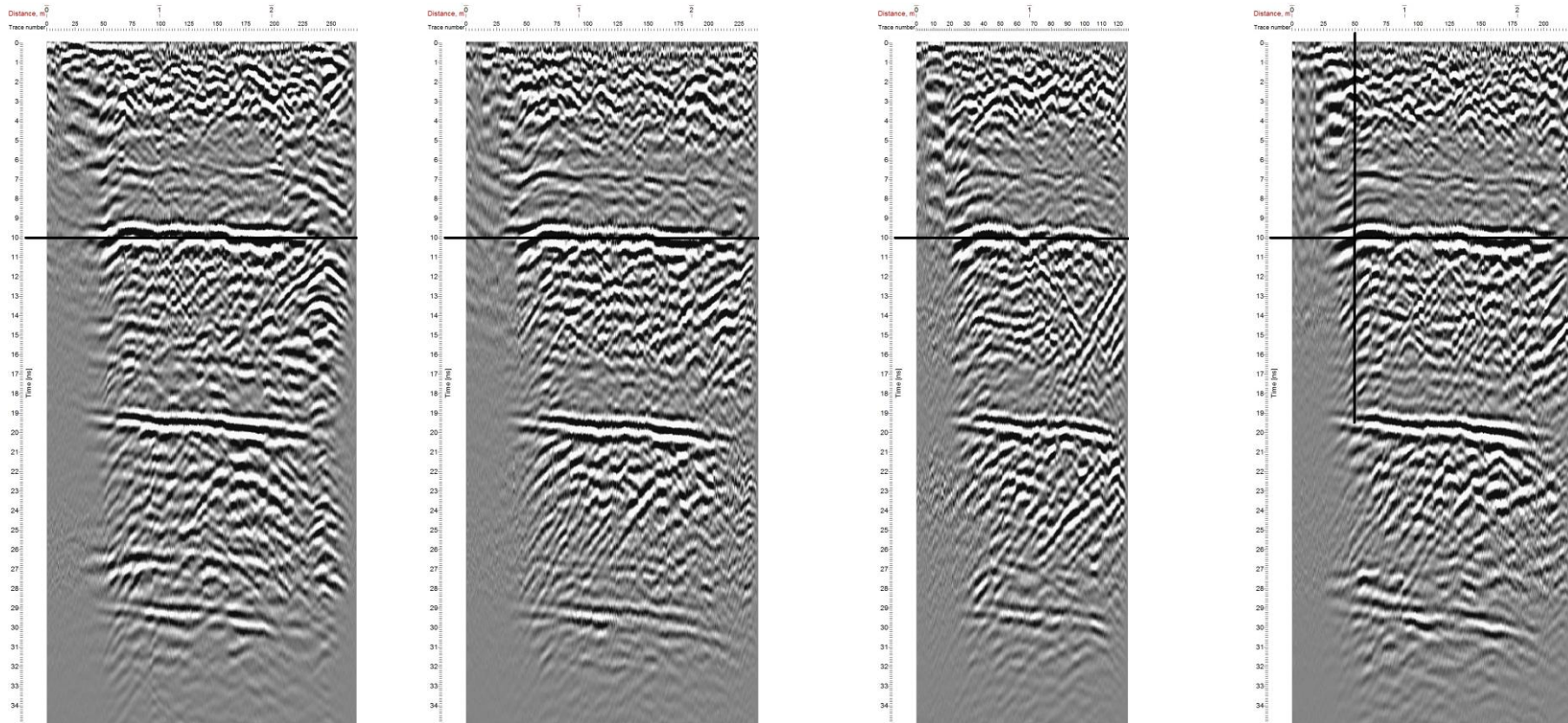
Εικόνα 4.1.3.11 Κάναβος σαρώσεων στον ισόγειο τοίχο – εσωτερικά



## ΙΣΟΓΕΙΑ ΚΟΛΩΝΑ



Εικόνα 4.1.3.12 Κάναβος σαρώσεων κολώνας Ισογείου (εξωτερική) – Φωτογραφία κολώνας Ισογείου



Εικόνα 4.1.3.13 Σαρώσεις 436, 439, 440, 438 από αριστερά προς τα δεξιά

## Α΄ ΟΡΟΦΟΣ

Η κάτοψη του ορόφου απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1.3.16-Κάτοψη α΄ ορόφου Μαρίας Κάβουρα [32]. Ο κάναβος μετρήσεων στον Α΄ όροφο απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1.3.17.

Οι μετρήσεις 381 και 382 ελήφθησαν οριζοντίως και με φορά προς τα δεξιά από την περιοχή Α1 έως και αριστερά της κύριας εισόδου (Πο 3), κάτω από την περιοχή του παραθύρου Πα 1 (βλ. Εικ. 4.1.3.16 και 4.1.3.17), ενώ η μέτρηση 391 πραγματοποιήθηκε επίσης οριζοντίως και με φορά προς τα δεξιά από την περιοχή Α2 έως και αριστερά της κύριας εισόδου (Πο 3). Σε αυτές έχουμε το πάχος της τοιχοποιίας στα 12 με 14 ns που σημειώνεται με την οριζόντια γραμμή στα 14 ns (βλ. Εικόνα 4.1.3.14). Το πάχος της τοιχοποιίας είναι 60 cm, οπότε προκύπτει ταχύτητα παλμού στα 0,086 με 0,10 m/ns, ταχύτητα μεγαλύτερη από εκείνη που υπολογίστηκε για την τοιχοποιία του Ισογείου.

Στις 381 και 382 παρατηρείται στο διάστημα 0,35m – 1,50m (βλ. Εικόνα 4.1.3.16.), που αντιστοιχεί στην περιοχή κάτω από το παράθυρο Πα1, η διαφοροποίηση στην δομή, σε σχέση με την υπόλοιπη τοιχοποιία. Το ίδιο επιβεβαιώνεται και από τις μελέτες των αρχιτεκτόνων και των πολιτικών μηχανικών [29,31,32], ενώ το συνολικό πάχος της στρώσης (37 cm) αντιστοιχεί στο βάθος 0-6ns (Εικόνα 4.1.3.16) και υπολογίζεται μέση ταχύτητα 0,12 m/ns, πολύ μεγαλύτερη από τις ταχύτητες που υπολογίζονται σε όλες τις τοιχοποιίες. Στην 391 σημειώνεται επίσης ένας επιφανειακός στόχος που εντοπίζεται.

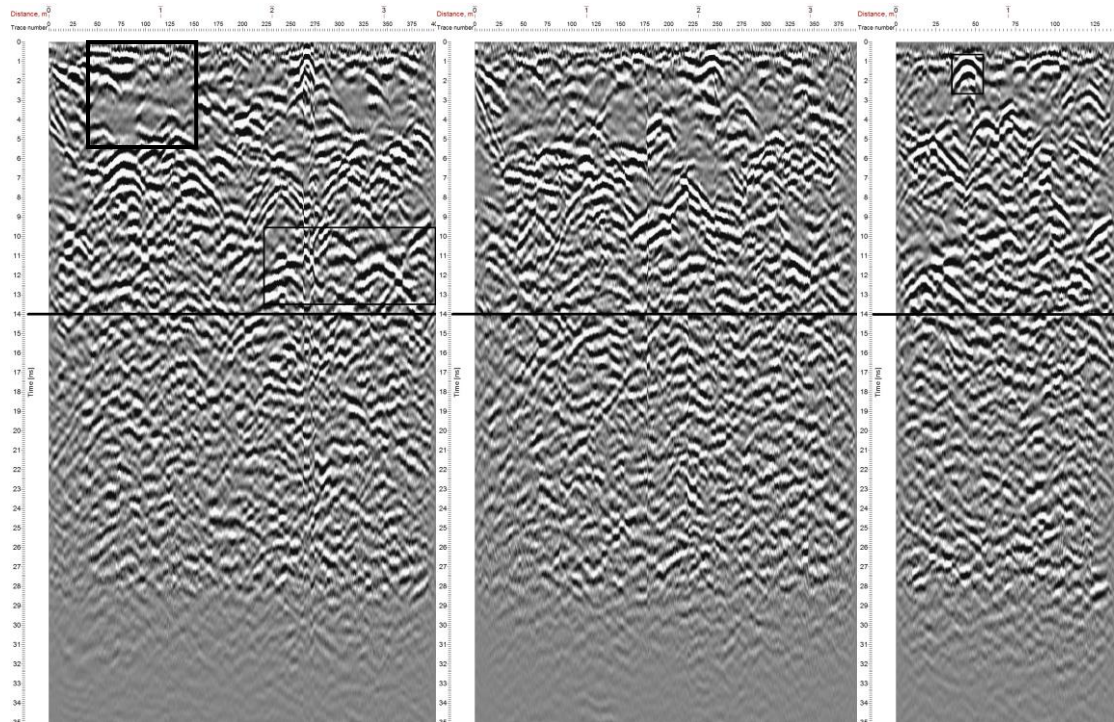
Στην περιοχή Α2 και καθέτως με φορά προς τα πάνω πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις 389, 395 και 390 (Εικόνα 4.1.3.15), όπου σημειώνεται το πάχος της τοιχοποιίας στα 12 ns με οριζόντια γραμμή, ενώ παρατηρείται και πάλι η καλή συνοχή του επιχρίσματος με το υπόστρωμα. Επιπλέον, στην 390 εντοπίζονται ποιοτικά οι τρεις ζώνες δόμησης και το επίχρισμα. Συγκεκριμένα, η ζώνη μέχρι το 1,5 ns αντιπροσωπεύει το επίχρισμα, η ζώνη μέχρι τα 4,5 ns αντιπροσωπεύει τη στρώση που το μεγαλύτερο ποσοστό της είναι δομολίθοι και οπτόπλινθοι, η ζώνη μέχρι τα 8 ns αντιπροσωπεύει την στρώση που περιέχει κυρίως υλικό πλήρωσης (κονίαμα), και η ζώνη μέχρι τα 12 ns αντιπροσωπεύει επίσης στρώση της τοιχοποιίας με περισσότερους δομολίθους και οπτόπλινθους.

Στην περιοχή Α3 πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις 383, 384, και 403, οριζοντίως και με φορά προς τα δεξιά, από σημείο δεξιά της πόρτας έως το επόμενο άνοιγμα (Εικόνα 4.1.3.18). Στην 384 σημειώνεται το πάχος της τοιχοποιίας με οριζόντια γραμμή στα 12 ns, ενώ στην 403 σημειώνονται με οβάλ περίγραμμα περιοχές που βρίσκονται στη στρώση με το μεγαλύτερο ποσοστό λίθων και οπτόπλινθων, ενώ με ορθογώνιο σημειώνεται περιοχή της μεσαίας στρώσης της τοιχοποιίας με το πληρωτικό υλικό. Στην ίδια περιοχή, δεξιά της πόρτας πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις 396, 402 και 401, κατακόρυφα και με φορά προς τα πάνω (Εικόνα 4.1.3.19), όπου σημειώνεται με οριζόντια γραμμή το πάχος της τοιχοποιίας στα 12 ns.

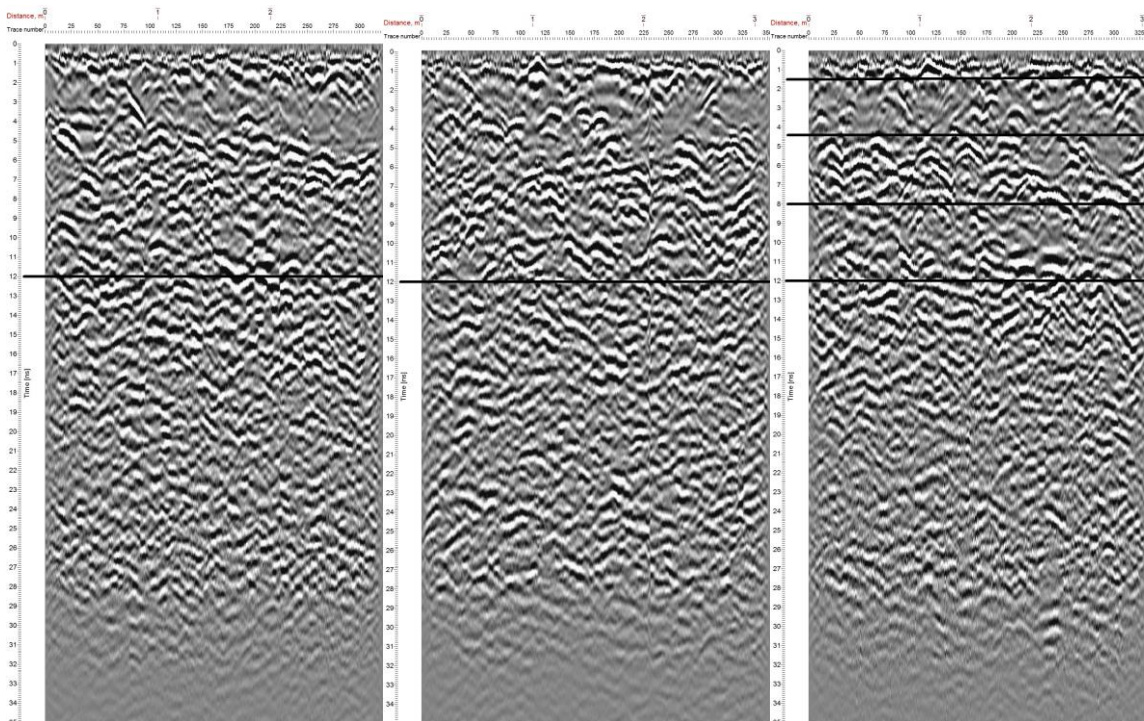
Στην περιοχή Α4 ελήφθησαν οι οριζόντιες και με φορά προς τα δεξιά μετρήσεις 385, 386 και 416 (Εικόνα 4.1.3.20). Στην 416 σημειώνεται με παραλληλόγραμμο το πάχος της τοιχοποιίας στα 12 με 14 ns και με οβάλ περίγραμμα ένας στόχος που εντοπίζεται, ενώ οι μετρήσεις επιβεβαιώνουν τις παρατηρήσεις που ήδη έχουν γίνει για την τοιχοποιία.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν οι κατακόρυφες και με φορά προς τα πάνω μετρήσεις 404, 415 και 406 (Εικόνα 4.1.3.21).

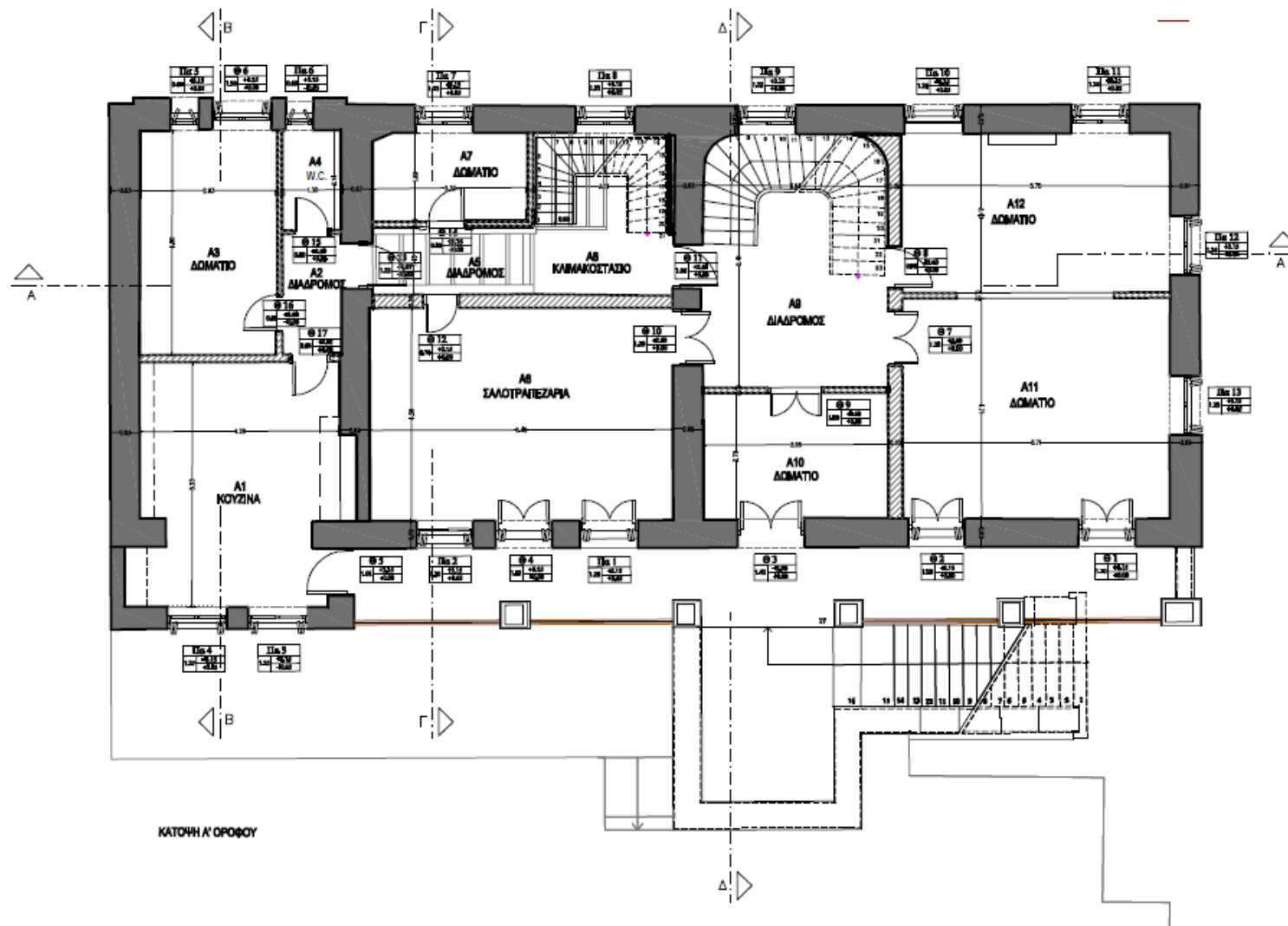
Οι μετρήσεις 408, 409 και 410 (Εικόνα 4.1.3.22) ελήφθησαν από την περιοχή δεξιά του ακραίου δεξιού ανοίγματος, όπως φαίνεται στο σχέδιο. Η μέτρηση 408 ελήφθη κατακόρυφα με φορά προς τα πάνω ενώ οι μετρήσεις 409 και 410 πραγματοποιήθηκαν οριζοντίως, με φορά προς τα δεξιά.



Εικόνα 4.1.3.14 Σαρώσεις 381, 382, 391 από αριστερά προς τα δεξιά

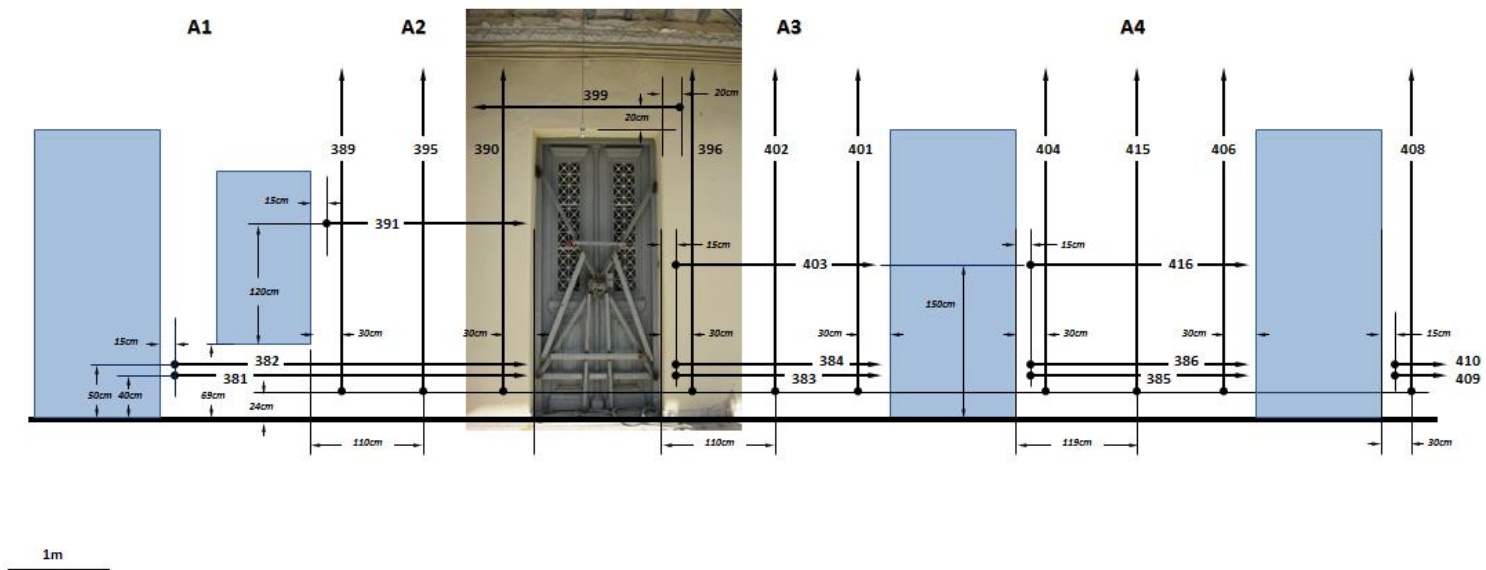


Εικόνα 4.1.3.15 Σαρώσεις 389, 395, 390 από αριστερά προς τα δεξιά

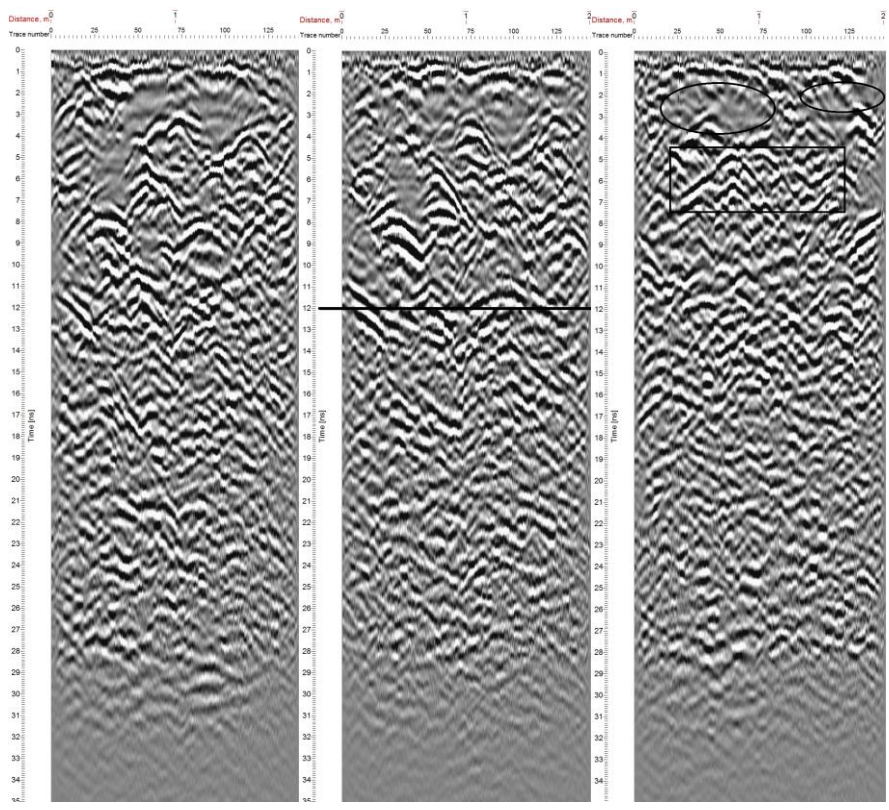


Εικόνα 4.1.3.16 Κάτοψη α' ορόφου Μαρίας Κάβουρα [32]

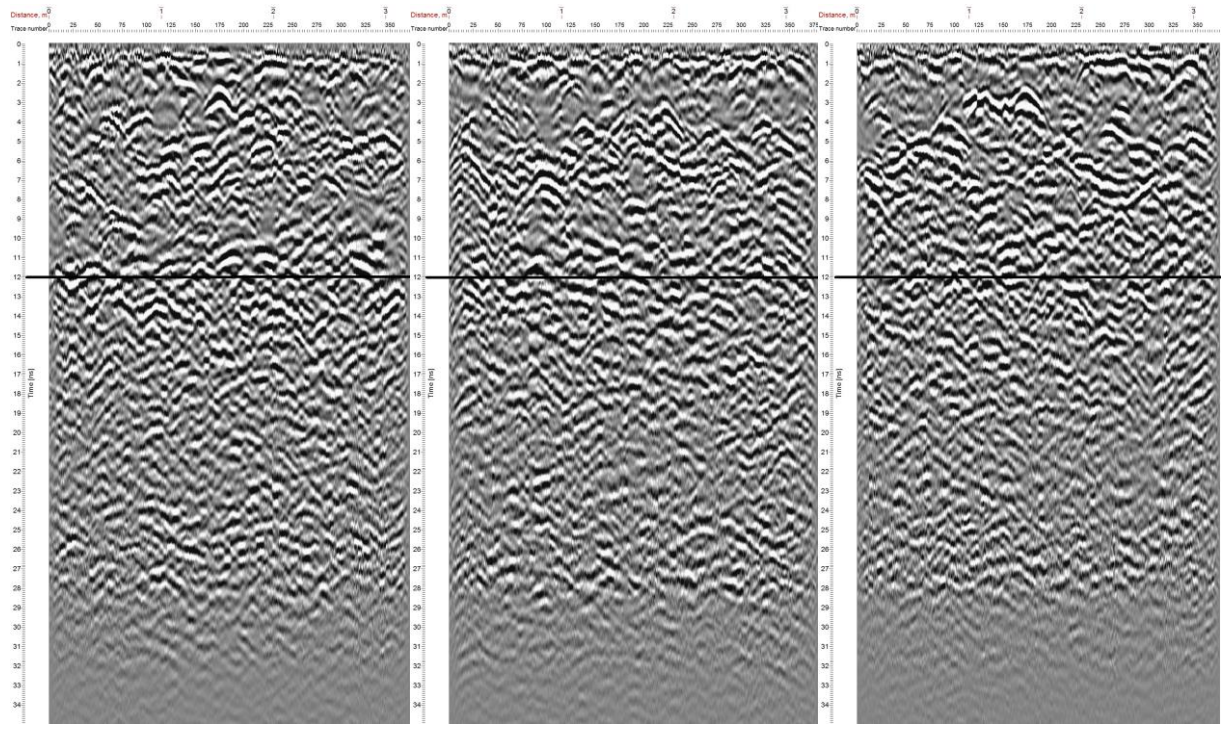
## Α' ΟΡΟΦΟΣ



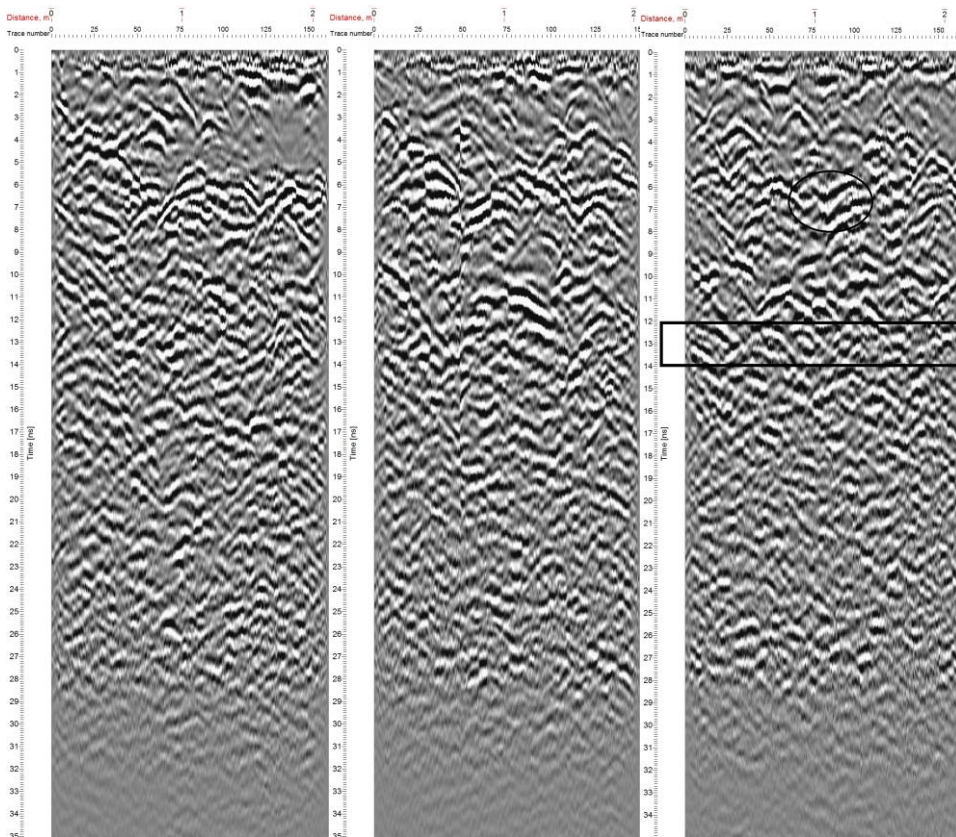
Εικόνα 4.1.3.17 - Κάναβος σαρώσεων α' ορόφου



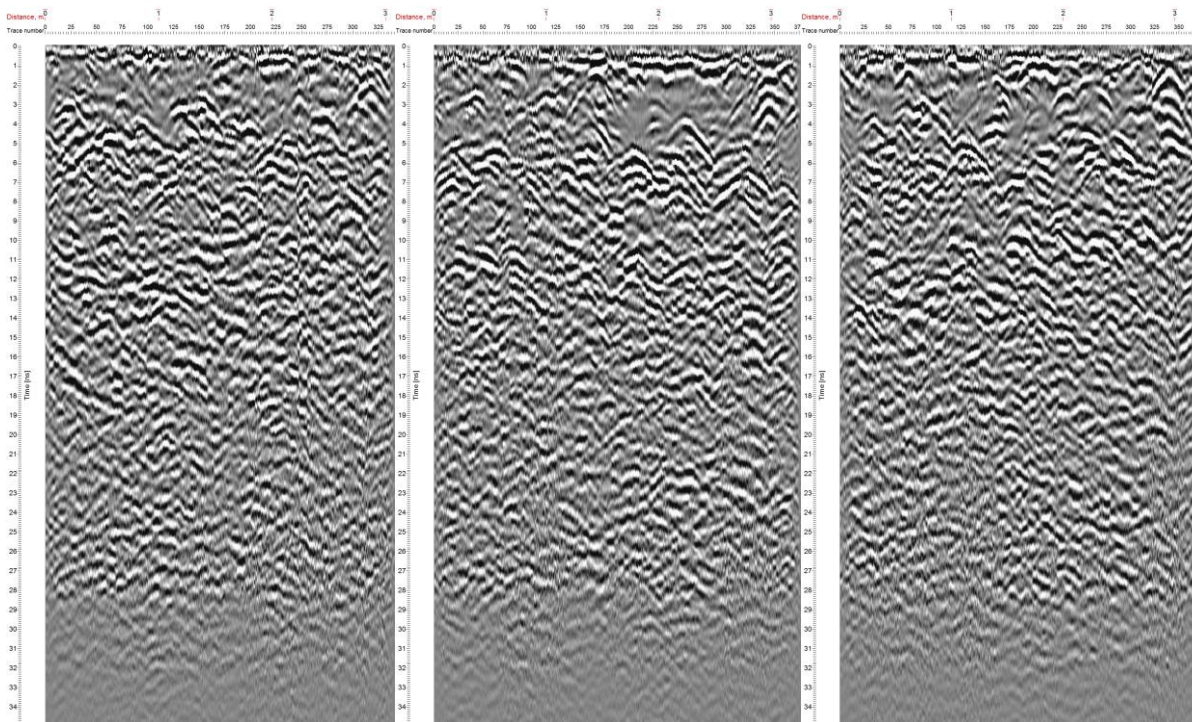
Εικόνα 4.1.3.18 Σαρώσεις 383, 384, 403



Εικόνα 4.1.3.19 Σαρώσεις 396, 402, 401 από αριστερά προς τα δεξιά

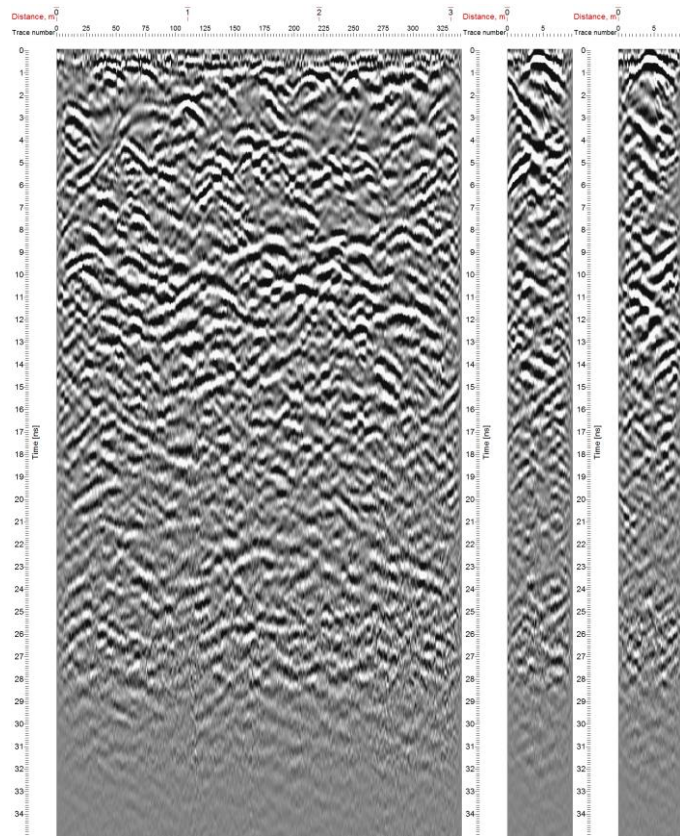


Εικόνα 4.1.3.20 Σαρώσεις 385, 386, 416 από αριστερά προς τα δεξιά



Εικόνα 4.1.3.21 Σαρώσεις 404, 415, 406





Εικόνα 4.1.3.22 Σαρώσεις 408, 409, 410

## Β' ΟΡΟΦΟΣ

Στον 2<sup>ο</sup> όροφο, εξωτερικά, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στις περιοχές B2, B3 και B4 όπως φαίνεται στον κάναβο των μετρήσεων (Εικόνα 4.1.3.24), ενώ η κάτοψη του ορόφου που σχεδιάστηκε από τη Μαρία Κάβουρα [32] απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1.3.23.

Στην περιοχή B2 πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις 466, 468 και 469 οριζοντίως και με φορά προς τα δεξιά (Εικόνα 4.1.3.25), καθώς και οι μετρήσεις 465, 463 και 464 καθέτως και με φορά προς τα πάνω (Εικόνα 4.1.3.26). Σε αυτές σημειώνονται με οβάλ περίγραμμα περιοχές που ανήκουν στη στρώσεις με λίθους και οπτόπλινθους.

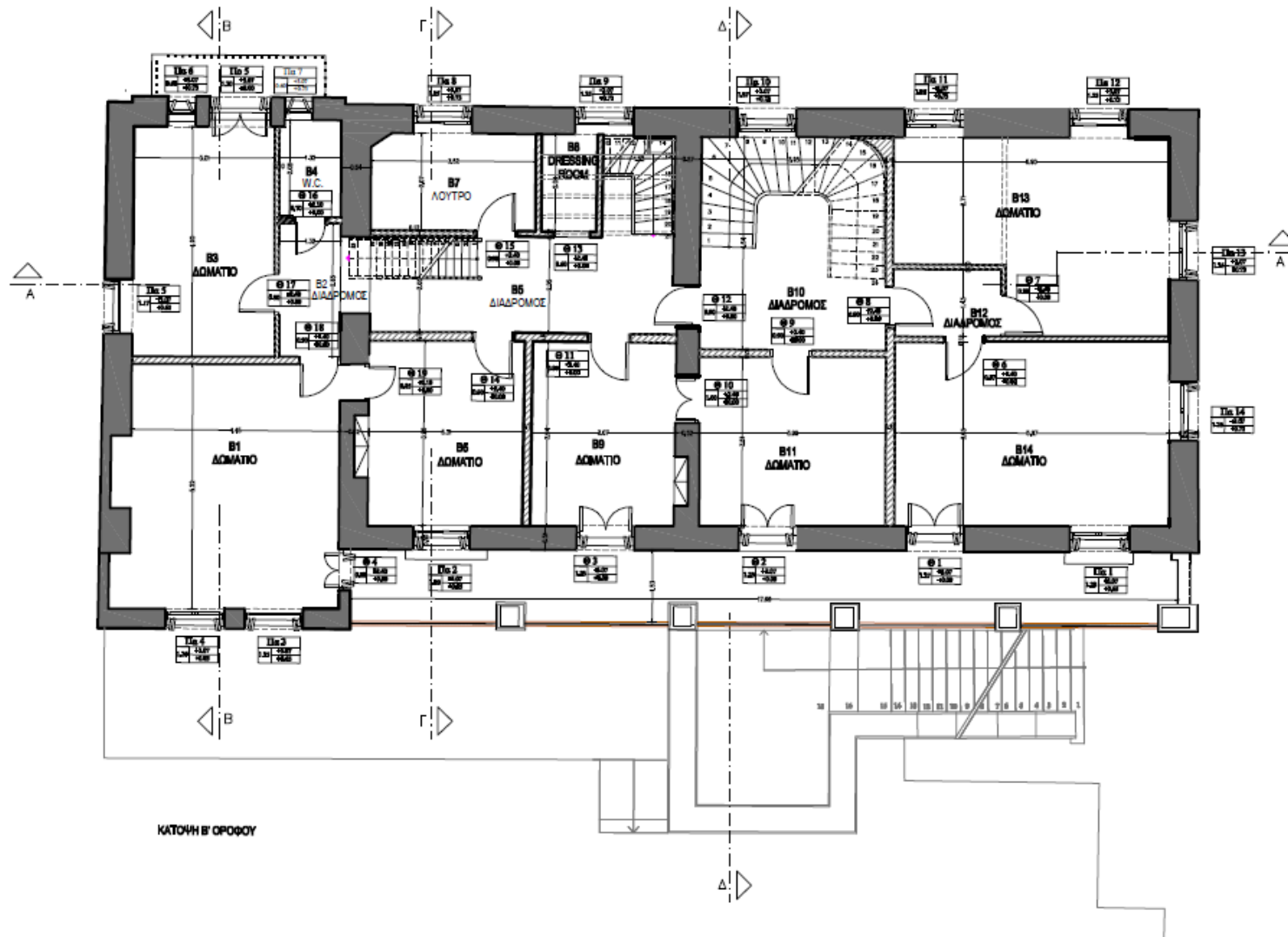
Στην περιοχή B3, οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι 441, 442 και 443 οριζοντίως και με φορά προς τα δεξιά (Εικόνα 4.1.3.27), καθώς και οι κάθετες μετρήσεις 444, 458, 457, 445 με φορά προς τα πάνω (Εικόνα 4.1.3.28). Σε αυτές σημειώνονται επίσης με οβάλ περίγραμμα οι περιοχές που ανήκουν στη στρώση με λίθους και οπτόπλινθους, ενώ στην 441 σημειώνεται επιπροσθέτως το πάχος της τοιχοποιίας με οριζόντια γραμμή στα 12 ns.

Στην περιοχή B4 πραγματοποιήθηκαν οι οριζόντιες μετρήσεις 462, 461, 460 με φορά προς τα δεξιά (Εικόνα 4.1.3.29), καθώς και οι κάθετες μετρήσεις 446, 459 και 447 με φορά προς τα πάνω, ενώ η μέτρηση 449 ελήφθη από την περιοχή δεξιά της περιοχής B4, και δεξιά του ακραίου ανοίγματος (Εικόνα 4.1.3.30), όπως φαίνεται στα σχέδια (Εικόνα 4.1.3.24). Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν αυτά της περιοχής B3. Φαίνονται καθαρά οι πέντε στρώσεις της τοιχοποιίας που χωρίζονται με οριζόντιες γραμμές: Η στρώση του επιχρίσματος, η στρώση με λίθους και οπτόπλινθους, η στρώση με πληρωτικό υλικό, άλλη μία στρώση με λίθους και οπτόπλινθους και τέλος η στρώση του επιχρίσματος της άλλης όψης της τοιχοποιίας.

Στην περιοχή B3 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις και εσωτερικά, κατ' αντιστοιχία με αυτές που ελήφθησαν από την εξωτερική πλευρά (βλ. Εικόνα 4.1.3.31). Συγκεκριμένα, ελήφθησαν οι μετρήσεις 450, 451, 452 οριζοντίως και με αντίθετη φορά έτσι ώστε να αντιστοιχούν στις εξωτερικές, καθώς και η μέτρηση 456 καθέτως και με φορά προς τα πάνω. Στη μέτρηση σημειώνεται το πάχος της τοιχοποιίας στα 12 ns, κατ' αντιστοιχία με την 441, ενώ στην κατακόρυφη 456 σημειώνονται όλες οι στρώσεις της τοιχοποιίας που εντοπίζονται (Εικόνα 4.1.3.32).

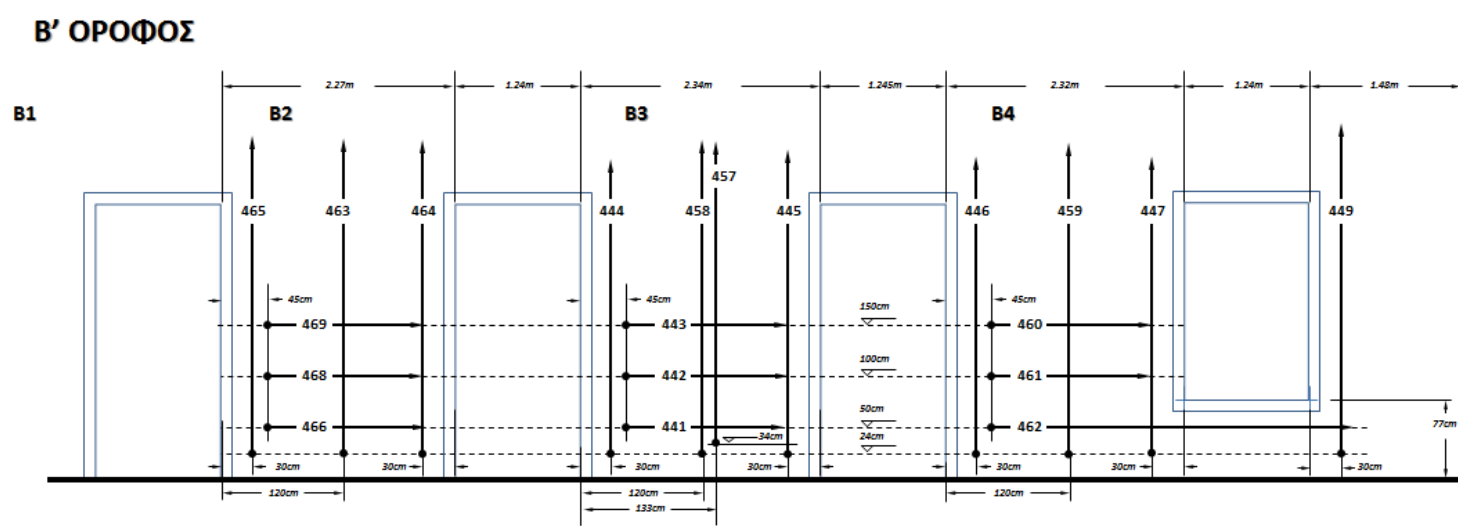
Στο 2<sup>ο</sup> όροφο το πάχος της τοιχοποιίας είναι 51-56 cm και η υπολογιζόμενη ταχύτητα του παλμού για το 2<sup>ο</sup> όροφο είναι 0,085-0,093 m/ns, ελαφρώς μικρότερη από την υπολογιζόμενη για τον 1<sup>ο</sup> όροφο.

Στον Α' και Β' όροφο διακρίνουμε τρίστρωτη τοιχοποιία. Πέραν των ζωνών επιχρίσματος στις δύο όψεις της τοιχοποιίας, διακρίνονται τρεις στρώσεις, οι δύο με λίθους και οπτόπλινθους και η μεσαία στρώση με πληρωτικό υλικό κυρίως. Το επίχρισμα εμφανίζεται πάντα σε καλή συνοχή με το υπόστρωμα. Επίσης, καθώς οι ταχύτητες για τους δύο ορόφους είναι ίδιες, υποδεικνύεται ότι οι περιοχές που σαρώθηκαν πιθανά ανήκουν στην ίδια οικοδομική φάση.



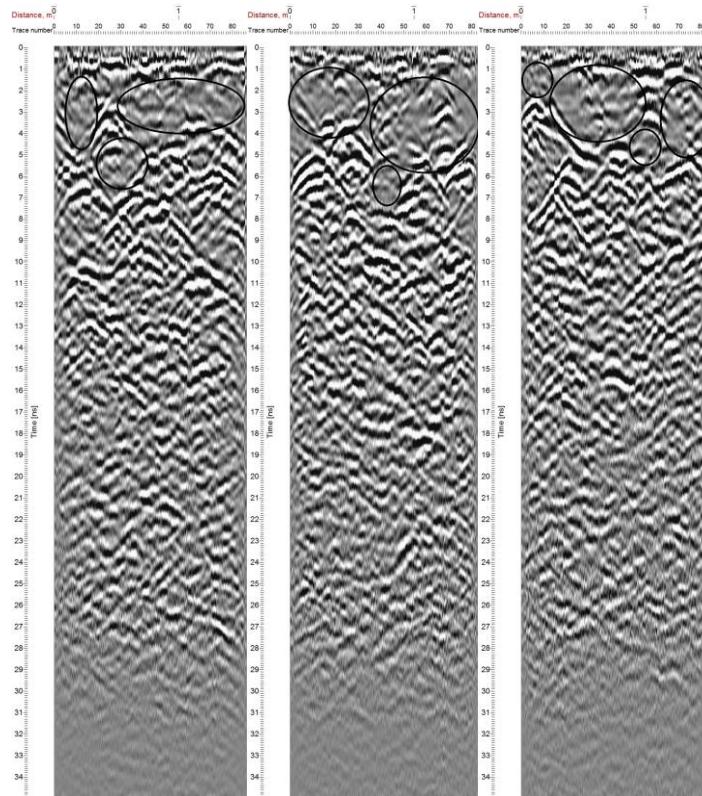
Εικόνα 4.1.3.23 Κάτοψη Β' Ορόφου Μαρίας Κάβουρα [32]

## Β' ΟΡΟΦΟΣ

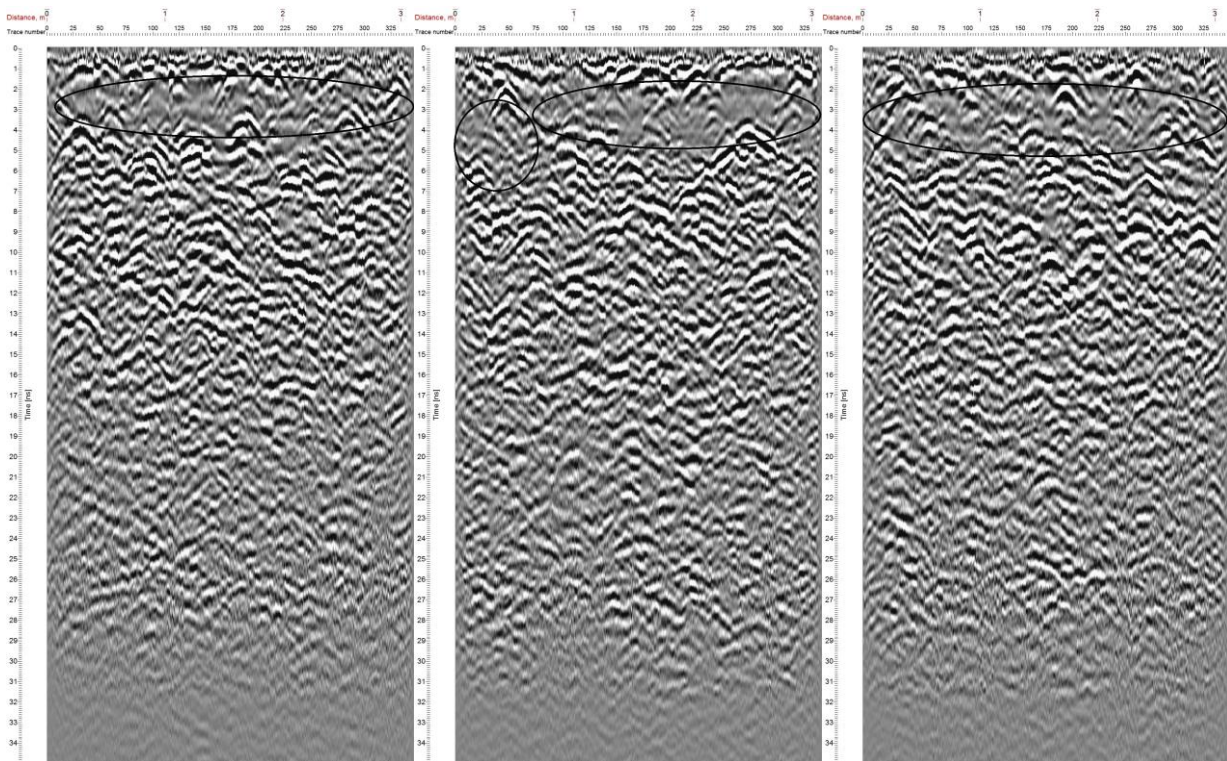


1m

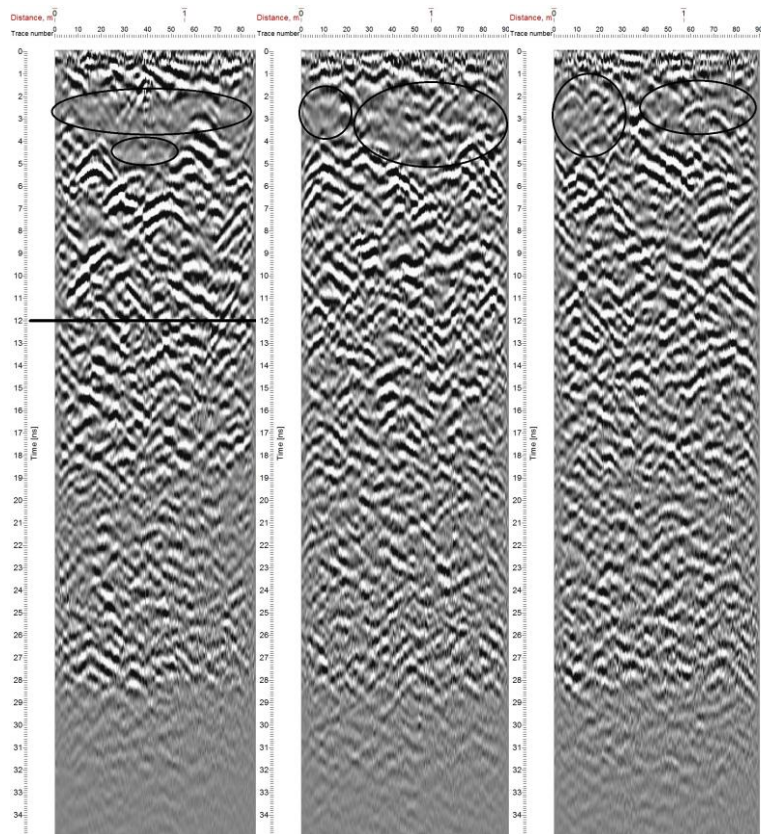
Εικόνα 4.1.3.24 Κάναβος μετρήσεων στο β' όροφο



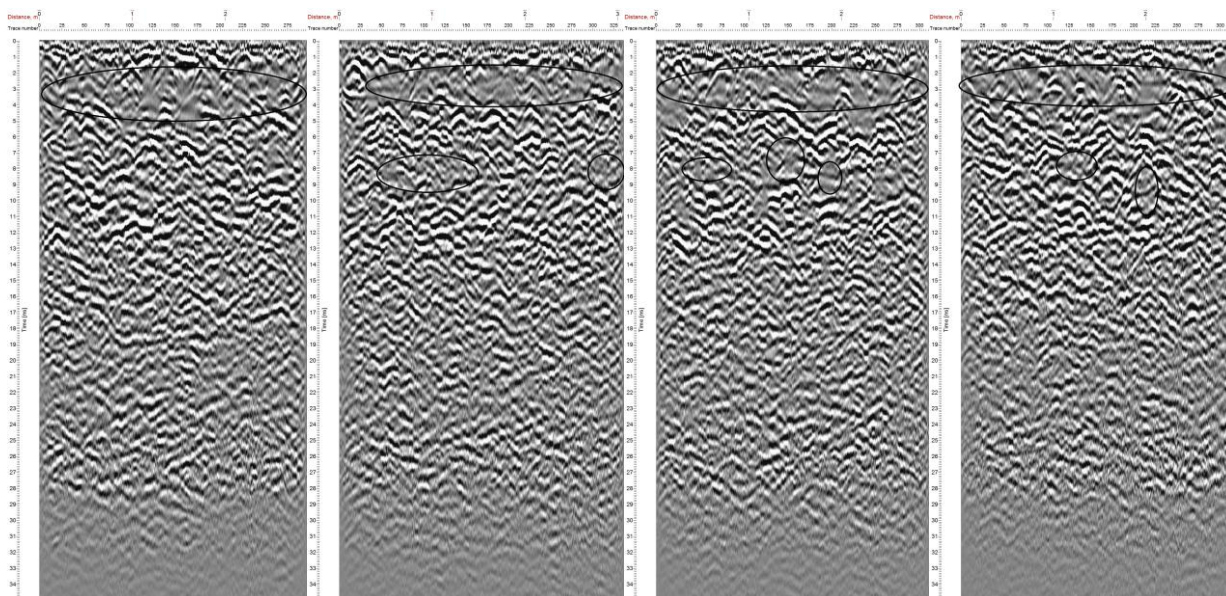
Εικόνα 4.1.3.25 Σαρώσεις 466, 468, 469



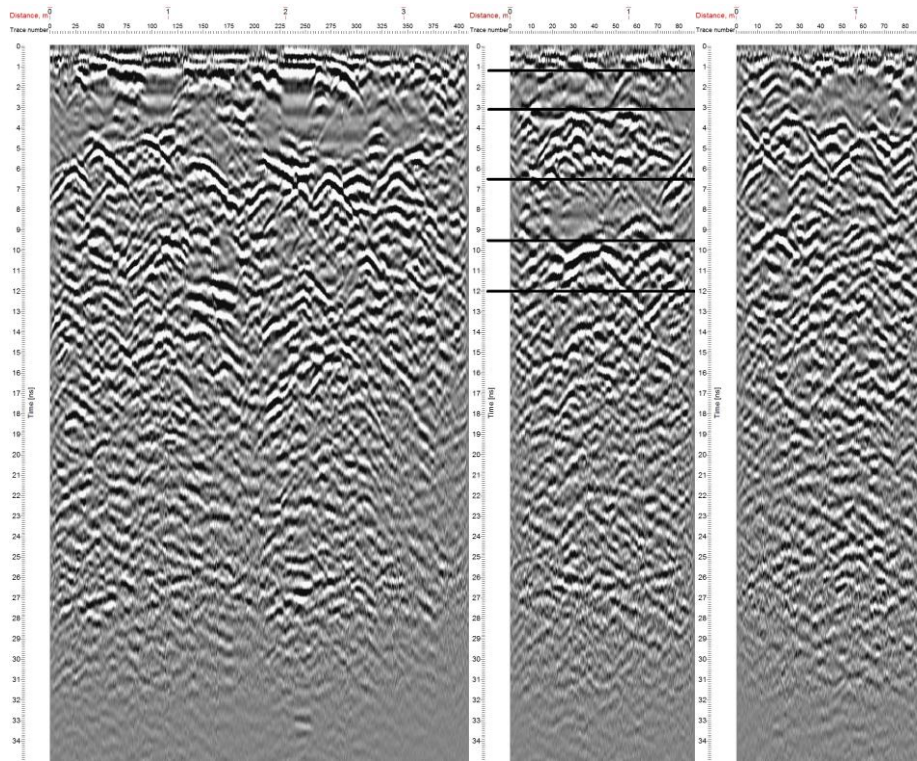
Εικόνα 4.1.3.26 Σαρώσεις 465, 463, 464



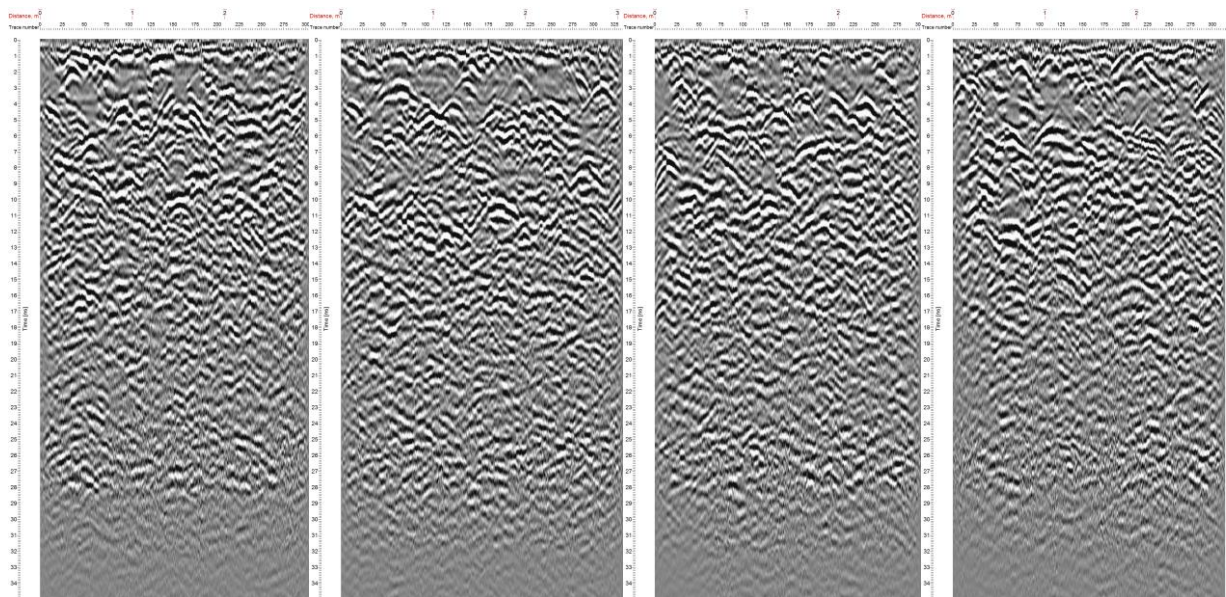
Εικόνα 4.1.3.27 Σαρώσεις 441, 442, 443



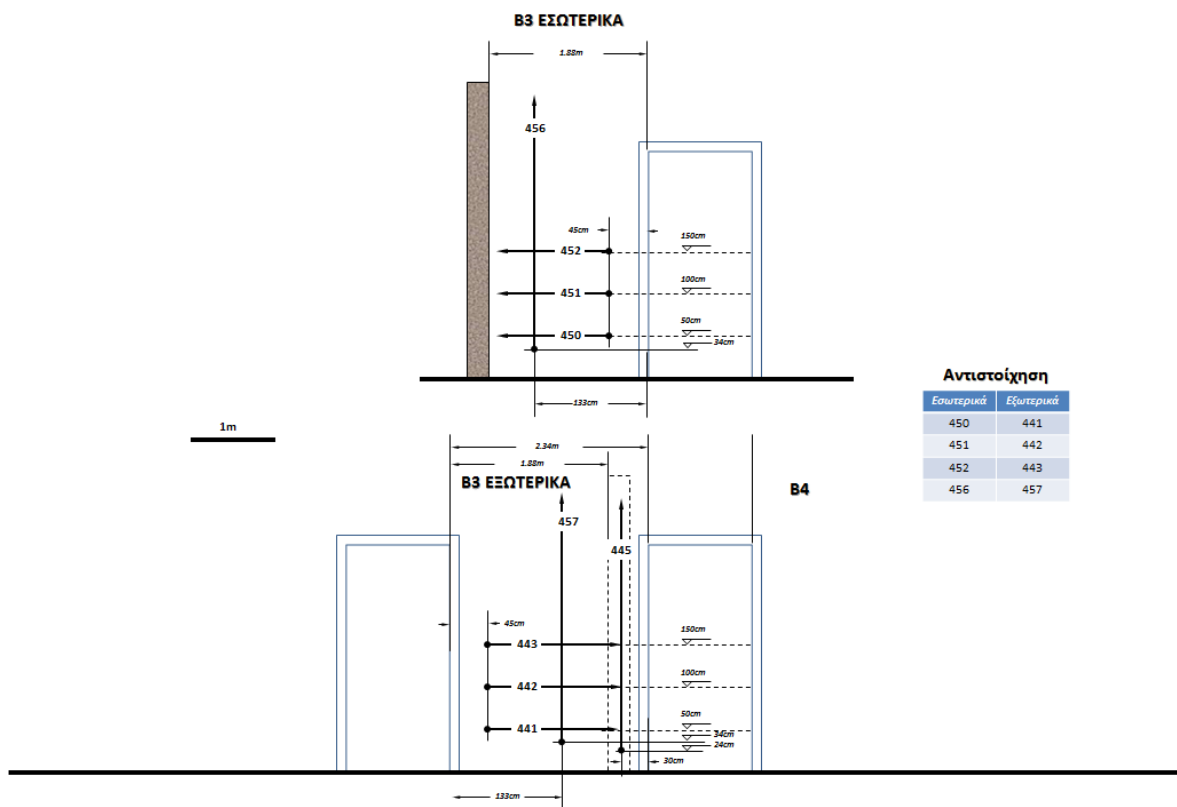
Εικόνα 4.1.3.28 Σαρώσεις 444, 458, 457, 445



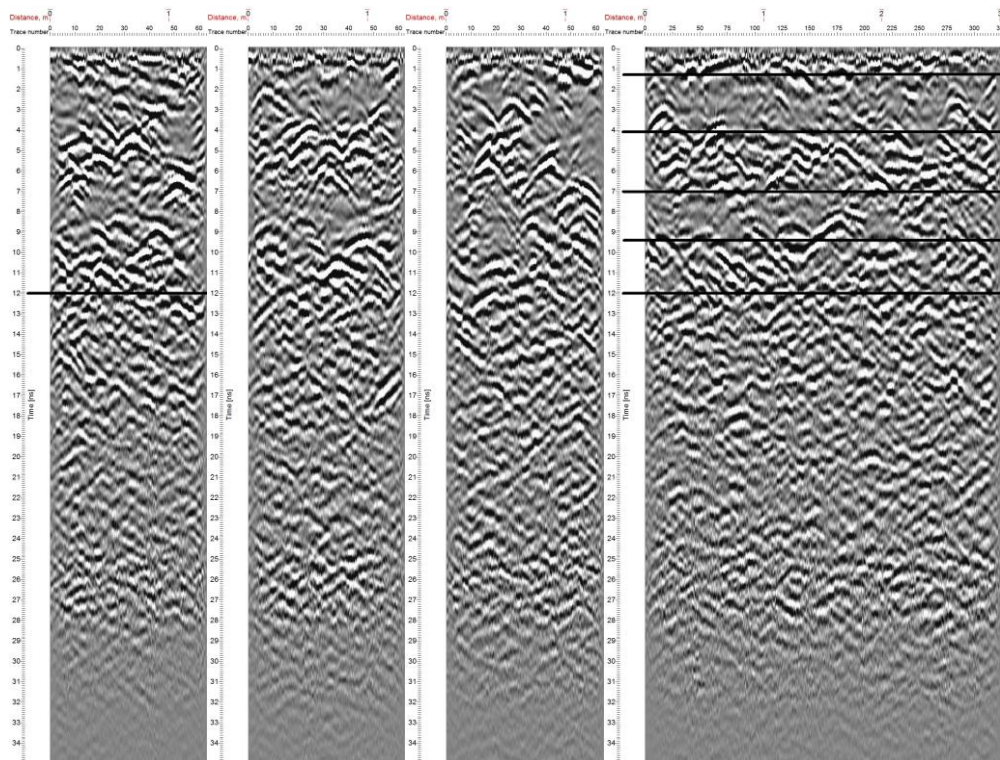
Εικόνα 4.1.3.29 Σαρώσεις 462, 461, 460



Εικόνα 4.1.3.30 Σαρώσεις 446, 459, 447, 449



Εικόνα 4.1.3.31 Κάναβος μετρήσεων β' ορόφου – εσωτερικά – Αντιστοίχιση με εξωτερικές μετρήσεις



Εικόνα 4.1.3.32 Σαρώσεις 450, 451, 452, 456



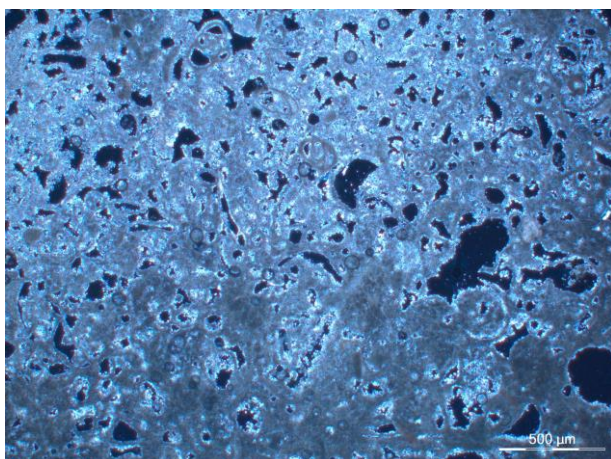
## 4.2 ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΛΥΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΟΙΚΙΑ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

### 4.2.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – Εξέταση λίθων με τη χρήση οπτικού πολωτικού μικροσκοπίου διερχόμενου φωτός (Ο.Μ.)

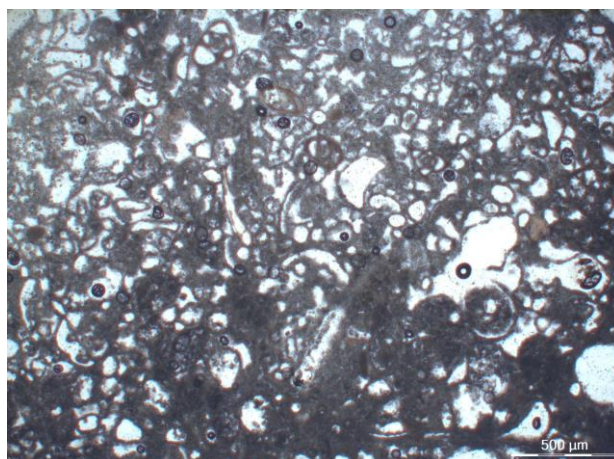
Προκειμένου για την παρατήρηση των δειγμάτων στο οπτικό πολωτικό μικροσκόπιο διερχόμενου φωτός, παρασκευάστηκαν λεπτές καλυμμένες τομές πάχους 30 μm. Τα δείγματα λίθων που επιλέχθηκαν προς εξέταση είναι τα εξής:

1. DB3\_s1
2. DB3\_s2
3. DG1\_s1
4. D22\_sg
5. D22\_sr

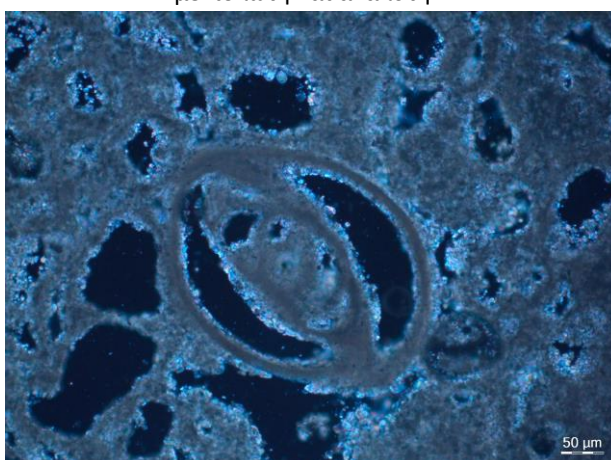
Τα δείγματα παρατηρήθηκαν με πολωτή (παράλληλα Nicols – “parallel”), καθώς και με πολωτή και αναλυτή ταυτόχρονα (διασταυρωμένα Nicols – “crossed”, όπως αναφέρεται στις εικόνες), σε μεγεθύνσεις x50 και x200, για την αναγνώριση των ιστολογικών και ορυκτολογικών χαρακτηριστικών τους μέσω των οπτικών ιδιοτήτων τους.



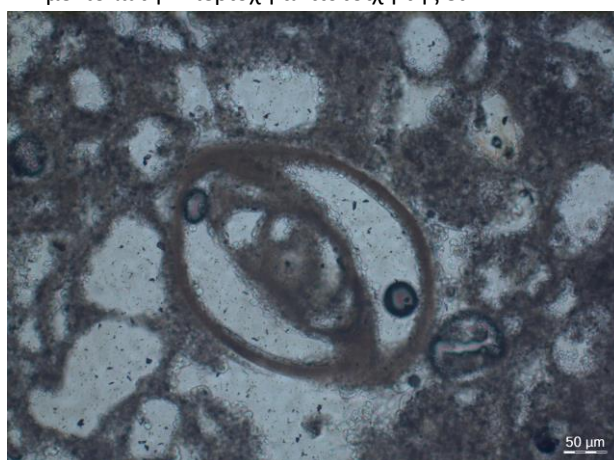
4.2.1.1\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s1 με πολωτή και αναλυτή



4.2.1.2\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s1 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.1



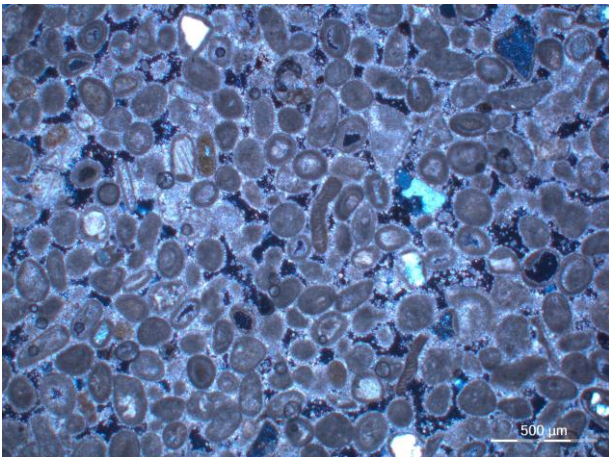
4.2.1.3\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s1 με πολωτή και αναλυτή



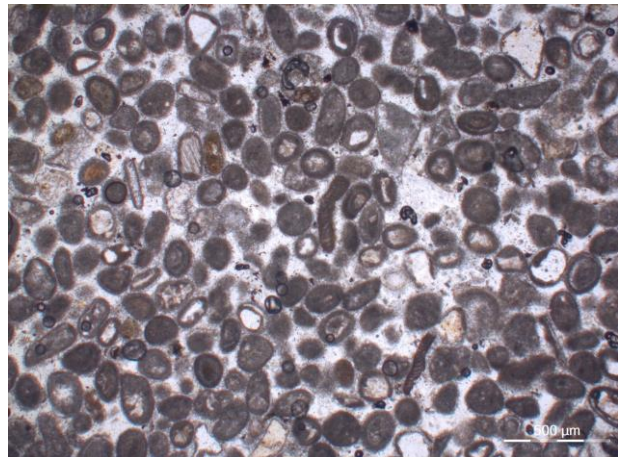
4.2.1.4\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s1 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.3

Ο λίθος DB3\_s1 χαρακτηρίζεται ως απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος ή κατά Dietrich et al., 1984 [33,34] ως βιομικρίτης. Πρόκειται για βιοκλάστες, δηλαδή τεμάχια του εξωσκελετού διαφόρων οργανισμών όπως π.χ. κοραλλίων, τρηματοφόρων), και κρύπτο- έως μικροκρυσταλλικό ασβεσίτη ως υλικό πλήρωσης (συνδετικό υλικό) των μεταξύ των βιοκλαστών κενών.

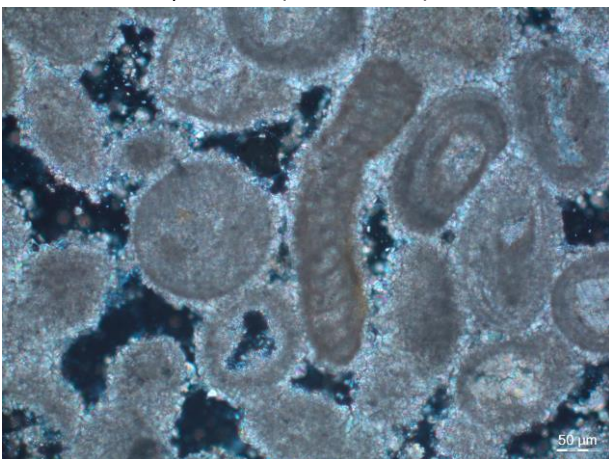
Στις φωτομικρογραφίες του λίθου DB3\_s1 διακρίνονται ευκρινώς τα τεμάχια των απολιθωμάτων και ο ασβεσίτης που έχει αναπτυχθεί μεταξύ τους. Το κέλυφος των απολιθωμάτων είναι επίσης ασβεσιτικής σύστασης. Κατά θέσεις έχουν δημιουργηθεί κενά (σημεία σε μόνιμη κατάσβεση με πολωτή και αναλυτή) λόγω απομάκρυνσης των απολιθωμάτων κατά την παρασκευή της τομής (κοπή, λείανση), στα οποία διατηρείται το σχήμα των απολιθωμάτων. Στο λίθο υπάρχει και ελάχιστος χαλαζίας.



4.2.1.5\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s2 με πολωτή και αναλυτή



4.2.1.6\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s2 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.5

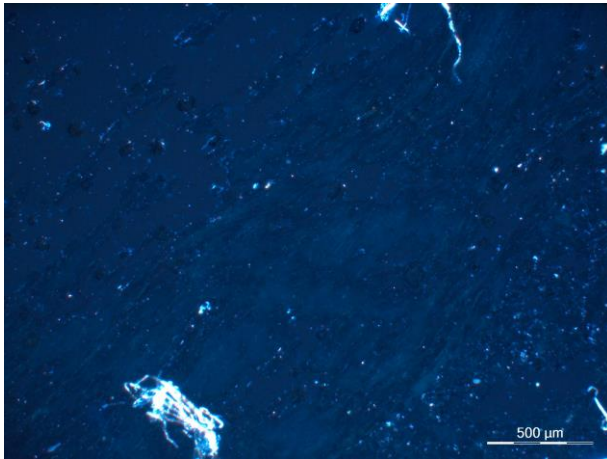


4.2.1.7\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s2 με πολωτή και αναλυτή

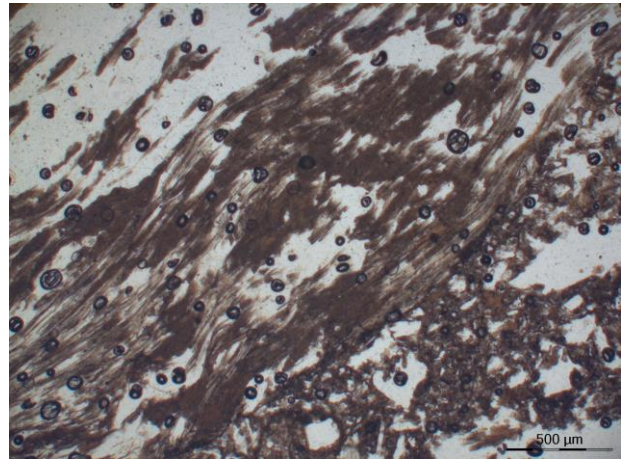


4.2.1.8\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DB3\_s2 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.7

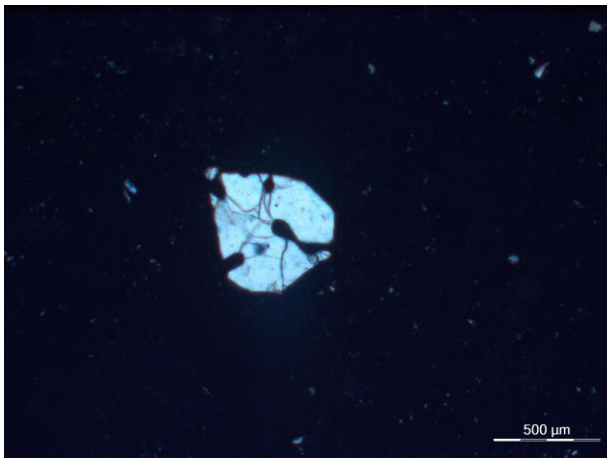
Ο λίθος DB3\_s2 είναι επίσης ένας απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος. Διαφέρει από το λίθο DB3\_s1 ως προς την παρουσία περισσότερων ωλίθων (σφαιρόμορφοι σχηματισμοί γύρω από συγκεντρικές αποθέσεις (ασβεσιτικού υλικού) και λιγότερων βιοκλαστών. Κατά Dietrich et al., 1984 [33,34] χαρακτηρίζεται ως ωομικρίτης.



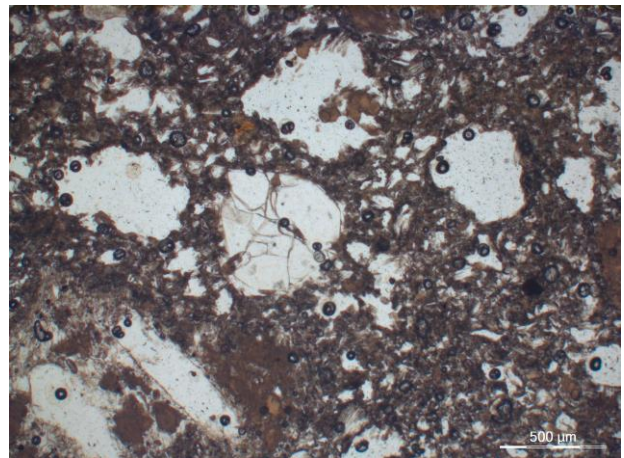
**4.2.1.9\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DG1\_s1 με πολωτή και αναλυτή**



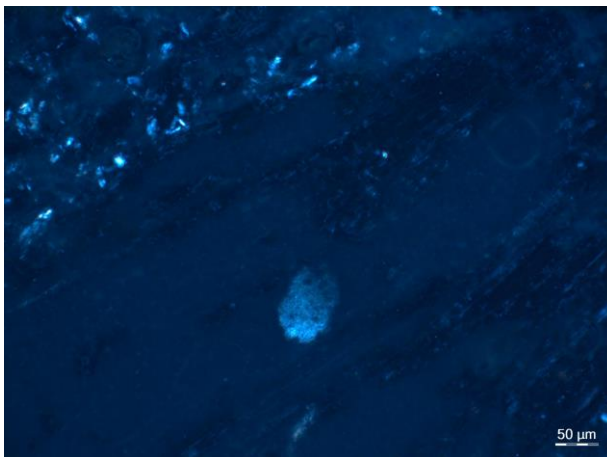
**4.2.1.10\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DG1\_s1 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.9**



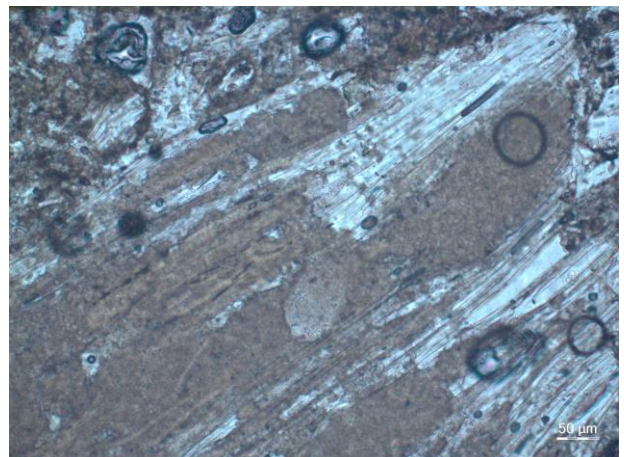
**4.2.1.11\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DG1\_s1 με πολωτή και αναλυτή**



**4.2.1.12\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DG1\_s1 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.11**



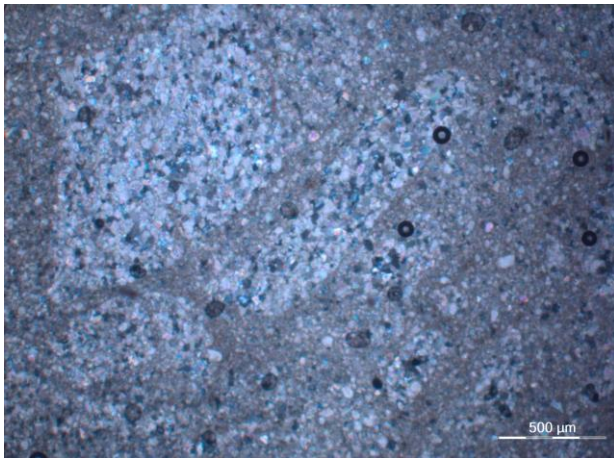
**4.2.1.13\_Φωτομικρογραφία του δείγματος DG1\_s1 με πολωτή και αναλυτή**



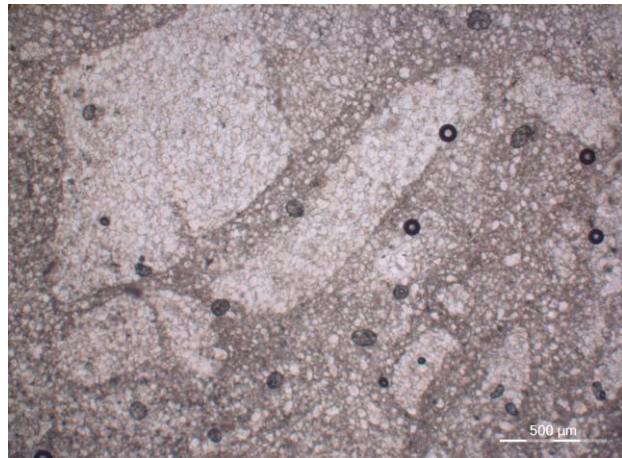
**4.2.1.14\_Φωτομικρογραφία του δείγματος \_DG1\_s1 με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.13**

Ο λίθος DG1\_s1 προέρχεται από ένα ηφαιστειακό πέτρωμα όξινης (ρυολιθικής) σύστασης, δηλαδή πλούσιου σε  $\text{SiO}_2$ . Όπως φαίνεται και στις φωτομικρογραφίες του οπτικού μικροσκοπίου, κυριαρχεί η υαλώδης άμορφη φάση (ηφαιστειακό γυαλί) με χαρακτηριστική ρευστική υφή, που σχηματίζεται κατά την ταχεία ψύξη μάγματος, πλούσιου σε  $\text{SiO}_2$ , κατά τη διεύθυνση ροής της λάβας (εικ. 4.2.1.13).

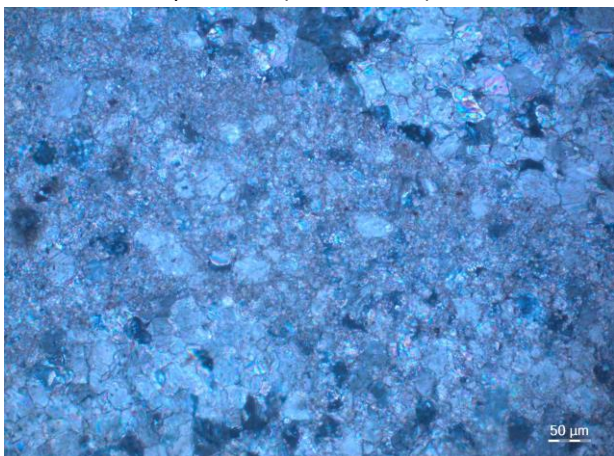
Ο ιστός του πετρώματος είναι υαλώδης έως πορφυριτικός με ελάχιστους φαινοκρυστάλλους χαλαζία (εικ. 4.2.1.11 και 4.2.1.12) και αστρίων που προήλθαν από μικρό τμήμα του μάγματος που κρυσταλλώθηκε μέσα στην άμορφη κύρια μάζα.



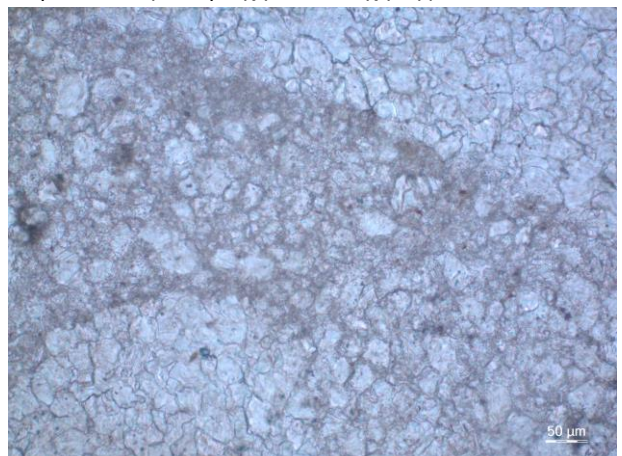
**4.2.1.15**\_ Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sr με πολωτή και αναλυτή



**4.2.1.16**\_ Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sr με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.15



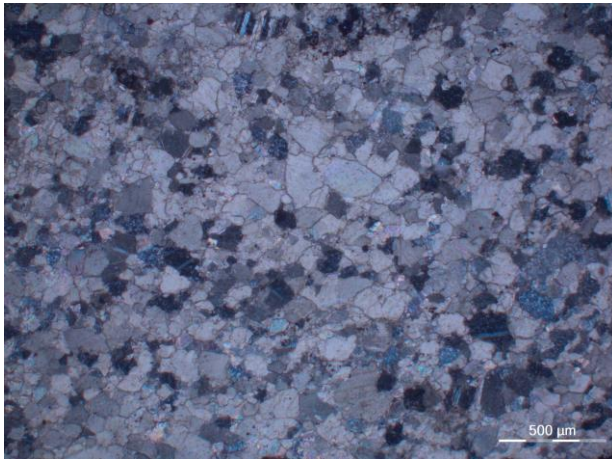
**4.2.1.17**\_ Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sr με πολωτή και αναλυτή



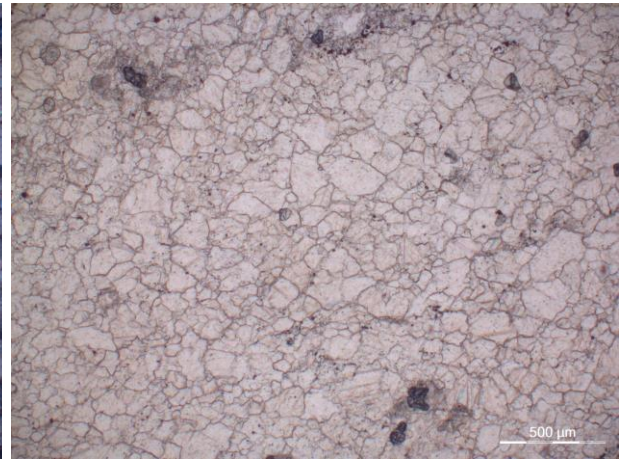
**4.2.1.18**\_ Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sr με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.17

Το δείγμα D22\_sr αποτελεί ένα κροκαλοπαγές πέτρωμα από μικροκρυσταλλικό ασβεσίτη. Ουσιαστικά έχουμε κροκάλες, δηλαδή τεμάχια αποστρογγυλεμένα που αποτελούνται από μικρούς κρυστάλλους ασβεσίτη και προέρχονται από ένα προϋπάρχον ασβεστολιθικό πέτρωμα, που έχει καταστραφεί (αποσαρθρωθεί) και στη συνέχεια επαναϊζηματοποιηθεί, με την ανάπτυξη συνδετικού υλικού, επίσης από μικροκρυσταλλικό ασβεσίτη.

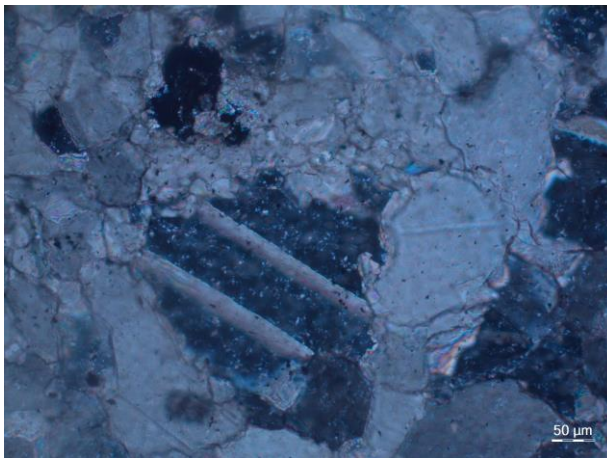
Πρόκειται λοιπόν, για ένα ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές πέτρωμα. Κατά Dietrich et al., 1984 [33,34] χαρακτηρίζεται ως ενδοσπαρίτης (Σπαρίτης, δηλαδή, αδροκρυσταλλικός ασβεσίτης ως συγκολλητική ουσία με ενδοκλάστες, δηλαδή τεμάχια παλαιότερων πετρωμάτων).



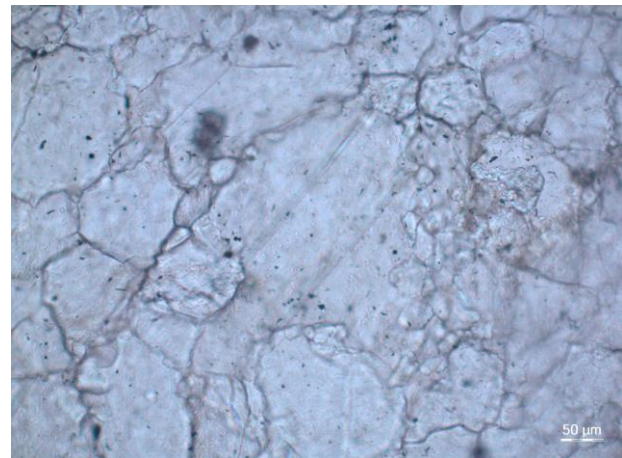
**4.2.1.19\_Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sg με πολωτή και αναλυτή**



**4.2.1.20\_Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sg με πολωτή – περιοχή αντίστοιχη της εικ. 4.2.1.19**



**4.2.1.21\_Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sg με πολωτή και αναλυτή**



**4.2.1.22\_Φωτομικρογραφία του δείγματος D22\_sg με πολωτή**

Το δείγμα D22\_sg είναι ένας κρυσταλλικός ασβεστόλιθος με ανακρυσταλλωμένο ασβεστίτη, πιθανόν υπό την επίδραση αυξημένης θερμοκρασίας. Εμφανίζονται μεγάλοι κρύσταλλοι ασβεστίτη με σαφή όρια (εικ. 4.2.1.19 και 4.2.1.20). Οι κρύσταλλοι ασβεστίτη παρουσιάζουν, επίσης, σαφή σχισμό (παρατήρηση με πολωτή, εικ. 4.2.1.22) και πολυδυμία (παρατήρηση με πολωτή και αναλυτή, εικ. 4.2.1.21)

**Αποτελέσματα:**

Τα δείγματα λίθων DB3\_s1, DB3\_s2, D22\_sg, και D22\_sr προέρχονται από χημικά/βιοχημικά ιζηματογενή πετρώματα ανθρακική σύστασης, ενώ το DG1\_s1 από ηφαιστειακό πέτρωμα όξινης σύστασης.

*Διερεύνηση των λατομείων προέλευσης των λιθοσωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του κτηρίου*

Από τα αποτελέσματα της πετρογραφικής ανάλυσης και την αναζήτηση στους γεωλογικούς χάρτες της Αττικής για τον εντοπισμό του τόπου προέλευσης των πετρωμάτων των δομικών λίθων της Οικίας Δουρούτη προέκυψε πως οι λίθοι που είχαν χρησιμοποιηθεί για τη δόμηση του Υπογείου και παρουσιάζουν χαρακτηριστικά απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου και ενίοτε δολομιτικής σύστασης και χαρακτηρίζονται ως βιομικρίτες ή ωομικρίτες (DB3\_s1, DB3\_s2) θεωρείται ότι προέρχονται είτε από τον Υμηττό, που από γεωλογικής άποψης ανήκει στην αττικοκυκλαδική ζώνη και τα πετρώματά του περιέχουν ασβεστόλιθους, σχιστόλιθους και μεγάλες μάζες μαρμάρου και μαρμαρυγιανών σχιστολίθων καθώς και ενστρώσεις δολομιτικών ασβεστολίθων, είτε από την περιοχή της λοφοσειράς των εσωτερικών λόφων του λεκανοπεδίου της Αθήνας που δομούνται από ανθρακικά πετρώματα με ενστρώσεις δολομιτικών ασβεστολίθων και συγκεκριμένα από τα Τουρκοβούνια που οριοθετούνται από το δήμους Αθηναίων, Γαλασίου, Ψυχικού και Φιλοθέης, και Ν. Ιωνίας, όπου απαντούν ανωκρητιδικό ασβεστόλιθοι σενωνίου ηλικίας.

Ως πιο πιθανή, λόγω της εγγύτητας στο κτίσμα, κρίνεται η περίπτωση της περιοχής των Τουρκοβουνίων στην οποία και αναπτύχθηκε έντονη λατομική δραστηριότητα.

Οι λίθοι του 2<sup>ου</sup> ορόφου που αποτελούν συμπαγή ασβεστολιθικά κροκαλοπαγή πετρώματα και συπαγείς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους με ανακρυσταλλωμένο ασβεσίτη (D22\_sr, D22\_sg) θεωρείται ότι προέρχονται από τις ίδιες περιοχές με τους προαναφερθέντες λίθους. Συγκεκριμένα, συμπαγείς κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι δομούν τα ανώτερα τμήματα πολλών εσωτερικών λόφων του λεκανοπεδίου και αποτελούν συνέχεια του συστήματος των Αθηναϊκών σχιστολίθων, ενώ σημειώνεται ότι κροκαλοπαγή ασβεστολιθικά πετρώματα, μεταξύ άλλων, απαντούν και στις νότιες παρυφές της Πάρνηθας και της Πεντέλης και στην περιοχή Περιστερίου-Λιοσίων.

Τέλος, για το λίθο του Ισογείου DG1\_s1 που είναι ηφαιστειακό πέτρωμα ρυολιθικής σύστασης στον οποίο κυριαρχεί η υαλώδης άμορφη φάση και ο ιστός του είναι υαλώδης έως πορφυριτικός υποδεικνύεται ότι αυτός μπορεί να προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Πλάκας Κερατέας όπου απαντούν εκρηξιγενή πετρώματα με όξινες γρανιτικές και γρανοδιοριτικές διεισδύσεις και τραχειτικές δακτιτικές αποφύσεις που διαπερνούν τα αλπικά πετρώματα, ή από την περιοχή Κοτρώνι Αυλώνας, περιοχή που αποτελεί επέκταση του σύγκλινου των Αθηνών, όπου επίσης απαντούν εκρηξιγενή πετρώματα, μεταξύ άλλων.

Τα πιθανά λατομεία προέλευσης που αναφέρθηκαν, σήμερα είναι εγκαταλειμμένα, ενώ τα περισσότερα εξ αυτών έχουν αποκατασταθεί. [35,36]

#### 4.2.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ (XRD)

Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται συγκεντρωτικά σε πίνακες με σειρά φθίνουσας έντασης κορυφών και συζητούνται τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής εξέτασης των δειγμάτων με τη μέθοδο της περίθλασης ακτινών Χ (XRD), καθώς και τα αντίστοιχα γωνιογράμματά τους. Πρωτίστως, παρατίθεται πίνακας με τους χημικούς τύπους όλων των ορυκτολογικών φάσεων που παρουσιάζονται στα εξεταζόμενα δείγματα.

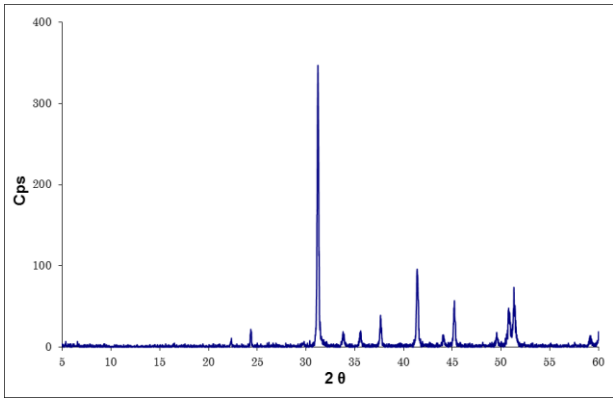
Πίνακας 4.2.2.1 Χημικοί τύποι των ορυκτολογικών συστατικών των δειγμάτων από Οικία Δουρούτη

Ορυκτολογικό συστατικό	Χημικός τύπος
Ασβεστίτης	CaCO <sub>3</sub>
Δολομίτης	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Χαλαζίας	SiO <sub>2</sub>
Μελίλιθος	(Ca,Na) <sub>2</sub> (Al,Mg,Fe <sup>2+</sup> )(Si,Al) <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Μοσχοβίτης	KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Αλβίτης	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Χλωρίτης	(Al,Fe <sup>2+</sup> ,Fe <sup>3+</sup> ,Li,Mg,Mn,Ni) <sub>5-6</sub> (Al,Fe <sup>3+</sup> ,Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Διοψίδιος	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Μικροκλινής	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Γύψος	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O

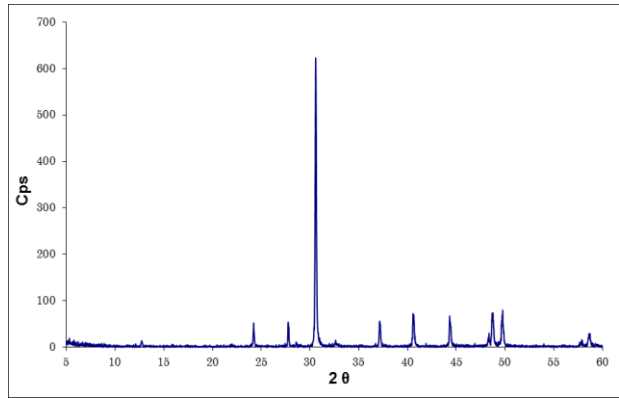
##### 4.2.2.1 Λίθοι

Πίνακας 4.2.2.1 Αποτελέσματα XRD λίθων από την Οικία Δουρούτη

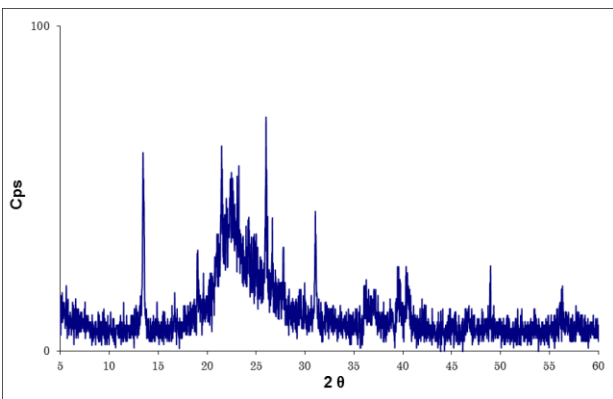
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση Λίθων
DB3_s1	Δολομίτης
DB3_s2	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
DG1_s1	Χαλαζίας
DG1_s2	Ασβεστίτης, Δολομίτης
D11_sg	Ασβεστίτης
D11_sw	Ασβεστίτης
D12_sb	Ασβεστίτης, Χαλαζίας
D12_sw	Δολομίτης, Ασβεστίτης, Χαλαζίας
D22_sr	Ασβεστίτης
D22_sg	Ασβεστίτης, Δολομίτης



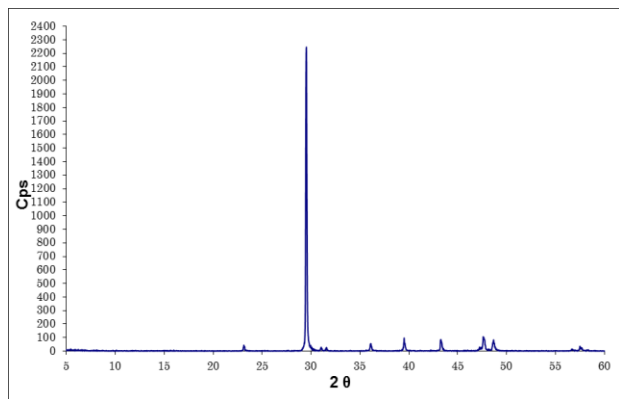
Γωνιόγραμμα λίθου DB3\_s1 θέσης 3 Υπογείου



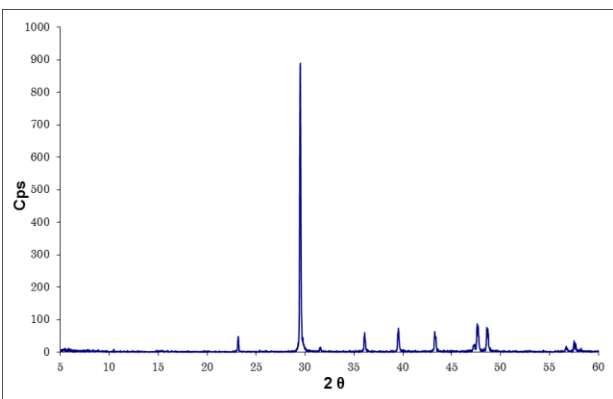
Γωνιόγραμμα λίθου DB3\_s2 θέσης 3 Υπογείου



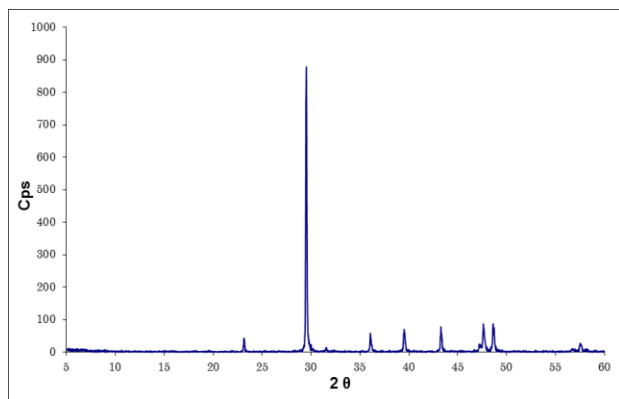
Γωνιόγραμμα λίθου DG1\_s1 θέσης 1 Ισογείου



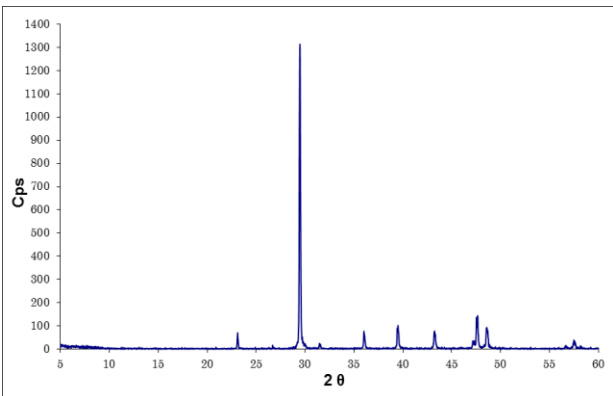
Γωνιόγραμμα λίθου DG1\_s2 θέσης 1 Ισογείου



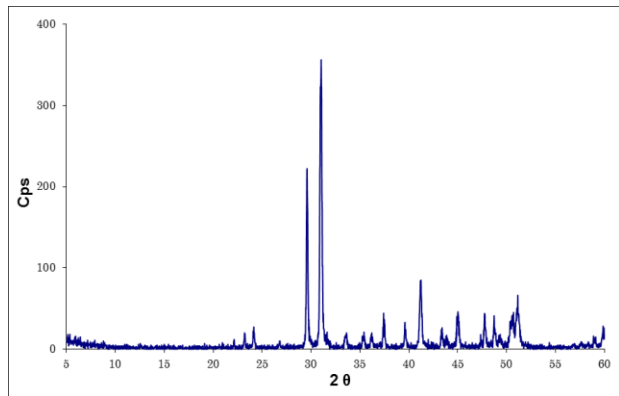
Γωνιόγραμμα λίθου D11\_sg θέσης 1<sup>ου</sup> ορόφου



Γωνιόγραμμα λίθου D11\_sw θέσης 1<sup>ου</sup> ορόφου

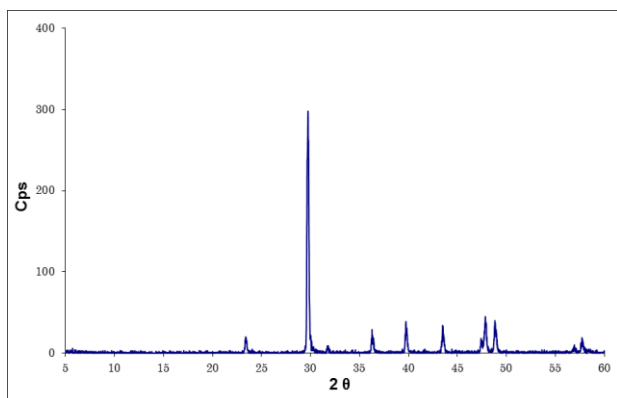


Γωνιόγραμμα λίθου D12\_sb θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου

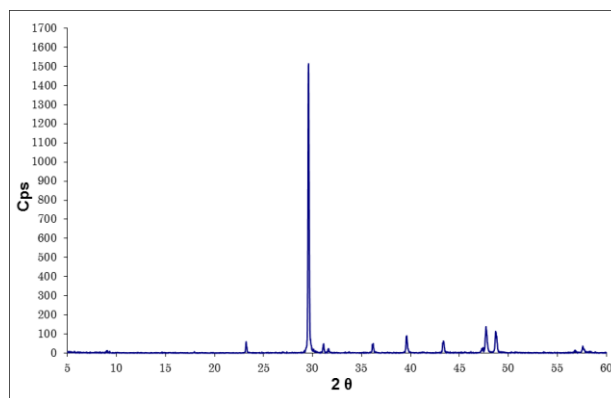


Γωνιόγραμμα λίθου D12\_sw θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου





Γωνιόγραμμα λίθου D22\_sr θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Γωνιόγραμμα λίθου D22\_sg θέσης 2 2ου ορόφου

Η πρωτεύουσα, και σε μερικές περιπτώσεις μοναδική, ορυκτολογική φάση για τους περισσότερους λίθους που εξετάστηκαν είναι ο ασβεστίτης.

Πιο συγκεκριμένα, στο υπόγειο απαντώνται δύο λίθοι διαφορετικών τύπων: Ο λίθος DB3\_s1 που παρουσιάζει ως κύρια και μοναδική ορυκτολογική φάση δολομίτη και ο DB3\_s2 που παρουσιάζει ως πρωτεύουσα φάση ασβεστίτη και ως δευτερεύουσα χαλαζία. Και οι δύο λίθοι ελήφθησαν από τη θέση δειγματοληψίας 3.

Στο ισόγειο απαντώνται δύο λίθοι διαφορετικών τύπων: Αρχικά, ο λίθος DG1\_s1 που είναι άμορφος με κορυφές χαμηλής έντασης που αποδίδονται στο χαλαζία, ενώ ο λίθος DG1\_s2 παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση ασβεστίτη, στον οποίο ανιχνεύεται και δολομίτης. Και οι δύο λίθοι ελήφθησαν από τη θέση δειγματοληψίας 1.

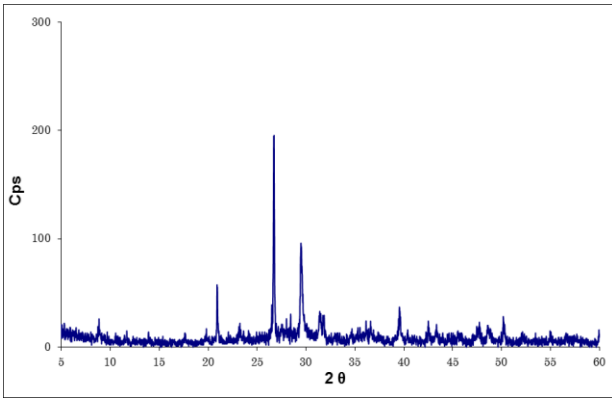
Στον 1<sup>ο</sup> όροφο απαντώνται δύο τύποι λίθων: Οι λίθοι που ανήκουν στον ένα τύπο παρουσιάζουν ως κύρια και μοναδική ορυκτολογική φάση ασβεστίτη (D11\_sg, D11\_sw) και ελήφθησαν από τη θέση 1, ενώ λίθος του ίδιου τύπου που ελήφθη από τη θέση δειγματοληψίας 2 παρουσιάζει ως πρωτεύουσα φάση τον ασβεστίτη ενώ ανιχνεύεται και χαλαζίας (D12\_sb). Ο δεύτερος λιθότυπος που εξετάστηκε παρουσιάζει ως πρωτεύουσες ορυκτολογικές φάσεις δολομίτη και ασβεστίτη και ως δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση χαλαζία και ελήφθη από τη θέση 2 (D12\_sw).

Στον 2<sup>ο</sup> όροφο απαντάται ένας τύπος λίθων: Έχουμε το λίθο D22\_sr που παρουσιάζει ως κύρια και μοναδική ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη και το λίθο D22\_sg που παρουσιάζει ως κύρια φάση τον ασβεστίτη και ως δευτερεύουσα το δολομίτη. Και οι δύο λίθοι ελήφθησαν από τη θέση δειγματοληψίας 2.

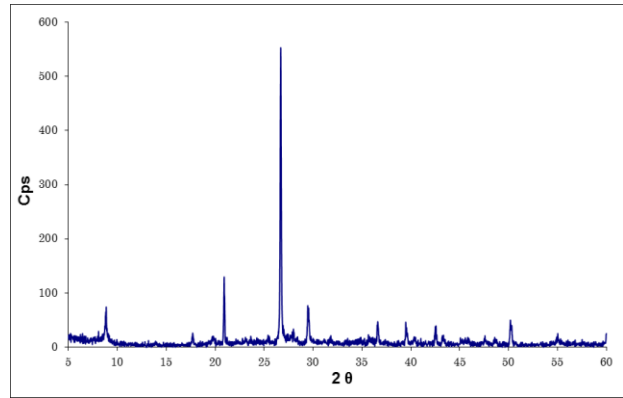
#### 4.2.2.2 Οπτόπλινθοι

Πίνακας 4.2.2.2 Αποτελέσματα XRD οπτόπλινθων από την Οικία Δουρουύτη

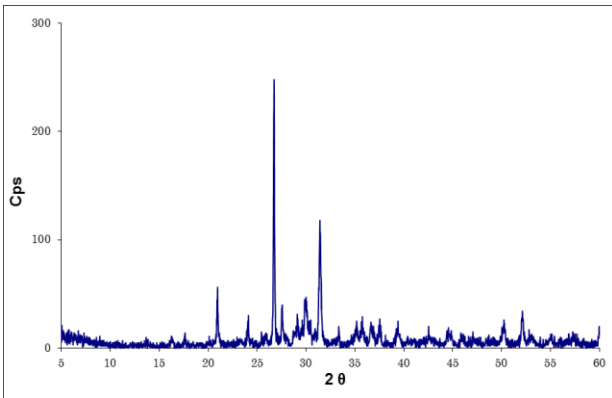
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση Οπτόπλινθων
DB2_cr	Χαλαζίας, Ασβεστίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
DB3_cr	Χαλαζίας, Ασβεστίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
DG1_cy	Χαλαζίας, Μελίλιθος, Μικροκλινής, Διοψίδιος, Ασβεστίτης
DG2_cr	Χαλαζίας, Ασβεστίτης, Μοσχοβίτης
D11_cr	Χαλαζίας, Ασβεστίτης, Μοσχοβίτης, Χλωρίτης
D11_cy	Χαλαζίας, Μελίλιθος, Διοψίδιος
D12_cy	Χαλαζίας, Μελίλιθος, Διοψίδιος
D21_cy	Χαλαζίας, Μελίλιθος, Διοψίδιος



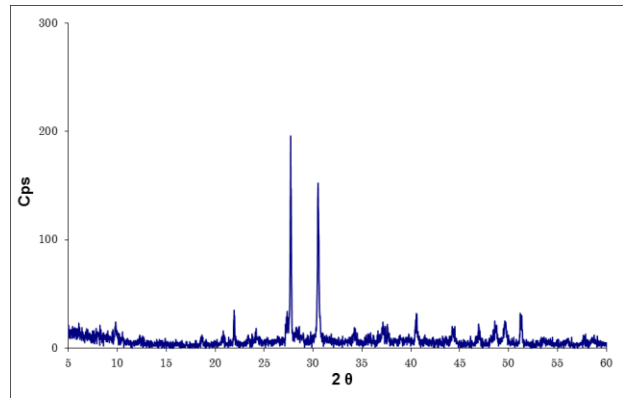
Γωνιόγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB2\_cr θέσης 2  
Υπογείου



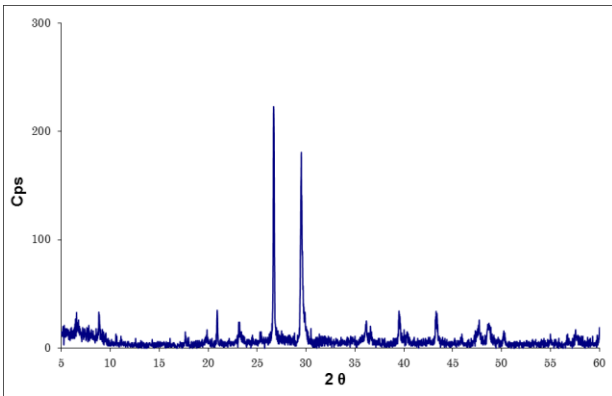
Γωνιόγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB3\_cr θέσης 3  
Υπογείου



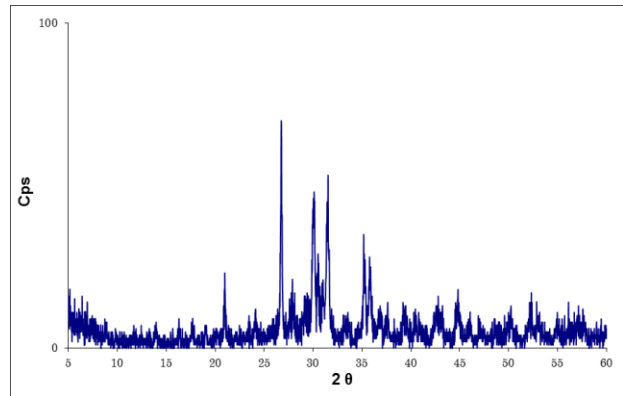
Γωνιόγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου DG1\_cy θέσης 1  
Ισογείου



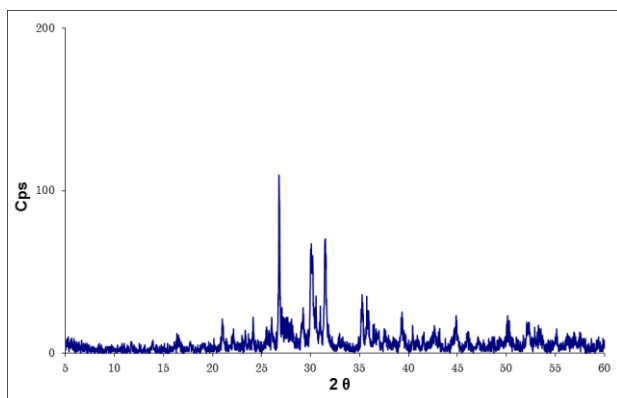
Γωνιόγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DG2\_cr θέσης 2  
Ισογείου



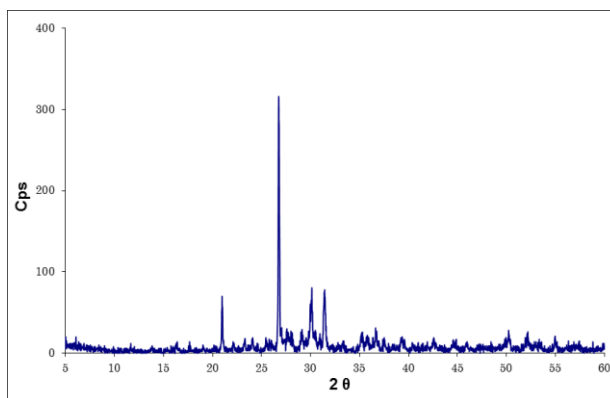
Γωνιόγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου D11\_cr θέσης 1 1<sup>ου</sup>  
ορόφου



Γωνιόγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D11\_cy θέσης 1 1<sup>ου</sup>  
ορόφου



Γωνιόγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D12\_cy θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Γωνιόγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D21\_cy θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου

Στο σύνολο του κτηρίου απαντώνται οπτόπλινθοι κόκκινου και κίτρινου χρωματισμού. Συγκεκριμένα, για τους κόκκινους οπτόπλινθους (στον πίνακα τα δείγματα με το επίθεμα \_cr) μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

Από το υπόγειο εξετάστηκαν δείγματα κόκκινων οπτόπλινθων που ελήφθησαν από τις θέσεις δειγματοληψίας 2 και 3 (DB2\_cr και DB3\_cr αντίστοιχα), οι οποίοι παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση χαλαζία και ως δευτερεύουσες φάσεις με σειρά φθίνουσας έντασης κορυφών ασβεστίτη, μοσχοβίτη και αλβίτη.

Από το ισόγειο εξετάστηκε κόκκινος οπτόπλινθος από τη θέση δειγματοληψίας 2 (DG2\_cr), ο οποίος παρουσιάζει ως πρωτεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία και ασβεστίτη και ως δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση μοσχοβίτη.

Από τον 1<sup>ο</sup> όροφο εξετάστηκε κόκκινος οπτόπλινθος από τη θέση δειγματοληψίας 1 (D11\_cr), ο οποίος παρουσιάζει ως πρωτεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία και ασβεστίτη και ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις μοσχοβίτη και χλωρίτη.

Συνεπώς, οι εξεταζόμενοι κόκκινοι οπτόπλινθοι παρουσιάζουν ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία και ασβεστίτη και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις μοσχοβίτη, αλβίτη και ενίοτε χλωρίτη, εκτός από τους οπτόπλινθους του υπογείου, οι οποίοι εμφανίζουν μόνο χαλαζία ως κύρια ορυκτολογική φάση.

Για τους κίτρινους οπτόπλινθους μπορούμε να συμπεράνουμε τα εξής:

Από το ισόγειο εξετάστηκε κίτρινος οπτόπλινθος από τη θέση δειγματοληψίας 1 (DG1\_cy) ο οποίος παρουσιάζει ως πρωτεύουσα ορυκτολογική φάση χαλαζία και ως δευτερεύουσες φάσεις, με σειρά φθίνουσας έντασης κορυφών, μελίλιθο, μικροκλινή, διοψίδιο και ασβεστίτη.

Από τον 1<sup>ο</sup> όροφο εξετάστηκαν κίτρινοι οπτόπλινθοι που ελήφθησαν από τις θέσεις δειγματοληψίας 1 και 2 (D11\_cy και D12\_cy αντίστοιχα). Ο οπτόπλινθος D11\_cy παρουσιάζει ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία και μελίλιθο, ενώ ως δευτερεύουσα φάση εμφανίζεται ο διοψίδιος. Ο οπτόπλινθος D12\_cy παρουσιάζει ως κύρια φάση το χαλαζία, ενώ ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις παρουσιάζονται ο μελίλιθος και ο διοψίδιος.

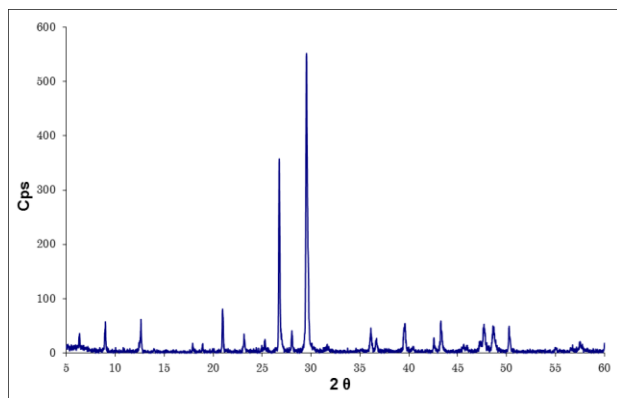
Από το 2<sup>ο</sup> όροφο εξετάστηκε κίτρινος οπτόπλινθος από τη θέση δειγματοληψίας 1 (D21\_cy) που παρουσιάζει παρόμοια ορυκτολογική σύσταση με αυτόν του 1<sup>ου</sup> ορόφου (D12\_cy), δηλ. ως κύρια φάση χαλαζία και ως δευτερεύουσες μελίλιθο και διοψίδιο.

Συνεπώς, οι εξεταζόμενοι κίτρινοι οπτόπλινθοι παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση χαλαζία και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις μελίλιθο και διοψίδιο και ενίοτε μικροκλινή και ασβεστίτη.

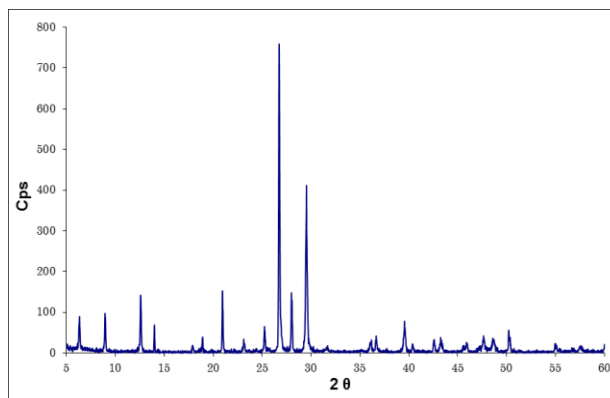
### 4.2.2.3 Κονιάματα

Πίνακας 4.2.2.3 Αποτελέσματα XRD κονιαμάτων από την Οικία Δουρούτη

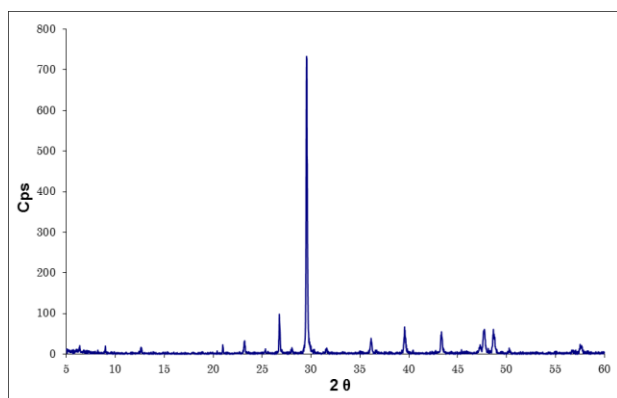
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση Κονιαμάτων
DB2_m	Ασβεσίτης, Χαλαζίας, Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
DG1_m	Χαλαζίας, Ασβεσίτης, Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
D11_m	Ασβεσίτης, Χαλαζίας, Αλβίτης, Μοσχοβίτης, Χλωρίτης
D12_m	Ασβεσίτης, Αλβίτης



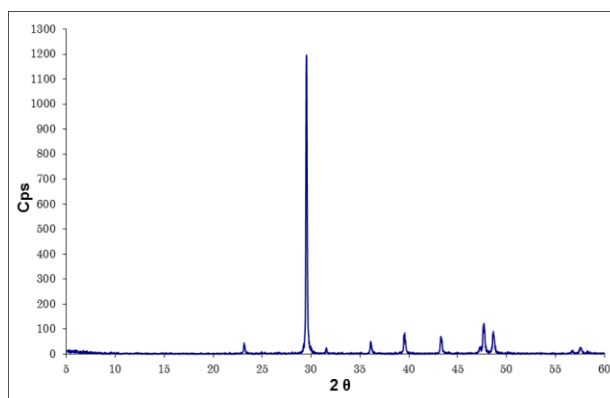
Γωνιόγραμμα κονιάματος DB2\_m θέσης 2 Υπογείου



Γωνιόγραμμα κονιάματος DG1\_m θέσης 1 Ισογείου



Γωνιόγραμμα κονιάματος D11\_m θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Γωνιόγραμμα κονιάματος D12\_m θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου

Από το υπόγειο εξετάστηκε δείγμα κονιάματος από τη θέση δειγματοληψίας 2 (DB2\_m) στο οποίο παρουσιάζονται ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις ασβεσίτης και χαλαζίας, ενώ ως δευτερεύουσες φάσεις, με σειρά φθίνουσας έντασης κορυφών, εμφανίζονται ο χλωρίτης, ο μοσχοβίτης και ο αλβίτης.

Από το ισόγειο εξετάστηκε δείγμα κονιάματος από τη θέση δειγματοληψίας 1 (DG1\_m) στο οποίο παρουσιάζονται ως πρωτεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζίας και ασβεσίτης, ενώ ως δευτερεύουσες φάσεις εμφανίζονται ο χλωρίτης, ο μοσχοβίτης και ο αλβίτης.

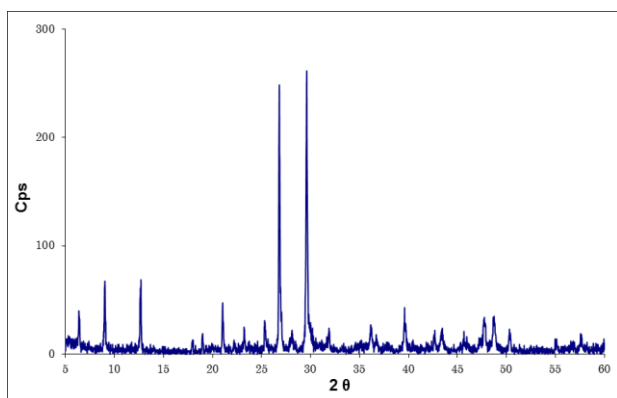
Από τον 1<sup>ο</sup> όροφο εξετάστηκαν δείγματα κονιαμάτων από τις θέσεις δειγματοληψίας 1 και 2 (D11\_m και D12\_m αντίστοιχα). Το κονίαμα D11\_m παρουσιάζει ως κύρια φάση τον ασβεσίτη και ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χαλαζία, αλβίτη, μοσχοβίτη και χλωρίτη. Το κονίαμα D12\_m παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεσίτη, ενώ ανιχνεύεται και αλβίτης.

Συνεπώς, τα εξεταζόμενα κονιάματα του υπογείου και του ισογείου παρουσιάζουν ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις ασβεσίτη και χαλαζία και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χλωρίτη, μοσχοβίτη, και αλβίτη, ενώ τα εξεταζόμενα κονιάματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου είναι κατ' εξοχήν ασβεστιτικής σύστασης.

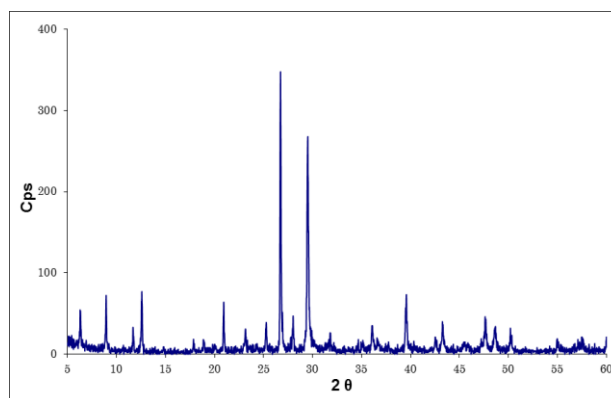
#### 4.2.2.4 Επιχρίσματα

Πίνακας 4.2.2.4 Αποτελέσματα XRD επιχρισμάτων από την Οικία Δουρούτη

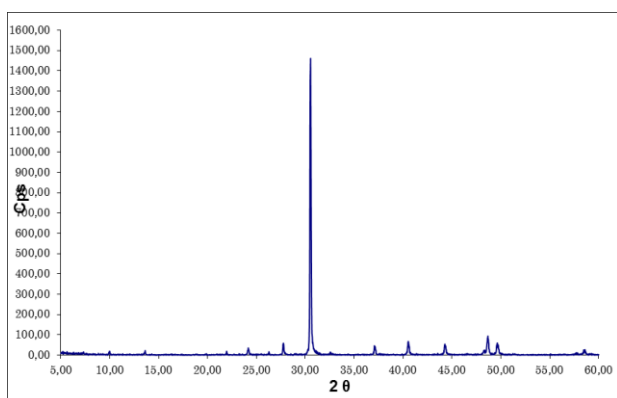
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση Επιχρισμάτων
DB2_p	Ασβεσίτης, Χαλαζίας, Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
DB3_p	Χαλαζίας, Ασβεσίτης, Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης, Γύψος
DG2_p_r	Ασβεσίτης, Χαλαζίας, Αλβίτης, Μοσχοβίτης
DG2_p_f	Ασβεσίτης, Δολομίτης, Μοσχοβίτης
D11_p_r	Ασβεσίτης, Χαλαζίας
D11_p_f	Ασβεσίτης, Χαλαζίας, Μοσχοβίτης



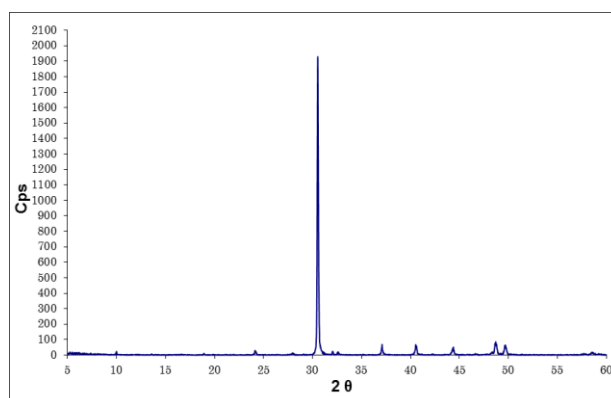
Γωνιόγραμμα επιχρίσματος DB2\_p θέσης 2 Υπογείου



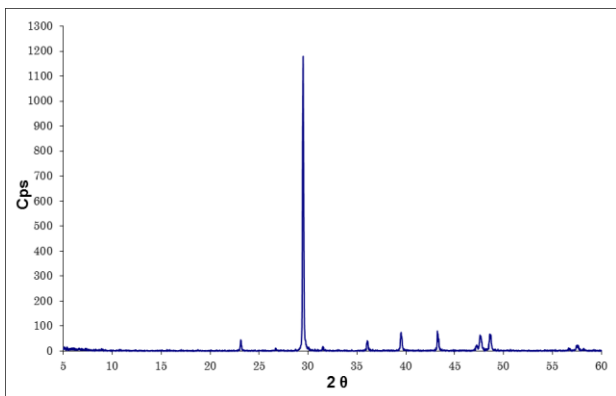
Γωνιόγραμμα επιχρίσματος DB3\_p θέσης 3 Υπογείου



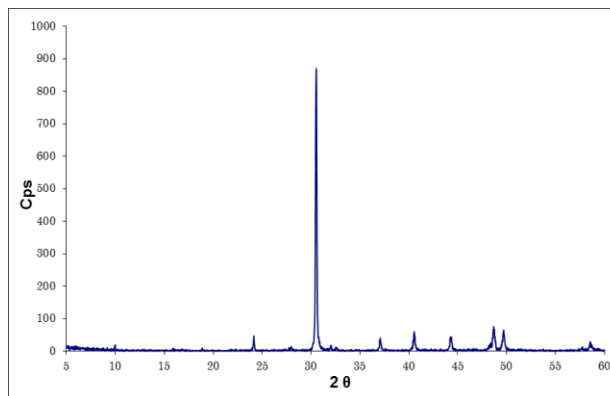
Γωνιόγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_r) θέσης 2 Ισογείου



Γωνιόγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_f) θέσης 2 Ισογείου



Γωνιόγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος D11\_r (δείγμα D11\_p\_r) θέσης 1<sup>ου</sup> ορόφου



Γωνιόγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος D11\_r (δείγμα D11\_p\_f) θέσης 1<sup>ου</sup> ορόφου

Για τα επιχρίσματα λαμβάνουμε παρόμοια εικόνα με εκείνη των κονιαμάτων. Συγκεκριμένα, από το υπόγειο εξετάστηκαν κονιάματα επίχρισης που ελήφθησαν από τις θέσεις δειγματοληψίας 2 και 3 (DB2\_p και DB3\_p αντίστοιχα). Το επίχρισμα DB2\_p παρουσιάζει ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις ασβεστίτη και χαλαζία, ενώ ως δευτερεύουσες φάσεις, με σειρά φθίνουσας έντασης κορυφών, παρουσιάζονται ο χλωρίτης, ο μοσχοβίτης και ο αλβίτης. Το επίχρισμα DB3\_p παρουσιάζει ως κύριες φάσεις χαλαζία και ασβεστίτη, ενώ ως δευτερεύουσες φάσεις παρουσιάζονται χλωρίτης, μοσχοβίτης και αλβίτης. Επιπλέον, στο συγκεκριμένο δείγμα ανιχνεύεται γύψος, ο οποίος είναι προϊόν διάβρωσης.

Από το ισόγειο εξετάστηκαν τα το υπόστρωμα και το φινίρισμα επιχρίσματος από τη θέση δειγματοληψίας 2 (DG2\_p\_r και DG2\_p\_f αντίστοιχα). Το υπόστρωμα παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη, ενώ ανιχνεύονται χαλαζίας, αλβίτης και μοσχοβίτης. Το φινίρισμα του επιχρίσματος παρουσιάζει ως πρωτεύουσα φάση τον ασβεστίτη, ενώ ανιχνεύονται δολομίτης και μοσχοβίτης.

Από τον 1<sup>ο</sup> όροφο εξετάστηκαν το υπόστρωμα και το φινίρισμα επιχρίσματος από τη θέση δειγματοληψίας 1 (D11\_p\_r και D11\_p\_f αντίστοιχα). Το υπόστρωμα παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη, ενώ ανιχνεύεται χαλαζίας. Το φινίρισμα του επιχρίσματος παρουσιάζει ως πρωτεύουσα φάση τον ασβεστίτη, ενώ ως δευτερεύουσες παρουσιάζονται ο χαλαζίας και ο μοσχοβίτης.

Συνεπώς, τα εξεταζόμενα επιχρίσματα του υπογείου παρουσιάζουν ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις ασβεστίτη και χαλαζία και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις χλωρίτη, μοσχοβίτη, και αλβίτη, ενώ τα εξεταζόμενα επιχρίσματα του ισόγειου και του 1<sup>ου</sup> ορόφου είναι κατ' εξοχήν ασβεστιτικής σύστασης.

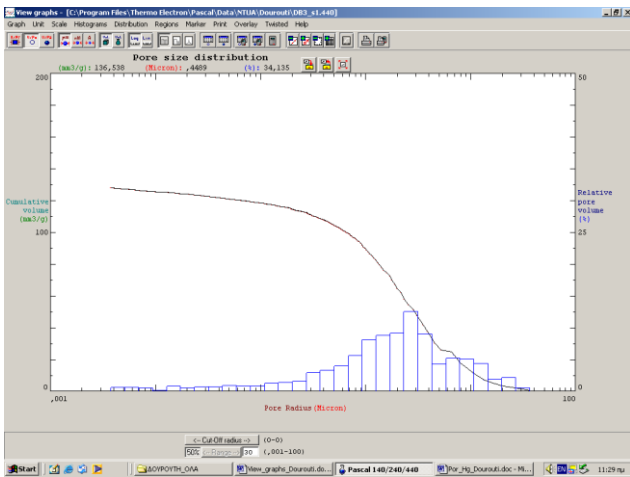
#### 4.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ (MIP)

Στα ληφθέντα δείγματα εφαρμόστηκε η τεχνική της ποροσιμετρίας Hg (MIP) για τη μελέτη της μικροδομής των διαφορετικών δομικών υλικών. Στην παρούσα ενότητα παρατίθενται συγκεντρωτικά και συζητούνται τα αποτελέσματα της τεχνικής ανά κατηγορία υλικού: Αρχικά, παρατίθενται τα αποτελέσματα της εξέτασης της μικροδομής των δειγμάτων, και πιο συγκεκριμένα υπολογίζονται τα μεγέθη % ολικό ανοιχτό πορώδες P, φαινόμενη πυκνότητα του δείγματος dbulk (g/cm<sup>3</sup>), ολικός ειδικός όγκος TCV (mm<sup>3</sup>/g) του Hg που εισδύει στους πόρους του δείγματος, ειδική επιφάνεια (m<sup>2</sup>/g) των πόρων του δείγματος και μέση τιμή των ακτινών των πόρων r<sub>av</sub> (μm). Κατόπιν, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ογκομετρικής κατανομής των πόρων ως προς το μέγεθος των ακτινών τους (ιστογράμματα).

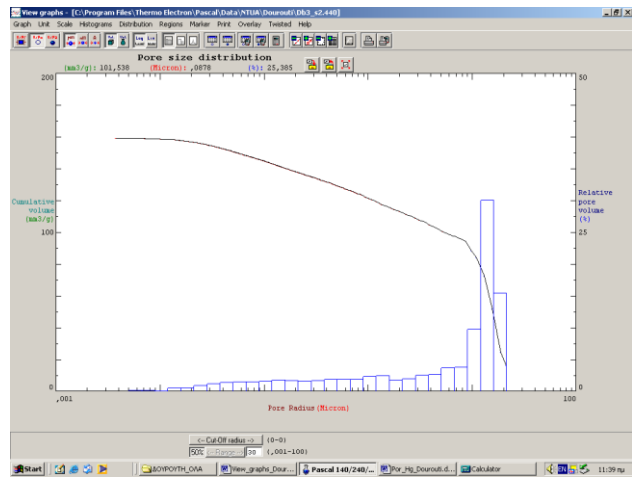
##### 4.2.3.1 Λίθοι

Πίνακας 4.2.3.1 Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας Υδραργύρου λίθων από την Οικία Δουρούτη

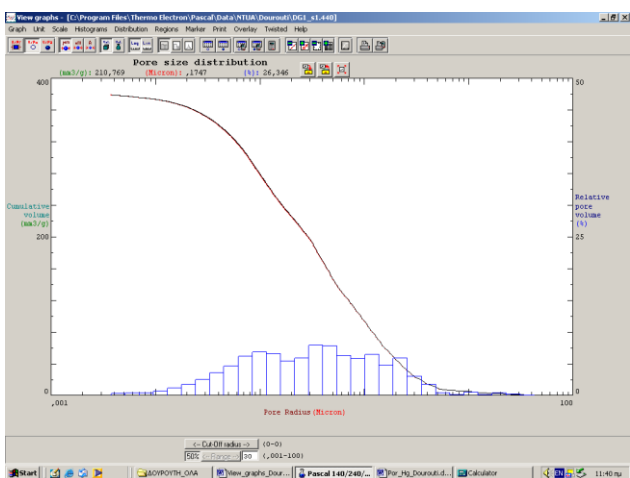
Κωδικός Δείγματος	Ολικός ειδικός όγκος (TCV) (mm <sup>3</sup> /g)	Φαινόμενη Πυκνότητα (dbulk) (g/cm <sup>3</sup> )	Ολικό ανοιχτό πορώδες (P) (%)	Μέση ακτίνα πόρων (r <sub>av</sub> ) (μm)	Ειδική επιφάνεια As (m <sup>2</sup> /g)
DB3_s1	128,22	1,90	24,36	2,01	1,62
DB3_s2	159,36	1,83	29,16	11,03	1,17
DG1_s1	378,98	1,19	45,10	0,33	8,14
DG1_s2	8,07	2,59	2,26	0,04	0,51
D11_sg	5,14	2,61	1,34	0,07	0,28
D11_sw	7,26	2,52	1,83	0,17	0,19
D12_sb	119,80	1,99	23,84	11,02	1,37
D12_sw	111,65	2,06	23,00	1,69	3,89
D22_sr	13,12	2,55	3,35	0,11	0,34
D22_sg	18,18	2,49	4,53	0,85	0,12
D23_sb	122,10	2,01	24,54	0,41	1,31
D23_sw	366,04	1,22	44,67	0,54	5,37



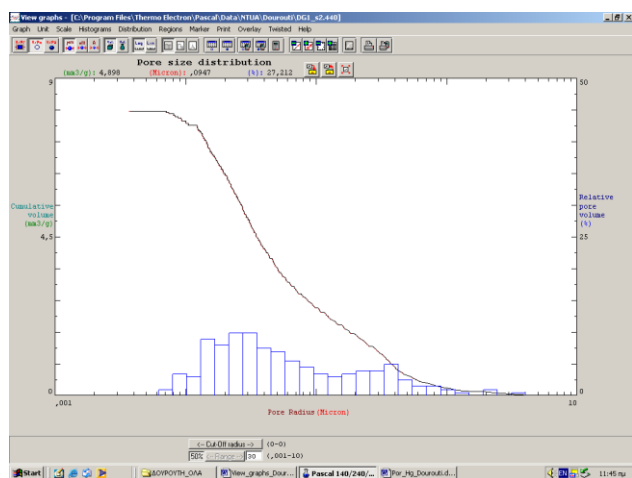
Ιστογράμμα λίθου DB3\_s1 θέσης 3 Υπογείου



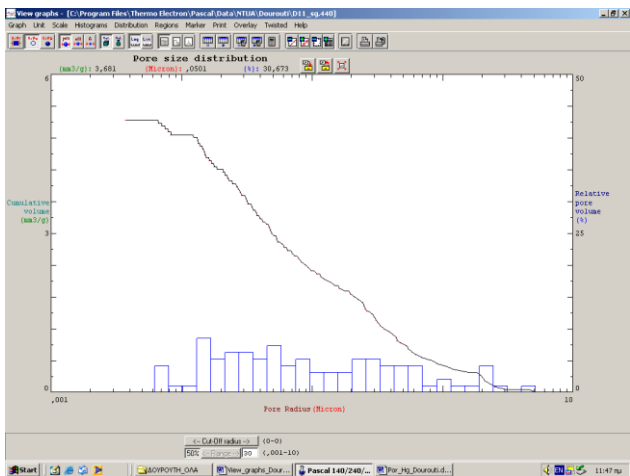
Ιστογράμμα λίθου DB3\_s2 θέσης 3 Υπογείου



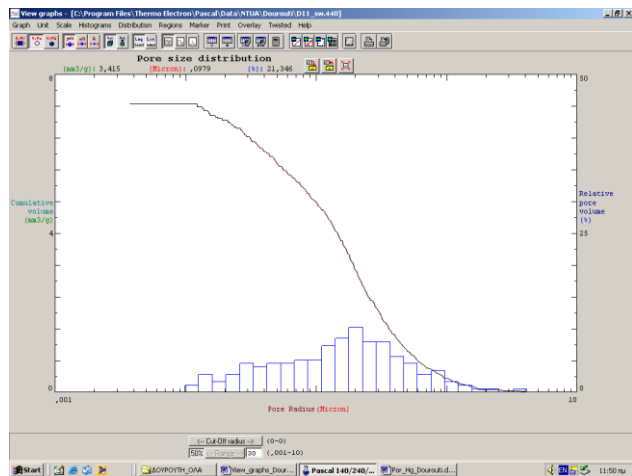
Ιστογράμμα λίθου DG1\_s1 θέσης 1 Ισογείου



Ιστογράμμα λίθου DG1\_s2 θέσης 1 Ισογείου

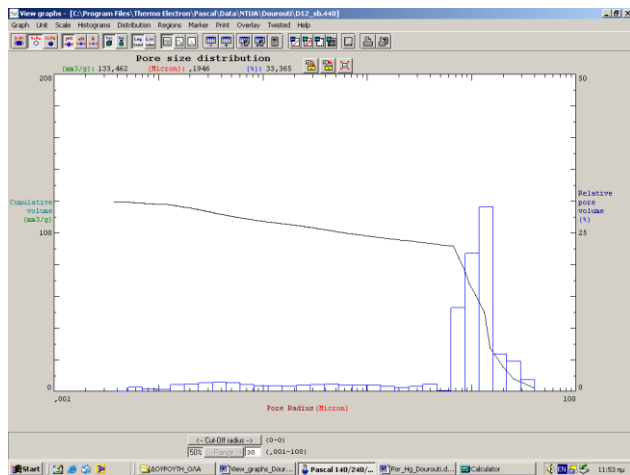


Ιστογράμμα λίθου D11\_sg θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου

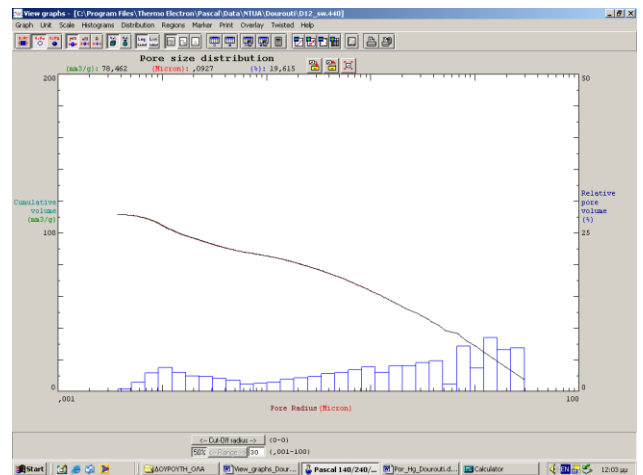


Ιστογράμμα λίθου D11\_sw θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου

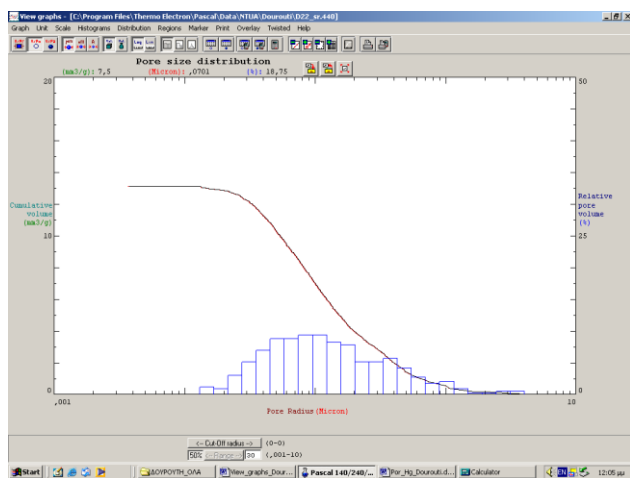




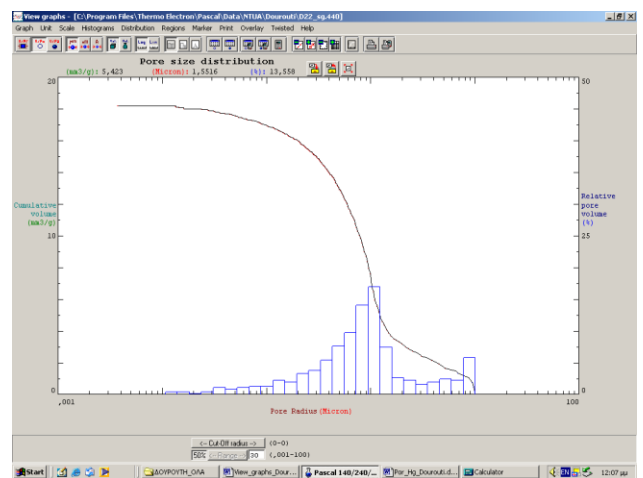
Ιστόγραμμα λίθου D12\_sb θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



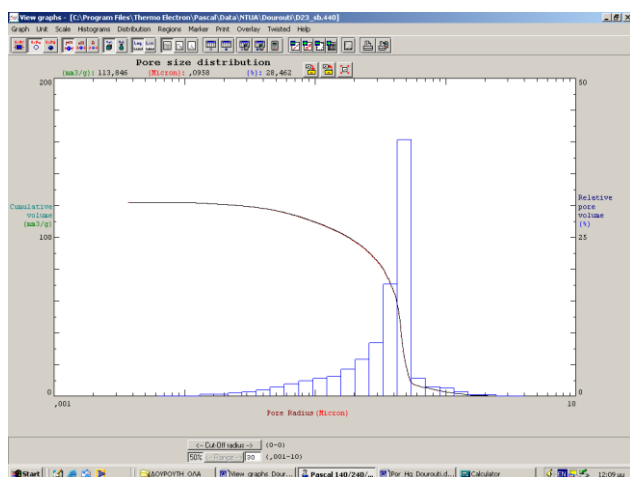
Ιστόγραμμα λίθου D12\_sw θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



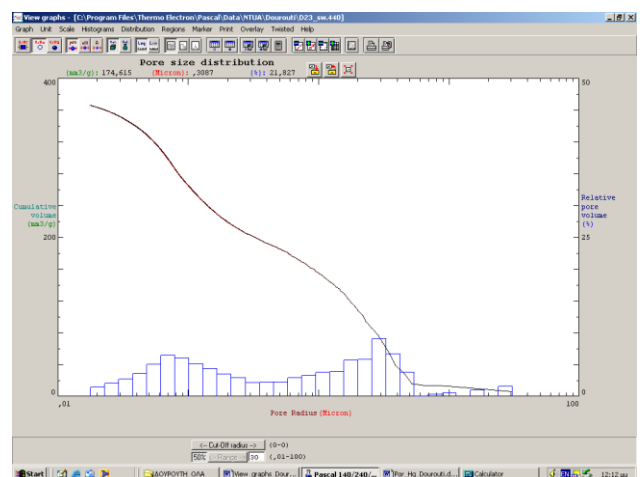
Ιστόγραμμα λίθου D22\_sr θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστόγραμμα λίθου D22\_sg θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστόγραμμα λίθου D23\_sb θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστόγραμμα λίθου D23\_sw θέσης 3 2<sup>ου</sup> ορόφου

Βάσει των αποτελεσμάτων, οι λίθοι κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες.

Αρχικά, έχουμε τους πολύ συμπαγείς λίθους που παρουσιάζουν ολικό ανοιχτό πορώδες από 1,34 έως 4,53 %. Αυτοί είναι ο DG1\_s2 από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ο D11\_sg από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ο D11\_sw από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ο D22\_sr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου και ο D22\_sg από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου.

Πιο συγκεκριμένα, για το λίθο DG1\_s2 μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 2,26 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,59 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,04 μm.

Για το λίθο D11\_sg μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 1,34 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,61 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει επίσης εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,07 μm.

Για το λίθο D11\_sw μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 1,83 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,52 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει επίσης εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,17 μm.

Για το λίθο D22\_sr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 3,35 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,55 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει επίσης εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,11 μm.

Για το λίθο D22\_sg μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 4,53 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,49 g/cm<sup>3</sup>, η δικόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,85 μm, σχετικά υψηλή τιμή συγκριτικά με τη μέση ακτίνα πόρων των άλλων λίθων της ίδιας κατηγορίας, ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μεγαλύτερες ακτίνες (~ 10 μm).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι λίθοι μεσαίου πορώδους και αυτοί είναι ο DB3\_s1 από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου, ο DB3\_s2 από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου, ο D12\_sb από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, ο D12\_sw από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου και ο D23\_sb από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου για τους οποίους καταγράφονται τιμές ολικού ανοιχτού πορώδους από 23,00 έως 29,16 %.

Πιο συγκεκριμένα, για το λίθο DB3\_s1 μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 24,36 %, φαινόμενη πυκνότητα 1,90 g/cm<sup>3</sup>, η μονοκόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 2,01 μm ενώ σε τιμές γύρω από αυτή συγκεντρώνεται μεγάλο ποσοστό των πόρων.

Για το λίθο DB3\_s2 μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 29,16 %, φαινόμενη πυκνότητα 1,83 g/cm<sup>3</sup> ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 11,03 μm, σχετικά υψηλή τιμή.

Για το λίθο D12\_sb μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 23,84 %, φαινόμενη πυκνότητα 1,99 g/cm<sup>3</sup> ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 11,02 μm, σχετικά υψηλή τιμή, ενώ σε τιμές γύρω από αυτή συγκεντρώνεται μεγάλο ποσοστό των πόρων.

Για το λίθο D12\_sw μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 23,00 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,06 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με μέση ακτίνα πόρων 1,69 μm.

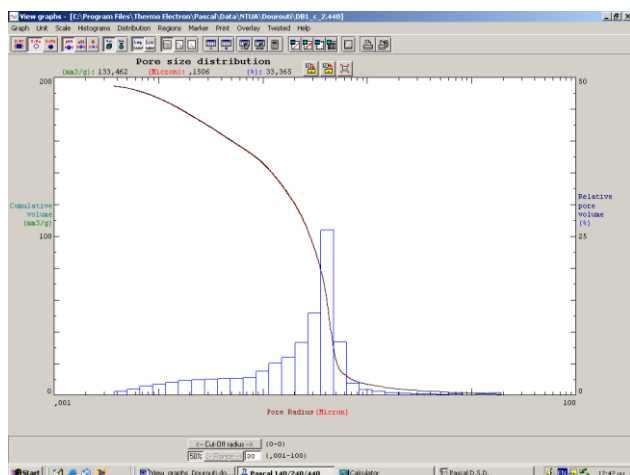
Για το λίθο D23\_sb μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 24,54 %, φαινόμενη πυκνότητα 2,01 g/cm<sup>3</sup> η μονοκόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,41 μm.

Τέλος, παρουσιάζονται δύο λίθοι για τους οποίους μετράται εξαιρετικά μεγάλο πορώδες. Αυτοί είναι ο DG1\_s1 από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισογείου και ο D23\_sw από τη θέση δειγματοληψίας 3 του 2<sup>ου</sup> ορόφου για τους οποίους καταγράφεται ολικό ανοιχτό πορώδες 45,10 και 44,67% αντίστοιχα, φαινόμενη πυκνότητα 1,19 και 1,22 g/cm<sup>3</sup> αντίστοιχα ενώ σύμφωνα με το διαγράμματα κατανομής παρουσιάζουν εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,33 και 0,54 μm αντίστοιχα.

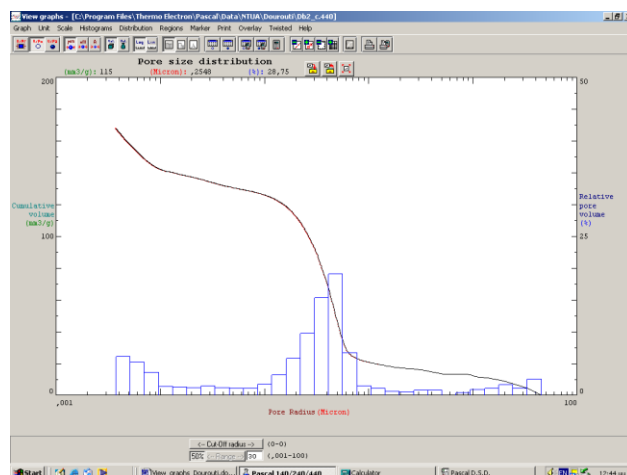
### 4.2.3.2 Οπτόπλινθοι

Πίνακας 4.2.3.2 Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας Υδραργύρου οπτόπλινθων από την Οικία Δουρούτη

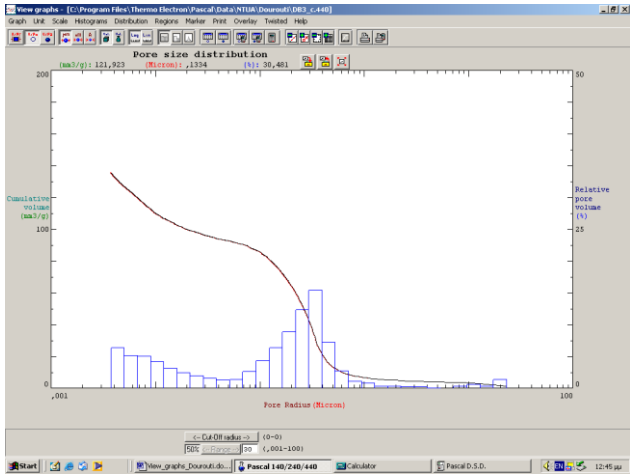
Κωδικός Δείγματος	Ολικός ειδικός όγκος (TCV) (mm <sup>3</sup> /g)	Φαινόμενη Πυκνότητα (dbulk) (g/cm <sup>3</sup> )	Ολικό ανοικτό πορώδες (P) (%)	Μέση ακτίνα πόρων (rav) (μm)	Ειδική επιφάνεια As (m <sup>2</sup> /g)
DB1_cr	194,56	1,74	33,85	0,29	6,24
DB2_cr	168,07	1,69	28,40	0,34	11,33
DB3_cr	135,72	1,83	24,84	0,19	11,76
DG1_cy	367,97	1,39	51,15	0,58	1,77
DG2_cr	196,10	1,65	32,36	0,09	8,78
D11_cr	195,72	1,63	31,90	0,14	8,28
D11_cy	366,53	1,35	49,48	0,38	3,61
D12_cy	342,92	1,42	48,69	0,96	1,11
D21_cy	387,90	1,34	51,98	0,78	1,54
D22_cr	220,23	1,61	35,46	0,18	7,04
D22_cy	356,78	1,45	51,73	0,51	2,65



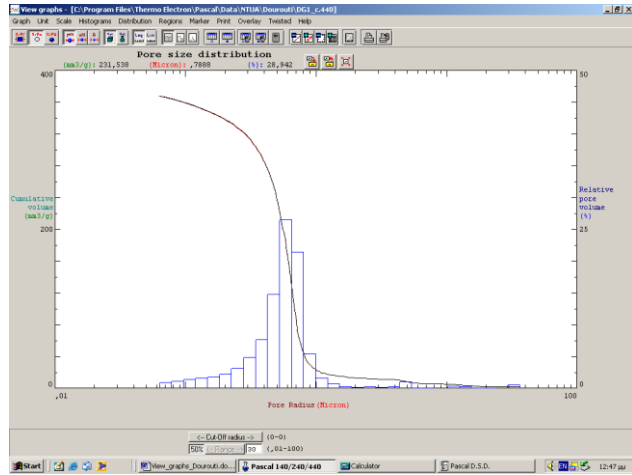
Ιστογράμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB1\_cr θέσης 1 Υπογείου



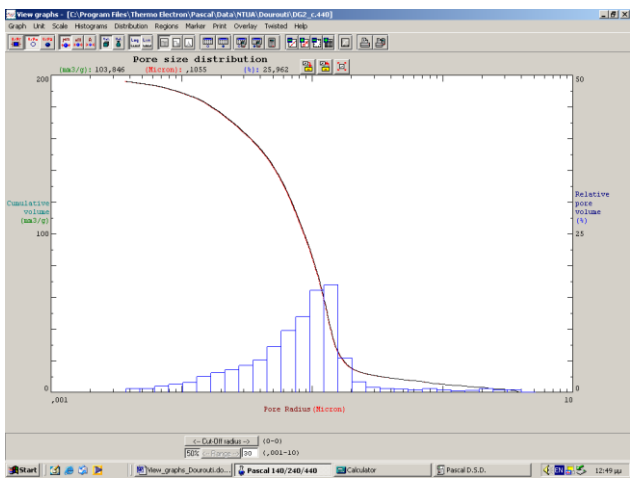
Ιστογράμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB2\_cr θέσης 2 Υπογείου



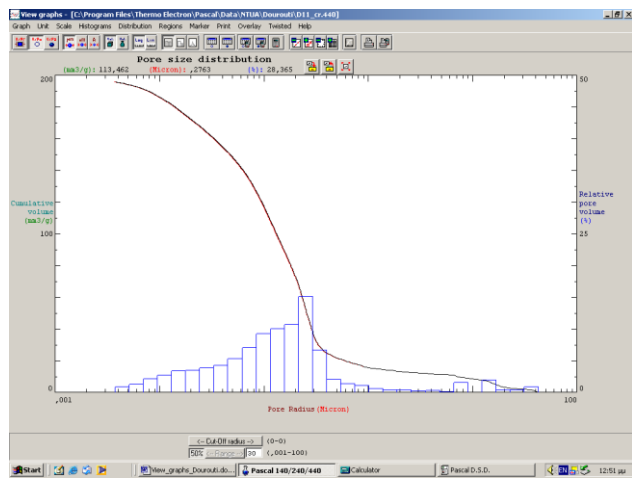
Ιστογράμμο κόκκινου οπτόπλινθου DB3\_cr θέσης 3 Υπογείου



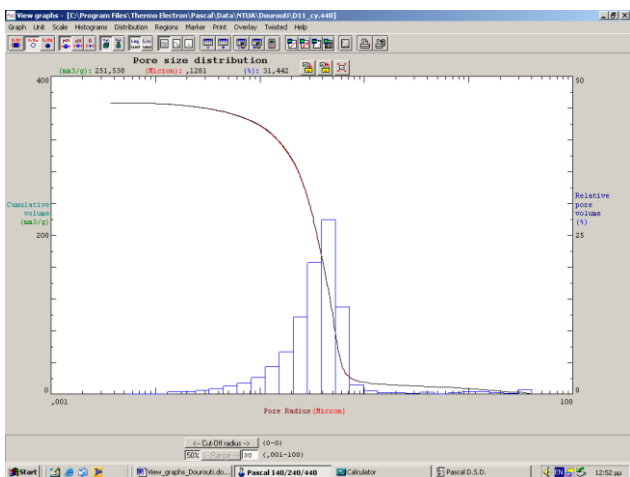
Ιστογράμμο κίτρινου οπτόπλινθου DG1\_cy θέσης 1 Ισογείου



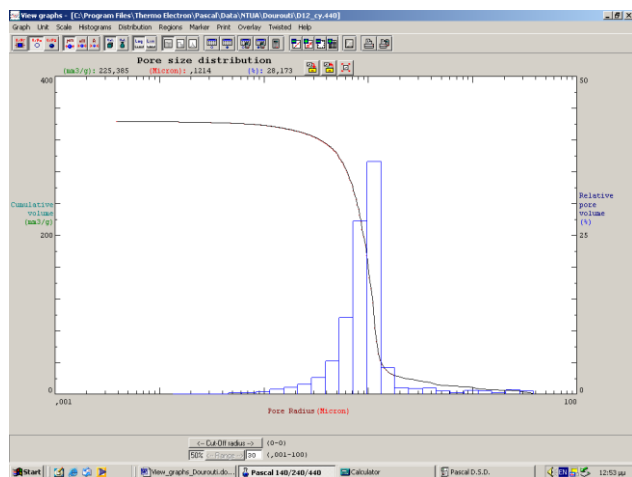
Ιστογράμμο κόκκινου οπτόπλινθου DG2\_cr θέσης 2 Ισογείου



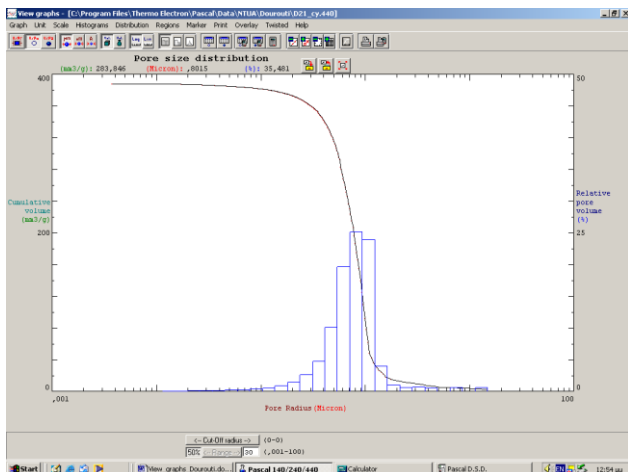
Ιστογράμμο κόκκινου οπτόπλινθου D11\_cr θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



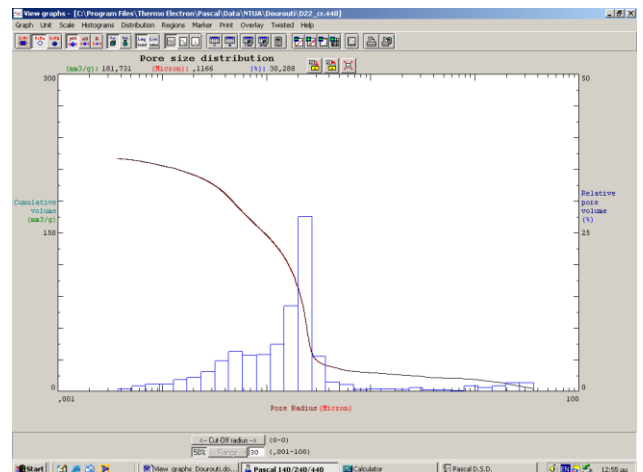
Ιστογράμμο κίτρινου οπτόπλινθου D11\_cy θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



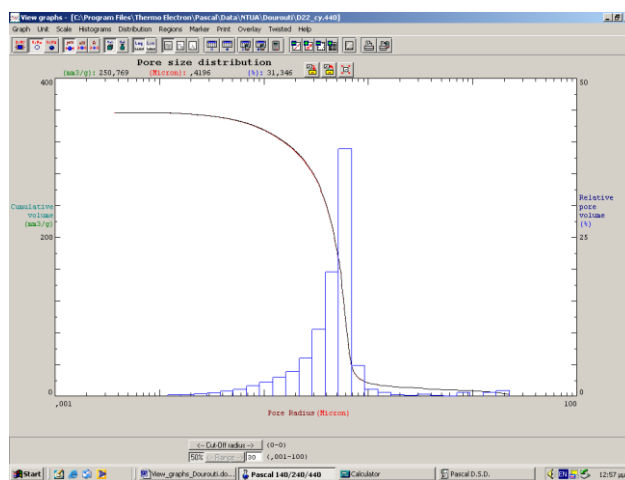
Ιστογράμμο κίτρινου οπτόπλινθου D12\_cy θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο κίτρινου οπτόπλινθου D21\_cr θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο κόκκινου οπτόπλινθου D22\_cr θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο κίτρινου οπτόπλινθου D22\_cr θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου

Βάσει των αποτελεσμάτων, οι οπτόπλινθοι κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες.

Αρχικά έχουμε τους κόκκινους οπτόπλινθους (στον πίνακα τα δείγματα με το επίθεμα \_cr) για τους οποίους μετρείται ολικό ανοιχτό πορώδες από 24,84 έως 35,46% ο οποίοι είναι οι DB1\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 1 του υπογείου, DB2\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου, DB3\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου, DG2\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του ισογείου, D11\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1ου ορόφου και D22\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2ου ορόφου. Το χαμηλό ολικό πορώδες -συγκριτικά με τους κίτρινους οπτόπλινθους- που παρουσιάζουν οι κόκκινοι οπτόπλινθοι οφείλεται στην εκτεταμένη υαλώδη φάση [35].

Πιο συγκεκριμένα, για το δείγμα DB1\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 33,85%, φαινόμενη πυκνότητα 1,74 g/cm<sup>3</sup> ενώ η μονόκορυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,29 μm ενώ σε μικρότερες τιμές κυμαίνεται μεγάλο ποσοστό των πόρων.

Για το δείγμα DB2\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 28,40%, φαινόμενη πυκνότητα 1,69 g/cm<sup>3</sup>, η δικόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,34 μm και σε τιμές γύρω από αυτή ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μικρότερες ακτίνες (~0,005 – 0,01 μm).

Για το δείγμα DB3\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 24,84%, φαινόμενη πυκνότητα 1,83 g/cm<sup>3</sup>, η δικόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,19 μm και σε τιμές γύρω από αυτή ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μικρότερες ακτίνες (~0,005 – 0,01 μm).

Για το δείγμα DG2\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 32,36%, φαινόμενη πυκνότητα 1,65 g/cm<sup>3</sup>, η μονοκόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,09 μm και σε τιμές χαμηλότερες από αυτή.

Για το δείγμα D11\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 31,90%, φαινόμενη πυκνότητα 1,63 g/cm<sup>3</sup>, η μονοκόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,14 μm και σε τιμές χαμηλότερες από αυτή.

Για το δείγμα D22\_cr μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 35,46%, φαινόμενη πυκνότητα 1,61 g/cm<sup>3</sup>, η μονοκόρυφη δε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,18 μm και σε τιμές χαμηλότερες από αυτή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κίτρινοι οπτόπλινθοι DG1\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισογείου, D11\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1ου ορόφου, D12\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1ου ορόφου, D21\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2ου ορόφου και D22\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2ου ορόφου, για τους οποίους καταγράφεται ολικό ανοιχτό πορώδες από 48,69 έως 51,98%.

Πιο συγκεκριμένα, για τον οπτόπλινθο DG1\_cy μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 51,15%, φαινόμενη πυκνότητα 1,39 g/cm<sup>3</sup> ενώ μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,58 μm και σε τιμές γύρω από αυτή.

Για τον οπτόπλινθο D11\_cy μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 49,48%, φαινόμενη πυκνότητα 1,35 g/cm<sup>3</sup> ενώ μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,38 μm και σε τιμές γύρω από αυτή.

Για τον οπτόπλινθο D12\_cy μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 48,69%, φαινόμενη πυκνότητα 1,42 g/cm<sup>3</sup> ενώ μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,96 μm και σε τιμές γύρω από αυτή.

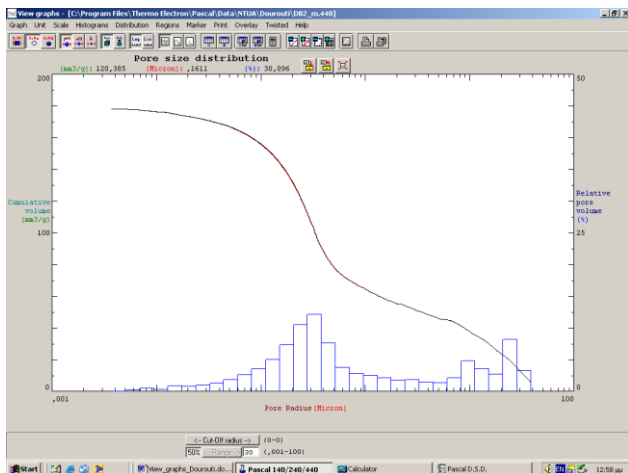
Για τον D21\_cy μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 51,98%, φαινόμενη πυκνότητα 1,34 g/cm<sup>3</sup> ενώ μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,78 μm και σε τιμές γύρω από αυτή.

Για τον οπτόπλινθο D22\_cy μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 51,73%, φαινόμενη πυκνότητα 1,45 g/cm<sup>3</sup> ενώ μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,51 μm και σε τιμές γύρω από αυτή και κυρίως χαμηλότερες.

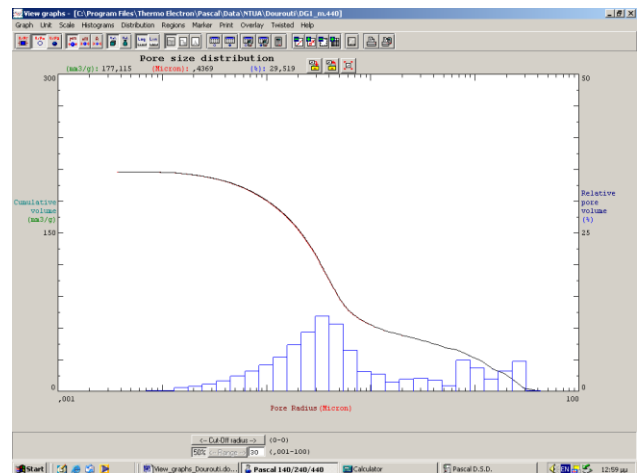
### 4.2.3.3 Κονιάματα

Πίνακας 4.2.3.3 Αποτελέσματα Πορομετρίας Υδραργύρου κονιαμάτων από την Οικία Δουρούτη

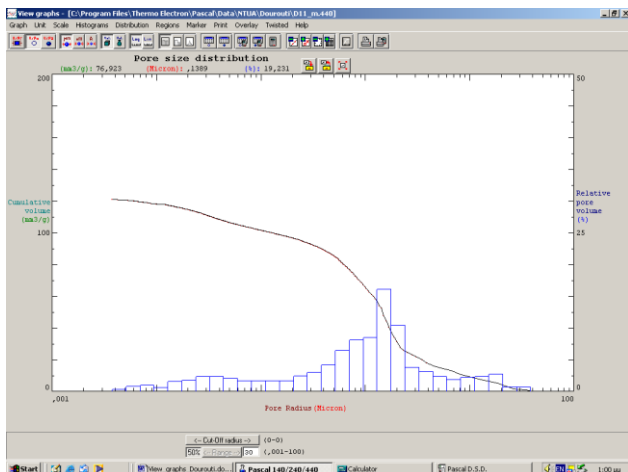
Κωδικός Δείγματος	Ολικός ειδικός όγκος (TCV) (mm <sup>3</sup> /g)	Φαινόμενη Πυκνότητα (dbulk) (g/cm <sup>3</sup> )	Ολικό ανοικτό πορώδες (P) (%)	Μέση ακτίνα πόρων (r <sub>av</sub> ) (μm)	Ειδική επιφάνεια As (m <sup>2</sup> /g)
DB2_m	178,06	1,74	30,98	0,39	2,35
DG1_m	207,93	1,67	34,72	0,40	2,34
D11_m	121,16	1,98	23,99	1,15	2,29
D12_m	123,66	1,89	23,37	1,00	2,13
D22_m	102,54	2,15	22,05	0,90	0,76



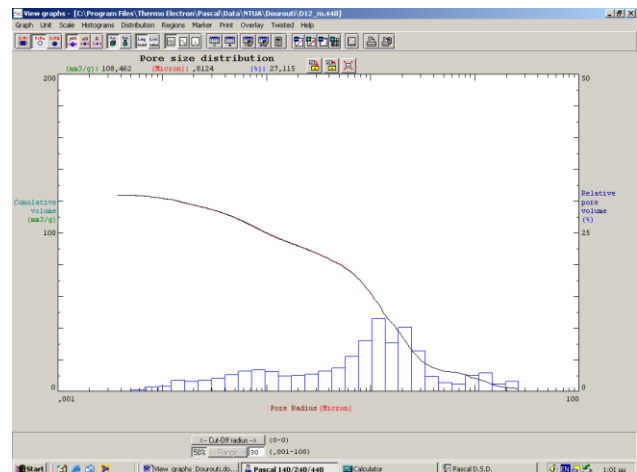
Ιστόγραμμα κονιάματος DB2\_m θέσης 2 Υπογείου



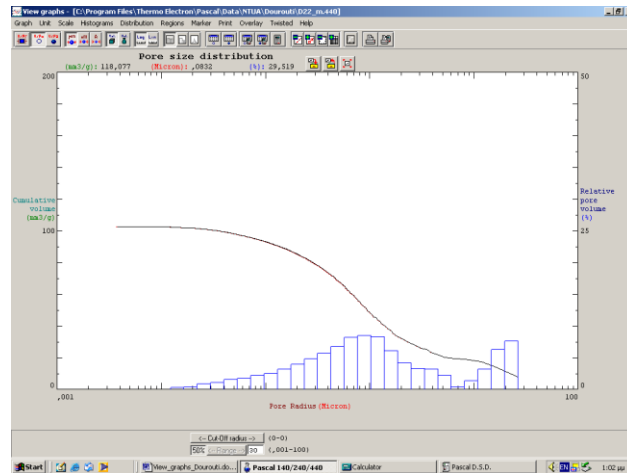
Ιστόγραμμα κονιάματος DG1\_m θέσης 1 Ισογείου



Ιστόγραμμα κονιάματος D11\_m θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστόγραμμα κονιάματος D12\_m θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστόγραμμα κονιάματος D22\_m θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου

Τα εξεταζόμενα κονιάματα κατηγοριοποιούνται σε δύο ομάδες.

Αρχικά έχουμε τα κονιάματα των οποίων το πορώδες κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 22,05 και 23,99% και αυτά είναι τα D11\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, D12\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου και D22\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου.

Πιο συγκεκριμένα, για το κονίαμα D11\_m μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 23,99%, φαινόμενη πυκνότητα 1,98 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με κορυφή στην ακτίνα πόρων 1,15 μm.

Για το κονίαμα D12\_m μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 23,37%, φαινόμενη πυκνότητα 1,89 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 1,00 μm και γύρω από αυτήν.

Για το κονίαμα D22\_m μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 22,05%, φαινόμενη πυκνότητα 2,15 g/cm<sup>3</sup> ενώ η δικόρυφη θα λέγαμε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,90 μm και γύρω από αυτήν ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μεγαλύτερες ακτίνες (~ 25 μm).

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κονιάματα DB2\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου και DG1\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισόγειου για τα οποία μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες 30,98 και 34,72% αντίστοιχα, φαινόμενη πυκνότητα 1,74 και 1,67 g/cm<sup>3</sup> αντίστοιχα ενώ η δικόρυφη κατανομή τους εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα 0,39 και 0,40 μm αντίστοιχα και γύρω από αυτές ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μεγαλύτερες ακτίνες (~13 και ~8 – 13,5 μm αντίστοιχα).

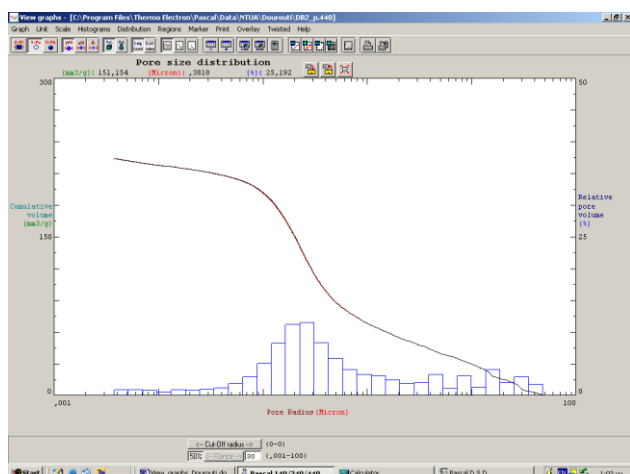
Γενικά, τα κονιάματα του υπογείου και του ισόγειου εμφανίζονται αρκετά πιο πορώδη από εκείνα του 1<sup>ου</sup> και του 2<sup>ου</sup> ορόφου.



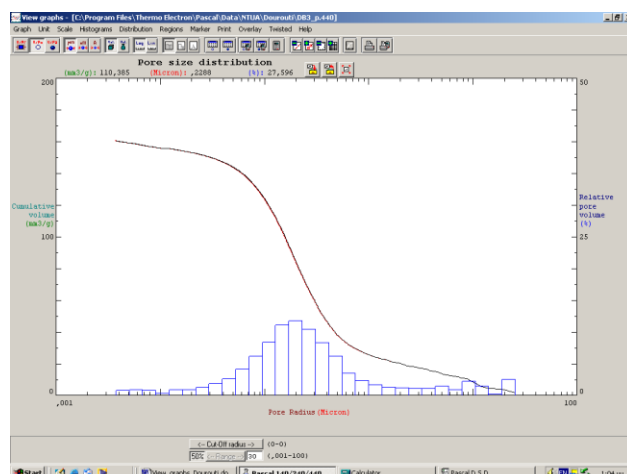
### 4.2.3.4 Επιχρίσματα

Πίνακας 4.2.3.4 Αποτελέσματα Ποροσιμετρίας Υδραργύρου επιχρισμάτων από την Οικία Δουρούτη

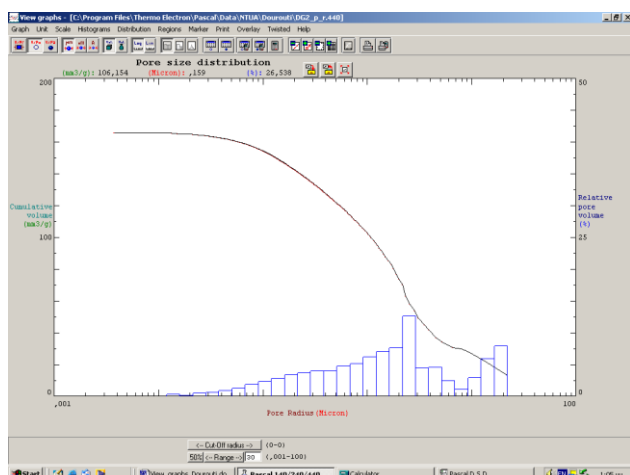
Κωδικός Δείγματος	Ολικός ειδικός όγκος (TCV) (mm <sup>3</sup> /g)	Φαινόμενη Πυκνότητα (dbulk) (g/cm <sup>3</sup> )	Ολικό ανοικτό πορώδες (P) (%)	Μέση ακτίνα πόρων (r <sub>av</sub> ) (μm)	Ειδική επιφάνεια A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> /g)
DB2_p	224,13	1,59	35,64	0,32	4,69
DB3_p	160,60	1,75	28,11	0,21	3,97
DG2_p_r	165,67	1,92	31,81	2,50	0,95
DG2_p_f	181,84	1,89	34,37	1,42	1,22
D11_p_r	145,85	1,94	28,29	1,43	0,98
D11_p_f	173,93	1,87	32,52	2,05	1,38
D12_p_r	135,04	2,12	28,63	1,95	0,85
D21_p	117,36	2,07	24,29	0,26	2,03
D22_p_r	175,48	1,78	31,24	0,93	1,14
D22_p_f	196,22	1,75	34,34	0,80	1,33



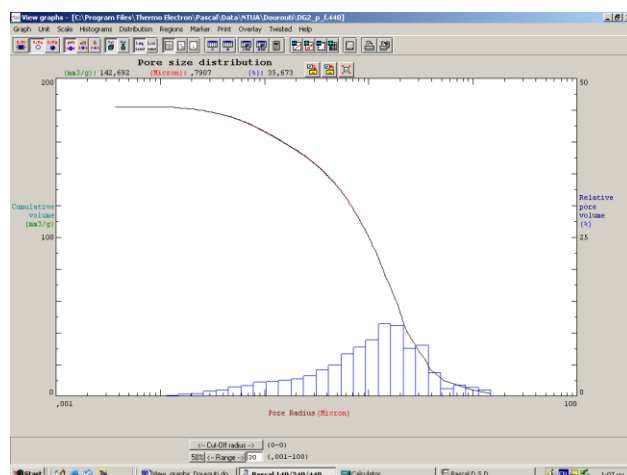
Ιστόγραμμα επιχρίσματος DB2\_p θέσης 2 Υπογείου



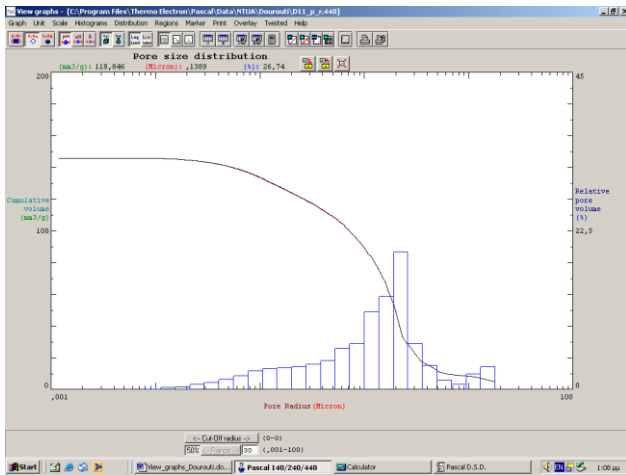
Ιστόγραμμα επιχρίσματος DB3\_p θέσης 3 Υπογείου



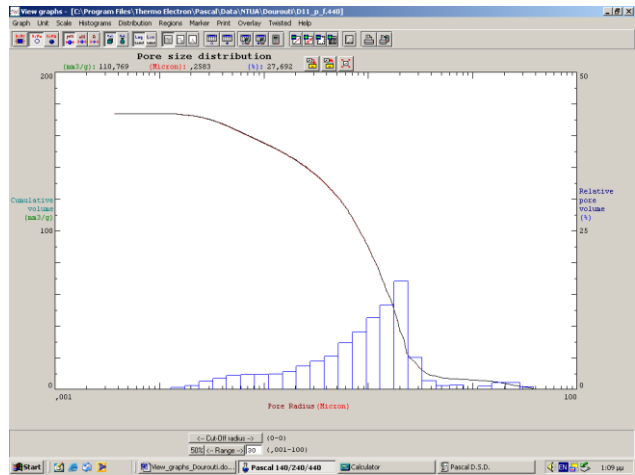
Ιστόγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_r) θέσης 2 Ισογείου



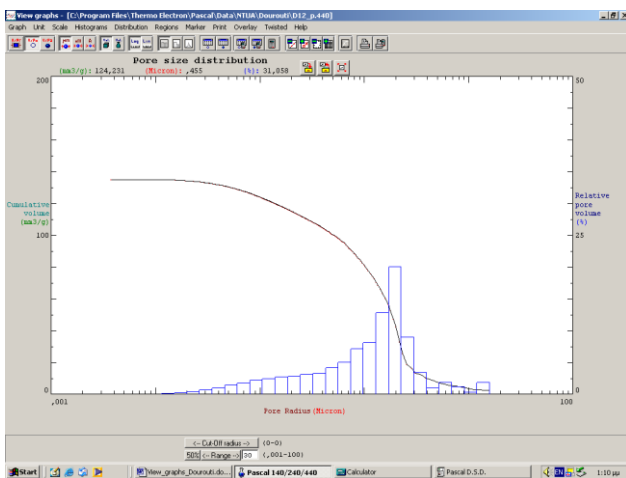
Ιστόγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_f) θέσης 2 Ισογείου



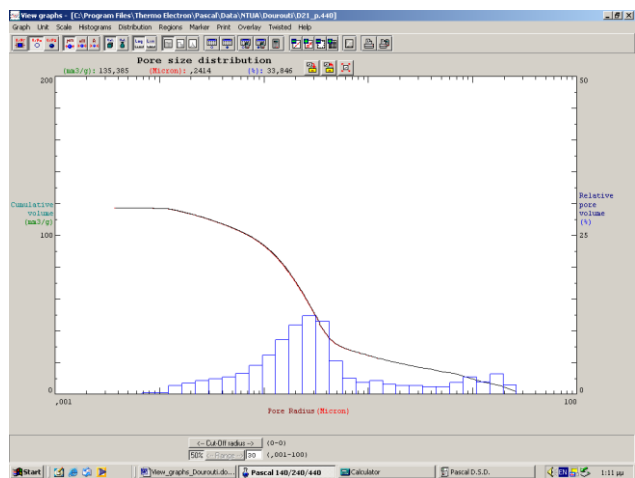
Ιστογράμμο υποστρώματος του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_r) θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



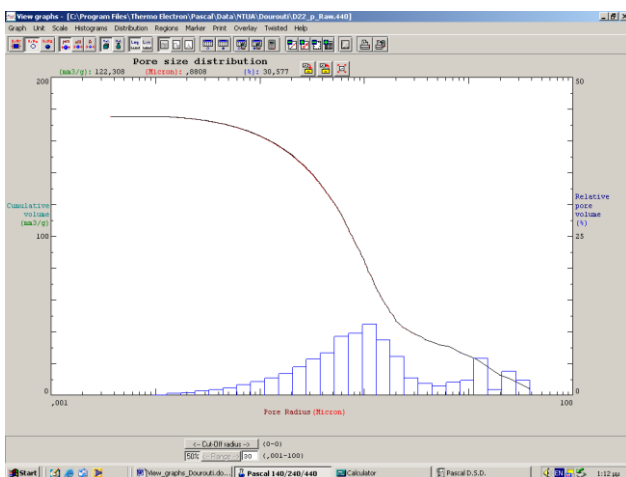
Ιστογράμμο φινιρίσματος του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_f) θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



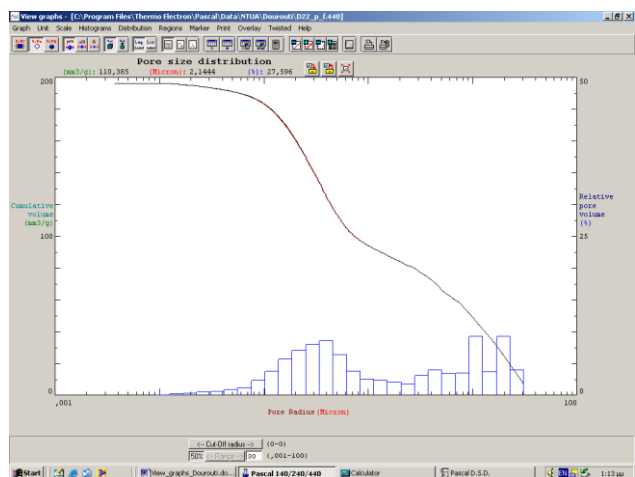
Ιστογράμμο υποστρώματος του επιχρίσματος D12\_p (δείγμα D12\_p\_r) θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο επιχρίσματος D21\_p θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο υποστρώματος του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_r) θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Ιστογράμμο φινιρίσματος του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_f) θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου

Για το επίχρισμα DB<sub>2</sub>\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 35,64%, φαινόμενη πυκνότητα 1,59 g/cm<sup>3</sup> ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων 0,32 μm και γύρω από αυτή.

Για το επίχρισμα DB3\_p από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 28,11%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,75 \text{ g/cm}^3$  ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων  $0,21 \mu\text{m}$  και γύρω από αυτή.

Για το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG2\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του ισόγειου (δηλαδή για το δείγμα DG2\_p\_r) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 31,81%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,92 \text{ g/cm}^3$  ενώ η δικόρυφη θα λέγαμε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $2,50 \mu\text{m}$  και χαμηλότερα από αυτή ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μεγαλύτερες ακτίνες ( $\sim 10 - 12,5 \mu\text{m}$ ).

Για το φινίρισμα του επιχρίσματος DG2\_p (δηλαδή για το δείγμα DG2\_p\_f) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 34,37%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,89 \text{ g/cm}^3$  ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $1,42 \mu\text{m}$  και γύρω από αυτή, αλλά κυρίως χαμηλότερα.

Για το υπόστρωμα του επιχρίσματος D11\_p από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου (δηλαδή για το δείγμα D11\_p\_r) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 28,29%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,94 \text{ g/cm}^3$  ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $1,43 \mu\text{m}$  και χαμηλότερα.

Για το φινίρισμα του επιχρίσματος D11\_p (δηλαδή για το δείγμα D11\_p\_f) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 32,52%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,87 \text{ g/cm}^3$  ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $2,05 \mu\text{m}$  και χαμηλότερα.

Για το υπόστρωμα του επιχρίσματος D12\_p (δείγμα D12\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 28,63%, φαινόμενη πυκνότητα  $2,12 \text{ g/cm}^3$  ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $1,95 \mu\text{m}$  και χαμηλότερα.

Για το επίχρισμα D21\_p από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 24,29%, φαινόμενη πυκνότητα  $2,07 \text{ g/cm}^3$  ενώ η μονοκόρυφη κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $0,26 \mu\text{m}$  και γύρω από αυτήν.

Για το υπόστρωμα του επιχρίσματος D22\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου (δηλαδή για το δείγμα D22\_p\_r) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 31,34%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,78 \text{ g/cm}^3$  ενώ η δικόρυφη θα λέγαμε κατανομή του εμφανίζει συγκέντρωση του υψηλότερου ποσοστού πόρων στην ακτίνα  $0,93 \mu\text{m}$  και γύρω από αυτήν ενώ ένα μικρότερο ποσοστό εντοπίζεται μετατοπισμένο προς μεγαλύτερες ακτίνες ( $\sim 11 - 16 \mu\text{m}$ ).

Για το φινίρισμα του επιχρίσματος D22\_p (δηλαδή για το δείγμα D22\_p\_f) μετράται ολικό ανοιχτό πορώδες στο 34,34%, φαινόμενη πυκνότητα  $1,75 \text{ g/cm}^3$  ενώ σύμφωνα με το διάγραμμα κατανομής παρουσιάζει εύρος κατανομής όγκου κενών με την εμφάνιση του υψηλότερου ποσοστού στη μέση ακτίνα πόρων  $0,80 \mu\text{m}$  και υψηλότερα, αλλά και ένα σημαντικό ποσοστό εμφανίζεται μετατοπισμένο προς τις μικρότερες ακτίνες μεταξύ  $0,1$  και  $1 \mu\text{m}$ .



#### 4.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΒΑΡΥΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ (DTA-TG)

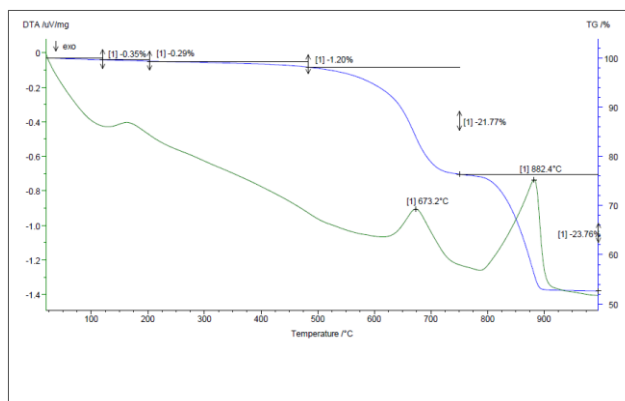
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται και συζητούνται τα αποτελέσματα των θερμικών αναλύσεων σε σχέση με την επί τοις εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα για κάθε δείγμα καθώς και τα αντίστοιχα διαγράμματα βάσει των οποίων προκύπτουν τα αποτελέσματα, ανά κατηγορία υλικού.

Το θερμοκρασιακό διάστημα 25-120 °C αντιστοιχεί στο φυσικά προσροφημένο νερό των συστατικών του δείγματος, ενώ αυτό των 120-200 °C αντιστοιχεί στα κρυσταλλικά νερά ενυδατωμένων αλάτων που περιέχονται στο μίγμα. Οι απώλειες βάρους στο διάστημα των 200-600 °C που προέρχονται από ενδόθερμες κορυφές αποδίδονται στο χημικά δεσμευμένο νερό των ένυδρων ορυκτών αργιλοπυριτικών ενώσεων του εξεταζόμενου υλικού. Τέλος, οι απώλειες βάρους στο θερμοκρασιακό διάστημα 600-1000 °C, αντιστοιχούν στη διάσπαση των ανθρακικών ενώσεων του μίγματος, όπως ο ασβεστίτης (CaCO<sub>3</sub>) και ο δολομίτης (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

##### 4.2.4.1 Λίθοι

Πίνακας 4.2.4.1 Αποτελέσματα DTA-TG λίθου από την Οικία Δουρούτη

Δείγμα	Επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C/%)				Περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών ενώσεων (%)
	< 120 (°C)	120-200 (°C)	200-600 (°C)	> 600 (°C)	
DB3_s1	0,35	0,29	1,20	21,77 + 23,76	95,20



Διάγραμμα λίθου DB3\_s1 θέσης 3 Υπογείου

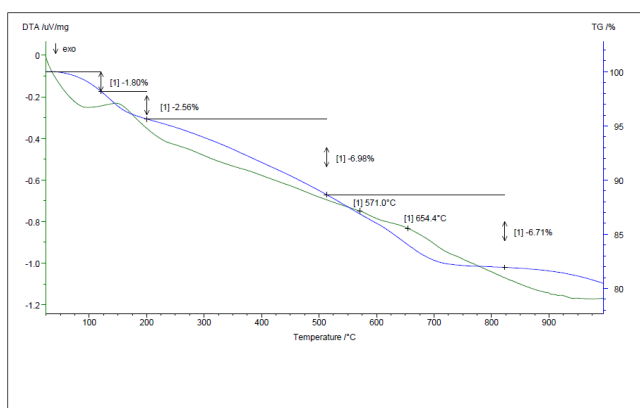
Για το λίθο DB3\_s1 από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου καταγράφονται οι εξής ποσοστιαίες απώλειες μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα: Στα τρία πρώτα θερμοκρασιακά διαστήματα παρουσιάζονται μικρές ποσοστιαίες απώλειες μάζας, ενώ στο διάστημα > 600 °C καταγράφεται συνολική ποσοστιαία απώλεια μάζας 45,53% με την παρουσία δύο ενδόθερμων κορυφών στους 673,2 °C και στους 882,4 °C που αποδίδονται στη διάσπαση του δολομίτη. Ο έντονος διαχωρισμός των κορυφών αυτών, πιθανά να οφείλεται στην παρουσία διαλυτών αλάτων του χλωρίου.

Το συνολικό ποσοστό CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> που υπολογίζεται για το δείγμα είναι 95,20%, γεγονός που επιβεβαιώνει την κυρίαρχη δολομιτική χημική σύσταση του εξεταζόμενου λίθου.

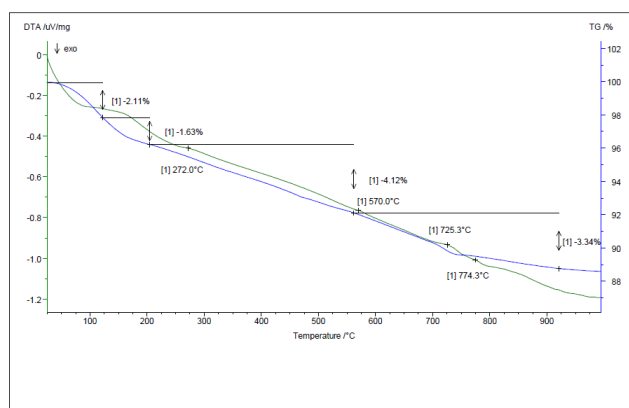
#### 4.2.4.2 Οπτόπλινθοι

Πίνακας 4.2.4.2 Αποτελέσματα DTA-TG οπτόπλινθων από την Οικία Δουρούτη

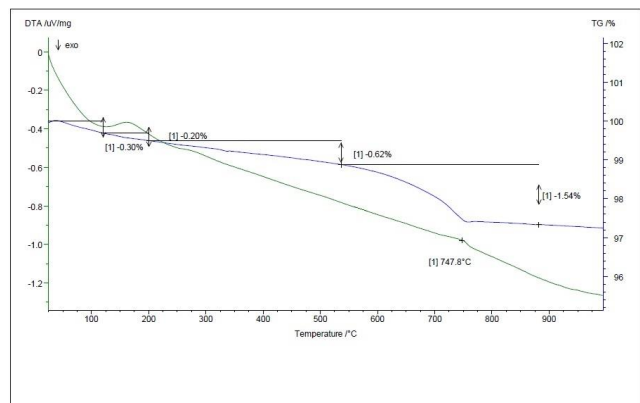
Δείγμα	Επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C/%)				Περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών ενώσεων (%)
	< 120 (°C)	120-200 (°C)	200-600 (°C)	> 600 (°C)	
DB2_cr	1,80	2,56	6,98	6,71	15,25
DB3_cr	2,11	1,63	4,12	3,34	7,58
DG1_cy	0,30	0,20	0,62	1,54	3,50
DG2_cr	1,68	1,57	3,37	15,79	35,84
D11_cr	0,93	1,31	2,97	16,45	37,34
D11_cy	0,42	0,37	1,06	1,97	4,47
D12_cy	0,41	0,29	0,60	0,87	1,97
D21_cy	0,28	0,22	0,57	1,41	3,20



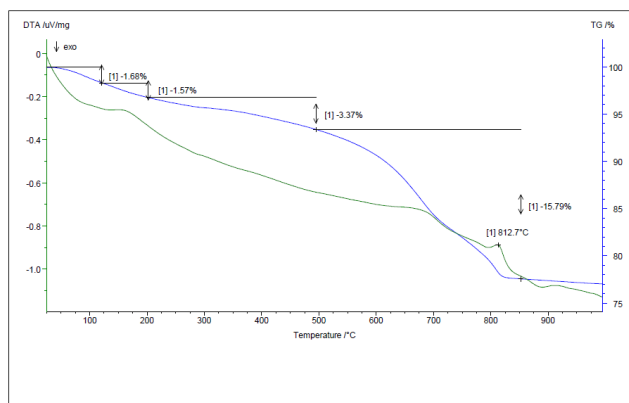
Διάγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB2\_cr  
θέσης 2 Υπογείου



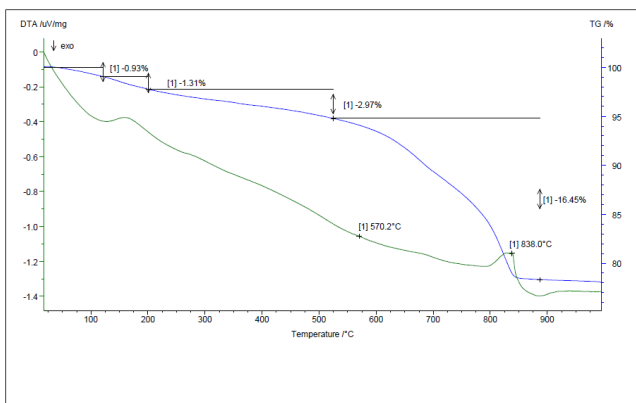
Διάγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DB3\_cr  
θέσης 3 Υπογείου



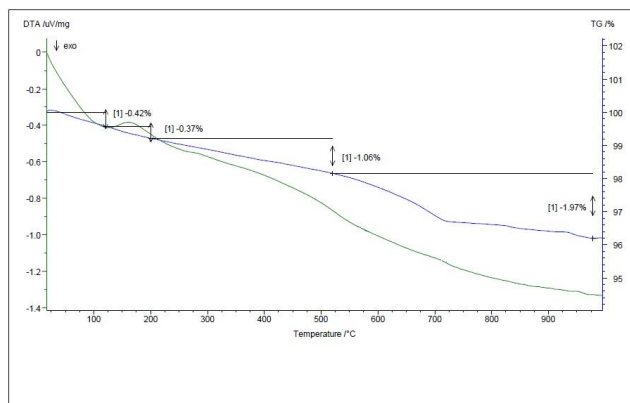
Διάγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου DG1\_cy  
θέσης 1 Ισογείου



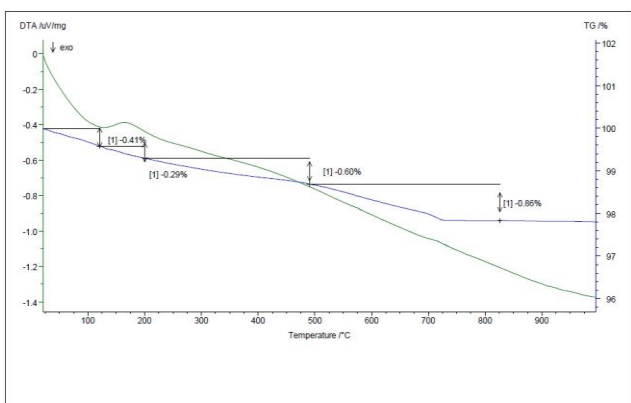
Διάγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου DG2\_cr  
θέσης 2 Ισογείου



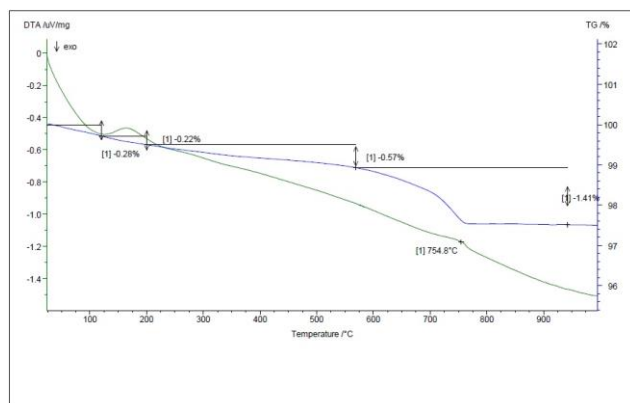
Διάγραμμα κόκκινου οπτόπλινθου D11\_cr  
θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D11\_cy  
θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D12\_cy  
θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα κίτρινου οπτόπλινθου D21\_cy  
θέσης 1 2<sup>ου</sup> ορόφου

Ένας από τους κύριους παράγοντες διάκρισης της παραγένεσης των κεραμικών είναι η περιεκτικότητα τους σε ανθρακικό ασβέστιο. Βάσει αυτού έχουμε τα “πλούσια σε ασβέστιο” κεραμικά που παρουσιάζουν περιεχόμενο ποσοστό CaO > 5% (υπολογιζόμενο από την απώλεια του CO<sub>2</sub> στη θερμοβαρυστική ανάλυση), καθώς και τα “φτωχά σε ασβέστιο” κεραμικά που παρουσιάζουν περιεχόμενο ποσοστό CaO < 5% [37].

Βάσει των παραπάνω και των αποτελεσμάτων της θερμικής ανάλυσης οι εξεταζόμενοι οπτόπλινθοι κατηγοριοποιούνται σε δύο διακριτές ομάδες [37]:

1. Τους οπτόπλινθους με περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> από 7,58 έως 37,34%, που είναι όλοι οι κόκκινοι οπτόπλινθοι (DB2\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου, DB3\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου, DG2\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του ισόγειου και D11\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου).

Οι κόκκινοι οπτόπλινθοι εμφανίζουν υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο γεγονός που σχετίζεται με τις πρώτες ύλες που έχουν χρησιμοποιηθεί (αργιλικές πρώτες ύλες πλούσιες σε ασβέστιο), καθώς και με την τεχνολογία παραγωγής τους, δηλαδή θερμοκρασία όπτησης > 850 °C και οξειδωτικό περιβάλλον όπτησης.

2. Τους οπτόπλινθους με περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> που κυμαίνεται μεταξύ 1,97 και 4,47%. που είναι όλοι οι κίτρινοι οπτόπλινθοι (DG1\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισόγειου, D11\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, D12\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου και D21\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου).

Οι κίτρινοι οπτόπλινθοι εμφανίζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο γεγονός που σχετίζεται με τις πρώτες ύλες που έχουν χρησιμοποιηθεί (αργιλικές πρώτες

ύλες φτωχές σε ασβέστιο), καθώς και με την τεχνολογία παραγωγής τους δηλαδή θερμοκρασία όπτησης ~740 °C και αναγωγικό περιβάλλον όπτησης.

Παράλληλα, οι κόκκινοι οπτόπλινθοι παρουσιάζουν σχετικά υψηλό ποσοστό προσροφημένου νερού.

Πιο συγκεκριμένα, για το δείγμα DB2\_cr καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 1,80%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 2,56%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 6,98% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 6,71% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 15,25%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 571 °C.

Για το δείγμα DB3\_cr καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 2,11%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 1,63%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 4,12% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 3,34% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 7,58%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 570 °C.

Για το δείγμα DG2\_cr καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 1,68%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 1,57%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 3,37% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 15,79% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 35,84%.

Για το δείγμα D11\_cr καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,93%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 1,31%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 2,97% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 16,45% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 37,34%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 570,2 °C.

Τα μεγαλύτερα ποσοστά περιεχόμενου CaCO<sub>3</sub> κατέχουν οι κόκκινοι οπτόπλινθοι του ισογείου και του 1<sup>ου</sup> ορόφου για τους οποίους υπολογίζονται οι τιμές 35,84 και 37,34% αντίστοιχα, ενώ για του δύο κόκκινους οπτόπλινθους του υπογείου υπολογίζονται μειωμένα ποσοστά περιεχόμενου CaCO<sub>3</sub> 15,25 και 7,58% αντίστοιχα.

Για το σύνολο των κόκκινων οπτόπλινθων έχουμε αυξημένη απώλεια μάζας σε όλα τα θερμοκρασιακά διαστήματα σε σύγκριση με τους κίτρινους οπτόπλινθους που αναλύονται στη συνέχεια και η όπτηση αυτών πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία > 850 °C σε οξειδωτικό περιβάλλον [37].

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι κίτρινοι οπτόπλινθοι οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως "φτωχοί σε ασβέστιο" λόγω του παρουσιαζόμενου ποσοστού σε περιεχόμενο CaCO<sub>3</sub> και είναι οι DG1\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισογείου, D11\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου, D12\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου και D21\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου για τους οποίους τα ποσοστά που υπολογίζονται κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 1,97 και 4,47%.

Πιο συγκεκριμένα, για το δείγμα DG1\_cy καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,30%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,20%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,62% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 1,54% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 3,50%.



Για το δείγμα D11\_cy καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,42%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,37%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 1,06% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 1,97% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 4,47%.

Για το δείγμα D12\_cy καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,41%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,29%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,60% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 0,86% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 1,97%.

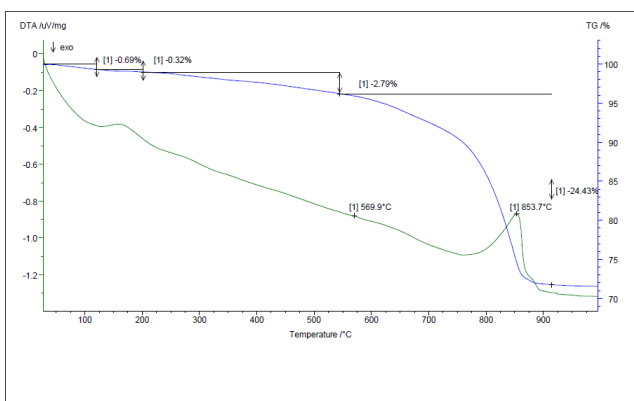
Για το δείγμα D21\_cy καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,28%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,22%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,57% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 1,41% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 3,20%.

Για όλους τους κίτρινους οπτόπλινθους έχουμε μειωμένη απώλεια μάζας σε όλα τα θερμοκρασιακά διαστήματα σε σύγκριση με τους κόκκινους που αναλύθηκαν ανωτέρω και η όπτηση αυτών πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία ~ 740 °C σε αναγωγικό περιβάλλον [37].

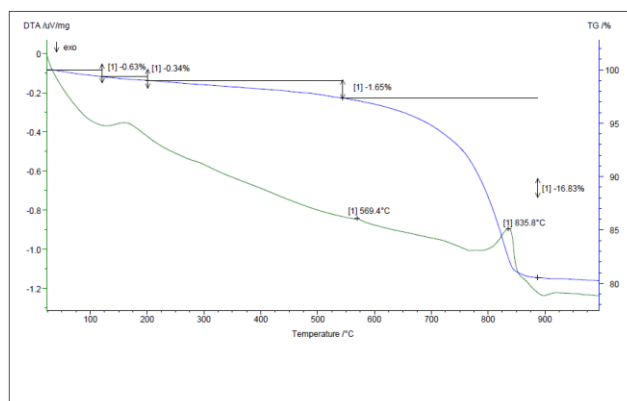
#### 4.2.4.3 Κονιάματα

Πίνακας 4.2.4.3 Αποτελέσματα DTA-TG κονιαμάτων από την Οικία Δουρούτη

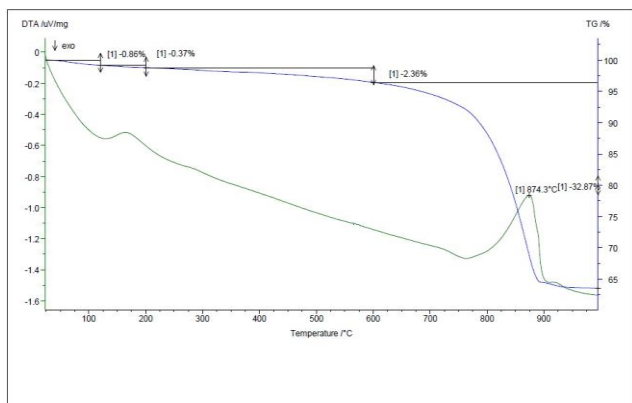
Δείγμα	Επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C/%)				Περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών ενώσεων (%)
	< 120 (°C)	120-200 (°C)	200-600 (°C)	> 600 (°C)	
DB2_m	0,69	0,32	2,79	24,43	55,46
DG1_m	0,63	0,34	1,65	16,83	38,20
D11_m	0,86	0,37	2,36	32,87	74,61
D12_m	0,53	0,39	1,80	40,60	92,16
D22_m	0,46	0,34	1,59	22,69	51,51



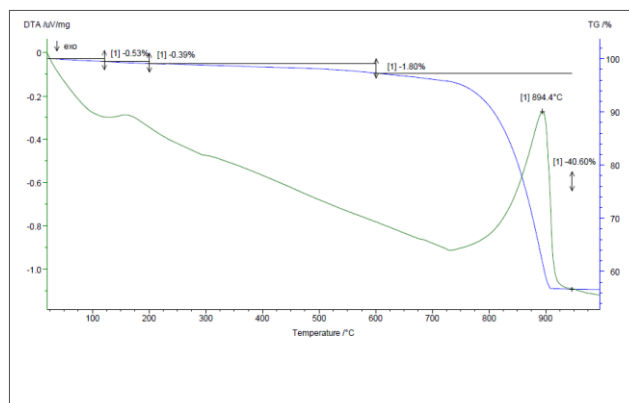
Διάγραμμα κονιάματος DB2\_m θέσης 2 Υπογείου



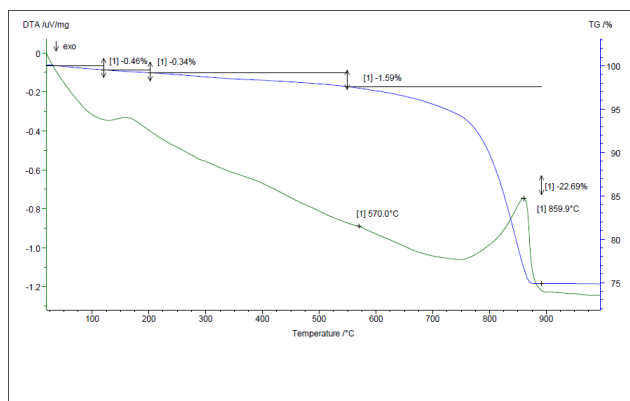
Διάγραμμα κονιάματος DG1\_m θέσης 1 Ισογείου



Διάγραμμα κονιάματος D11\_m θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα κονιάματος D12\_m θέσης 2 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα κονιάματος D22\_m θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου

Αρχικά παρουσιάζονται τα κονιάματα DB2\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου, DG1\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του ισόγειου και D22\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου για τα οποία υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> από 38,20 έως 55,46 %.

Πιο συγκεκριμένα, για το κονίαμα DB2\_m καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,69%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,32%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 2,79% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 24,43% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 55,46%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 569,9 °C.

Για το δείγμα DG1\_m καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,63%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,34%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 1,65% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 16,83% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 38,20%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 569,4 °C.

Για το δείγμα D22\_m καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,46%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,34%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 1,59% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 22,69% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 51,51% ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 570 °C.

Για τα προαναφερθέντα κονιάματα εξάγουμε το συμπέρασμα ότι αποτελούν κονιάματα ασβεστιτικής και αργιλοπυριτικής σύστασης.

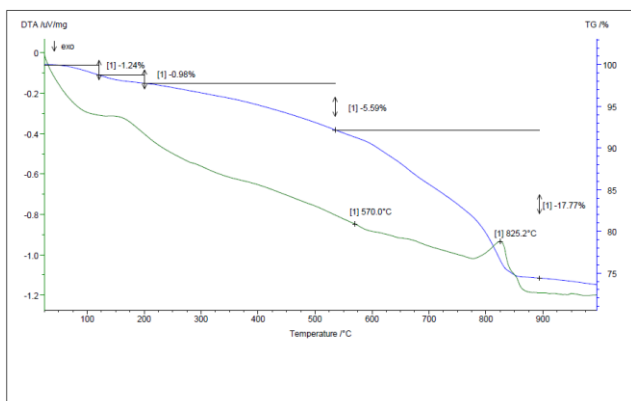
Στη συνέχεια παρουσιάζεται το κονίαμα D11\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου για το οποίο καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,86%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,37%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 2,36% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 32,87% βάσει του οποίου υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 74,61%, δηλαδή υψηλότερο των προαναφερθέντων.

Τέλος, έχουμε το κονίαμα D12\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου για το οποίο υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> στο 92,16%, βάσει της ποσοστιαίας απώλειας μάζας που παρουσιάζει στο θερμοκρασιακό διάστημα > 600 °C 40,60%, και άρα είναι κατ' εξοχήν ασβεστιτικής σύστασης. Στο διάστημα < 120 °C παρουσιάζει ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,53%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,39% και στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 1,80%.

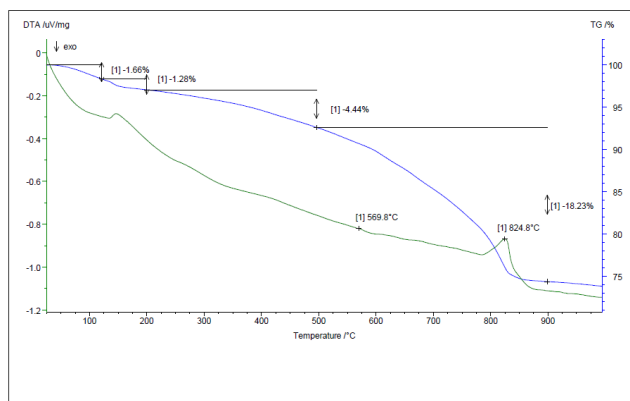
#### 4.2.4.4 Επιχρίσματα

Πίνακας 4.2.4.4 Αποτελέσματα DTA-TG επιχρισμάτων από την Οικία Δουρούτη

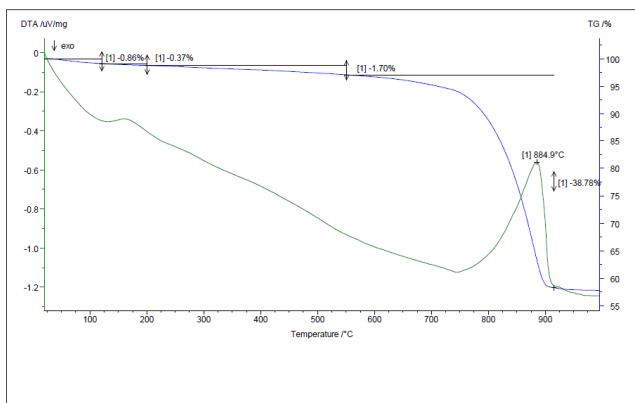
Δείγμα	Επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C/%)				Περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών ενώσεων (%)
	< 120 (°C)	120-200 (°C)	200-600 (°C)	> 600 (°C)	
DB2_p	1,24	0,98	5,59	17,77	40,34
DB3_p	1,66	1,28	4,44	18,23	41,38
DG2_p_r	0,86	0,37	1,70	38,78	88,03
DG2_p_f	0,46	0,21	0,82	42,26	95,93
D11_p_r	0,35	0,25	0,99	41,92	95,16
D11_p_f	0,39	0,36	1,16	42,20	95,79
D22_p_r	0,35	0,25	0,99	41,92	95,16
D22_p_f	0,39	0,33	1,52	21,42	48,62



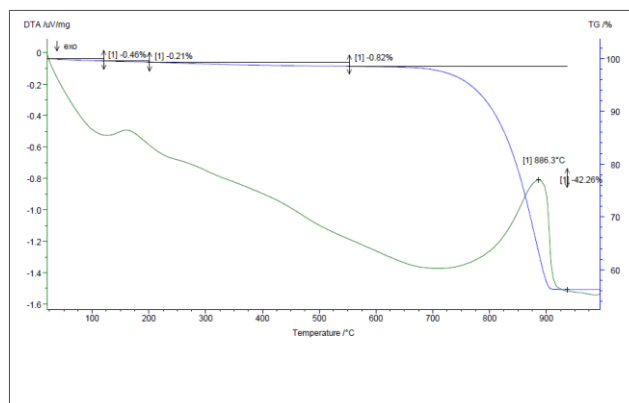
Διάγραμμα επιχρίσματος DB2\_p θέσης 2 Υπογείου



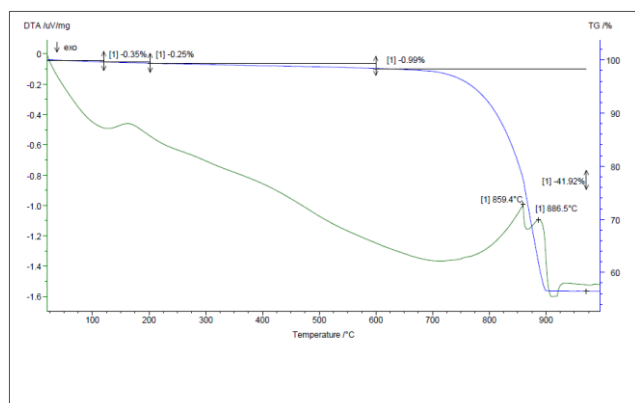
Διάγραμμα επιχρίσματος DB3\_p θέσης 3 Υπογείου



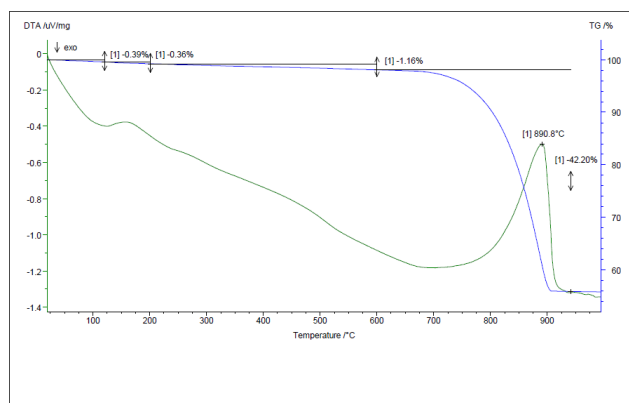
Διάγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_r) θέσης 2 Ισογείου



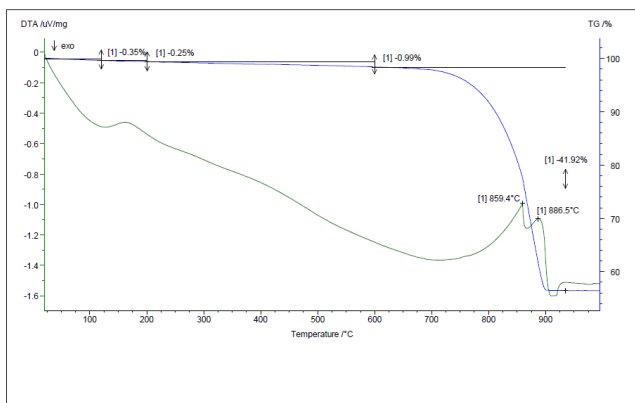
Διάγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_f) θέσης 2 Υπογείου



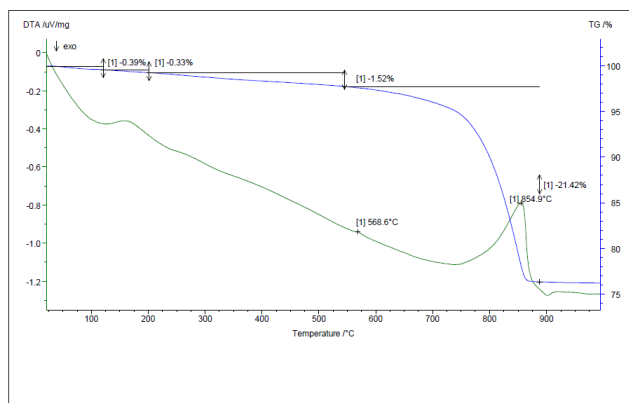
Διάγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_r) θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_f) θέσης 1 1<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα υποστρώματος του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_r) θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου



Διάγραμμα φινιρίσματος του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_f) θέσης 2 2<sup>ου</sup> ορόφου

Αρχικά, παρουσιάζονται τα επιχρίσματα DB2\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του υπογείου και DB3\_p από τη θέση δειγματοληψίας 3 του υπογείου και το φινίρισμα του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_f) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου για τα οποία υπολογίζεται ποσοστό περιεχόμενου CaCO<sub>3</sub> 40,34%, 41,38% και 48,62% αντίστοιχα, βάσει της ποσοστιαίας απώλειας μάζας που παρουσιάζουν στο θερμοκρασιακό διάστημα > 600 °C.

Συγκεκριμένα, για το επίχρισμα DB2\_p καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 1,24%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,98%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 5,59% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 17,77%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 570 °C.

Για το επίχρισμα DB3\_p καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 1,66%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 1,28%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 4,44% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 18,23%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 569,8 °C.

Για το φινίρισμα του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_f) καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,39%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,33%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 1,52% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 21,42%, ενώ παρουσιάζει την ενδόθερμη κορυφή αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β στους 568,6°C.

Για τα προαναφερθέντα δείγματα επιχρισμάτων εξάγουμε το συμπέρασμα ότι αποτελούν επιχρίσματα ασβεστιτικής και αργιλοπυριτικής σύστασης, συμπέρασμα που υπαγορεύεται και από τη χαμηλή περιεκτικότητά τους σε CaCO<sub>3</sub>, αλλά και από την υψηλή ποσοστιαία απώλεια μάζας που παρουσιάζουν στο θερμοκρασιακό διάστημα 200-600 °C.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG2\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του ισογείου (δηλαδή το δείγμα DG2\_p\_f) για το οποίο υπολογίζεται περιεχόμενο ποσοστό CaCO<sub>3</sub> 88,03%, σημαντικό ποσοστό, βάσει της απώλειας μάζας που παρουσιάζει στο θερμοκρασιακό διάστημα > 600 °C. Η ποσοστιαία απώλεια μάζας που παρουσιάζει στα θερμοκρασιακά διαστήματα < 120 °C, 120-200 °C, 200-600 °C και > 600 °C είναι 0,86%, 0,37%, 1,70% και 38,78% αντίστοιχα.

Τέλος, παρουσιάζονται το φινίρισμα του επιχρίσματος DG2\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του ισογείου (δηλαδή το δείγμα DG2\_p\_f), το υπόστρωμα και το φινίρισμα του επιχρίσματος D11\_p από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου (δηλαδή τα δείγματα D11\_p\_r και D11\_p\_f αντίστοιχα) και το υπόστρωμα του επιχρίσματος D22\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου (δηλαδή το δείγμα D22\_p\_r) για τα οποία υπολογίζεται ποσοστό περιεχόμενου CaCO<sub>3</sub> ~95%.

Παράλληλα, στο θερμοκρασιακό διάστημα 200-600 °C αυτά παρουσιάζουν χαμηλό ποσοστό απώλειας μάζας ~1%, χαμηλότερο των υπόλοιπων επιχρισμάτων, ενώ επίσης χαμηλή ποσοστιαία απώλεια μάζας παρουσιάζουν και στα διαστήματα < 120 °C και 120-200 °C.

Πιο συγκεκριμένα, για το δείγμα DG2\_p\_f καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120°C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,46%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,21%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,82% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 42,26%.

Για το δείγμα D11\_p\_r καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,35%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,25%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,99% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 41,92%.

Για το δείγμα D11\_p\_f καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,39%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,36%, στο διάστημα 200-600°C απώλεια 1,16% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 42,20%.

Για το δείγμα D22\_p\_r καταγράφεται στο θερμοκρασιακό διάστημα < 120 °C ποσοστιαία απώλεια μάζας 0,35%, στο διάστημα 120-200 °C απώλεια μάζας 0,25%, στο διάστημα 200-600 °C απώλεια 0,99% και στο διάστημα > 600 °C απώλεια 41,92%. Για τα προαναφερθέντα δείγματα εξάγεται το συμπέρασμα ότι αποτελούνται κατ' εξοχήν από ασβεστίτη.



#### 4.2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΟΜΩΝ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής των υποστρωμάτων δύο επιχρισμάτων παρουσιάζονται στο σημείο αυτό.

Τα δείγματα στα οποία πραγματοποιήθηκε κοκκομετρική κατανομή με κοσκίνιση στο εργαστήριο είναι τα εξής:

- Το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_r) της θέσης δειγματοληψίας 2 του Ισογείου
- Το υπόστρωμα του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_r) της θέσης δειγματοληψίας 1 του 1ου ορόφου

##### Προετοιμασία δειγμάτων και διαδικασία κοκκομετρίας

Για την κοσκίνιση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκαν περίπου 55 g από το καθένα, αφού πρώτα τοποθετήθηκαν σε πυριαντήριο, στους 105 °C για 24 ώρες. Στη συνέχεια, τα δείγματα ζυγίστηκαν σε ζυγό με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων και θρυμματίστηκαν σε μικρότερα κομμάτια με τρόπο τέτοιο ώστε να μην προκληθεί κονιορτοποίηση των αδρανών. Με την βοήθεια κατάλληλου πινέλου για την απομάκρυνση της κονιάς από τα αδρανή, αλλά και για τον παράλληλο καθαρισμό των κοσκίνων από την κονία η οποία παρέμενε εκεί μετά από κάθε ανακίνηση, πραγματοποιήθηκε η κοκκομετρία των επιχρισμάτων. Θεωρήθηκε ότι τα αδρανή τα οποία συγκρατούνται στα όρια των οπών του κάθε κόσκινου ανήκουν στα συγκρατούμενα αδρανή αυτής της διαμέτρου. Για την πλήρη αποκόλληση της συνδετικής ύλης από τα αδρανή χρησιμοποιήθηκε στερεομικροσκόπιο για την οπτική εξέταση των αδρανών και την εξέλιξη του διαχωρισμού τους από αυτήν.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ISO 565 ανοίγματος οπών 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 63μm. Η σκόνη των δειγμάτων που διήρθε και από το μικρότερο κόσκινο διαμέτρου οπών 63μm αντιστοιχεί στη μάζα της κονιάς που περιέχεται σε καθένα από τα δείγματα επιχρισμάτων.

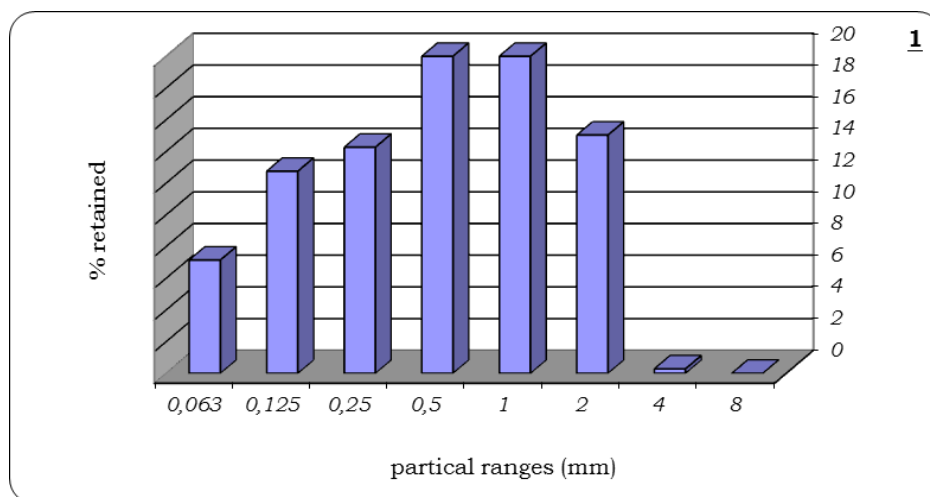
**Αποτελέσματα κοκκομετρίας δείγματος DG2\_p\_r:**

Αρχικά, επιβεβαιώθηκε η εξαιρετική συνοχή μεταξύ των αδρανών και της συνδετικής ύλης, όπως προαναφέρθηκε στην ενότητα της δειγματοληψίας. Η αφαίρεση της συνδετικής ύλης από τα αδρανή ήταν ιδιαίτερα επίπονη διότι ήταν πολύ δύσκολος ο διαχωρισμός τους. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής του DG2\_p\_r.

*Πίνακας 4.2.5.1 Αποτελέσματα κοκκομετρικής κατανομής DG2\_p\_r*

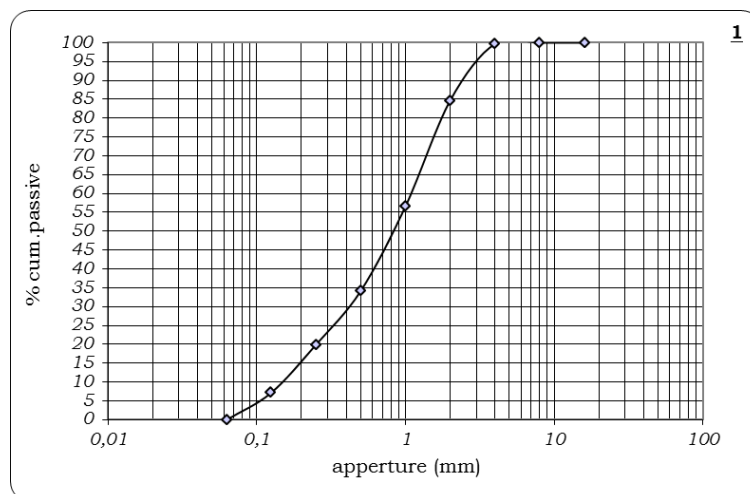
Αρχική ξηρή μάζα m = 54,60 g		Απώλεια μάζας m = 0,36 g Ποσοστιαία απώλεια μάζας = 0,66%		
διάμετρος κόσκινου (mm)	συγκρατούμενη μάζα (g)	% συγκρατούμενη μάζα (g)	% αθροιστικά συγκρατούμενη μάζα	% αθροιστικά διερχόμενη μάζα
8	0	0	0	100,00
4	0,11	0,20	0,20	99,80
2	5,87	10,75	10,95	89,05
1	10,98	20,11	31,06	68,94
0,5	8,76	16,04	47,10	52,90
0,25	5,57	10,20	57,30	42,70
0,125	4,98	9,12	66,42	33,58
0,063	2,79	5,11	71,53	28,47
< 0,063	15,54	28,47	100,00	0

Η αναλογία συνδετικής ύλης – αδρανών είναι 1:2 με τάση προς το 1:3 και το ιστόγραμμα κατανομής των αδρανών του δείγματος χωρίς την κονία, όπως και η καμπύλη κατανομής του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε κόσκινο σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα παρουσιάζονται κατωτέρω.



Κατανομή αδρανών του DG2\_p\_r





Καμπύλη κοκκομετρίας του DG2\_p\_r

Η καμπύλη κατανομής του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε κόσκινο είναι σιγμοειδής, γεγονός που σημαίνει ότι έχει γίνει σωστή επιλογή της κοκκομετρίας των αδρανών, μειώνοντας τα κενά στον όγκο της μάζας. Επίσης στο ιστόγραμμα παρουσιάζεται εύρος κατανομής μεγέθους αδρανών. Τα περισσότερα αδρανή έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 2 έως 0,25 mm, σχετικά μεγάλα ενώ είναι αρκετά και τα μικρότερα αδρανή. Μεγαλύτερο των 4 mm βρέθηκε ένας κόκκος αδρανούς. Η συνδυαστική ύλη καταλαμβάνει περίπου το 28,47% της μάζας του υποστρώματος.

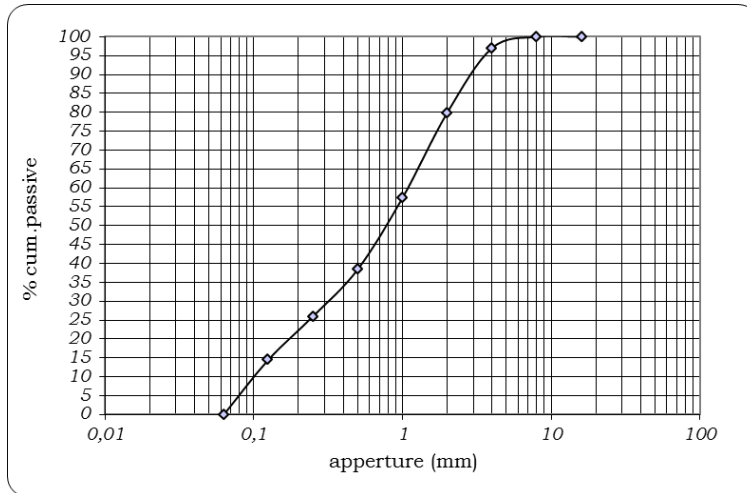
**Αποτελέσματα κοκκομετρίας δείγματος D11\_p\_r:**

Αρχικά, παρατηρήθηκε καλή συνοχή μεταξύ των αδρανών και της συνδυαστικής ύλης. Στον κατωτέρω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής κατανομής του D11\_p\_r.

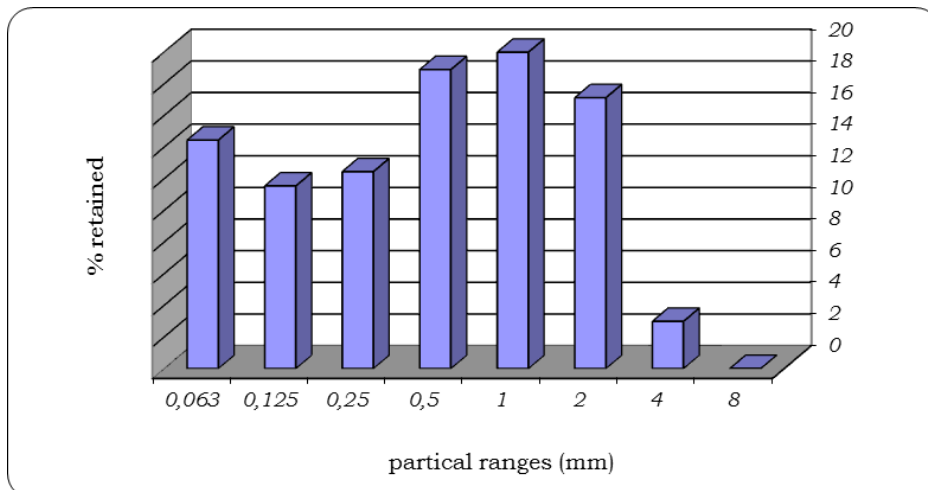
Πίνακας 4.2.5.2 Αποτελέσματα κοκκομετρικής κατανομής D11\_p\_r

Αρχική ξηρή μάζα m = 53,80 g		Απώλεια μάζας m = 0,27 g Ποσοστιαία απώλεια μάζας = 0,50%		
διάμετρος κόσκινου (mm)	συγκρατούμενη μάζα (g)	% συγκρατούμενη μάζα (g)	% αθροιστικά συγκρατούμενη μάζα	% αθροιστικά διερχόμενη μάζα
8	0	0	0	100
4	1,09	2,03	2,03	97,97
2	6,26	11,64	13,67	86,33
1	8,25	15,33	29,00	71,00
0,5	6,91	12,84	41,84	58,16
0,25	4,55	8,46	50,30	49,70
0,125	4,22	7,84	58,14	41,86
0,063	5,28	9,81	67,95	32,05
< 0,063	17,24	32,05	100	0

Η αναλογία συνδετικής ύλης και αδρανών είναι 1:2 και το ιστόγραμμα κατανομής των αδρανών του δείγματος χωρίς την κονία, όπως και η καμπύλη κατανομής του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε κόσκινο σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα παρουσιάζονται κατωτέρω.



Καμπύλη της % συνολικής μάζας που διέρχεται από τα κόσκινα διαφορετικών διαμέτρων του D11\_p\_r



Ιστόγραμμα κατανομής αδρανών του D11\_p\_r

Η καμπύλη κατανομής του ποσοστού της διερχόμενης μάζας από κάθε κόσκινο είναι σιγμοειδής, γεγονός που σημαίνει ότι έχει γίνει σωστή επιλογή της κοκομετρίας των αδρανών, μειώνοντας τα κενά στον όγκο της μάζας. Επίσης στο ιστόγραμμα παρουσιάζεται εύρος κατανομής μεγέθους αδρανών. Τα περισσότερα αδρανή έχουν μέγεθος που κυμαίνεται από 2 έως 0,5 mm, σχετικά μεγάλα ενώ είναι αρκετά και τα μικρότερα αδρανή, με σημαντικό παρουσιαζόμενο ποσοστό μάζας αδρανών μικρότερων των 0,125 mm, ενώ βρέθηκε και μικρό ποσοστό μάζας αδρανών μεγαλύτερων των 4 mm. Η συνδετική ύλη καταλαμβάνει περίπου το 32,05% της μάζας του υποστρώματος.

#### 4.2.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΟΛΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ (SST%) & SPOT TESTS

Για τον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων εφαρμόστηκε το ιταλικό πρότυπο "Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83", κατά το οποίο λαμβάνει χώρα ζύγιση  $100 \pm 5$  mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή των διαλυμάτων μετρείται η αγωγιμότητά τους, η οποία εκφράζεται σε  $\mu\text{Siemens}$ . Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{SST}\% = (C \times 6,88) / m$$

Όπου:

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε  $\mu\text{S}$

m: το βάρος του προς εξέταση δείγματος σε mg

Η θερμοκρασία όλων των διαλυμάτων και του τυφλού ήταν  $20 - 21$  °C κατά τη μέτρηση της αγωγιμότητάς τους.

Συμπληρωματικά του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων (Cl) και θειικών αλάτων ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), δεδομένης της καθοριστικής συμβολής τους στη φθορά των υλικών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα υδατικά διαλύματα βάσει των οποίων έγινε ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας.

Για τον προσδιορισμό των χλωριούχων αλάτων κάθε δείγματος τοποθετήθηκε μέρος του υδατικού του διαλύματος εντός δοκιμαστικού σωλήνα και προστέθηκε μικρή ποσότητα (λίγες σταγόνες) νιτρικού αργύρου ( $\text{AgNO}_3$ ) 0,1 N. Παρουσία χλωριόντων σχηματίζεται χλωριούχος άργυρος (AgCl) που δημιουργεί χαρακτηριστικό λευκό θόλωμα. Η ποσότητα των περιεχομένων χλωριόντων καθορίζει την ένταση του παρατηρούμενου θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των θειικών ιόντων προστέθηκε, βάσει της ίδιας διαδικασίας, μικρή ποσότητα χλωριούχου βαρίου ( $\text{BaCl}_2$ ) 0,1 M. Παρουσία θειικών ιόντων παράγεται θειικό βάριο ( $\text{BaSO}_4$ ), που και αυτό προκαλεί λευκό θόλωμα. Η ποσοτική παρουσία των θειικών ιόντων καθορίζει την ένταση του θολώματος.

Ποιοτικά, σημειώνονται τα εξής αποτελέσματα ως προς την παρουσία των αλάτων:

tr	Ίχνη
+	Πολύ μικρή
++	Μικρή
+++	Μέτρια
++++	Υψηλή
+++++	Πολύ υψηλή

Ακολουθούν τα αποτελέσματα:

Κωδικός Δείγματος	SST%	Θειικά (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Χλωριόντα (Cl)
<b>ΛΙΘΟΙ</b>			
DB3_s1	3,80	+	+
DB3_s2	4,77	+	tr
DG1_s1	0,71	+	tr
D12_sb	3,65	tr	tr
D12_sw	2,89	+	tr
<b>ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ</b>			
DB2_cr	10,33	+	++++
DB3_cr	6,51	+	++
DG1_cy	2,62	+	tr
DG2_cr	5,08	+	+
D11_cr	3,26	+	tr
D11_cy	3,25	+	+
D12_cy	2,66	+	tr
D21_cy	3,48	+	tr
<b>ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ</b>			
DB2_m	5,63	+	tr
DG1_m	4,31	+	+
D11_m	3,62	+	tr
D12_m	3,26	+	tr
D22_m	4,29	tr	tr
<b>ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ</b>			
DB2_p	8,37	+	++++
DB3_p	9,36	++	+++
DG2_p_r	4,05	+	tr
D11_p_r	2,68	+	+
D12_p_r	2,99	+	tr
D21_p	4,77	+	tr

Το όριο των περιεχόμενων διαλυτών αλάτων, πάνω από το οποίο θεωρείται πως συμβάλλουν στη διαδικασία φθοράς των δομικών υλικών είναι περίπου 3%.

#### ΛΙΘΟΙ:

Στους λίθους του Υπογείου (DB3\_s1 και DB3\_s2 από τη θέση δειγματοληψίας 3) μετρείται ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων 3,80% και 4,77% αντίστοιχα, ενώ ο λίθος DB3\_s2 ελήφθη από σημείο χαμηλότερου ύψους από το λίθο DB3\_s1. Παράλληλα, δεν παρουσιάζουν σημαντική διαφορά στην ανίχνευση θειικών και χλωριούχων. Έτσι, πιθανά η διαφορά τους στο ολικό ποσοστό διαλυτών αλάτων που εμφανίζουν μπορεί να αποδοθεί στην παρουσία νιτρικών αλάτων στο λίθο DB3\_s2.

Ο λίθος DG1\_s1 από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων <1%.

Ο λίθος D12\_sb από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζει ελαφρώς υψηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων, στο 3,65%, ενώ ο λίθος D12\_sw από τη ίδια θέση παρουσιάζει ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων < 3%.

#### ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ:

Οι οπτόπλινθοι περιέχουν μικρή ποσότητα διαλυτών αλάτων εγγενώς.

Για τους οπτόπλινθους του Υπογείου (DB2\_cr και DB3\_cr από τις θέσεις δειγματοληψίας 2 και 3 αντίστοιχα) μετρείται υψηλό ποσοστό διαλυτών αλάτων, 10,33% και 6,51%, ενώ έχουμε και την έντονη παρουσία χλωριόντων (εντονότερη για τον DB2\_cr).

Ο κίτρινος οπτόπλινθος DG1\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου παρουσιάζει χαμηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων < 3%.

Ο κόκκινος οπτόπλινθος DG2\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Ισογείου παρουσιάζει υψηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων στο 5,08%, ενώ δεν ανιχνεύεται σημαντική παρουσία χλωριούχων αλλά ούτε και θειικών αλάτων, γεγονός που μπορεί να σημαίνει την παρουσία νιτρικών αλάτων στο δείγμα.

Ο κόκκινος οπτόπλινθος D11\_cr από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζει ελαφρώς υψηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων (3,26%).

Ο κίτρινος οπτόπλινθος D11\_cy από την ίδια θέση δειγματοληψίας παρουσιάζει επίσης ελαφρώς υψηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων (3,25%).

Για τον οπτόπλινθο D12\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου (αντίστοιχη της θέσης 1, εσωτερικά) μετρείται χαμηλότερο ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων (< 3% και συγκεκριμένα 2,66%) συγκριτικά με τον κίτρινο οπτόπλινθο της θέσης 1.

Ο κίτρινος οπτόπλινθος D21\_cy από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου (μπαλκόνι βόρειας όψης) παρουσιάζει σχετικά υψηλό ποσοστό περιεχόμενων διαλυτών αλάτων (3,48%).

#### ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ:

Στα κονιάματα παρουσιάζονται σχετικά αυξημένες τιμές περιεχόμενων διαλυτών αλάτων, χωρίς να ανιχνεύεται αντίστοιχα σημαντική παρουσία θειικών ή χλωριούχων αλάτων.

Πιο συγκεκριμένα, το κονίαμα DB2\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Υπογείου παρουσιάζει υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 5,63%.

Το κονίαμα DG1\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου παρουσιάζει υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 4,31%.

Το κονίαμα D11\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζει σχετικά υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 3,62%, ενώ το κονίαμα D12\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου (αντίστοιχη θέση, εσωτερικά) παρουσιάζει οριακά υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 3,26%, λίγο χαμηλότερο από το αντίστοιχο κονίαμα της θέσης 1.

Το κονίαμα D22\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου (τοιχοποιία σε επαφή με την Πινακοθήκη) παρουσιάζει υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 4,29%.

#### ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ:

Στα δύο δείγματα επιχρισμάτων του υπογείου DB2\_p και DB3\_p (θέσεις 2 και 3 αντίστοιχα) μετρώνται τα ποσοστά 8,37% και 9,36% αντίστοιχα που είναι αρκετά υψηλά, όπως και για τους οπτόπλινθους των ίδιων θέσεων αλλά και για το κονίαμα του Υπογείου, ενώ και στα δύο ανιχνεύονται χλωριόντα, στο DB3\_p και θειικά.

Το δείγμα DG2\_p\_r από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Ισογείου παρουσιάζει σχετικά υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων 4,05%.

Το δείγμα D11\_p\_r από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζει σχετικά χαμηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων < 3%, ενώ το δείγμα D12\_p\_r από την αντίστοιχη θέση, εσωτερικά παρουσιάζει οριακό χαμηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων (2,99%).

Τέλος, για το δείγμα D21\_p από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 2<sup>ου</sup> ορόφου (μπαλκόνι βόρειας όψης) μετρείται σχετικά υψηλό περιεχόμενο ποσοστό αλάτων (4,77%).

Συμπερασματικά, η εντονότερη παρουσία διαλυτών αλάτων εντοπίζεται στο Υπόγειο, χωρίς να αποκλείεται σχετικά έντονη παρουσία αλάτων και σε άλλες θέσεις του κτηρίου.

Όλα τα δομικά υλικά της θέσης δειγματοληψίας 2 του υπογείου παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων και συμπερασματικά, η θέση δειγματοληψίας 2 “πάσχει” από το πρόβλημα της έντονης παρουσίας διαλυτών αλάτων. Μεταξύ αυτών των δειγμάτων, το μεγαλύτερο ποσοστό παρουσιάζει ο οπτόπλινθος, ενώ το επίχρισμα παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό από το κονίαμα.

Όλα τα δομικά υλικά της θέσης δειγματοληψίας 3 του υπογείου παρουσιάζουν αυξημένα ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων, εκτός από το λίθο DB3\_s1 του οποίου το ποσοστό καταγράφεται στο 3,80%, σχετικά υψηλό, ενώ για το επίχρισμα DB3\_p έχουμε ποσοστό 9,36%.

Σημειώνεται ότι οι δύο θέσεις βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και δίπλα από το φεγγίτη που “βλέπει” στον κήπο.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### 5.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ ΟΙΚΙΑΣ ΔΟΥΡΟΥΤΗ ΣΤΟ ΜΕΤΑΞΟΥΡΓΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

Στα ληφθέντα δείγματα από το ιστορικό κτήριο της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω τεχνικές:

- Μικροσκοπία οπτικών ινών (FOM), μη καταστρεπτική τεχνική, για τη μελέτη των κύριων μορφολογικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων υλικών,
- Οπτική Μικροσκοπία (OM), για την πετρογραφική εξέταση των λιθοσωμάτων,
- Περίθλαση Ακτινών Χ (XRD), για την ορυκτολογική εξέταση των διαφορετικών δομικών υλικών,
- Ποροσιμετρία υδραργύρου (MIP), για τη μελέτη της μικροδομής των διαφορετικών δομικών υλικών,
- Διαφορική Θερμική & Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA-TG), για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών των διαφορετικών δομικών υλικών,
- Κοκκομετρική κατανομή, για την εύρεση της αναλογίας των αδρανών και της κόνιας στα κονιάματα επίχρισης,
- Προσδιορισμός ολικών υδατοδιαλυτών αλάτων (SST%), βάσει του “Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83”, για τον προσδιορισμό της % περιεκτικότητας των εξεταζόμενων δομικών υλικών σε διαλυτά άλατα, καθώς και ποιοτικός-ημιποσοτικός προσδιορισμός (spot test) των ιόντων  $(SO_4)^{2-}$  και  $Cl^-$  που περιέχονται στα αντίστοιχα εξεταζόμενα δομικά υλικά.

Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκαν επί τόπου στην κλίμακα του κτιρίου οι μη καταστρεπτικές τεχνικές:

- Θερμογραφίας Υπερύθρου (IR-Th, Therma CAM B200, 7,5-13μm), με στόχο τον προσδιορισμό ασυνεχειών, ατελειών, κενών και περιοχών με παρουσία υγρασίας της τοιχοποιίας του ιστορικού κτιρίου, καθώς και του
- Γεωραντάρ (MALÅ ProEX με κεραία 1,6 GHz), για τη μελέτη της μορφολογίας/γεωμετρίας των τοιχοποιιών καθώς και της παρουσίας κενών και υγρασίας σε αυτές.

Τα αποτελέσματα των τεχνικών αυτών οδήγησαν στο χαρακτηρισμό των δομικών υλικών που απαντώνται στο ιστορικό κτήριο και στη διάγνωση της φθοράς.

Τα τελικά συμπεράσματα παρουσιάζονται ανά είδος υλικού.

## ΛΙΘΟΙ

Αναλυτικά για το κάθε δείγμα λίθου που ελήφθη εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Ο λίθος DB3\_s1 του υπογείου παρουσιάζεται ως πορώδης δολομιτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος (βιομικρίτης) με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα 3,80% (δεδομένου ότι το όριο των ολικών διαλυτών αλάτων, πάνω από το οποίο θεωρείται πως αυτά συμβάλλουν στη διαδικασία φθοράς των δομικών υλικών, είναι περίπου 3%), πορώδες ~24%, φαινόμενη πυκνότητα 1,90 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 2,01 μm.

Ο λίθος DB3\_s2 του υπογείου παρουσιάζεται ως πορώδης απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος (ωμομικρίτης) με χαλαζιακές προσμίξεις, με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (4,77%), πορώδες ~29%, φαινόμενη πυκνότητα 1,83 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 11,03 μm.

Ο λίθος DG1\_s1 του ισογείου παρουσιάζεται ως άμορφο υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα στο οποίο εμπεριέχονται ελάχιστοι φαινοκρύσταλλοι χαλαζία και αστρίων, υψηλού πορώδους (~45%) και ειδικής επιφάνειας αντίστοιχα. Παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (<1%), φαινόμενη πυκνότητα 1,19 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων 0,33 μm.

Ο λίθος DG1\_s2 του ισογείου παρουσιάζεται ως γκριζος συμπαγής ασβεστόλιθος με δολομιτικές προσμίξεις, το πορώδες του είναι ~2%, η φαινόμενη πυκνότητά του 2,59 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 0,04 μm, μικρής διαμέτρου πόροι.

Ο λίθος D11\_sg του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζεται επίσης ως γκριζος συμπαγής ασβεστόλιθος, το πορώδες του είναι ~1,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του 2,61 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 0,07 μm, μικρής διαμέτρου πόροι.

Ο λίθος D11\_sw του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζεται ως υπόλευκος συμπαγής ασβεστόλιθος με πορώδες ~1,5%, φαινόμενη πυκνότητα 2,52 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,17 μm.

Ο λίθος D12\_sb του 1<sup>ου</sup> ορόφου παρουσιάζεται ως πορώδης ασβεστόλιθος με χαλαζιακές προσμίξεις, το πορώδες του είναι ~24%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,99 g/cm<sup>3</sup>, η μέση ακτίνα των πόρων του στα 11,02 μm, δηλαδή οι πόροι του είναι μεγάλου μεγέθους, στον οποίο μετράται περιεκτικότητα ολικών διαλυτών αλάτων 3,65%.

Ο λίθος D12\_sw του 1<sup>ου</sup> ορόφου είναι πορώδης δολομιτικός ασβεστόλιθος. Οι κύριες ορυκτολογικές του φάσεις είναι πρωτίστως ο δολομίτης αλλά και ο ασβεστίτης, ενώ στη μάζα του ανιχνεύεται χαλαζίας. Το πορώδες του είναι 23%, η φαινόμενη πυκνότητά του 2,06 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 1,69 μm, ενώ παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (<3%).

Ο λίθος D22\_sr του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι συμπαγής κροκαλοπαγής ασβεστόλιθος (ενδοσπαρίτης) με πορώδες ~3.5%, φαινόμενη πυκνότητα 2,55 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,11 μm.

Ο λίθος D22\_sg του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι γκριζος συμπαγής κρυσταλλικός ασβεστόλιθος στον οποίο ανιχνεύεται και δολομίτης, με πορώδες ~4.5%, φαινόμενη πυκνότητα 2,49 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,85 μm.

Ο λίθος D23\_sb του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι πορώδης (πορώδες ~25%), η φαινόμενη πυκνότητά του είναι 2,01 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του 0,41 μm.

Ο λίθος D23\_sw του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι υψηλού πορώδους λίθος (πορώδες ~45%), η φαινόμενη πυκνότητά του είναι 1,22 g/cm<sup>3</sup>, ενώ παρουσιάζει υψηλή ειδική επιφάνεια αντίστοιχα του πορώδους και η μέση ακτίνα των πόρων του είναι 0,54 μm.



Συμπερασματικά, στο κτήριο έχουν χρησιμοποιηθεί 6 διαφορετικοί λιθότυποι, οι εξής:

1. Αρχικά, στο υπόγειο, στον 1<sup>ο</sup> όροφο και στο 2<sup>ο</sup> όροφο (δείγματα DB3\_s1, D12\_sw και D23\_sb αντίστοιχα) απαντάται **πορώδης δολομιτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος** (βιομικρίτης), στον οποίο ενίοτε παρουσιάζεται και καθαρός ασβεστίτης εκτός από δολομίτης και **ανιχνεύεται χαλαζίας**. Το πορώδες του είναι ~24% και η φαινόμενη πυκνότητά του ~1,95 g/cm<sup>3</sup>. Γενικά παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (<3%), όχι όμως και στο υπόγειο όπου παρουσιάζει ολικά διαλυτά άλατα 3,80%, γεγονός αναμενόμενο αφού το υπόγειο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος το οποίο τροφοδοτεί τις τοιχοποιίες με υγρασία και άρα με διαλυτά άλατα. Η μέση ακτίνα των πόρων είναι μεγαλύτερη για το χαμηλότερο επίπεδο του κτηρίου (2,01 μm), μικρότερη για τον 1<sup>ο</sup> όροφο (1,69 μm) και πολύ μικρότερη για το 2<sup>ο</sup> όροφο (0,41 μm), κάτι που συνδέεται (τουλάχιστον για το υπόγειο και τον 1<sup>ο</sup> όροφο) με την κρυστάλλωση των αλάτων στο εσωτερικό των πόρων του λίθου, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει ρηγμάτωση και απόσπαση κόκκων.
2. Επιπλέον, στο υπόγειο και στον 1<sup>ο</sup> όροφο (δείγματα DB3\_s2 και D12\_sb αντίστοιχα) απαντάται **πορώδης απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος** (ωμομικρίτης) **με χαλαζιακές προσμίξεις** στον οποίον παρουσιάζεται σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα και συγκεκριμένα 4,77% για το υπόγειο και 3,65% για τον 1ο όροφο, γεγονός που είναι αναμενόμενο διότι το υπόγειο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος το οποίο τροφοδοτεί τις τοιχοποιίες με υγρασία και άρα με διαλυτά άλατα. Για τον ίδιο λόγο, παρουσιάζει πορώδες ~29% στο υπόγειο και ~24% στον 1<sup>ο</sup> όροφο, δηλαδή το πορώδες του λιθότυπου έχει υποστεί διάνοιξη από την κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων στο υπόγειο, με αντίστοιχη επίπτωση στη φαινόμενη πυκνότητα (1,83 g/cm<sup>3</sup> για το υπόγειο και 1,99 g/cm<sup>3</sup> για τον 1ο όροφο). Η μέση ακτίνα πόρων είναι ~11 μm, δηλαδή ο λιθότυπος παρουσιάζει σχετικά μεγάλους πόρους.
3. Ακόμα, στο Ισόγειο και στο 2<sup>ο</sup> όροφο (δείγματα DG1\_s1 και D23\_sw αντίστοιχα) απαντάται **άμορφο υαλώδες ηφαιστειακό πέτρωμα υψηλού πορώδους** (~45%), άρα και υψηλής ειδικής επιφάνειας, φαινόμενης πυκνότητας ~1,20 g/cm<sup>3</sup> με πόρους μέσης ακτίνας 0,33-0,54 μm.



πορώδης δολομιτικός  
απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος  
(FOM x30)



πορώδης απολιθωματοφόρος  
ασβεστόλιθος (ωμομικρίτης)  
(FOM x50)



άμορφο υαλώδες ηφαιστειακό  
πέτρωμα εξαιρετικά πορώδες  
(FOM x50)

4. Επίσης, στο Ισόγειο και στον 1<sup>ο</sup> όροφο (δείγματα DG1\_s2 και D11\_sg, D11\_sw αντίστοιχα) απαντάται **συμπαγής ασβεστόλιθος, γκρίζος και ενίοτε υπόλευκος**, στον οποίο ενίοτε παρουσιάζονται δολομιτικές προσμίξεις. Το πορώδες του είναι ~2% (~1,5% για το Ισόγειο), η φαινόμενη πυκνότητά του 2,52-2,61 g/cm<sup>3</sup> και οι πόροι του είναι μικρής διαμέτρου 0,04-0,07 μm, ενίοτε λίγο μεγαλύτεροι (0,17 μm).



γκρίζος συμπαγής ασβεστόλιθος  
(FOM x50)



γκρίζος συμπαγής ασβεστόλιθος  
(FOM x50)



υπόλευκος συμπαγής ασβεστόλιθος  
(FOM x50)

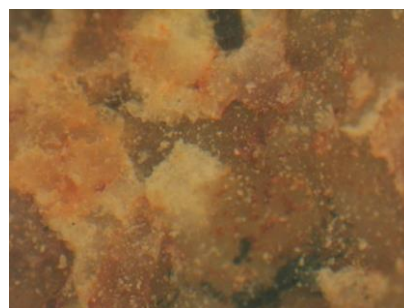
5. Επιπροσθέτως, στο 2<sup>ο</sup> όροφο (δείγμα D22\_sg) απαντάται **γκρίζος συμπαγής κρυσταλλικός ασβεστόλιθος**, διαφορετικός από τον προαναφερθέν λιθότυπο, αφού έχει πορώδες ~4.5%, φαινόμενη πυκνότητα 2,49 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,85 μm, στον οποίο ανιχνεύεται και δολομίτης.
6. Τέλος, στο 2<sup>ο</sup> όροφο (δείγμα D22\_sr) απαντάται **συμπαγής κροκαλοπαγής ασβεστόλιθος (ενδοσπαρίτης)** με πορώδες ~3.5%, φαινόμενη πυκνότητα 2,55 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,11 μm.



γκρίζος συμπαγής κρυσταλλικός  
ασβεστόλιθος  
(FOM x30)



συμπαγής κροκαλοπαγής  
ασβεστόλιθος (ενδοσπαρίτης)  
(FOM x30)



συμπαγής κροκαλοπαγής  
ασβεστόλιθος (ενδοσπαρίτης)  
(FOM x120)

*Ο δύο τελευταίοι λιθότυποι δεν παρουσιάζονται αλλού στο κτήριο, παρά μόνο στο 2<sup>ο</sup> όροφο, στο δωμάτιο επί της Μ. Αλεξάνδρου που βρίσκεται σε επαφή με την Πινακοθήκη του Δήμου.*

## ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

### ΚΟΚΚΙΝΟΙ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

*Οι κόκκινοι οπτόπλινθοι του Υπογείου συγκριτικά με τους κόκκινους οπτόπλινθους των άλλων επιπέδων του κτηρίου παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά:*

Το κύριο ορυκτολογικό συστατικό των κόκκινων οπτόπλινθων του Υπογείου είναι ο χαλαζίας, ενώ δευτερευόντως περιέχονται ασβεστίτης, μοσχοβίτης και αλβίτης. Είναι υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο, 7,6-15%, ("πλούσιοι σε ασβέστιο" οπτόπλινθοι), γεγονός που σχετίζεται με τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή τους (αργλικές πρώτες ύλες πλούσιες σε ασβέστιο) καθώς και με την τεχνολογία παραγωγής τους, δηλαδή η όπτηση αυτών πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία  $> 850\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε οξειδωτικό περιβάλλον. Παρουσιάζουν πορώδες από 25% έως 33%, φαινόμενη πυκνότητα από  $1,69\text{ g/cm}^3$  έως  $1,83\text{ g/cm}^3$  και μέση ακτίνα πόρων από  $0,19\text{ }\mu\text{m}$  έως  $0,34\text{ }\mu\text{m}$ . Παράλληλα, παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (6,51-10,33%) και ανιχνεύονται κυρίως χλωριόντα, γεγονός που δικαιολογείται από τη θέση τους.

Τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά των οπτόπλινθων των υπόλοιπων επιπέδων του κτηρίου είναι χαλαζίας και ασβεστίτης (σε μικρότερη περιεκτικότητα), ενώ δευτερευόντως περιέχουν μοσχοβίτη και ενίοτε χλωρίτη. Είναι επίσης υψηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο ("πλούσιοι σε ασβέστιο" οπτόπλινθοι) και συγκεκριμένα η περιεκτικότητά τους είναι 36-37%, πολύ υψηλότερη από εκείνη των κόκκινων οπτόπλινθων του Υπογείου. Η πρώτη ύλη και η τεχνολογία παρασκευής τους ερμηνεύεται ανάλογα με προαναφερθέντα. Το πορώδες τους είναι 32-35%, η φαινόμενη πυκνότητά τους  $1,61-1,65\text{ g/cm}^3$  και η μέση ακτίνα των πόρων τους  $0,09-0,18\text{ }\mu\text{m}$ . Επιπλέον, παρουσιάζουν σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα και συγκεκριμένα 3,26-5,08%.

### ΚΙΤΡΙΝΟΙ ΟΠΤΟΠΛΙΝΘΟΙ

Οι κίτρινοι οπτόπλινθοι συνίστανται σε χαλαζία και δευτερευόντως σε μελίλιθο (ενίοτε με έντονη παρουσία) και διοψίδιο και ενίοτε μικροκλίνη και ασβεστίτη. Είναι χαμηλής περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο  $< 5\%$  ("φτωχοί σε ασβέστιο"), συγκεκριμένα η περιεκτικότητά τους κυμαίνεται από 1,97% έως 4,47%, γεγονός που υποδεικνύει ότι για την παρασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν αργλικές πρώτες ύλες φτωχές σε ασβέστιο καθώς και ότι η όπτηση αυτών πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασία  $\sim 740\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε αναγωγικό περιβάλλον. Είναι πολύ πιο πορώδεις από τους κόκκινους οπτόπλινθους (πορώδες 49-52%) και αντίστοιχα παρουσιάζουν χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα από τους κόκκινους ( $1,34-1,45\text{ g/cm}^3$ ), ενώ η μέση ακτίνα των πόρων τους είναι αρκετά μεγαλύτερη από εκείνη των κόκκινων οπτόπλινθων και συγκεκριμένα κυμαίνεται από  $0,38$  έως  $0,78$  και ενίοτε  $0,96\text{ }\mu\text{m}$ . Οι κίτρινοι οπτόπλινθοι από το εσωτερικό του κτηρίου παρουσιάζουν χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα ( $< 3\%$ ), ενώ αυτοί από το εξωτερικό παρουσιάζουν υψηλότερη περιεκτικότητα 3,25-3,48%.



κόκκινος οπτόπλινθος Υπογείου  
(FOM x50)



κόκκινος οπτόπλινθος 2<sup>ου</sup> ορόφου  
(FOM x50)



κίτρινος οπτόπλινθος Ισογείου  
(FOM x50)

### ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ

Τα κονιάματα που απαντώνται στο κτήριο παρουσιάζουν διαφορετικά μεταξύ τους χαρακτηριστικά. Έτσι, αναλυτικά για το κάθε δείγμα κονιάματος που ελήφθη εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

Το κονίαμα DB2\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Υπογείου είναι ασβεστοκονίαμα με πυριτικά αδρανή τα οποία παρουσιάζουν ασβεστολιθικές προσμίξεις, ενώ η μέγιστη διάμετρος των αδρανών είναι 0,9 cm, αρκετά μεγάλη. Το ποσοστό των περιεχόμενων ανθρακικών είναι 55,5%, ενώ παρουσιάζει πορώδες ~31%, φαινόμενη πυκνότητα 1,74 g/cm<sup>3</sup> και μέση ακτίνα πόρων στα 0,39 μm. Παρουσιάζει υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα είναι 5,6%, γεγονός αναμενόμενο λόγω της θέσης του στο κτήριο.

Το κονίαμα DG1\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου είναι ασβεστοκονίαμα με αργιλοπυριτικά αδρανή, με ποσοστό ανθρακικών 38,2% και μέγιστη διάμετρο αδρανών ~1,3 cm, δηλαδή εμπεριέχει αδρανή αρκετά χονδρόκοκκα. Το πορώδες του είναι υψηλό, στο 35%, η φαινόμενη πυκνότητά του είναι 1,67 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 0,40 μm, ενώ παρουσιάζει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (~4,5%).

Το κονίαμα D11\_m από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου είναι κονίαμα ασβέστη-τσιμέντου με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν αργιλοπυριτικές προσμίξεις, με ποσοστό ανθρακικών στο 75%. Η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~0,7 cm. Το πορώδες του είναι ~24%, η φαινόμενη πυκνότητά του είναι 1,98 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 1,15 μm. Η περιεκτικότητά του σε ολικά διαλυτά άλατα είναι ~3,5%, σχετικά υψηλή, γεγονός που δικαιολογείται από το περιεχόμενο τσιμέντο.

Το κονίαμα D12\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου είναι ασβεστοκονίαμα με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα αργιλοπυριτικών προσμίξεων, ενώ το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών είναι 92%. Η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~ 1,2 cm, δηλαδή συμπεριλαμβάνει αδρανή αρκετά μεγάλα, το πορώδες του είναι ~23,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,89 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στο 1 μm, ενώ παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένη περιεκτικότητα ολικών διαλυτών αλάτων (~3,2%).

Το κονίαμα D11\_m ελήφθη από την εξωτερική τοιχοποιία δεξιά της κεντρικής εισόδου, στη νότια όψη του κτηρίου το οποίο εμπεριέχει τσιμέντο, ενώ το κονίαμα D12\_m ελήφθη από την αντίστοιχη εσωτερική θέση και δεν εμπεριέχει τσιμέντο, κάτι που μπορεί να σημαίνει ότι σε παλαιότερη αποκατάσταση του υποστυλώματος που βρίσκεται μπροστά από την περιοχή της εξωτερικής τοιχοποιίας δεξιά από την είσοδο, στην οποία πιθανότατα χρησιμοποιήθηκε τσιμεντοκονίαμα [29], αποκαταστάθηκε και περιοχή της εξωτερικής τοιχοποιίας με ίδιο κονίαμα (β.λ. εικ. 3.3.2.5 από το φωτογραφικό αρχείο της κ. Μαρίας Δανιήλ στην οποία παρουσιάζεται το υποσύλωμα με σοβαρές αστοχίες).

Το κονίαμα D22\_m από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου είναι κονίαμα ασβέστη-τσιμέντου με αργιλοπυριτικά αδρανή που παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα ασβεστολιθικών προσμίξεων, ενώ η μέγιστη διάμετρος αδρανών είναι ~1 cm, δηλαδή τα αδρανή του είναι αρκετά μεγάλα. Το περιεχόμενο ποσοστό σε ανθρακικά είναι 51,5%. Το πορώδες του είναι ~ 22%, η φαινόμενη πυκνότητά του 2,15 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του 0,9 μm, ενώ παρουσιάζει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (~4.5%).

Συμπερασματικά, όπως προαναφέρθηκε, τα κονιάματα του κτηρίου, σε γενικές γραμμές δεν παρουσιάζουν αρκετά κοινά μεταξύ τους χαρακτηριστικά. Ωστόσο, εξάγεται το συμπέρασμα ότι τα κονιάματα του Υπογείου και του Ισογείου εμπεριέχουν μεγαλύτερο ποσοστό αργιλοπυριτικών ενώσεων συγκριτικά με τα υπόλοιπα, ενώ κονίαμα ασβέστη-τσιμέντου απαντάται στην εξωτερική νότια τοιχοποιία του 1<sup>ου</sup> ορόφου δεξιά από την κεντρική είσοδο καθώς και στο δωμάτιο επί της Μ. Αλεξάνδρου στο 2<sup>ο</sup> όροφο που είναι σε επαφή με την Πινακοθήκη που συμπεραίνεται ότι αποτελεί μεταγενέστερο κονίαμα αποκατάστασης.



κονίαμα Υπογείου  
(FOM x50)



κονίαμα Ισογείου  
(FOM x50)



κονίαμα 1<sup>ου</sup> ορόφου θέσης 1  
(FOM x50)



κονίαμα 1<sup>ου</sup> ορόφου θέσης 2  
(FOM x50)



κονίαμα 2<sup>ου</sup> ορόφου θέσης 2  
(FOM x50)

## ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΕΠΙΧΡΙΣΗΣ (ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΑ)

Παρόμοια, με τα κονιάματα αρμών, εικόνα παρουσιάζουν τα επιχρίσματα, τα οποία παρουσιάζονται ανά επίπεδο του κτηρίου:

### ΥΠΟΓΕΙΟ:

Το δείγμα DB2\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Υπογείου είναι κονίαμα επίχρισης ασβέστη-σπασμένου κεραμικού (τεχνητής ποζολάνης) με αργιλοπυριτικά αδρανή, με πρόσμικτα αχύρου και συσσωματώματα ασβέστη, ενώ το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών είναι 40%. Η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~0,7 cm, δηλαδή τα αδρανή του είναι σχετικά μεγάλα. Το πορώδες του είναι ~35,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,59 g/cm<sup>3</sup>, ενώ παρουσιάζει σχετικά υψηλή ειδική επιφάνεια (~4,5 m<sup>2</sup>/g) και η μέση ακτίνα των πόρων του είναι 0,32 μm. Παρουσιάζει επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (~8,5%), γεγονός που δικαιολογείται από τη θέση του, αντίστοιχα με το κονίαμα αρμολόγησης (DB2\_m) και τον κόκκινο οπτόπλινθο (DB2\_cr) της ίδιας θέσης δειγματοληψίας, ενώ ανιχνεύονται κυρίως χλωριόντα.

Το δείγμα DB3\_p από τη θέση δειγματοληψίας 3 του Υπογείου αποτελεί κονίαμα επίχρισης ασβέστη-σπασμένου κεραμικού (τεχνητής ποζολάνης) με αργιλοπυριτικά αδρανή, με πρόσμικτα αχύρου και συσσωματώματα ασβέστη, ενώ ανιχνεύεται και γύψος στη μάζα του (από τα αποτελέσματα του XRD). Το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών είναι 41,5%. Η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~0,5 cm, δηλαδή τα αδρανή του είναι σχετικά μεγάλα. Το πορώδες του είναι ~28%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,75 g/cm<sup>3</sup>, ενώ παρουσιάζει σχετικά υψηλή ειδική επιφάνεια (~4 m<sup>2</sup>/g) και η μέση ακτίνα των πόρων του είναι 0,21 μm. Παρουσιάζει επίσης υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (~9,5%), γεγονός που δικαιολογείται από τη θέση του, αντίστοιχα με τον κόκκινο οπτόπλινθο της ίδιας θέσης δειγματοληψίας (DB3\_cr), ενώ ανιχνεύονται κυρίως χλωριόντα και δευτερευόντων θειικά ιόντα (λόγω της παρουσίας γύψου).



επίχρισμα Υπογείου θέσης 2  
(FOM x50)



επίχρισμα Ισογείου θέσης 3  
(FOM x50)

*Συμπερασματικά, τα επιχρίσματα του Υπογείου παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά ως κονιάματα επίχρισης ασβέστη-σπασμένου κεραμικού (τεχνητής ποζολάνης), επίχρισμα που απαντάται μόνο στο Υπόγειο του κτηρίου.*

### ΙΣΟΓΕΙΟ:

Το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Ισογείου αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζει

αργιλοπυριτικές προσμίξεις. Το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών είναι 88% και η αναλογία συνδετικής ύλης – αδρανών είναι 1:2 με τάση προς το 1:3. Η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~0,6 cm, δηλαδή τα αδρανή του είναι σχετικά μεγάλα. Το πορώδες του είναι ~32%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,92 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 2,5 μm, δηλαδή οι πόροι του είναι σχετικά μεγάλοι. Επιπλέον, παρουσιάζει σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (~4%).

Ανάλογα μορφολογικά χαρακτηριστικά παρουσιάζει το υπόστρωμα του επιχρίσματος DG1\_p (δείγμα DG1\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Ισογείου, ενώ είναι πολύ σκληρό και περιέχει άχυρο και συσσωματώματα ασβέστη στη μάζα του.

Το φινίρισμα του επιχρίσματος DG2\_p (δείγμα DG2\_p\_f) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του Υπογείου αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν χαμηλής περιεκτικότητας δολομιτικές και αργιλοπυριτικές προσμίξεις, ενώ το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών είναι 96%. Το πορώδες του είναι ~34,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,89 g/cm<sup>3</sup> και η μέγιστη ακτίνα των πόρων του στα 1,42 μm.



υπόστρωμα επιχρίσματος Ισογείου  
θέσης 2 (FOM x50)



υπόστρωμα επιχρίσματος Ισογείου  
θέσης 1 (FOM x50)

*Συμπερασματικά, για τα επιχρίσματα του Ισογείου μπορούμε να πούμε ότι παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Αποτελούνται από υπόστρωμα ασβεστοκονιάματος με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν αργιλοπυριτικές προσμίξεις και φινίρισμα ασβεστοκονιάματος με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν χαμηλής περιεκτικότητας δολομιτικές και αργιλοπυριτικές προσμίξεις. Είναι πολύ συνεκτικά (καλή συνοχή συνδετικής ύλης-αδρανών) και παρουσιάζουν εξαιρετικά καλή συνάφεια με την τοιχοποιία.*

#### **1<sup>ος</sup> ΟΡΟΦΟΣ:**

Το υπόστρωμα του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν χαμηλής περιεκτικότητας πυριτικές προσμίξεις, ενώ το περιεχόμενα ποσοστό σε ανθρακικά είναι ~95% και η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι 0,55 cm, δηλαδή περιέχει και σχετικά μεγάλα αδρανή. Η αναλογία συνδετικής ύλης αδρανών υπολογίζεται στο 1:2. Το πορώδες του είναι ~28%, η φαινόμενη πυκνότητά του 1,94 g/cm<sup>3</sup> και η μέση ακτίνα των πόρων του στα 1,43 μm, ενώ παρουσιάζει χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (<3%).

Το φινίρισμα του επιχρίσματος D11\_p (δείγμα D11\_p\_f) από τη θέση δειγματοληψίας 1 του 1<sup>ου</sup> ορόφου αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν

χαμηλής περιεκτικότητας πυριτικές προσμίξεις, ενώ το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών υπολογίζεται στο 96%. Το πορώδες του είναι ~32,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του  $1,87 \text{ g/cm}^3$  και η μέση ακτίνα των πόρων του στα  $2,05 \mu\text{m}$ .

Το επίχρισμα D12\_p από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 1<sup>ου</sup> ορόφου (εσωτερική θέση αντίστοιχη της εξωτερικής θέσης 1) παρουσιάζει παρόμοια μορφολογικά χαρακτηριστικά με το επίχρισμα D11\_p. Επιπροσθέτως, για το υπόστρωμα του επιχρίσματος D12\_p (δείγμα D12\_p\_r) μετράται πορώδες ~28,5%. Αυξημένη εμφανίζεται η φαινόμενη πυκνότητά του ( $2,12 \text{ g/cm}^3$ ), παρόλο που η μέση ακτίνα των πόρων του μετράται στα  $1,95 \mu\text{m}$ , δηλαδή παρουσιάζει σχετικά μεγάλους πόρους. Επιπλέον, η μέγιστη διάμετρος των αδρανών του είναι ~0,6 cm, ενώ για το εν λόγω δείγμα μετράται οριακά χαμηλή περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα (3%).



υπόστρωμα επιχρίσματος 1<sup>ου</sup>  
ορόφου θέσης 1 (FOM x50)



υπόστρωμα επιχρίσματος 1<sup>ου</sup>  
ορόφου θέσης 2 (FOM x50)

*Συνεπώς, τα επιχρίσματα του 1<sup>ου</sup> ορόφου (θέσης 1 και θέσης 2) παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά, είναι ασβεστοκονιάματα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή που παρουσιάζουν χαμηλής περιεκτικότητας πυριτικές προσμίξεις, ενώ για το επίχρισμα στο εσωτερικό του κτηρίου παρουσιάζει μεγαλύτερη ακτίνα πόρων και υψηλότερη περιεκτικότητα σε ολικά διαλυτά άλατα από το αντίστοιχο στο εξωτερικό του κτηρίου, στοιχεία που ταιριάζουν μεταξύ τους, αφού όταν τα διαλυτά άλατα κρυσταλλώνονται στο εσωτερικό των πόρων του υλικού μπορούν να προκαλέσουν τη ρηγμάτωσή τους και άρα τη διάνοιξη του πορώδους.*

#### 2<sup>ος</sup> ΟΡΟΦΟΣ:

Το υπόστρωμα του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_r) από τη θέση δειγματοληψίας 2 του 2<sup>ου</sup> ορόφου αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με ασβεστολιθικά αδρανή (δεδομένα που εξάγονται από τη θερμοβαρυμετρική ανάλυση), ενώ το περιεχόμενο ποσοστό ανθρακικών υπολογίζεται στο 95%. Ωστόσο, στις εικόνες FOM που λαμβάνονται από το δείγμα, φαίνεται να περιέχει και αργιλοπυριτικά αδρανή. Τα αδρανή του είναι εξαιρετικά μεγάλα (μέγιστη διάμετρος αδρανών ~2,1 cm), ενώ στη μάζα του βρέθηκε δόντι ζώου και κομμάτι κάρβουνου. Το πορώδες του είναι ~31%, η φαινόμενη πυκνότητά του  $1,78 \text{ g/cm}^3$  και η μέση ακτίνα των πόρων του στα  $0,93 \mu\text{m}$ .

Το φινίρισμα του επιχρίσματος D22\_p (δείγμα D22\_p\_f) αποτελεί ασβεστοκονίαμα επίχρισης με αργιλοπυριτικά αδρανή (δεδομένα που εξάγονται από τη θερμοβαρυμετρική ανάλυση). Το περιεχόμενο ποσοστό σε ανθρακικά υπολογίζεται στο 48,5%. Το πορώδες του είναι ~34,5%, η φαινόμενη πυκνότητά του  $1,75 \text{ g/cm}^3$  και η μέση ακτίνα των πόρων του στα  $0,8 \mu\text{m}$ .





υπόστρωμα επιχρίσματος 2<sup>ου</sup>  
ορόφου (FOM x50)

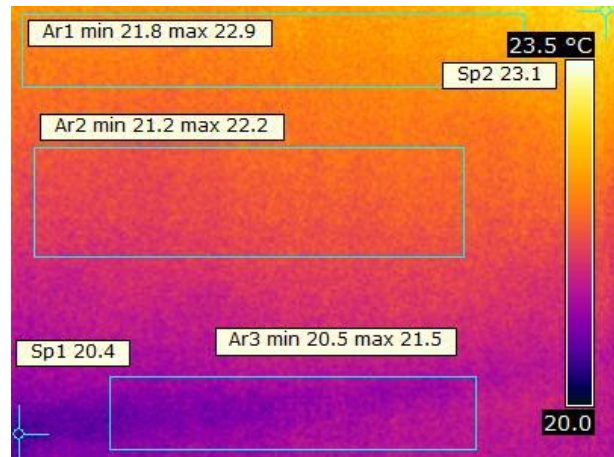


δόντι στο υπόστρωμα επιχρίσματος  
2<sup>ου</sup> ορόφου (FOM x50)

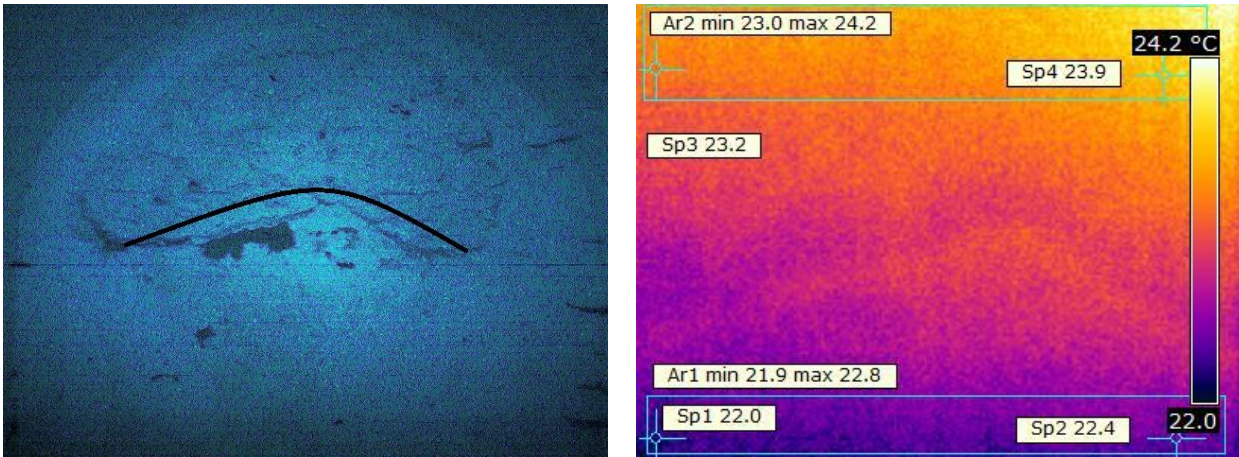


κάρβουνο στο υπόστρωμα  
επιχρίσματος 2<sup>ου</sup> ορόφου (FOM x50)

Παράλληλα, η εικόνες που λαμβάνονται μέσω της θερμοκάμερας στο Υπόγειο επιβεβαιώνουν την **παρουσία αναρριχόμενης υγρασίας** από το έδαφος. Από τα ακόλουθα θερμογράφημα που ελήφθησαν από τη θέση δειγματοληψίας 1 του Υπογείου αποκαλύπτεται ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλή στην περιοχή επαφής της τοιχοποιίας με το έδαφος (20,5-21,5 °C) όπου μακροσκοπικά παρατηρούνται και χρωματικές αλλοιώσεις, ενώ αυξάνεται κατά πολύ με την αύξηση του ύψους (21,8-22,9 °C) εντός περιοχής μικρής έκτασης. Σε ακόμα μεγαλύτερο ύψος (περιοχή κάτω από την καμάρα) η θερμοκρασία αγγίζει τους 24,2 °C. Συμπερασματικά, σε αυτήν την περιοχή της ανατολικής τοιχοποιίας που έχει χαμηλό ύψος, παρουσιάζεται θερμοκρασιακό εύρος σχεδόν 4 °C, δηλαδή ιδιαίτερα ευρύ, κατάσταση που αντιπροσωπεύει την ευρύτερη περιοχή του Υπογείου.



Θερμογράφημα της θέσης 1 του Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία – σε χαμηλό ύψος



Θερμογράφημα της θέσης 1 του Υπογείου – ανατολική τοιχοποιία – ψηλότερα

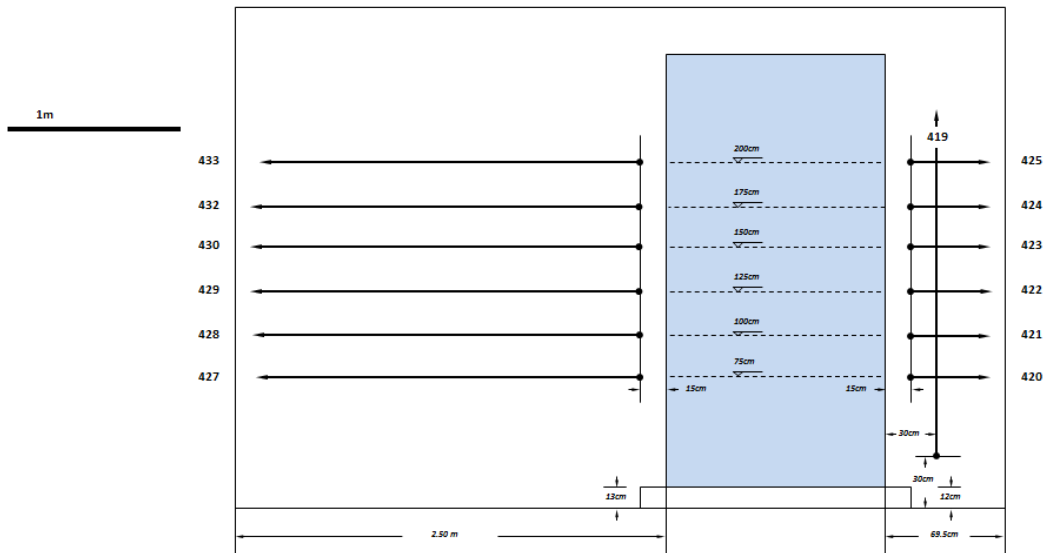
Επιπροσθέτως, από την εφαρμογή της τεχνικής του γεωραντάρ (GPR) επί τόπου στο κτήριο παρουσιάζεται ότι στη νότια τοιχοποιία του Ισογείου, στην περιοχή αριστερά της πόρτας, στις οριζόντιες μετρήσεις 427, 428, 429, 430, 432 και 433 που πραγματοποιήθηκαν με σειρά αυξανόμενου ύψους από το έδαφος και με φορά προς τα αριστερά αποκαλύπτεται ότι μέχρι το ύψος των 125 cm (μέχρι και τη μέτρηση 429) εντοπίζονται **πιθανές εσωτερικές ρηγματώσεις**, γεγονός που αποδίδεται στο ότι η ισόγεια τοιχοποιία βαίνει σε καμάρα του υπογείου («Cours d'anglais») και αντιστοιχεί ικανοποιητικά στην κατανομή τάσεων πάνω από την καμάρα. Η παρουσιαζόμενη κατάσταση της τοιχοποιίας συνεπάγεται την ανάγκη για παρακολούθησή της. Επιπλέον, παρατηρείται η **εμφάνιση υγρασίας** μέχρι τα 75 cm από το έδαφος (μέτρηση 427), λόγω του υποκείμενου υπογείου, αλλά και λόγω της παρουσίας του φυτού εξωτερικά. Το πάχος της τοιχοποιίας είναι 70 cm και στα γεωγραφήματα απεικονίζεται μέχρι τα 17 ns (βλ. οριζόντιες γραμμές στα 17 ns στις μετρήσεις 427, 428, 429, 430, 432, 433), ενώ όπου έχουμε σήμα για χρόνο μεγαλύτερο των 17 ns, αυτό αντιστοιχεί σε δεύτερες ανακλάσεις των κυμάτων. Στη δεδομένη τοιχοποιία υπολογίζεται η ταχύτητα του παλμού στα 0,082 m/ns.

Πιο συγκεκριμένα, στη μέτρηση 427 παρατηρείται ότι δεν υπάρχει καλό σήμα λόγω υγρασίας, όπως προαναφέρθηκε, καθώς η σάρωση αυτή είναι σε χαμηλό ύψος. Επιπλέον, εντοπίζουμε το πάχος του επιχρίσματος (οριζόντια γραμμή στο 1,5 ns) και κάποιους στόχους (πολύγωνο και οβάλ) που αντιπροσωπεύουν διεπιφάνειες, στην περίπτωση μας διεπιφάνειες υλικού με τον αέρα, δηλαδή κοιλότητες (εσωτερικές ρηγματώσεις) που έχουν προκληθεί λόγω των φορτίων που αναπτύσσονται, εξαιτίας της υποκείμενης καμάρας του υπογείου. Στην περιοχή ενδιάμεσα από το επίχρισμα και τις κοιλότητες, παρατηρείται η **καλή συνοχή του επιχρίσματος με την τοιχοποιία**. Ανάλογοι στόχοι εντοπίζονται και σημειώνονται στις μετρήσεις 428 και 429, όμως το φαινόμενο εμφανίζεται πιο έντονα στην 427 που βρίσκεται σε χαμηλότερο ύψος.

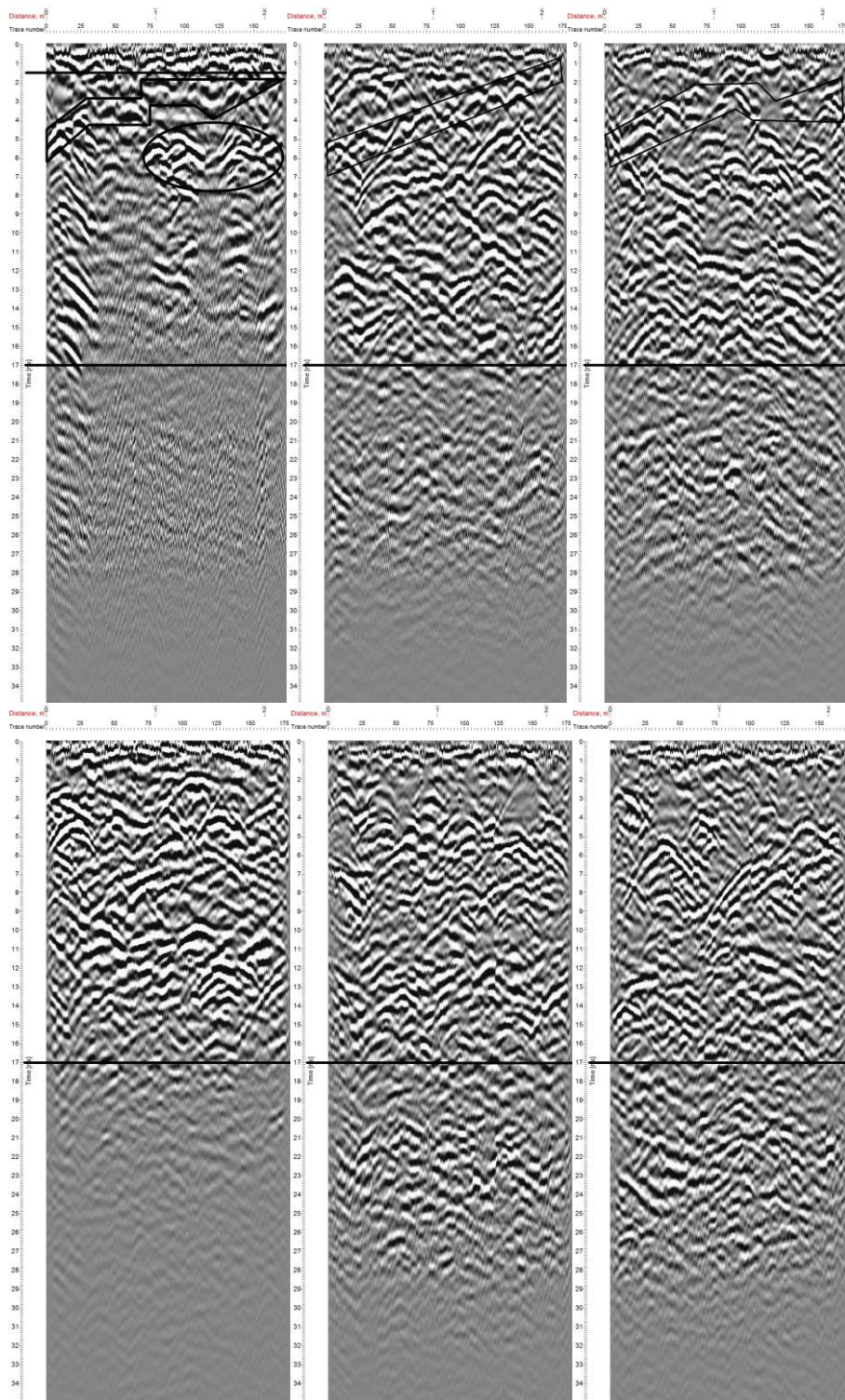


Τοιχοποιία Ισογείου όπου εφαρμόστηκε GPR

**ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ**



Κάναβος σαρώσεων ισόγειας τοιχοποιίας

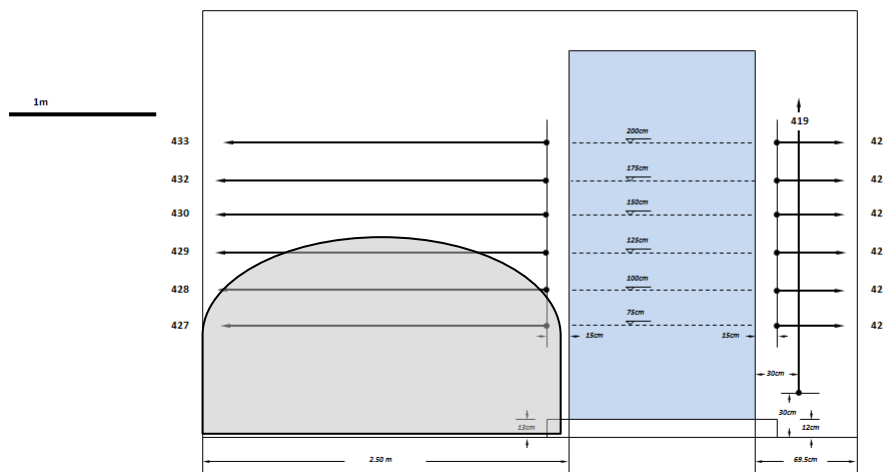


Σαρώσεις 427, 428, 429 (πάνω), 430, 432, 433 (κάτω), από αριστερά προς τα δεξιά



Cours d'anglais Υπογείου

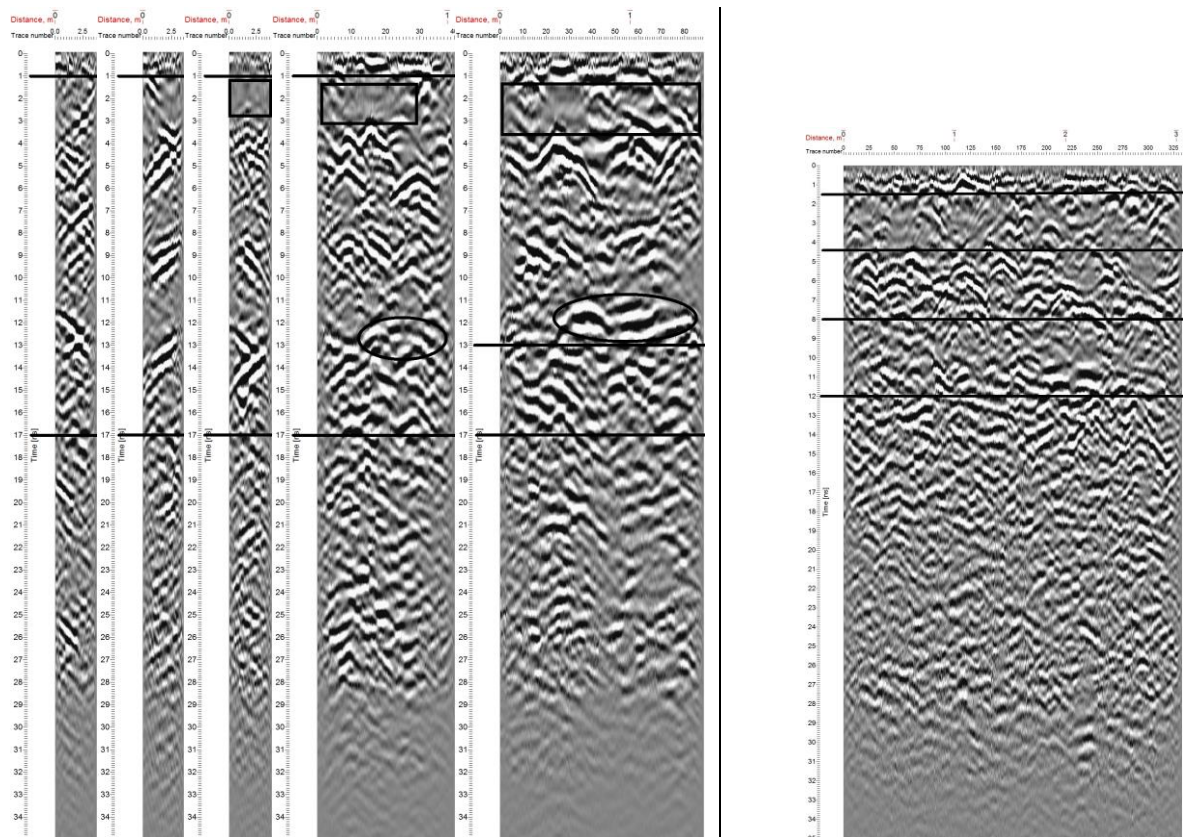
**ΙΣΟΓΕΙΟΣ ΤΟΙΧΟΣ**



Σχηματική αναπαράσταση της περιοχής της ισόγειας τοιχοποιίας όπου υπάρχουν ενδείξεις για εσωτερικές ρηγματώσεις

Στην ίδια τοιχοποιία, η μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν από την εσωτερική πλευρά της (νότιος προσανατολισμός), αλλά αυτή τη φορά αριστερά της πόρτας (οι οριζόντιες μετρήσεις 472, 473 και 474 και οι κατακόρυφες μετρήσεις 470, 471) σημειώνεται το πάχος του επιχρίσματος στο 1 ns (μετρήσεις 472, 473, 474, 470) και το πάχος της τοιχοποιίας στα 17 ns (μετρήσεις 472, 473, 474, 470, 471), ενώ στην οριζόντια μέτρηση 474 και στην κατακόρυφη μέτρηση 470 σημειώνεται με παραλληλόγραμμο η περιοχή που αντιστοιχεί στους λίθους πίσω από το επίχρισμα, όπου και λόγω της έλλειψης έντονου στόχου στην διεπιφάνεια αυτή, επιβεβαιώνεται η καλή συνοχή του επιχρίσματος με το υπόστρωμα. Στις σαρώσεις 470 και 471 σημειώνεται επιπλέον και η περιοχή που αντιπροσωπεύει το κούφωμα της θύρας με οβάλ

περίγραμμα, ενώ σημειώνεται με οριζόντια γραμμή στα 13 ns το πάχος στο οποίο εντοπίζεται το κούφωμα της πόρτας (50-60 cm).



Σαρώσεις 472, 473, 474, 470, 471 από αριστερά προς τα δεξιά, Ισόγειας τοίχου, εσωτερικά, (αριστερά)

Σάρωση 390 τοιχοποιίας 1<sup>ου</sup> ορόφου (δεξιά)

Στον 1<sup>ο</sup> όροφο, στην κατακόρυφη μέτρηση 390 που πραγματοποιήθηκε κατακόρυφα και με φορά προς τα πάνω, αριστερά της κεντρικής εισόδου (νότια τοιχοποιία) και σε απόσταση 30 cm από αυτή **επιβεβαιώνεται ότι η τοιχοποιία είναι τρίστρωτη**. Οι τρεις ζώνες δόμησης εντοπίζονται στα 1,5-4,5 ns (εξωτερική στρώση), στα 8-12 ns (εξωτερική στρώση στο εσωτερικό του κτηρίου), 4,5-8 ns (ενδιάμεση στρώση που περιέχει κυρίως υλικό πλήρωσης), ενώ το πάχος του επιχρίσματος εξωτερικό σημειώνεται στο 1,5 ns.

Δόμηση τριών στρώσεων επιβεβαιώνεται και στη νότια τοιχοποιία του 2<sup>ου</sup> ορόφου.

## 5.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Τα προτεινόμενα υλικά αποκατάστασης είναι απόρροια αφενός των αποτελεσμάτων από το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και τη διάγνωση της φθοράς, αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα της μελέτης για την παθολογία του κτηρίου και τα αποτελέσματα της δομοστατικής ανάλυσης για την ενίσχυσή του [29,31], όπως αυτή προκύπτει από την αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησής του που είναι βασισμένη στην αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτηρίου [32].

Για την επιλογή των υλικών αποκατάστασης που παρουσιάζονται ακολούθως ελήφθη υπόψη ότι απαιτείται να παρουσιάζουν φυσικοχημική και φυσικομηχανική συμβατότητα.

Ως κονιάματος αποκατάστασης προτείνεται η χρήση έτοιμου κονιάματος αποκατάστασης με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο (NHL 3.5), κατηγορίας M5 κατά EN 998-2 με δυναμικό μέτρο ελαστικότητας 5000 MPa και συντελεστή διάχυσης υδρατμών  $\mu$ : 15/35 κατά EN 1745, που αναπτύσσει τιμές θλιπτικής αντοχής 6-8 MPa και αντοχής σε κάμψη 2 MPa, αντοχές απαιτούμενες από την πρόταση για ενίσχυση του κτηρίου που εισηγούνται οι ερευνητές πολιτικοί μηχανικοί [29].

Η συγκεκριμένη σύνθεση κονιάματος επιλέχθηκε διότι η χημική του σύσταση και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του προσομοιάζουν σε εκείνα των δομικών υλικών που απαντώνται στο ιστορικό κτήριο της Οικίας Δουρούτη, κάτι που αποτελεί βασική προϋπόθεση για την πραγματοποίησης συμβατής αποκατάστασης.

Επιπλέον, προτείνεται να εφαρμοστεί ένεμα με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3.5, όπως και για το κονίαμα αποκατάστασης, που αναπτύσσει θλιπτική αντοχή στα 8 MPa, παρουσιάζει δυναμικό μέτρο ελαστικότητας 7000 MPa και συντελεστή διάχυσης υδρατμών  $\mu$ : 15/35 κατά EN 1745, ρευστότητας που προσδιορίζεται από το χρόνο διέλευσης συγκεκριμένου όγκου (500 ml) του ενέματος από τον κώνο του Marsh, ο οποίος πρέπει να είναι μικρότερος από 30 sec, ενώ κατά την εφαρμογή του δε θα παρουσιαστεί εξίδρωση που θα προκαλούσε ρηγματώσεις στη μάζα του.

Σχετικά με το επίχρισμα αποκατάστασης, για το μεν υπόστρωμα προτείνεται να χρησιμοποιηθεί κονίαμα με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3.5 και με ασβεστολιθικά αδρανή κατηγορίας CS II κατά EN 998-1, που αναπτύσσει αντοχή σε θλίψη 2.5 MPa και παρουσιάζει συντελεστή διάχυσης υδρατμών  $\mu$ : <8 κατά EN 101519.

Για το φινίρισμα του επιχρίσματος επιλέγεται η χρήση κονιάματος με βάση την υδράσβεστο και με ασβεστολιθικά αδρανή διαμέτρου έως και 0,6 mm, κατηγορίας CS I κατά EN 998-1, με συντελεστή διάχυσης υδρατμών  $\mu$ : <15 κατά EN 101519 που θα αποδώσει αντοχή σε θλίψη 1 MPa, ενώ η πρόσφυση στο υπόστρωμα θα είναι > 0,1 MPa.

Εναλλακτικά, για το φινίρισμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κονίαμα με βάση τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3.5, με ασβεστολιθικά αδρανή διαμέτρου έως και 0,6 mm, κατηγορίας CS II κατά EN 998-1, με συντελεστή διάχυσης υδρατμών  $\mu$ : <15 κατά EN 101519 που θα αποδώσει αντοχή σε θλίψη 2,5 MPa, ενώ η πρόσφυση του στο υπόστρωμα θα είναι > 0,5 MPa.

Τέλος, προτείνεται να επιλεγούν χρωματικές επιστρώσεις με βάση την υδρύαλο ( $K_2SiO_3$ ), αφού οι ανόργανες χρωστικές που χρησιμοποιούνται σε αυτές τις βαφές παρουσιάζουν ικανή χρωματική σταθερότητα, ενώ το συνολικό αισθητικό αποτέλεσμα αυτού του είδους των χρωματικών επιστρώσεων προσομοιάζει στα χρώματα που χρησιμοποιούνταν την περίοδο της κατασκευής του ιστορικού κτηρίου της Οικίας Δουρούτη.



## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Χ. Θ. Μπούρας “Μαθήματα Ιστορίας της αρχιτεκτονικής”, Α΄ Τόμος – Εκδόσεις Συμμετρία & Β΄ Τόμος – Εκδόσεις Μέλισσα, Αθήνα, 1999
- [2] Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής, “Δομικά Υλικά”, 9<sup>ο</sup> εξάμηνο Τμ. Χημ. Μηχ., Αθήνα, 2009
- [3] Α. Μοροπούλου, “Χαρακτηρισμός, Έλεγχος Ποιότητας, Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών. Μεθοδολογία Ενόργανων & Μη Καταστρεπτικών Τεχνικών”, 7<sup>ο</sup> εξάμηνο Τμ. Χημ. Μηχ., Αθήνα 2009
- [4] Α. Μοροπούλου, Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος 1.2: “Εισαγωγή στην Παθολογία & Αποκατάσταση Μνημείων και Υλικών” Ε.Μ.Π., ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β΄ κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2011
- [5] Σελίδα διαδικτύου: [http://pangea.gr/gr/natural\\_stones2.shtml](http://pangea.gr/gr/natural_stones2.shtml), “Γνωριμία με τα φυσικά πετρώματα”, Σειρά άρθρων από τις Εκδόσεις “Ελληνικό Μάρμαρο”, Ιανουάριος 2009
- [6] Α. Μοροπούλου, Δ. Υφαντής, Ι. Σιμιτζής, Λ. Ζουμπουλάκης, “Επιστήμη και Τεχνική Υλικών”, 7<sup>ο</sup> εξάμηνο Τμ. Χημ. Μηχ., Αθήνα, 2008
- [7] Ν. Κουλουμπή, Α. Μοροπούλου, “Φθορά και Προστασία Υλικών”, Αθήνα, 2009
- [8] Θ. Σκουλικίδης, Π. Βασιλείου, “Διάβρωση και Προστασία Υλικών”, Εκδόσεις Συμμετών, Αθήνα, 2007
- [9] Π. Τουλιάτος, Αν. Καθηγητής Ε.Μ.Π., σημειώσεις σεμιναρίου “Οι Ξύλινες Κατασκευές”, Τόμος ΙΙ, Αθήνα 11&12 Δεκεμβρίου 1997
- [10] Ε. Ξυνοπούλου, “Χαρακτηρισμός των υλικών και διάγνωση της φθοράς τους στις ακροπόλεις Σαραντάπηχου και Ερημοκάστρου στη Ρόδο.”, Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β΄ κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2009
- [11] Θ. Ν. Σκουλικίδης, “Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων”, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΚΡΗΤΗΣ 2000, σελ. 78-85, 266-275, 279, 293-302
- [12] Χ.Θ.Μπούρα “Σημειώσεις του μαθήματος «Αποκαταστάσεως των μνημείων Ι (κεφάλαια Ι έως Χ)”, Ε.Μ.Π., Σπουδαστήριο ιστορίας της αρχιτεκτονικής ΑΘΗΝΑ 1983
- [13] Α. Μοροπούλου, κ.α., Τελική τεχνική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος Κριτήρια και Μεθοδολογία Ελέγχου Ποιότητας Υλικών και Επεμβάσεων Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων», Ε.Μ.Π, Τμήμα Χ.Μ., Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Αθήνα Φεβρουάριος 2004
- [14] Μ. Όξενκοιυν-Πετροπούλου, “Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης, Οπτικές Μέθοδοι”, ΕΜΠ, ΑΘΗΝΑ 1997
- [15] Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής, Μ. Κουή, Μ. Κροκίδα, Α. Καραγιάννης-Μπακόλας, Σημειώσεις ασκήσεων του μαθήματος: “Δομικά Υλικά”, 9<sup>ο</sup> εξάμηνο, Σχ. Χημ. Μηχ. Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2012
- [16] Α. Γ. Κορωνάιος, Γ. Φ. Σαργέντης, “Θερμογραφία”, Δημοσιεύσεις Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών Τεύχος 2, Σχ. Αρχ. Μηχ. Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2003
- [17] Ν. Ρ. Avdelidis, Α. Μοροπούλου; “Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures”; Journal of Cultural Heritage 5 (2004) 119–127
- [18] Α. Μοροπούλου, Ν. Ρ. Avdelidis, Μ. Κουή; “Compatibility assessment of building materials using Infrared Thermography” από τη σελίδα διαδικτύου: <http://www.ndt.net/article/wcndt00/papers/idn677/idn677.htm>
- [19] Ν. Ρ. Avdelidis, Α. Μοροπούλου; “Emissivity considerations in building thermography”; Energy and Buildings 35 (2003) 663–667
- [20] Ε. Grinzato, Ρ. G. Bison, S. Marinetti; “Monitoring of ancient buildings by the thermal method”; Journal of Cultural Heritage 3 (2002) 21–29

- [21] A. Moropoulou, N. P. Avdelidis, M. Kouï, A. Aggelopoulos, P. Karmis; "Infrared Thermography and ground penetrating radar for airport pavements assessment"; *Nondestructive testing and Evaluation* 18 (2002) 37-42
- [22] L. Binda, G. Lenzi, A. Saisi; "NDT of masonry structures: use of radar tests for the characterisation of stone masonries"; *NDT & E International* 31(6) (1998) 411-19
- [23] L. Binda, L. Zanzi, M. Lualdi, P. Condoleo; "The use of georadar to assess damage to a masonry Bell Tower in Cremona, Italy"; *NDT & E International* 38(3) (2005) 171-79
- [24] L. Binda, A. Saisi, C. Tiraboschi; "Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries" *Construction and Building Materials* 14(4) (2000) 199-233
- [25] A. Moropoulou, N. P. Avdelidis, E. Aggelakopoulou, S. Griniezakis, M. Kouï, A. Aggelopoulos, et al.; "Examination of plastered mosaic surfaces using NDT techniques" *J of Insight*. 43 (2001) 241-43
- [26] Μ. Όξενκιουν-Πετροπούλου, "Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης, Φασματοσκοπικές Μέθοδοι", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2006
- [27] Α. Παππά, "Φυσικές Μέθοδοι Ανάλυσης, Χρωματογραφικές, Θερμικές, Ηλεκτρομετρικές, Φασματομετρία Μάζας", Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας, Σχ. Χημ. Μηχ. Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004
- [28] Ν. Σκορδάκη, "Ανάπτυξη και προτυποποίηση ολοκληρωμένων πρωτοκόλλων τεκμηρίωσης για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων για την προστασία των μνημείων Πολιτιστικής Κληρονομιάς. Εφαρμογή και επικύρωση σε επιλεγμένες περιπτώσεις ιστορικών κτιρίων (Βίλα Κλωναρίδη στα Πατήσια Αθήνας, Οικία Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών).", Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2013
- [29] Β. Νικολοπούλου, "Στατική και δυναμική ανάλυση της επάρκειας του ιστορικού κτιρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών, με χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Προτάσεις συμβατών επεμβάσεων αποκατάστασης.", Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Επιβλέπουσες Ε. Βιντζηλαίου, Ε. Εφείσιου, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2013
- [30] Χ. Αγριαντώνη, Μ. Χ. Χατζηϊωάννου, "Το Μεταξουργείο της Αθήνας", κεφάλαιο "Το Οικοδομικό Χρονικό του Κτιριακού Συγκροτήματος του Μεταξουργείου", Γ. Πουλημένος, Μ. Δανιήλ και Α. Πουλούδης, Κέντρο Νεοελληνικών Ερευνών, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 1995
- [31] Σ. Μαρκουλάκη, "Αποτίμηση των μηχανικών χαρακτηριστικών των τοιχοποιιών, τεκμηρίωση του φέροντος οργανισμού και διάγνωση των βλαβών του ιστορικού κτιρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών.", Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Επιβλέπουσες Ε. Βιντζηλαίου, Α. Μοροπούλου, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2013
- [32] Μ. Κάβουρα, "Αρχιτεκτονική τεκμηρίωση και ανάλυση του ιστορικού κτιρίου της Οικίας Δουρούτη στο Μεταξουργείο Αθηνών. Αρχιτεκτονική πρόταση επανάχρησης.", Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Επιβλέπουσα Ε. Εφείσιου, ΔΠΜΣ «Προστασία Μνημείων», Β' κατεύθυνση: «Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», Αθήνα, 2013
- [33] R. V. Dietrich & B. J. Skinner; "Die Gesteine und Ihre Mineralien"; ISBN 3-7225-6287-2; Ott Verlag Thun; 1984
- [34] Κ. Γ. Χατζηπαναγιώτου, "Πετρογραφία ΙΙ", Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα 2003

**[35]** Μελέτη στα πλαίσια του έργου του Γ' ΚΠΣ "Ολοκληρωμένη διαχείριση διακοσμητικών πετρωμάτων αδρανών υλικών και απορριμμάτων των εκμεταλλεύσεων – Τεχνικές αξιοποίησης εγκαταλειμμένων λατομείων", υποέργο "Ανάπτυξη φιλικών προς το περιβάλλον τεχνικών για την αξιοποίηση εγκαταλειμμένων δημόσιων λατομικών χώρων και των προϊόντων τους", τεύχος VI – Αττική, Γ. Κωνσταντοπούλου, Δρ. Γεωλόγος, Αθήνα 2009

**[36]** Σειρά γεωλογικών χαρτών περιοχών της Αττικής, Ν. Κατσιαβριάς

**[37]** A. Moropoulou, A. Bakolas, K. Bisbikou; "Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies"; *Thermochimica Acta* 2570 (1995) 743-753

