



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ
«ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ»**

ΘΕΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΗΣ ΦΘΟΡΑΣ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΒΑΡΝΑΚΟΒΑΣ. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.

ΜΙΧΑΛΑΡΟΣ ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ

Αρ. μητρώου: 41001916

Επιβλέπουσα: Μοροπούλου Αντωνία
Καθηγήτρια, Ε.Μ.Π.

2019

Επιτροπή Επίβλεψης και Υποστήριξης

- Καθ. Γ. Μαρίνου, Σχ. ΑΜ ΕΜΠ
- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ (Επιβλέπουσα)
- Επίκ. Καθ. Χ. Μουζάκης, Σχ. ΠΜ ΕΜΠ
- Δρ. Α. Δελέγκου, ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- ΥΔ Μ. Αποστολοπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- ΥΔ Β. Κεραμίδας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- ΥΔ. Ε. Τσιλιμαντού, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δρ. Γ. Οικονόμου, ΙΓΜΕ
- Δρ. Χ. Παπατρέχας, ΙΓΜΕ

Επιτροπή Εξέτασης

- Καθ. Γ. Μαρίνου, Σχ. ΑΜ ΕΜΠ
- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Επίκ. Καθ. Χ. Μουζάκης, Σχ. ΠΜ ΕΜΠ
- Δρ. Α. Δελέγκου, ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δρ. Χ. Παπατρέχας, ΙΓΜΕ

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου,

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη	9
Abstract	11
Εισαγωγή.....	13
1 Γενικό Θεωρητικό Μέρος	14
1.1 Δομικά Υλικά.....	14
1.1.1 Λίθοι.....	14
1.1.1.1 Πυριγενή πετρώματα.....	14
1.1.1.2 Ιζηματογενή πετρώματα.....	15
1.1.1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα	19
1.1.2 Κονιάματα.....	20
1.1.2.1 Είδη Κονίας- Αδρανών- Προσθέτων	22
1.1.2.2 Είδη Κονιαμάτων	26
1.1.3 Κεραμικά – Οπτόπλινθοι	27
1.1.3.1 Υλικά κατασκευής κεραμικών	28
1.1.3.2 Κατηγορίες πλίνθων	28
1.2 Φθορά Δομικών Υλικών.....	29
1.2.1 Γενικά.....	29
1.2.2 Φθορά Λίθων.....	30
1.2.2.1 Φθορά από την επίδραση του νερού.....	30
1.2.2.2 Διάβρωση της πέτρας από την ατμοσφαιρική ρύπανση	36
1.2.2.3 Διάβρωση του λίθου από το ατμοσφαιρικό Διοξείδιο του Άνθρακα	36
1.2.2.4 Διάβρωση του λίθου από τα οξείδια του αζώτου	37
1.2.2.5 Διάβρωση της πέτρας από την ύπαρξη μεταλλικών συνδέσμων	37
1.2.2.6 Διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες.....	38
1.2.3 Φθορά Κονιαμάτων	40
1.2.3.1 Μηχανικές Δράσεις.....	40
1.2.3.2 Χημικές Δράσεις.....	41
1.2.3.3 Βιολογικές Δράσεις.....	42
1.2.4 Φθορά Κεραμικών – Οπτόπλινθων	42
2 Ειδικό Θεωρητικό Μέρος.....	44
2.1 Διαγνωστική μελέτη	44

2.1.1	Διαγνωστικές μέθοδοι για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών	46
2.1.1.1	Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη Λίθων	46
2.1.1.2	Φυσικές Μέθοδοι Κονιαμάτων	46
2.1.1.3	Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης.....	46
2.1.1.4	Χημικές Μέθοδοι.....	47
2.1.1.5	Μελέτη Μικροδομής	47
2.1.1.6	Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών	47
2.2	Η Ιερά Μονή Παναγίας Βαρνάκοβας.....	47
2.3	Ιστορικά Στοιχεία του Καθολικού της Ιεράς Μονής Βαρνάκοβας.....	49
2.4	Σύντομη Αρχιτεκτονική Περιγραφή.....	52
2.4.1	Γενικά.....	53
3	Πειραματικό Μέρος.....	54
3.1	Πειραματικός Σχεδιασμός και Μεθοδολογία.....	54
3.2	Δειγματοληψία	54
3.3	Πειραματικές Τεχνικές και Μέθοδοι Ανάλυσης.....	62
3.3.1	Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)	62
3.3.2	Οπτική Μικροσκοπία - Πολωτική Μικροσκοπία (Πετρογραφική μελέτη).....	62
3.3.3	Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD).....	63
3.3.4	Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA-TG)	64
3.3.4.1	Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA).....	65
3.3.4.2	Θερμοβαρυμετρική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG)	65
3.3.5	Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό - Προσδιορισμός Ποσοστού Ροφημένου Νερού και Ολικού Ανοιχτού Πορώδους Προσβάσιμου στο Νερό	66
3.3.5.1	Ρόφηση νερού με ολική βύθιση δείγματος σε νερό	66
3.3.6	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων- Ποιοτική Ανίχνευσή Ανιόντων.....	67
3.3.7	Κρουσιμετρία.....	69
3.3.8	Μετρήσεις μηχανικών αντοχών	69
3.3.8.1	Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια.....	69
3.3.8.2	Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων.....	70
3.3.8.3	Δοκιμή κάμψης.....	70
3.3.9	Θερμογραφία Υπερύθρου IR.....	71
3.3.10	Φωτογραμμετρική Αποτύπωση με χρήση Πολυεικονικής μεθόδου δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με προϊόν την ορθοφωτογραφία	75
3.3.10.1	Θεωρητικό μέρος.....	75

3.3.11	Χαρτογράφηση φθορών με χρήση Συστήματος Ψηφιακής Σχεδίασης CAD.....	78
3.3.11.1	Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης.....	78
4	Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων.....	79
4.1.1	Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) - Μελέτη της υφής και της μορφολογίας των δομικών υλικών του Ναού με ψηφιακή μικροσκοπία.....	79
4.1.2	Μερικά Συμπεράσματα της μικροσκοπική παρατήρησης των δομικών υλικών του Ναού με τη χρήση της Μικροσκοπίας Οπτικών ινών.....	90
4.2	Πολωτική Μικροσκοπία – Πετρογραφική και Ορυκτολογική Μελέτη.....	93
4.3	Περίθλαση Ακτίνων Χ – Ορυκτολογική Μελέτη.....	96
4.3.1	Ορυκτολογική σύσταση δομικών λίθων και πλίνθων/κεραμικών.....	96
4.3.2	Ορυκτολογική σύσταση κονιαμάτων και επιχρισμάτων.....	99
4.4	Θερμοβαρυμετρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση – Μελέτη Χημικής Σύστασης.....	105
4.4.1	Θερμοβαρυμετρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση λίθων.....	105
4.4.2	Θερμοβαρυμετρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση κονιαμάτων και επιχρισμάτων ..	106
4.5	Δοκιμές εμβάπτισης – Προσδιορισμός ποσοστού ροφημένου νερού, ολικού ανοιχτού πορώδους προσβάσιμου στο νερό και φαινόμενης πυκνότητας.....	113
4.5.1	Δοκιμές εμβάπτισης στους δομικούς λίθους.....	113
4.5.2	Δοκιμές εμβάπτισης στα κονιάματα και στα επιχρίσματα.....	115
4.5.3	Δοκιμή εμβάπτισης στον οπτόπλινθο.....	119
4.6	Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων - Ποιοτική ανίχνευση Χλωριόντων, Θεικών ανιόντων, Νιτρικών ανιόντων.....	119
4.6.1	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στους δομικούς λίθους.....	119
4.6.2	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στα κονιάματα και τα επιχρίσματα.....	120
4.7	Μετρήσεις μηχανικών αντοχών.....	123
4.7.1	Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια.....	123
4.7.2	Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων σε κυλινδρικά δοκίμια - (Braziliantest).....	124
4.7.3	Δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα δοκίμια.....	124
4.8	Κρουσιμετρία.....	125
4.9	Θερμογραφία Υπερύθρου.....	127
4.9.1	Θερμογραφήματα στη Δυτική όψη.....	127
4.9.2	Θερμογραφήματα στην Βόρεια όψη.....	128
4.9.3	Θερμογραφήματα στην Ανατολική όψη.....	131
4.9.4	Θερμογραφήματα στη Νότια όψη.....	132
4.10	Μελέτη κατάστασης διατήρησης του μαρμαροθετημένου δαπέδου.....	138
4.10.1	Το μαρμαροθετημένο δάπεδο.....	138

4.10.1.1	Γενικά.....	138
4.10.1.2	Κατάσταση διατήρησης.....	144
4.10.2	Φωτογραμμετρική Αποτύπωση του Δαπέδου του Καθολικού της Ιεράς Μονής Βαρνάκοβας.....	148
4.10.2.1	Εφαρμογή.....	148
4.10.3	Χαρτογράφηση φθορών με χρήση Συστήματος Ψηφιακής Σχεδίασης CAD.....	153
4.10.4	Θερμογραφία Υπερύθρου.....	154
4.10.5	Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)- Μελέτη της υφής και της μορφολογίας με ψηφιακή μικροσκοπία.....	163
4.10.6	Μικροσκοπικός έλεγχος με Στερεομικροσκόπιο.....	166
4.10.7	Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD).....	171
4.10.7.1	Ορυκτολογική σύσταση δομικών λίθων και πλίνθων/κεραμικών.....	171
4.10.8	Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων - Ποιοτική ανίχνευση Χλωριόντων, Θεικών ανιόντων, Νιτρικών ανιόντων.....	173
4.10.8.1	Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στους δομικούς λίθους.....	173
5	Συμπεράσματα - Συζήτηση.....	175
5.1	Χαρακτηρισμός δομικών υλικών και διάγνωση της φθοράς για το Καθολικό της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.....	175
5.1.1	Δομικοί λίθοι Καθολικού.....	175
5.1.2	Κονιάματα και επιχρίσματα Καθολικού.....	176
5.1.3	Πρόταση συμβατών λιθοσωμάτων και περιοχών λατόμευσης.....	177
5.1.4	Πετρογραφική & Ορυκτολογική μελέτη.....	179
5.1.5	Μηχανικές αντοχές λίθων – Συγκριτική μελέτη.....	186
5.1.6	Χαρακτηρισμός υλικών και διάγνωση φθοράς του μαρμαροθετημένου δαπέδου.....	187
5.1.6.1	Χαρακτηρισμός υλικών του μαρμαροθετημένου δαπέδου.....	187
5.1.6.2	Διάγνωση του μαρμαροθετημένου δαπέδου.....	188
5.2	Πρόταση της σύστασης κατάλληλων συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων δόμησης και ενεμάτων.....	190
5.2.1	Πρόταση Κονιάματος.....	192
5.2.1.1	Προετοιμασία του υποστρώματος.....	195
5.2.1.2	Ανάμειξη – Εφαρμογή.....	195
5.2.2	Πρόταση Ενέματος.....	196
5.2.2.1	Προετοιμασία και Εφαρμογή.....	198
5.2.3	Πρότασεις υλικών και επεμβάσεων Συντήρησης Μαρμαροθετημένου δαπέδου.....	199
	Βιβλιογραφία.....	201

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών (λίθων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων), η μελέτη της κατάστασης διατήρησης του μαρμαροθετημένου δαπέδου, καθώς επίσης και οι προτάσεις συμβατών υλικών αποκατάστασης του Καθολικού της Ιεράς Μονής Παναγίας Βαρνάκοβας. Στο πλαίσιο αυτό χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές τεχνικές στο εργαστήριο, καθώς και μη καταστρεπτικές μέθοδοι επί τόπου στην κλίμακα του μνημείου.

Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι τεχνικές της Οπτικής Μικροσκοπίας (ΟΜ), Περίθλασης Ακτίνων Χ (ΧRD), Διαφορικής Θερμοβαρυμετρικής και Θερμικής Ανάλυσης (DG-DTA), Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης, Προσδιορισμό Ολικών Διαλυτών Αλάτων (SST%), Μετρήσεις Μηχανικών Αντοχών, και οι μη καταστρεπτικές τεχνικές της Ψηφιακής Μικροσκοπίας (DM), Κρουσιμετρίας (Schmidt Hammer), Θερμογραφίας Υπερύθρου (IR).

Επίσης, έγινε τρισδιάστατη γεωμετρική τεκμηρίωση με χρήση λογισμικού πακέτου Πολυεικονικής διαχείρισης, με αποτέλεσμα τη φωτογραμμετρική απόδοση του δαπέδου του ναού και τη παραγωγή ορθοφωτογραφίας. Η παραγόμενη ορθοφωτογραφία χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των φθορών του δαπέδου με χρήση CAD λογισμικού.

Ως προς τον χαρακτηρισμό των υλικών, ο κύριος δομικός λίθος του μνημείου είναι συμπαγής γκρίζος-μπεζ συμπαγής ασβεστόλιθος διάσπαρτος από διακλάσεις και στυλόλιθους. Παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση, ασβεσίτη, και ως δευτερεύουσα, χαλαζία. Εμφανίζει υψηλές μηχανικές αντοχές, ωστόσο με υψηλή διασπορά τιμών, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού. Παράλληλα, στην ανωδομή απαντώνται πωρόλιθοι, ένας πορώδης ασβεστόλιθος και ένας πορώδης ασβεστόλιθος, οι οποίοι παρουσιάζουν μόνο ασβεσίτη στην ορυκτολογική ανάλυση, ενώ παρουσίασαν υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων.

Επίσης, όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν, παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεσίτη και ως κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία. Τα κονιαμάτα/επιχρίσματα ταξινομούνται σε δυο βασικές ομάδες, τα ιδιαιτέρως υδραυλικά με χαμηλότερα ποσοστά ανθρακικών ενώσεων, που ανήκουν στην πρώτη κατασκευαστική φάση του Καθολικού (κονιάματα δαπέδου, κονίαμα εξωνάρθηκα και επιχρίσματα κιστέρνας), και αυτά που παρουσιάζουν ελαφρώς υδραυλικό χαρακτήρα και σχετικά υψηλά ποσοστά ανθρακικών ενώσεων, που θεωρούνται πως ανήκουν στη δεύτερη φάση ανακατασκευής (αρμολογήματα και τα κονιάματα δόμησης του Καθολικού, καθώς και τα υπόλοιπα επιχρίσματα).

Ολοκληρώνοντας τον χαρακτηρισμό, τα αρμολογήματα και τα κονιάματα δόμησης του Καθολικού, καθώς και τα υπόλοιπα επιχρίσματα ανήκουν στη δεύτερη ομάδα, ελαφρώς υδραυλικού

χαρακτήρα. Το κονίαμα αρμολόγησης του καμπαναριού είναι σε εξαιρετικά κακή κατάσταση διατήρησης και δεν ανήκει σε καμία από τις παραπάνω ομάδες. Το επίχρισμα γύψου που απαντάται στην ανωδομή, πιθανά πρόκειται για μεταγενέστερη επέμβαση. Τέλος, στα κονιάματα δαπέδου υπάρχει ανερχόμενης υγρασίας καθώς ανιχνεύονται χλωριόντα στο όριο του 3%.

Κατόπιν, σε αναζήτηση συμβατών λιθοσωμάτων και περιοχών λατόμευσης στην κοντινή περιοχή, δύο γκρίζοι-μπεζ ιστορικοί ασβεστόλιθοι, που αποτελούν τον δομικό λίθο του Καθολικού ταυτίζονται με τον μπεζ-γκρίζο ασβεστόλιθο του λατομείου που εξετάστηκε. Ταύτιση παρουσιάζουν και οι μηχανικές αντοχές των λίθων μεταξύ τους (θλιπτική αντοχή ενδιάμεση των δυο ιστορικών δειγμάτων). Η μεγάλη διασπορά που παρουσιάζεται στις μετρήσεις των συγκεκριμένων λίθων, (ιστορικών και λατομείου), αποδίδεται στην πληθώρα διακλάσεων και στυλόλιθων.

Το μαρμαροθετημένο δάπεδο του Καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας, διατηρεί μέρος της αυθεντική σύνθεσης, που κατά το μεγαλύτερο μέρος της καλύπτεται από μπεζ-γκρι συμπαγή ασβεστόλιθο όμοιο του λίθου δόμησης. Το δάπεδο έχει αποκατασταθεί στο παρελθόν. Ένα μεγάλο μέρος νεότερης συμπλήρωσης αφορά σε λίθο πάλι όμοιο του δομικού λίθου. Παρουσιάζει ιδιαίτερης αισθητικής μαρμαροθετήματα.

Έγινε πετρογραφική και ορυκτολογική ταυτοποίησης λίθινων «ψηφίδων», που θεωρούνται αυθεντικές. Προέκυψαν έτσι οι λίθοι, κόκκινος Πηλίτης, κόκκινος Μάνης, τεφρός βιομικριτικός ασβεστόλιθος, υποκίτρινος μικριτικός ασβεστόλιθος, πρασινωπός χαλαζίτης, ερυθρωπός βιομικριτικός ασβεστόλιθος, Κροκεάτης λίθος (Lapis Lacedemonius), Πράσινος λίθος Χασάμπαλης (Verde Antico) και Λευκό ασβεστιτικό μάρμαρο.

Πραγματοποιήθηκε η διάγνωση του δαπέδου με διάφορες παρατηρήσεις ως προς τις νεότερες επεμβάσεις, με κυριότερη την ένδειξη αφαίρεσης χτιστού βάρθρου από το ιερό, επέμβαση με έντονα κατάλοιπα φθοράς.

Έπειτα, για να γίνει η σύσταση συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων και ενεμάτων έγινε η εφαρμογή της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης. Κατόπιν συγκριτικής μελέτη των ιστορικών κονιαμάτων που έχουν μελετηθεί στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών προτείνεται ως βέλτιστη λύση η χρήση εμπορικού κονιάματος ασβέστη - μετακαολίνη. Παρομοίως στη περίπτωση των ενεμάτων, ως πλέον συμβατό, προτείνεται εμπορικό ένεμα, βάσης ασβέστη-μετακαολίνη, το οποίο παρουσιάζει τη μέγιστη συνάφεια με το κονίαμα.

Τέλος, γίνονται προτάσεις υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για το μαρμαροθετημένο δάπεδο, οι οποίες κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν τη συμπλήρωση, τον καθαρισμό, τη στερέωση και συγκόλλησης θραυσμένων λίθινων όπου είναι απαραίτητο. Ωστόσο, κρίνονται απαραίτητες οι πιλοτικές εφαρμογές επεμβάσεων καθαρισμού και στερέωσης, για τον έλεγχο συμβατότητας, ώστε να επιλεγούν τα κατάλληλα συμβατά υλικά.

Abstract

The objective of this thesis is the study and characterization of building materials (stones, mortars and plasters), the study of *opus sectile* flooring's conservation status, as well as the proposals for compatible restoration materials of the Catholic Church of the Holy Monastery of Varnakova. In this context, some analytical techniques were used in the laboratory, as well as non-destructive methods *in situ* to the monument.

Specifically, the techniques of Optical Microscopy (OM), X-ray diffraction (XRD), Differential Thermal Analysis (DG-DTA), Total Immersion Tests, Determination of Total Salts, SSTs, 5% non-destructive techniques of Digital Microscopy (DM), Infrared Thermography (IR).

Also, 3D geometric documentation was made using a Multi-Virtual Management software package for advanced image-based 3D modeling, resulting in photogrammetric rendering of the temple's *opus sectile* floor and orthophotography production. The orthophotos produced were used to map the damage to the *opus sectile* floor using CAD software.

In terms of material characterization, the monument's main building stone is a solid gray-beige limestone scattered with rifts and pens. It presents as the main mineral phase, calcite, and as a secondary quartz. It exhibits high mechanical strengths, however, with a high dispersion due to the existence of non-clear orientations of rifts and pens. At the same time, the superstructure contains porous limestones, a porous fossil limestone and a porous fossil limestone, which present only calcite in the mineralogical analysis, while presenting high percentages of soluble salts.

Also, all the mortars examined show limestone as the main mineralogical phase and quartz as the main mineralogical phase. Mortars / plasters are classified into two main groups, particularly hydraulics with lower carbon content, which belong to the first phase of the Catholic construction (floor mortars, exterior mortars and cistern plaster), and those with high hydrocarbon coatings. compounds, which are considered to belong to the second phase of remodeling (Catholic mortars and mortars, as well as other plasters).

In completing the characterization, the grouts and mortars of the Catholic construction, as well as the rest of the plasters belong to the second group of slightly hydraulic character. The campanile's mortar is in extremely poor condition and does not belong to any of the above groups. The plaster plaster found on the suprastructure is likely to be a later operation. Finally, there is rising humidity in the floor mortars as Chlorides are detected at the 3% limit.

Then, in search of compatible lithosomes and quarrying areas in the vicinity, two gray-beige historical limestones that form the Catholicon are identified with the beige-gray limestone of the quarry examined. The mechanical strengths of the stones are similar (compressive strength between

the two historical samples). The large dispersion shown in the measurements of these stones, (historical and quarry), is attributed to the abundance of rifts and pens.

The marble flooring of the Cathedral of the Varnakova Monastery retains part of its original composition, most of which is covered by a beige-gray solid limestone-like stone structure. The floor has been restored in the past. Much of the newer filling is related to stone again similar to that of stone. It has special aesthetic *opus sectile*.

Petrographic and mineralogical identification of stone "mosaics", which are considered authentic. This resulted in the stone, Red Pelite, Red of Mani, Ash Biomicritic Limestone, Pale Yellow Micritic Limestone, Greenish Quartzite, Reddish Biomicritic Limestone, Krokeatis Stone (Lapis Lacedemonius) Greenish Chasabalis (Verde Antico)

The floor has been diagnosed with various observations of the newer interventions, most notably the removal of a built-in pedestal from the sanctuary, with extensive remnants of wear. Subsequently, the reverse mechanical approach was applied to create compatible and effective mortars and grout. Following a comparative study of the historical mortars studied at the Laboratory of Materials Science and Engineering, the use of commercial lime - metacolin mortar is suggested as an optimal solution. Similarly in the case of grout, as a more compatible, a commercial lime-metakaolin-based injection is proposed, which has the highest affinity for the mortar.

Finally, material suggestions are made the floor was diagnosed with various observations of the newer interventions, most notably the removal of a built-in pedestal from the sanctuary, with extensive remnants of decay.

Subsequently, the reverse mechanical approach was applied to create compatible and effective mortars and grout. Following a comparative study of the historical mortars studied at the Department of Materials Science and Engineering, the use of commercial lime-metakaolin mortar is suggested as an optimal solution. Similarly in the case of grout, as a more compatible, a commercial lime-metakaolin-based injection is proposed, which has the highest affinity for the mortar.

Finally, suggestions are made for materials and maintenance interventions for marble flooring, which mainly include filling, cleaning, fixing and welding of crushed stone where necessary. However, pilot applications of cleaning and fastening operations are considered necessary for compatibility testing in order to select the appropriate compatible materials.

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών του ναού με έμφαση τους λίθους, τα κονιάματα και τα επιχρίσματα που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την κατασκευή του ναού, μέσω της χρήσης μικροκαταστρεπτικού και μη καταστρεπτικού ελέγχου. Επιχειρείται η περιγραφή της γενικής κατάστασης διατήρησης του ναού όπως προκύπτει από τα δεδομένα και πληροφορίες για τη ταυτότητα της κατασκευής με σκοπό το σχεδιασμό της μεθοδολογίας των εργασιών συντήρησης και αποκατάστασης του. Επίσης, γίνεται προσπάθεια τρισδιάστατης γεωμετρικής τεκμηρίωσης του μαρμαροθετημένου δάπεδου που κοσμεί το ναό, μέσω φωτογραμμετρικής του απόδοσης. Επιπρόσθετα, επιχειρείται και η ορυκτολογική ταυτοποίηση των κυριότερων διακοσμητικών λίθων του δαπέδου. Τέλος, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων και συζήτηση επί αυτών, με επίκεντρο τα κυριότερα θέματα που προέκυψαν και αφορούν τη σύσταση και τη προέλευση των υλικών, την ταυτοποίηση μηχανισμών διάβρωσης και φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους, και κάποιες γενικές και ειδικές παρατηρήσεις.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, κα. Αντωνία Μοροπούλου καθηγήτρια της σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα, την καθοδήγηση, την υποστήριξη, τις υποδείξεις και τις πολύτιμες γνώσεις της σε όλη τη διάρκεια εκπονήσεώς της. Ιδιαίτερα πολλές ευχαριστίες οφείλω στη κα. Αικατερίνη Δελέγκου ΕΔΙΠ της σχολής Χημικών Μηχανικών, για τη καθοδήγηση, τη καθοριστική συμμετοχή, τις υποδείξεις, την βοήθεια και τις συμβουλές της. Πολλές ευχαριστίες οφείλω στη κα. Μαίρη Αποστολοπούλου, υποψήφια διδάκτορα της σχολής Χημικών Μηχανικών για τη καθοριστική συμμετοχή, την βοήθεια και τις συμβουλές της. Πολλές ευχαριστίες οφείλω και στη κα. Ελισάβετ Τσιλαμαντού, υποψήφια διδάκτορα της σχολής Χημικών Μηχανικών για τη καθοδήγηση, τη βοήθεια και τις συμβουλές της. Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω πάρα πολύ τον κ. Χρήστο Παπατρέχα, Γεωλόγο - Πετρογράφο της Διεύθυνσης Ορυκτολογίας και Πετρογραφίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, για τις πολύτιμη βοήθεια και τις καθοριστικές γνώσεις που μου προσέφερε επί του Πετρογραφικού ελέγχου της παρούσας εργασίας. Ευχαριστώ πάρα πολύ και τον κ. Γεώργιο Οικονόμου, Τμηματάρχη Ορυκτολογίας και Πετρογραφίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, για τη σημαντική βοήθεια επί του Πετρογραφικού ελέγχου της παρούσας. Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην ηγουμένη και τις μοναχές της Ιεράς Μονής Βαρνάκοβας για την άριστη φιλοξενία τους.

1 Γενικό Θεωρητικό Μέρος

1.1 Δομικά Υλικά

1.1.1 Λίθοι

Οι λίθοι είναι φυσικά υλικά που προέρχονται μόνο από μηχανική κατεργασία των πετρωμάτων. Τα πετρώματα αφορούν στο υλικό του στερεού φλοιού της γης, προϊόν γεωλογικών διεργασιών, και αποτελούνται από ορυκτά, των οποίων οι ιδιότητες καθορίζουν και τις φυσικοχημικές του ιδιότητες.

Τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που είναι σημαντικά για τη μελέτη σε ότι αφορά την συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων τους είναι κυρίως:

- Ορυκτολογική σύνθεση: Οι περισσότερες ιδιότητες των πετρωμάτων βασίζονται στις φυσικές και χημικές ιδιότητες των ορυκτών που τα απαρτίζουν
- Ιστός / Υφή: Αναφέρονται στον τρόπο εμφάνισης των ορυκτών συστατικών μέσα στη μάζα του πετρώματος, στο βαθμό κρυστάλλωσης το μέγεθος και το σχήμα τους.
- Δομή της μάζας του πετρώματος: τα μακροχαρακτηριστικά, η σχιστότητα, οι πτυχές, κ.α.

Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε πυριγενή, ιζηματογενή και μεταμορφωμένα με βάση την γεωλογική διεργασία από την οποία δημιουργούνται.

1.1.1.1 Πυριγενή πετρώματα

Πυριγενή πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία δημιουργούνται μετά από στερεοποίηση του μάγματος. Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται βαθυγενή ή πλουτωνίτες, και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία οδηγεί στην δημιουργία μεσο/χονδρόκοκκων κρυστάλλων συχνά ορατών με γυμνό μάτι.

Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες, και οι γάββροι. Αντίθετα, όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται ηφαιστίτες ή εκρηξιγενή. Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα και σχηματίζονται υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες. Τέτοια πετρώματα είναι ο βασάλτης, και ο ρυόλιθος. Όταν η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, τα πετρώματα ονομάζονται υποηφαιστιακά, ενώ όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα φλεβικά πετρώματα.

- Γρανίτης. Πλουτωνικό πέτρωμα με ολοκρυσταλλικό ιστό, λευκοκρατικό, όξινο. Περιέχει αλκαλιούχους αστρίους, χαλαζία και βιοτίτη ή/και μοσχοβίτη (μαρμαρυγίες) ή κεροσίλβη, καθώς και όξινο πλαγιόκλαστο
- Γάββρος: Είναι πλουτωνίτης, ολοκρυσταλλικός, μελανοκρατικός, και βασικό πέτρωμα που αποτελείται από βασικά πλαγιόκλαστα, πυρόξενο, ολιβίνη, και σπανιότερα κεροσίλβη (Μικροσκοπία πολωμένου φωτός)
- Διορίτης: Πέτρωμα βαθυγενές, μεσοκρατικό έως μελανοκρατικό, με γρανιτοειδή ιστό. Περιέχει όξινα απλαγιόκλαστα, κεροσίλβη και σπάνια βιοτίτη. (Μικροσκοπία πολωμένου φωτός)
- Βασάλτης: Το αντίστοιχο έκχυτο πέτρωμα του γάββρου. Είναι ολομελανοκρατικό έως μελανοκρατικό πέτρωμα με υαλώδη έως ολοκρυσταλλικό ιστό, αλλά κυριαρχεί ο πορφυριτικός. Οι φαινοκρύσταλλοι είναι κυρίως βασικά πλαγιόκλαστα, αυγίτης, διοψίδιο, ή ολιβίνη. (Δεξιά: εικόνα από μικροσκόπιο πολωμένου φωτός)

1.1.1.2 Ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (αέρας ή νερό) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, η διαστρωμάτωση υλικών και τα απολιθώματα που βρίσκονται μέσα στα ιζήματα.

Οι διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων είναι:

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

Ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η όλη διαδικασία δημιουργίας των ιζηματογενών πετρωμάτων έχουμε τα ακόλουθα:

- Μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα: Συγκέντρωση θραυσμάτων ή φερτών υλικών διαφόρων μεγεθών, σχημάτων, και σύνθεσης, τα οποία είναι προϊόντα της αποσάθρωσης άλλων

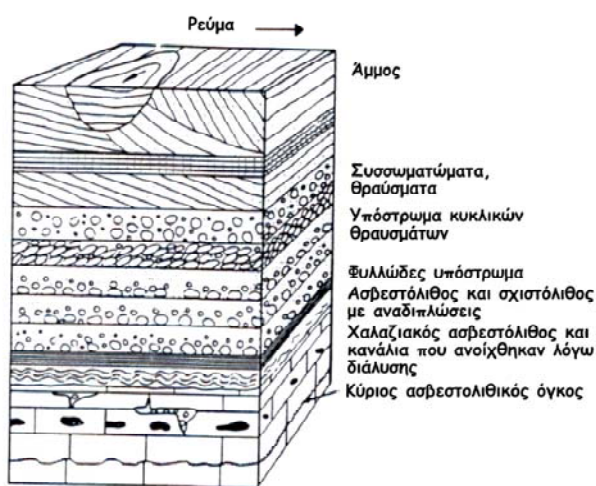
πετρωμάτων (τυπικά πετρώματα: ο ψαμμίτης, τα λατυποπαγή και τα κροκαλοπαγή, ο πηλόλιθος, η άργιλος, η μάργα κ.α.)

- Χημικά ιζήματα: Απόθεση ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες (τυπικά πετρώματα: ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης, ο τραβερτίνης, ο όνυχας, ο γύψος, το ορυκτό άλας κ.α)
- Οργανικά ή βιογενή ιζήματα: Συσσώρευση οργανικής προέλευσης υλικού- (τυπικά πετρώματα: η τύρφη, ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, ο κοραλλιογενής, κελυφογενής ή βιοκλαστικός ασβεστόλιθος κ.α.)

1.1.1.2.1 Κλαστικά ιζήματα

Τα περισσότερα ορυκτά υλικά που περιέχονται στα κλαστικά ιζήματα προέρχονται από πρωτογενή μαγματικά πετρώματα ή την αποσάθρωση με μηχανικές διεργασίες προϋπαρχόντων ιζηματογενών ή μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων.

- Ο χαλαζιάς, ένα από τα πιο σκληρά ορυκτά, αντέχει την μηχανική διάβρωση στη διαδικασία συσσώρευσης φερτών υλικών στα ποτάμια ή τις παραλίες, ενώ παράλληλα είναι και σχετικά ανθεκτικό ορυκτό σε χημική φθορά.
- Αντίθετα, τα ανθρακικά θραύσματα συνήθως αντιδρούν με τα μη κορεσμένα σε άλατα νερά, ενώ οι άστριοι και τα σιδηρομαγνητικά αργιλικά οξείδια σταδιακά φθείρονται σε άργιλο. Κομμάτια μαρμαρυγία μπορούν επίσης να αντέξουν την διαδικασία χημικής και μηχανικής φθοράς ώστε να βρεθούν στο υπόλειμμα (ιζημα) μαζί με τον χαλαζία και την άργιλο.



Εικόνα 1: Τυπική δομή ιζηματογενών πετρωμάτων.

Τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα αποτελούνται από συνδετικό υλικό και κόκκους. Έτσι βάσει του συνθετικού υλικού μπορούν να χωριστούν σε:

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

Κατηγορίες πετρωμάτων κλαστικών ιζημάτων:

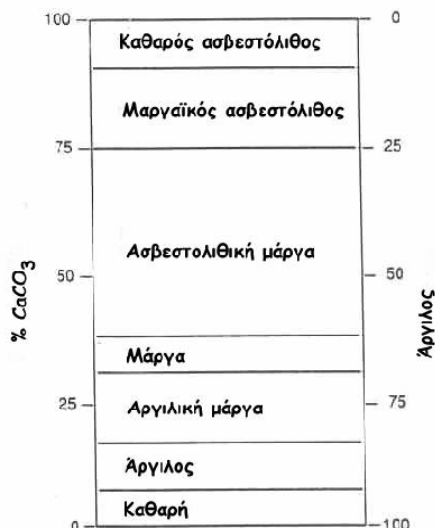
- Κροκαλοπαγή. Συμπαγή πετρώματα που σχηματίζονται από συγκόλληση κροκάλων (αποστρογγυλεμένα θραύσματα πετρωμάτων) διαφόρων μεγεθών και χρωμάτων που συνδέονται (συχνά ισχυρά) μεταξύ τους με συνδετικό υλικό που αποτελείται από μικρούς κόκκους και άμμο.
- Λατυποπαγή. Ιζηματογενή πετρώματα από χονδρόκοκκα ή μεσόκοκκα γωνιώδη θραύσματα.
- Ψαμμίτης: Συμπαγές πέτρωμα που προκύπτει από διαγένεση της άμμου και αποτελείται από κόκκους μεγέθους άμμου, κυρίως χαλαζία, αστρίων, μοσχοβίτη, αλλά συχνά και ασβεστίτη, μαρμαρυγία και κεροσίλβη.
- Πηλόλιθος.: Το αφθονότερο κλαστικό ιζηματογενές πέτρωμα στην επιφάνεια της Γης. Αποτελείται από αργιλικά ορυκτά, χαλαζία, αστρίους, ασβεστίτη και οργανική ύλη. Το μέγεθος των συστατικών του κυμαίνεται από 1/250 έως 1/16mm.
- Άργιλος. Κλαστικό ίζημα που αποτελείται κυρίως από ορυκτά της αργίλου (καολινίτης, μοντμοριλλονίτης, ιλλίτης) και χλωρίτη. Το μέγεθος των κόκκων των ορυκτών είναι μικρότερο των 1/500 mm. Συνήθως η άργιλος έχει χαλαρή έως ημισυμπαγή υφή. Η διαγένεση της αργίλου οδηγεί στη σχιστή άργιλο ενώ η μεταμόρφωση σε αργιλικό σχιστόλιθο.
- Μάργα. Ιζηματογενής σχηματισμός που χημικά και ορυκτολογικά κυμαίνεται μεταξύ ασβεστολίθου και αργίλου.

1.1.1.2.2 Χημικά ιζήματα

Τα χημικά ιζήματα είναι το αποτέλεσμα απόθεσης ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες (π.χ. εξάτμιση νερού).

Στη φύση η διαφοροποίηση μεταξύ κλαστικών και χημικών ιζημάτων δεν είναι εύκολη.

Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν συνήθως προσμίξεις ενώ αναμιγνύονται με άργιλο σε διάφορες αναλογίες (βλέπε σχήμα εικόνας 2).



Εικόνα 2: Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες σε αναλογίες προσμίξεων όταν αναμιγνύονται με άργιλο.

Κατηγορίες πετρωμάτων χημικών ιζημάτων:

- **Ασβεστόλιθος.** Ο ασβεστόλιθος είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο πέτρωμα στην Ελλάδα και αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (CaCO_3) με λιγότερο από 5% αργιλικές προσμίξεις. Η απόθεση του CaCO_3 είναι είτε χημική π.χ. καθίζηση λόγω κορεσμού στο υδατικό διάλυμα, είτε βιογενής από τα σκελετικά στοιχεία ζωικών ή φυτικών οργανισμών. Οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο εύρος χρωμάτων και σύστασης που εξαρτώνται από την διαδικασία σχηματισμού τους.
- **Δολομίτης.** Πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από δολομίτη, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, και σχηματίζεται όταν ένα μέρος του Ca του ασβεστίτη αντικατασταθεί από Mg (δολομιτίωση). Οι δολομίτες σχηματίστηκαν κατά την Παλαιοζωική περίοδο, αντίθετα από τους ασβεστόλιθους που είναι πιο πρόσφατοι. Παρουσιάζουν σακχαροκοκκώδη μορφή και είναι σκληρότεροι, βαρύτεροι και πιο ψαθυροί από τους κλασικούς ασβεστόλιθους.
- **Τραβερίτης,** Πέτρωμα ανθρακικό, με ανοιχτό, καστανοκίτρινο χρώμα και πορώδη υφή. Είναι προϊόν χημικής ιζηματοποίησης κυρίως σε πηγές. Το πορώδες οφείλεται στην

απόθεση CaCO_3 γύρω από φυτικά μέρη (τα οποία απορροφούν CO_2 και μειώνουν την διαλυτότητά του στο νερό), τα οποία μετά την αποσύνθεση τους απομακρύνονται και αφήνουν τους πόρους στο πέτρωμα.

- Όνυχας-μάρμαρο (αλάβαστρο). Ανακρυσταλλωμένη ποικιλία τραβερτίνη, λεπτόκοκκη και διαφανής με απαλούς τόνους χρώματος (πράσινο, κρεμ, χρυσό-καφέ) που οφείλεται στην ύπαρξη σιδήρου και στους διάφορους βαθμούς οξείδωσης

1.1.1.2.3 Οργανικά ή βιογενή ιζήματα

Οργανογενείς ασβεστόλιθοι:

- Πολλοί θαλάσσιοι οργανισμοί, παραλαμβάνουν από το νερό το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και σχηματίζουν προστατευτικά κελύφη και όστρακα. Με τον θάνατο των οργανισμών αυτών τα ασβεστολιθικά τους μέρη συσσωρεύονται στο πυθμένα και σχηματίζουν ασβεστόλιθους ιδιαίτερων τύπων. Τέτοιοι ασβεστόλιθοι είναι ο κογχυλιογενής και ο κοραλλιογενής ασβεστόλιθος,
- Κιμωλία. Η κιμωλία (κρητίς) είναι λευκό, λεπτομερές, στιφρό, ασβεστολιθικό πέτρωμα που σχηματίζεται από λείψανα τρηματοφόρων. Παρουσιάζει μια σειρά ιδιαίτερων χαρακτηριστικών όπως λευκό χρώμα, υψηλό πορώδες, χαμηλές τιμές αντοχών και εύκολη τριβή.
- Κερατόλιθοι. Οι κερατόλιθοι είναι σκληρά, συμπαγή πετρώματα που αποτελούνται κυρίως από κρυπτοκρυσταλλικό και άμορφο SiO_2 ενώ υπάρχουν και ξένες προσμίξεις αιματίτη, ασβεσίτη, και αργιλικών ορυκτών. Οι κερατόλιθοι είναι σχετικά ανθεκτικοί στην φθορά, τουλάχιστον σε σχέση με τον ασβεστόλιθο. Η ύπαρξη, επομένως κερατολιθικών φλεβών σε ασβεστόλιθους μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικούς βαθμούς φθοράς με ανεπιθύμητα αποτελέσματα.

1.1.1.3 Μεταμορφωμένα πετρώματα

1.1.1.3.1 Γενικά

- Μεταμορφωμένα πετρώματα είναι τα πετρώματα τα οποία προκύπτουν από άλλα προϋπάρχοντα μετά από ιστολογικές, ορυκτολογικές και χημικές μεταβολές χωρίς όμως να υποστούν τήξη.
- Τα πυριγενή και ιζηματογενή πετρώματα υπόκεινται σε αυξημένες πιέσεις και θερμοκρασίες, και στην δράση θερμών διαλυμάτων και αερίων όταν βρεθούν λόγω γεωλογικών διεργασιών σε μεγάλα βάθη (π.χ. λόγω εναπόθεσης πάνω από αυτά νέων ιζηματογενών πετρωμάτων ή λόγω μετακινήσεων των γεωλογικών πλακών) και ανακρυσταλλώνονται σε πιο σταθερές ορυκτές φάσεις.

- Αναπτύσσονται έτσι νέα ορυκτά που χημικά προσομοιάζουν το μητρικό υλικό αλλά είναι πιο σταθερά στις νέες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η διαδικασία είναι αργή και συχνά λαμβάνουν χώρα αναδιπλώσεις (λόγω κίνησης των μαζών). Η θερμότητα που οφείλεται στην γειννίαση με πυριγενείς μάζες, ή στη γεωθερμική δραστηριότητα, επιφέρει πλαστικότητα στα πετρώματα, επιτρέποντας την μοριακή διάχυση από το ένα στρώμα στο άλλο, διαδικασία που διαρκεί εκατομμύρια χρόνια.

1.1.1.3.2 Κατηγορίες μεταμορφωμένων πετρωμάτων:

- Μάρμαρο. Το μάρμαρο έχει προέλθει από την μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου.
- Γνεύσιος. Πέτρωμα με γρανιτική όψη μεσόκοκκο αλλά με έντονη παράλληλη διευθέτηση των κόκκων και συγκέντρωση των ορυκτών σε ζώνες. Χαρακτηρίζεται από έντονη σχιστότητα. Τα κυριότερα συστατικά του είναι χαλαζίας, αστρίοι και μαρμαρυγίες, αλλά μπορεί να υπάρχουν και άλλα ορυκτά όπως κεροσίλβη, κ.α.. Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε συμπίεση όταν η φόρτιση γίνει κάθετα στον άξονα των κόκκων αλλά υστερεί όταν η φόρτιση γίνει παράλληλα με τους κόκκους. Μπορεί να προέλθει είτε από γρανίτη (όρθο-) είτε από αργιλικά πετρώματα (παρα-)
- Σχιστόλιθος. Παρόμοιος με τον γνεύσιο αλλά είναι μικρότερου βαθμού μεταμόρφωσης. Περιέχει μικρότερα ποσοστά αστρίων και χαλαζία, αλλά μεγαλύτερες ποσότητες μαρμαρυγιών και κεροσίλβης. Υπόκειται σε εύκολη διάτμηση με χρήση σχετικά μικρού φορτίου
- Σερπεντίτης. Συχνά αποκαλείται και σερπεντίτης-μάρμαρο. Αποτελείται από το ορυκτό σερπεντίτης ($Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$), ενώ περιέχει και τάλκη, αμφίβολο και χλωρίτη. Το πέτρωμα έχει πράσινο χρώμα με λευκές φλέβες ασβεστίτη ή ανθρακικού μαγνησίου

1.1.2 Κονιάματα

Κονιάματα ονομάζονται τα μείγματα που αποτελούνται από μία ή περισσότερες συνδετικές ύλες (κονίες), λεπτόκοκκα αδρανή (διάμετρος $\leq 4\text{mm}$) και νερό. Εάν τα μείγματα αυτά περιέχουν πιο χονδρόκοκκα αδρανή ονομάζονται κονιοδέματα ή σκυροδέματα. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυμένου κονιάματος εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμειξης και εφαρμογής και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης.

Τα κονιάματα ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης χωρίζονται σε:

- Υδραυλικά. Τα υδραυλικά κονιάματα πήζουν και σκληρύνονται με την παρουσία νερού, με ή χωρίς την παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό (υδραυλική άσβεστος, τσιμέντο).
- Αερικά. Τα αερικά κονιάματα πήζουν και σκληρύνονται μόνο όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα (γύψος, αερική άσβεστος).

Οι γενικές κατηγορίες των κονιαμάτων ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών είναι:

- Τσιμεντοκονιάματα με συνδετική ύλη το τσιμέντο
- Ασβεστοκονιάματα με συνδετική ύλη τον πολτό ασβέστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
- Τσιμεντοασβεστοκονιάματα ή μεικτά κονιάματα με μείγμα τσιμέντου και ασβέστου ως συνδετική ύλη.
- Ποζολανικά κονιάματα με συνδετική ύλη άσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή).
- Μαρμαροκονιάματα με κύριο αδρανές την μαρμαρόσκονη αντί της άμμου και συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο (με ενδεχόμενη μικρή προσθήκη γύψου)
- Γυψοκονιάματα με κύριο συνδετικό υλικό την γύψο.

Τέλος, η κατηγοριοποίηση των κονιαμάτων ανάλογα με την χρήση τους είναι:

- κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας,
- κονιάματα επιχρισμάτων,
- ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων
- συγκολλητικά όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες
- θερμομονωτικά,
- ηχομονωτικά,
- πυράντοχα

Τα κονιάματα που προορίζονται για τα διάφορα δομικά έργα, έχουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χρήσεων, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες που εξαρτώνται από την σύνθεση και την ποσοστιαία αναλογία των πρώτων υλών αλλά και τον τρόπο παρασκευής τους. Τα σημεία ακριβώς αυτά είναι που διαφοροποιούν τα κονιάματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες δομικών προϊόντων. Στα κονιάματα και σε μικρότερο βαθμό στα σκυροδέματα, ο μηχανικός

δεν καλείται να επιλέξει από μία κατηγορία παρεμφερών έτοιμων δομικών προϊόντων αυτό που καλύπτει τις ιδιότητες του έργου του, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεκτιμώντας πολλές παραμέτρους, σχεδιάζει ή επιλέγει το καταλληλότερο για την περίπτωση του.

Το κονίαμα, προορίζεται για να συνδέσει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία για δημιουργία μιας ενιαίας μονολιθικής μάζας να αντέχει σε υψηλά φορτία, άρα είναι απαραίτητο να αναπτύσσει ικανοποιητικές αντοχές με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας. Παράλληλα με τις αντοχές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και άλλες σημαντικές τους ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα του κονιάματος και τα πεδία εφαρμογής του. Οι επιπλέον αυτές ιδιότητες είναι η εργασιμότητα για τα νωπά κονιάματα και η πρόσφυση και η ανθεκτικότητα για τα σκληρυμένα.

Χρόνος εργασιμότητας μπορεί να οριστεί ως το χρονικό διάστημα από την πλήρη ανάμιξη του νωπού κονιάματος, κατά το οποίο το κονίαμα δόμησης διατηρείται εργάσιμο προς εφαρμογή.

1.1.2.1 Είδη Κονίας- Αδρανών- Προσθέτων

1.1.2.1.1 Είδη κονιών

Κονίες ονομάζονται τα υλικά, τα οποία μετά από ανάμιξη με κάποιο ρευστό μέσο γίνονται εύπλαστος πολτός με συγκολλητικές ιδιότητες. Η πλειοψηφία αυτών των υλικών αποκτούν πλαστικότητα μετά από ανάμιξη με νερό και στερεοποιούνται λόγω εξάτμισης αυτού (π.χ. πηλός) ή λόγω χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα (π.χ. τσιμέντο). Το νερό παίζει μεγάλο ρόλο τόσο στην πλαστικότητα και εργασιμότητα του κονιάματος, όσο και στην σκλήρυνσή του.

1.1.2.1.1.1 Αερικές Κονίες

Οι αερικές κονίες σκληραίνουν στον αέρα υπό την επίδραση διοξειδίου του άνθρακα (αερική άσβεστος, άργιλος, πηλός, γύψος). Η υδραυλικότητα οφείλεται σε ορισμένες ενώσεις με κυριότερες του πυριτίου, του αργιλίου και του σιδήρου.

Γύψος

Το θειικό ασβέστιο βρίσκεται είτε στην άνυδρη (CaSO_4), είτε στην διένυδρη μορφή του ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), που βρίσκεται με την μορφή ορυκτών στην φύση και μπορεί να περιέχουν προσμίξεις (CaCO_3 , MgCO_3 , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 κ.α.). Οι αντοχές του υλικού επηρεάζονται από την ποσότητα του νερού, τον τρόπο ανάμιξης καθώς και από την θερμοκρασία. Οι κυριότερες χρήσεις της γύψου είναι στα κονιάματα επιχρισμάτων και αρμών, στην κατασκευή και την

ένωση δομικών πλακών, σε διακοσμητικά στοιχεία και ψευδοροφές, αλλά και σε αντικείμενα που μορφοποιούνται σε καλούπια

Αερική Άσβεστος (CaO)

Παράγεται με έψηση - όπτηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων (>900 °C) και μπορεί να έχει μορφές καθαρού (CaCO₃) ή δολομιτικού (CaMg(CO₃)₂). Ανάλογα με την μορφή του αρχικού πετρώματος λαμβάνεται διαφορετική ποιότητα ασβέστη. Κατά κανόνα δεν σκληραίνονται κάτω από το νερό καθόσον δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

Η παραγωγή της γίνεται σε 3 στάδια:

1. Έψηση- όπτηση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και παραγωγή του CaO
2. Σβέση του CaO και παραγωγή του Ca(OH)₂
3. Πήξη και κλήρυνση του Ca(OH)₂ και παραγωγή του CaCO₃

Μετά το πέρας της σκλήρυνσης, η άσβεστος μετατρέπεται σε στερεό και αποκτά τις τελικές αντοχές της. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την σκλήρυνση είναι η παρουσία CO₂ και το ξηρό περιβάλλον για την εξάτμιση του νερού.

Η αερική άσβεστος δίνει εύπλαστα κονιάματα, ενώ παρουσιάζει καλή εργασιμότητα και υψηλή πρόσφυση. Χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή κονιαμάτων τοιχοδομών και επιχρισμάτων, είτε αυτούσια, είτε σε συνδυασμό με τσιμέντο γύψο ή ποζολάνη.

1.1.2.1.1.2 Υδραυλικές Κονίες

Υδραυλική άσβεστος

Είναι άσβεστος που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγονται με έψηση πλουσίων σε αργίλιο ασβεστόλιθων και στην συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμειξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνονται όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία της σκλήρυνσης. Οι υδραυλικές ιδιότητες της οφείλονται στις διάφορες προσμίξεις της, κυρίως το πυρίτιο, το αργίλιο και το σίδηρο, οι οποίοι παίζουν σημαντικό ρόλο και στην πήξη.

Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από έψηση ειδικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων που περιέχουν 5-20% άργιλο. Η έψηση γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες από αυτές του τσιμέντου και συγκεκριμένα από 900-1300°C Η άσβεστος αυτή έχει υδραυλικές ιδιότητες που οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο το αργίλιο και τον σίδηρο που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς. Μειονεκτεί όμως σημαντικά λόγω

του μεγάλου ποσοστού του ελεύθερου CaO που περισσεύει. Για τον λόγο αυτόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια στα διάφορα κονιάματα, αλλά απαιτεί ποζολάνες ώστε να δεσμευτεί το ελεύθερο CaO με το ενεργό SiO₂ που αυτές ως γνωστόν έχουν.

Τσιμέντο

Τσιμέντο ονομάζεται η τεχνητή, λεπτόκοκκη κονία που παρασκευάζεται με άλεση του κλίνκερ, όπως ονομάζεται διεθνώς είναι προϊόν της όπτησης μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων σε ποσοστό.

Τα είδη κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο είναι κονιάματα τσιμέντου-ασβέστη για την βελτίωση μια σειρά ιδιοτήτων όπως η πρόσφυση, η στεγανότητα, η πλαστικότητα, η εργασιμότητα, η μείωση πιθανότητας εμφάνισης εξανθημάτων, κ.τ.λ. και κονιάματα τσιμέντου-ποζολάνης για τη μείωση ποσοστού ελευθέρου Ca(OH)₂ όπως επίσης και τσιμέντο υψηλών αντοχών, υψηλής συγκέντρωση πυριτίου, λευκό τσιμέντο, ανθεκτικό στα θειικά, κ.τ.λ.

Η πήξη του τσιμέντου προκαλείται λόγω των αλληλοεμπλεκόμενων δομών των προϊόντων ενυδάτωσης. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της ενυδάτωσης και της σκλήρυνσης του τσιμέντου ονομάζεται χρόνος πήξης (setting time). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο πήξης είναι η λεπτότητα του τσιμέντου, τα ποσοστά του αργιλικού τριασβεστίου (C₃A) και της ελεύθερης ασβέστου (% CaO) καθώς και από το λόγο W/C (νερό/τσιμέντο). Η ρύθμιση του χρόνου πήξης πραγματοποιείται με την προσθήκη γύψου κατά την άλεση του κλίνκερ.

1.1.2.1.2 Αδρανή

Τα αδρανή είναι υλικά τα οποία προέρχονται από την φυσική αποσάρθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά όπως σκουριές από υψικαμίους, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α. Αποτελούνται από κόκκους ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους και χρησιμοποιούνται σαν πληρωτικά υλικά στα κονιάματα. Κατά την σκλήρυνση της κονίας οι κόκκοι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους κι έτσι προκύπτει ένα στερεό σώμα κατάλληλο για κατασκευές, του οποίου οι ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της κονίας.

Η άμμος είναι το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη.

Πιο συγκεκριμένα κατά την επιλογή και την χρήση των αδρανών, έμφαση δίνεται :

- στην κοκκομετρική διαβάθμιση όπου προτιμάται η χρήση αδρανών με σχετικά μεγάλο εύρος προκειμένου να καλύπτουν οι μικροί κόκκοι τα κενά που αφήνουν οι μεγαλύτεροι. Επιδιώκεται το <math><250\mu\text{m}</math> κλάσμα να είναι το 10-25% του συνολικού βάρους της άμμου. Εάν το κλάσμα αυτό αντιπροσωπεύει ποσοστό μικρότερο του 10%, τότε θα υπάρχουν κενά και τότε θα πρέπει να προστεθεί κονία για να βελτιωθεί η εργασιμότητα. Αυξημένο όμως ποσοστό κονιάς θα οδηγήσει σε ρωγμές λόγω του αυξημένης συστολής ξήρανσης. Όταν όμως υπάρχουν αδρανή υλικά με αυξημένο λεπτόκοκκο κλάσμα (δηλαδή με μέγεθος κόκκου μικρότερο των $63\mu\text{m}$) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, τότε δημιουργείται έντονο πρόβλημα καθόσον καλύπτονται οι κόκκοι του αδρανούς και εμποδίζεται η ένωση του με τον πολτό. Το λεπτόκοκκο αυτό κλάσμα λέγεται παιπάλη.
- Στην παρουσία αλάτων και άλλων προσμίξεων καθώς και στην παρουσία χωματοειδών υλικών που καθιστούν δύσκολη την πρόσφυση μεταξύ αδρανούς και συνδετικού υλικού. Στα επιβλαβή συστατικά περιλαμβάνονται φυτικές και χημικές ουσίες, τεμάχια άνθρακα, τέφρες κλπ
- Στην υγρασία όπου οι αναλογίες μίξης των συστατικών των κονιαμάτων που δίνονται στα διάφορα πρότυπα, ισχύουν με την προϋπόθεση ότι η άμμος περιέχει υγρασία περίπου 3%. Ιδιαίτερα ξηρές ή πολύ υγρές άμμοι καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο. Για τον λόγο αυτό κατά τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος οι ποσότητες των άμμων πρέπει να διορθώνονται ανάλογα με την υγρασία που έχουν.

Συνηθισμένα αδρανή που χρησιμοποιούνται στα δομικά υλικά είναι, άμμος (θαλασσινή-ανθρακικής σύστασης, ποταμίσια-χαλαζιακής σύστασης, λατομείου), θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, από γρανίτες, δολομίτες, χαλαζία κ.τ.λ., θραύσματα κεραμικού για τη δημιουργία ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου τα οποία έχουν καλύτερη πρόσφυση και καλύτερες μηχανικές αντοχές, κίσηρη για την παραγωγή ελαφρού κονιάματος το οποίο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα.

1.1.2.1.3 Πρόσθετα-Πρόσμεικτα

Πρόκειται για τα υλικά που προστίθενται στο κονίαμα σε μικρές ποσότητες (<math><2\%</math>) σε σχέση με τη μάζα της κονιάς με σκοπό να τροποποιήσουν τις ιδιότητες κυρίως του νωπού, αλλά και του σκληρυμένου κονιάματος. Τα υλικά αυτά βελτιώνουν την ρευστότητα, την πλαστικότητα και επιβραδύνουν ή επιταχύνουν την πήξη του κονιάματος. Μπορούν να

διαχωριστούν σε ανόργανα και οργανικά. Η κυριότερη κατηγορία πρόσθετων με εκτεταμένη χρήση στις κατασκευές είναι οι ποζολάνες οι οποίες ανήκουν στη κατηγορία των ανόργανων.

1.1.2.1.4 Ποζολάνες

Είναι τα ορυκτά αργιλοπυριτικής σύστασης, τα οποία σε φυσική κατάσταση δεν παρουσιάζουν υδραυλικές ιδιότητες (ή παρουσιάζουν σε μικρή έκταση), αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή, παρουσία υγρασίας, αντιδρούν με το Ca(OH)_2 , σε συνήθη θερμοκρασία, σχηματίζοντας ενώσεις με υδραυλικές ιδιότητες.

Οι ποζολάνες μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω σε φυσικές και τεχνητές.

- Οι φυσικές ποζολάνες προέρχονται από πυροκλαστικά πετρώματα (υλικά ηφαιστειακής προέλευσης), υαλώδους μορφής με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60%. Ανάλογα με τη φύση των ορυκτολογικών συστατικών τους μπορεί να είναι ηφαιστειογενείς ύαλοι, ζεόλιθοι ή μερικά ζεολιθοποιημένοι ύαλοι ή δραστικές μορφές ένυδρων πυριτικών. Κύριες φυσικές ποζολάνες είναι η Θηραϊκή γη, οι Ιταλικές ποζολάνες και η ηφαιστειακή τέφρα από τη Γαλλία.
- Οι τεχνητές ποζολάνες είναι τα αργιλοπυριτικά υλικά που λαμβάνονται μετά από συγκεκριμένη θερμική κατεργασία. Κυριότερα παραδείγματα αποτελούν οι ιπτάμενες τέφρες, οι σκωρίες υψικαμίνων, η πυριτική παιπάλη και ο μετακαολινίτης, που προκύπτει από έψηση του καολινίτη. Στην αρχαιότητα χρησιμοποιούνταν ως τεχνητές ποζολάνες θραύσματα από κεραμικά, κεραμίδια, πλίνθους, αγγεία κ.α., η δραστικότητα των οποίων εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου, τη θερμοκρασία έψησης και το μέγεθος των τεμαχιδίων.

1.1.2.2 *Είδη Κονιαμάτων*

1.1.2.2.1 Ασβεστιτικά Κονιάματα

Τα ασβεστιτικά κονιάματα παράγονται με ασβεστίτη ως υλικό κονιάς και αργιλοπυριτικά υλικά ως αδρανή. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1/1 μέχρι ¼ με μέσο όρο 1/3, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

1.1.2.2.2 Κονιάματα τεχνολογίας θερμού ασβεστίτη

Τα κονιάματα θερμού ασβεστίτη παράγονται με αερική άσβεστο ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά ως αδρανή. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από ½ μέχρι ¼ με μέσο όρο 1/3.

1.1.2.2.3 Κονιάμα Ασβεστίτη-Ποζολάννας

Τα κονιάματα ασβεστίτη-ποζολάννας παράγονται με ασβεστίτη και φυσική ποζολάνα ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή. Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν υδραυλικά χαρακτηριστικά λόγω των ποζολανικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του ασβεστίτη και της φυσικής ποζολάνας. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1/2 μέχρι 1/3 με μέσο όρο 1/3.

1.1.2.2.4 Κονιάματα θρυμματισμένου τούβλου-ασβεστίτη

Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παράγονται με ασβεστίτη και σκόνη τούβλου, που λειτουργεί ως ποζολάνη ως υλικό κονιάς και θρυμματισμένο τούβλο ως αδρανή, όπως επίσης και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά. Τα κονιάματα αυτής της κατηγορίας παρουσιάζουν υδραυλικά χαρακτηριστικά λόγω των ποζολανικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα στη διεπιφάνεια της κονιάς και των κεραμικών. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1/2 μέχρι 1/3 με μέσο όρο 1/3.

1.1.2.2.5 Κονιάματα Τοιχοποιίας

Τα κονιάματα τοιχοποιίας είναι ειδικά κονιάματα κατασκευασμένα για μια συγκεκριμένη τεχνική κατασκευής, όπου το κονίαμα συνθέτει τον πυρήνα ενός οικοδομικού συστήματος χτισμένου τριγύρω. Τα αυτά παράγονται με υδραυλική άσβεστο ή τα υλικά που αναφέρθηκαν στη τεχνολογία της θερμής ασβέστου ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά αδρανή διάφορης κοκκομετρικής διάταξης που αποτελούνται από άμμο, χαλίκια, θραυσμένους λίθους, κτλ. Σε αυτή την κατηγορία δεν εφικτό να εκτιμηθεί ο λόγος κονιάς/αδρανή, καθώς παρουσιάζεται μεγάλη ανισοτροπία σε αυτά τα κονιάματα.

Για αυτό το λόγο τα δεδομένα που αναφέρονται στη συνέχεια αφορούν μόνο τη μήτρα των κονιαμάτων αυτών.

1.1.3 Κεραμικά – Οπτόπλινθοι

Λέγοντας κεραμικά εννοούμε τα προϊόντα οπτής (πυρωμένης) αργίλου¹. Τα προϊόντα αργίλου είναι δομικά η διακοσμητικά υλικά αποξηραμένο η ψημένο πηλό (άργιλος η αργιλική γη). Η άργιλος είναι εξαιρετικά διαδεδομένο (80% της επιφάνειας της γης) ιζηματογενές πολύ

¹ Τα προϊόντα από άργιλο χαρακτηρίζονταν παλαιότερα ως κεραμικά υλικά. Σήμερα όμως αυτή η κατηγορία έχει διευρύνει περιλαμβάνει όλα τα υλικά, που παράγονται με θερμική κατεργασία ανόργανων μη μεταλλικών υλών. Έτσι κεραμικά πλέον θεωρούνται και υλικά όπως το γυαλί τα ψημένα τσιμέντα, η πορσελάνη, τα μαγνητικά μη μεταλλικά υλικά, πυρίμαχα, καθώς και μία σειρά νέων υλικών γνωστών με τον όρο βιομηχανικά κεραμικά.

μαλακό ορυκτό, που σχηματίζεται από την απόθεση λεπτότατων υλικών, που λέω αιωρούνται μέσα στο νερό. Τα λεπτά αυτά υλικά προέρχονται από την αποσάθρωση πετρωμάτων, που περιέχουν κυρίως ένυδρα πυριτικά ορυκτά του αργιλίου, ασβεστώδη συστατικά, αλλά και άλλα αλκοολούχα και σιδηρούχα ορυκτά, σε αναλογίες που ποικίλουν, κόκκους, βαριά ορυκτά, οργανικές ενώσεις κ.α.

1.1.3.1 Υλικά κατασκευής κεραμικών

Η άργιλος είναι πυριτικά άλατα του αργιλίου και προέρχονται από αποσάθρωση αστρίων (πυριτικά άλατα αργιλίου, καλίου και ασβεστίου) και μεταφορά και απόθεση των αδιάλυτων σε στρώσεις (ιζηματογενή πετρώματα). Από το πέτρωμα που προέρχεται και από τη διαδρομή του μέχρι τις προσχώσεις του η άργιλος παρασύρει ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου, μίκα, αστρίους, χαλαζία.

1.1.3.2 Κατηγορίες πλίνθων

Οι πλίνθοι² θεωρούνται το αρχαιότερο τυποποιημένο δομικό υλικό. Παρουσιάζουν ομοιομορφία, ευκολία στη μεταφορά και στο χτίσιμο, αντοχή στο χρόνο τις καιρικές συνθήκες και τις σεισμικές καταπονήσεις. Πολύ σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των πλίνθων εκτός από την πρώτη ύλη παίζει και η σωστή ανάμιξη των συστατικών τους για ομοιογενές μείγμα σταθερών ιδιοτήτων.

Η κατηγοριοποίηση των πλίνθων γίνεται:

- με κριτήριο τον τρόπο ξήρανσης, όπου διακρίνονται σε ωμούς και ψημένους (ωμόπλινθοι και οπτόπλινθοι).
- με κριτήριο τη μορφή που διακρίνονται σε συμπαγής και διάτρητους.
- με κριτήριο το είδος εφαρμογής και τη μηχανική αντοχή οι εξειδικευμένες απαιτήσεις όπου διακρίνονται σε πλίνθους με χαμηλή αντοχή ή μεγάλη αντοχή.

1.1.3.2.1 Ωμόπλινθοι

Οι ωμόπλινθοι είναι χειροποίητα και περιέχουν μεγάλη αναλογία αδρανών υλικών χαλίκια άχυρα κλαδιά και άλλα. Αλλά αφού μορφοποιηθούν με το χέρι σε καλούπια αφήνονται να στεγνώσουν στον αέρα χωρίς ψήσιμο διαδικασία που απαιτεί πολύ χρόνο.

² Οι πλίνθοι γενικά αναφέρονται και ως τεχνητά λιθοσώματα.

1.1.3.2.2 Οπτόπλινθοι

Οι οπτόπλινθοι όπως έχει αναφερθεί αφορούν σε ψημένους πλίνθους. Το ψήσιμο για τους πλίνθους ολοκληρώνεται στους 1000° C καθορίζοντας την ποιότητά τους. Σφάλματα κατά το ψήσιμο μειώνουν την αντοχή του πλίνθου. Όταν ο χρόνος ψησίματος είναι μικρότερος δημιουργούνται ρωγμές. Κατά τη μορφοποίηση τους παράγονται χρησιμοποιώντας καλούπια (περίπτωση των συμπαγών πλίνθων).

1.2 Φθορά Δομικών Υλικών

1.2.1 Γενικά

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

Πίνακας 1: Ταξινόμηση φαινομένων φθοράς στο επίπεδο της μακροκλίμακας.

Δράσεις	Διεργασία φθοράς	Κύρια φαινόμενα φθοράς
Φυσικές	<ul style="list-style-type: none">○ Κύκλοι ύγρανσης – ξήρανσης○ Θερμικά σοκ○ Επίδραση ανέμου	Απόσπαση κόκκων, διάβρωση εκτριβής, ρήξη συνέχειας, ρηγματώση, κ.α.
Φυσικοχημικές	<ul style="list-style-type: none">○ Κρυστάλλωση αλάτων○ Ενυδάτωση○ Θείωση εν ξηρώ	Εκλεκτική αποσάθρωση υλικών, διάρρηξη συνδετικών υλικών, κ.α.
Χημικές και βιοχημικές	<ul style="list-style-type: none">○ Υδρόλυση○ Διάλυση○ Οξειδωση○ Χηλική συμπλοκοποίηση○ Θείωση, κ.α.	Χημική αποσύνθεση, διάλυση και εξαλλοίωση συνδετικών υλικών, σχηματισμός κρούστας, υποχώρηση μετώπων επιφάνειας

Η φθορά καλείται 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 κατατάσσονται γενικά ως ακολούθως:

- 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 ύγρυνσης-ψύξης. Παράδειγμα φυσικής φθοράς είναι η απολέπιση λίθου λόγω δράσης αλάτων .
- Χημική φθορά: Περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού. Παράδειγμα χημικής φθοράς είναι η επίδραση της όξινη βροχής σε δομικά υλικά.
- Βιολογική φθορά: Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς.

1.2.2 Φθορά Λίθων

Στους λίθους, η φθορά οφείλεται κυρίως στη διείσδυση του νερού από διάφορες πηγές, στην αλλοίωση των συστατικών που οφείλεται σε χημικά αίτια και την επίδραση των βιολογικών παραγόντων. Τα αίτια φθοράς της πέτρας αφορούν σε παράγοντες του άμεσου ή του έμμεσου περιβάλλοντος.

1.2.2.1 Φθορά από την επίδραση του νερού

Η παρουσία του νερού αποτελεί την κυριότερη αιτία των περισσότερων φυσικών και χημικών μεταβολών στη δομή της πέτρας. Το νερό μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο λίθινο υλικό, με τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα και με τη διείσδυση του νερού της βροχής, όταν υπάρχει πορώδες το υλικό και με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου κινείται από το έδαφος προς τα πάνω και όταν φτάσει σε κάποια ελεύθερη επιφάνεια, αρχίζει να εξατμίζεται. Στην ατμόσφαιρα, η σχέση της υπάρχουσας περιεκτικότητας σε υδρατμούς προς την κορεσμένη εκφρασμένη επί % δίνει τη σχετική υγρασία, η οποία δεν ξεπερνά το ποσοστό 100%. Για να έχουμε συμπύκνωση των υδρατμών που περιέχονται στην ατμόσφαιρα,

θα πρέπει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος να είναι χαμηλότερη από το σημείο δρόσου³ της ατμόσφαιρας, δηλαδή τη θερμοκρασία κορεσμού των υδρατμών της ατμόσφαιρας.

Γενικά, το ποσό των περιεχομένων υδρατμών στην ατμόσφαιρα αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ αντίθετα ελαττώνεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Συμπύκνωση υδρατμών μπορεί να συμβεί σε ένα περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε υδρατμούς, είτε με μείωση της θερμοκρασίας, είτε με αύξηση της ποσότητας υδρατμών, ώστε να ξεπεράσουν το σημείο κορεσμού και να δημιουργηθεί το φαινόμενο της ρόφησης του νερού από τους λίθους.

Η συνεχής μετακίνηση νερού προς τις εξωτερικές επιφάνειες του λίθου δημιουργεί συσσώρευση αλάτων επάνω στις επιφάνειες, που σημαίνει ότι δημιουργείται φθορά των επιχρισμάτων και κονιαμάτων αλλά και του ίδιου του υλικού με ανάπτυξη επιφανειακών τάσεων, δημιουργία μικρών ρωγμών, αποκόλληση κομματιών του υλικού και επομένως σταδιακή αποδιοργάνωση και φθορά του πετρώματος. Από την υγρασία επίσης αναπτύσσονται διάφοροι μικροοργανισμοί που προκαλούν περισσότερη φθορά στο λίθο. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.1.1 Η κυκλοφορία του νερού

Η κυκλοφορία του νερού μέσα σε ένα λίθινο υλικό καθορίζεται από το πορώδες του υλικού και από το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης

1.2.2.1.1.1 Πορώδες

Η συμπεριφορά της πέτρας, σχετικά με το χρόνο, καθορίζεται κατά πολύ από την πορώδη δομή της. Αναφερόμενοι στο πορώδες ενός λίθινου υλικού, εννοούμε ότι τα στερεά συστατικά του διακρίνονται από μικρούς κενούς χώρους, τους πόρους ή τριχοειδής σωλήνες, οι οποίοι πιθανόν να είναι ανοιχτοί και να επικοινωνούν μεταξύ τους ή κλειστοί σχηματίζοντας ένα εσωτερικό δίκτυο που βοηθά την επικοινωνία των εσωτερικών με τα εξωτερικά μέρη του υλικού. Σχετικά με τον ολικό όγκο της πέτρας, το ποσοστό των άδειων χωρών μπορεί να μεταβάλλεται μέσα σε πολύ μεγάλα όρια, ανάλογα με το υλικό και την πορεία δημιουργίας του.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της δομής των πόρων υλικών είναι:

³ Σημείο δρόσου, χαρακτηρίζεται το σημείο εκείνο της θερμοκρασίας που οι υπάρχοντες υδρατμοί στην ατμόσφαιρα πλησίον του εδάφους συμπυκνώνονται σε μεγάλες σταγόνες νερού που καλύπτουν κάθε αντικείμενο (φαινόμενο της δρόσου).

- το πορώδες : το μέρος του συνολικού όγκου του υλικού που καταλαμβάνεται από Πόρους και μπορεί να χαρακτηριστεί σαν κλειστό ή ανοιχτό. επίσης, οι ανοιχτοί πόροι διακρίνονται σε αυτούς που έχουν το ένα ή και τα δύο άκρα τους ανοιχτά.
- η ειδική επιφάνεια: η επιφάνεια των πόρων που περιλαμβάνονται στη μονάδα του όγκου του στερεού υλικού Και εξαρτάται από το πορώδες και την κατανομή μεγέθους πόρων.
- τη κατανομή μεγέθους πόρων: η κατανομή του συνολικού όγκου που καταλαμβάνουν οι πόροι.

1.2.2.1.1.2 Τριχοειδής αναρρίχηση - ρόφηση

Το νερό, είτε σε υγρή κατάσταση είτε σε κατάσταση υδρατμών, μπορεί να εισχωρήσει στο εσωτερικό των πορωδών υλικών, μέσα από τους πόρους. Οι πόροι ενεργούν σαν τριχοειδείς σωλήνες και προκαλούν αναρρόφηση του νερού. Αυτό συμβαίνει επειδή υπάρχουν δυνάμεις συνάφειας μέσα στους τριχοειδείς σωλήνες μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων, που είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του νερού, οπότε το νερό τείνει να αναπτυχθεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στο σωλήνα και προχωρεί μέσα στα τοιχώματα του υπερνικώντας τη δύναμή της βαρύτητας.

Το νερό που προκαλεί την ενεργοποίηση των τριχοειδών φαινομένων στα διάφορα δομικά υλικά προέρχεται:

- από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα, (τριχοειδή αναρρίχηση)
- από τη βροχή ή το χιόνι (ρόφηση)
- από τη συμπύκνωση υδρατμών της ατμόσφαιρας (ρόφηση)
- από την υγρασία λόγω υγροσκοπικότητας (ρόφηση)

Το νερό προκαλεί διάβρωση στο λίθινο υλικό άμεσα με την έκλυση των διαλυτών συστατικών, με τη διάβρωση τον άργιλο ποιητικών και με τη δράση του παγετού και έμμεσα με τη μεταφορά των διαλυτών αλάτων και την κρυστάλλωση τους. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.1.2 Διάβρωση της πέτρας από την επίδραση του νερού στα πυριτικά συστατικά της

Τα κυριότερα αργιλοπυριτικά συστατικά που συνυπάρχουν σαν προσμίξεις με το ανθρακικό ασβέστιο, σαν φλέβες στα μάρμαρα ή σαν προσμίξεις⁴ στους ασβεστόλιθους.

⁴ Ορυκτά προσμίξεων: σερίκίτης, χλωριτης, χαλαζίας, χαλκηδονιος, σερπεντίτης, μοντμοριλλονίτης, σεπιολιθος, ιλλίτης, καολίνης, μαρμαρυγίας, φλογωπίτης, πλαγιόκλαστο, άστριοι, σμηκτίτες και γλαυκονίτης. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.1.2.1 Διόγκωση των αργίλων - Θιξοτροπία

Οι περισσότερες άργιλοι έχουν δείξει τροπικές ιδιότητες, που εκδηλώνονται με διαστολή κατά την ύγρανση και έχουν σαν αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε ψιλή σκόνη κατά την ξήρανση. Αρχικά οι άργιλοι καταστρέφονται σύμφωνα με τη βασική φυσικοχημική τους ιδιότητα, που είναι η διόγκωση τους με απορρόφηση νερού. Με την αύξηση αυτή του όγκου των αργιλοπυριτικών, έχουμε σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλων μηχανικών τάσεων, με αποτέλεσμα σημαντική αποδιοργάνωση του λίθινου υλικού που περιέχει αργιλοπυριτικές προσμίξεις. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.1.2.2 Ιονεναλλακτική εξαλλοίωση

Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά της πέτρας έρθουν σε επαφή με το νερό συμβαίνουν διάφορες αντιδράσεις υδρόλυσης. Εδώ, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το pH και στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό έχει προδιάθεση για αντιδράσεις σε pH ανάμεσα στο 3 και στο 9. Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά έρθουν σε επαφή με το όξινο νερό, τα ακόρεστα ασθενή των μετάλλων στο πλέγμα έλκουν τα δίπολα του νερού, με αποτέλεσμα να σπάει η δομή τους και να προσλαμβάνουν ιόντα υδρογόνου αντικαθιστώντας ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου και καθώς συνεχίζεται η αλλοίωση χάνεται και το διοξείδιο του πυριτίου. Με τη διάλυση των πιο ευδιάλυτων συστατικών της πέτρας, που είναι τα κατίοντα και το διοξείδιο του πυριτίου, επέρχεται εμπλουτισμός σε οξείδιο του αργιλίου και οξειδίων του σιδήρου που είναι δυσδιάλυτα. (Λαμπρόπουλος, 1993)

Πίνακας 2: Τα διάφορα πετρογενετικά ορυκτά και τα αντίστοιχα προϊόντα εξαλλοίωσης δίνουν (Λαμπρόπουλος, 1993)

<u>ΑΣΤΡΙΟΙ</u>	σερίκίτης, βερμικουλίτης, μοντμοριλλονίτης, καολινίτης, γιββσίτης
<u>ΜΟΣΧΟΒΙΤΕΣ</u>	βερμικουλίτης, μοντμοριλλονίτης, καολινίτης,
<u>ΒΙΟΤΙΤΕΣ</u>	χλωριτης, βερμικουλίτης, μοντμοριλλονίτης, καολινίτης, γιββσίτης
<u>ΑΜΦΙΒΟΛΟΙ - ΠΥΡΟΞΕΝΟΙ</u>	χλωριτης, βερμικουλίτης, μοντμοριλλονίτης, καολινίτης, γκαιτίτης

1.2.2.1.3 Διάβρωση της πέτρας από παγετό

Το νερό, σύμφωνα με τα προηγούμενα, μπορεί να διεισδύσει εύκολα και να κινηθεί μέσα στα τριχοειδές σύστημα ενός λίθινου υλικού, ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες

θερμοκρασίας και υγρασίας, έτσι μπορούν να προκληθούν μορφές διάβρωσης και ζημιές που έχουν σχέση με τη δημιουργία πάγου, όταν η θερμοκρασία του υλικού κατέβει κάτω από τους 0°C και το νερό που περιέχεται στο δίκτυο των πόρων παγώσει. Από το πάγωμα του νερού προκαλείται διόγκωση κατά το πέρασμά του από την υγρή στη στερεά η φάση και επομένως προκαλείται φθορά στα πορώδη υλικά. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.1.4 Διάβρωση της πέτρας από διαλυτά άλατα

Η διάβρωση από τη δράση των διαλυτών αλάτων είναι μία από τις πιο επικίνδυνες μορφές διάβρωσης και επιδρά σε όλες τις πέτρες, ακόμη και εκείνες που έχουν ελάχιστο πορώδες. Αρχικά, αντιμετωπίζεται πολύ δύσκολα, επειδή εμφανίζεται υπό διαφορετικές συνθήκες και τα διαλυτά άλατα προέρχονται από πολλές πηγές, με αποτέλεσμα να οδηγεί σε πλήρη αποδιοργάνωση του υλικού, επειδή αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τάσεις στους πόρους του λίθου. Τα συχνότερα διαλυτά άλατα που δρουν στην πέτρα είναι τα χλωριούχα και τα θειικά και ακολουθούν τα ανθρακικά, τα νιτρικά και πιο σπάνια τα νιτρώδη, Ενώ από τα κατιόντα υπάρχουν το ασβέστιο, το νάτριο, το κάλιο και το μαγνήσιο. (Λαμπρόπουλος, 1993)

Ο μηχανισμός δράσης των διαλυτών αλάτων διαφέρει σημαντικά από πέτρα σε πέτρα και οι πηγές προέλευσης τους είναι:

- Τα νερά του υπεδάφους που ανεβαίνουν με τριχοειδή αναρρίχηση συμπαρασύροντας μέσα από το έδαφος τα διαλυτά συστατικά των αργιλοπυριτικών κυρίως αλλά και των υπολοίπων πετρωμάτων. Τα υπόγεια νερά, ανάλογα με τα πετρώματα από τα οποία έχουν διέλθει, περιέχουν διαλυμένα και σε διάφορες αναλογίες κυρίως προϊόντα: νατρίου, καλίου, μαγνησίου, ασβεστίου, θειικά, ανθρακικά, χλωριούχα και πυριτικά.
- Η θάλασσα, όπου η αναλογία θειικών προς χλωριούχα είναι περίπου 0.139 (η αναλογία αυτή ισχύει όταν η ατμόσφαιρα δεν είναι ρυπασμένη). Σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα με οξειδία του θείου ο λόγος αυτός αυξάνει. Τα άλατα μεταφέρονται από τη θάλασσα με την αλατονέφωση και μπορούν να φτάσουν μέχρι και 10 χιλιόμετρα στο εσωτερικό, αλλά όσο μακρύτερα από τη θάλασσα και ανεβαίνοντας σε υψόμετρο η δράση τους περιορίζεται αισθητά. Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε NaCl, είναι κατά μέσο όρο 3,5% κ.ο..
- Τα δομικά υλικά γενικά είναι από μόνα τους πηγές διαλυτών αλάτων, καθώς και τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική. Το τσιμέντο π.χ. αποτελεί σημαντική πηγή διαλυτών αλάτων, θειικών κατά κύριο λόγο, ανθρακικών και πυριτικών. Τα ανθρακικά και τα πυριτικά άλατα μετασχηματίζονται και αυτά σε θειικά,

όταν υπάρχει διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα και το τσιμέντο είναι άμεσα υπεύθυνο για πολύ υψηλές τιμές στο pH μέχρι και 9,5.

- Η ατμοσφαιρική ρύπανση με τους όξινους ρυπαντές: οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου και υδροχλωρικό οξύ, που προσβάλλουν απευθείας την πέτρα και σχηματίζουν τα αντίστοιχα άλατα του ασβεστίου και των αλκαλίων. Ειδικά τα οξείδια του θείου, διαβρώνοντας τις ασβεστιτικές πέτρες παράγουν γύψο με γυψοποίηση του ασβεστίτη που συμβάλλει δευτερογενώς στη διάβρωση της πέτρας, ενώ τα οξείδια του αζώτου διαβρώνουν τις ασβεστιτικές πέτρες και παράγουν το πολύ διαλυτό νιτρικό ασβέστιο.

Τα άλατα αρχίζουν να κρυσταλλοποιούνται στην εξωτερική επιφάνεια της πέτρας όταν η ταχύτητα διάδοσης των ατμών του νερού είναι μικρότερη από την ταχύτητα μετακίνησης του διαλύματος οπότε το διάλυμα μπορεί να φτάσει στην εξωτερική επιφάνεια του υλικού, όπου έχουμε επιφανειακή εξάνθηση. Σε αντίθετη περίπτωση, η κρυσταλλοποίηση των αλάτων γίνεται κάτω από την επιφάνεια του λίθου, οπότε έχουμε υποεπιφανειακή εξάνθηση ή αλλιώς κρυπτοεξάνθηση. Οι κρυπτοεξανθήσεις δημιουργούν δυνάμεις στα στρώματα της πέτρας που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται απολεπίσεις και αποκοπή επιφανειακών τεμαχιδίων. Οι εξανθήσεις εμφανίζονται πάντα στα όρια υγρής και στεγνής περιοχής και όπου υπάρχουν ρωγμές. (Λαμπρόπουλος, 1993)

Γενικά έχουμε διάφορες μορφές αλλοιώσεων που εξαρτώνται από τις συνθήκες κρυσταλλοποίησης των αλάτων και από τα χαρακτηριστικά της δομής και του ιστού του λίθου. Η πιο χαρακτηριστική αλλοίωση της επιφανειακής δομής του λίθου είναι η κυψέλωση. Η κυψέλωση εμφανίζεται με το σχηματισμό κοιλοτήτων που συχνά είναι αρκετά βαθιές και συνοδεύεται από μεγάλες αποσυνθέσεις υλικού. Παρατηρείται σε πέτρες με μεγάλο πορώδες και πολλές φορές μπορεί να εξαφανιστεί ένα ανάγλυφο ή να προκληθούν απώλειες στους εσωτερικούς συνδέσμους της πέτρας. Για να προκληθεί κυψέλωση πρέπει να υπάρχουν ταυτόχρονα διάφοροι παράγοντες, όπως αυξημένο πορώδες, αυξημένη περιεκτικότητα σε άλατα πολύ διαλυτά και υγροσκοπικά και ισχυρές διαταραχές ανέμων σε επαφή με την λίθινη επιφάνεια. Με τις συνθήκες αυτές, οι εναλλαγές των υδρατμών ανάμεσα στην πέτρα και στον αέρα είναι πολύ γρήγορες και συνεχώς επαναλαμβανόμενες με αποτέλεσμα να συμβαίνουν συχνοί κύκλοι διάλυσης - κρυσταλλοποίησης και ενυδάτωσης - αφυδάτωσης των αλάτων. Οι διαταραχές των ανέμων θέτουν σε κίνηση το υλικό που έχει αποσυνδεθεί λόγω των μηχανικών τάσεων που συνοδεύουν το φαινόμενο. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.2 Διάβρωση της πέτρας από την ατμοσφαιρική ρύπανση

Η τεχνολογική πρόοδος και η μεγάλη ανάπτυξη βιομηχανικών δραστηριοτήτων συνέβαλε στην παρουσία διαφόρων ρύπων μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα. Γενικά, η ποιότητα και η ποσότητα των ρύπων σε συνδυασμό με τις συνθήκες ανέμων, έχουν ως αποτέλεσμα την οριζόντια απομάκρυνση των ρύπων από τις πηγές τους, ενώ μεταβολές της θερμοκρασίας, σε σχέση με το υψόμετρο του εδάφους, επηρεάζουν σημαντικά την κάθετη μετατόπιση τους και επομένως τη δυνατότητα διασποράς τους πάνω στους λίθους. Οι ρύποι που προκαλούν τη φθορά στους λίθους είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα τα οξείδια του θείου και τα οξείδια του αζώτου.

1.2.2.3 Διάβρωση του λίθου από το ατμοσφαιρικό Διοξείδιο του Άνθρακα

Το ατμοσφαιρικό CO_2 , που υπάρχει στο νερό της βροχής, διαλυτοποιεί τον ασβεστίτη δημιουργώντας το αρκετά διαλυτό $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ και όταν το διάλειμμα στεγνώσει, ξανά σχηματίζει CaCO_3 .

Όταν εξατμιστεί το νερό που περιέχει το ευδιάλυτο $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, στην επιφάνεια της πέτρας γίνεται ανακρυστάλλωση του CaCO_3 με τελική μορφή ασβεστίτη η αραγωνίτη, ανάλογα θερμοδυναμικά δεδομένα και την παρουσία ξένων ιόντων στο διάλυμα. Η γρήγορη ξήρανση δημιουργεί και πάλι ασβεστίτη ενώ η αργή ξήρανση, σε συνδυασμό με ορισμένες προσμίξεις και με θερμοκρασία κάτω από τους $30\text{ }^\circ\text{C}$, δημιουργεί αραγωνίτη. Το φαινόμενο αυτό λέγεται «καρστικό» και έτσι εκδηλώνεται με «ζαχαροποίηση» της επιφάνειας (κυρίως του μαρμάρου). Γενικά όσο αυξάνει η θερμοκρασία, ευνοείται ο σχηματισμός ασβεστίτη, ενώ τα ξένα ιόντα που καθιζάνουν μαζί με το CaCO_3 ευνοούν τον σχηματισμό της μορφής εκείνης, όπου οι προσμίξεις αυτές είναι πιο ευδιάλυτες. Για παράδειγμα η παρουσία του SO_4^{2-} ευνοεί το σχηματισμό αραγωνίτη. Επίσης το ίδιο ισχύει και για το ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον π.χ. χαμηλές συγκεντρώσεις Na_2CO_3 και οργανικά οξέα, ακόμα και σε θερμοκρασίες πάνω από τους $40\text{ }^\circ\text{C}$. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.3.1 Διάβρωση του λίθου από οξείδια του θείου

Το SO_2 προέρχεται κυρίως από την καύση του μαζούτ και του diesel και είναι ένα σχετικά σταθερό αέριο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, Όταν δεν υπάρχει υγρασία και η ατμόσφαιρα είναι καθαρή. Με παρουσία όμως υγρασίας, ρυπαντών και ηλιακής ακτινοβολίας υφίσταται καταλυτική οξείδωση.

Στη συνέχεια το θειικό οξύ αντιδρά γρήγορα με το ανθρακικό ασβέστιο του ασβεστόλιθου και του μαρμάρου και διαλύει (όξινη προσβολή), όταν Τα λίθινα γλυπτά είναι εκτεθειμένα στο νερό της βροχής. Συνήθως η έννοια όξινη προσβολή περιλαμβάνει μαζί και τη

δράση του θειικού οξέος και τη δράση του ανθρακικού οξέος και του νιτρικού οξέος. Όταν όμως οι επιφάνειες των γλυπτών δεν έρχονται σε επαφή με το νερό της βροχής μετατρέπονται σε γύψο.

1.2.2.4 Διάβρωση του λίθου από τα οξείδια του αζώτου

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει σε κανονικές συνθήκες NO σε μεγαλύτερες ποσότητες από το NO₂ και σχηματίζεται από τις δράσεις μικροοργανισμών και τη χρήση λιπασμάτων στις διάφορες καλλιέργειες.

Στην ατμόσφαιρα των βιομηχανικών πόλεων, εκτός από τους αέριους ρυπαντές, αιωρούνται σε Κολλοειδή ή Άνδρο μέρη διασπορά στερεά σωματίδια, όπως αιθάλη, οξείδια μετάλλων, αργίλοι, γύψος, τσιμέντο, ανθρακικό ασβέστιο και άμμος που μεταφέρονται εύκολα από τον αέρα σε σκόνη (μέγεθος σωματιδίων 1-150μ) ή σαν καπνός(μέγεθος σωματιδίων κάτω από 0,5μ). Αυτά τα σωματίδια έχουν την τάση να επικάθονται στις επιφάνειες των λίθων μεταφέροντας μαζί τροφή μένους υδρατμούς και άλλους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές, υγρούς η αέριους. Με αυτόν τον τρόπο τα κολλοειδή αυτά συστήματα μεταφέρουν τους ρυπαντές αυξάνοντας τη συγκέντρωση τους στις επιφάνειες των κτιρίων και των μνημείων και καταλύουν την οξείδωση.

Αυτοί οι ρυπαντές που υπάρχουν στη ρυπασμένη ατμόσφαιρα, εκτός από τη διάβρωση που προκαλούν στο λίθο, προκαλούν και άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα στις επιφάνειες και στις λεπτομέρειες των μνημείων. Οι επιφάνειες των μνημείων μαυρίζουν από την αιθάλη και τις μαύρες κρούστες και γίνονται κοκκινωπές από τα οξείδια του σιδήρου. Στα σημεία όπου το μνημείο βρέχεται από τα νερά της βροχής ξεπλένεται η γύψος, μαζί με τις επικαθίσεις από την ατμόσφαιρα σχηματίζει τη μαύρη κρουστά, της οποίας ο καθαρισμός με τις συνηθισμένες μεθόδους θα επιφέρει πάλι την εξαφάνιση των γλυπτών λεπτομερειών, ενώ πολύ σύντομα αυτή η κρουστά θα ξανά σχηματιστεί.

1.2.2.5 Διάβρωση της πέτρας από την ύπαρξη μεταλλικών συνδέσμων

Η χρήση των μεταλλικών συνδέσμων στα περισσότερα μνημεία από μάρμαρα ή από πωρόλιθο υπήρξε στην κατασκευή τους είτε τις μεταγενέστερες αναστήλωσης και χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα μεταλλικοί σύνδεσμοι, οι οποίοι ήταν σιδερένιοι, χαλύβδινη η ορειχάλκινη και είχαν σκοπό τη συγκράτηση των δομικών στοιχείων μεταξύ του. Τα προϊόντα της διάβρωσης, όπως οξείδια του σιδήρου ή βασικά ανθρακικά άλατα του χαλκού, παραμένουν στην επιφάνεια αυξάνοντας πολύ τον όγκο του συστήματος μέταλλο - προϊόντα διάβρωσης και

προκαλούν τελικά τη ρήξη του δομικού υλικού στο οποίο είναι εγκιβωτισμένος ο σύνδεσμος. Η διόγκωση δεν οφείλεται μόνο στη διαφορά των μοριακών όγκων των προϊόντων διάβρωσης των μετάλλων αλλά και στο μηχανισμό διάβρωσης τους, που έχει σαν βραδύτερο στάδιο τη διάχυση μετά προς το διαβρωτικό περιβάλλον μέσα από το στρώμα του ήδη σχηματισμένο προϊόντος διάβρωσης, με τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ του μετάλλου και του διαβρωτικού περιβάλλοντος. (Λαμπρόπουλος, 1993)

1.2.2.6 Διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες

Όλοι λίθοι ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνεια τους και η ανάπτυξη αυτή ευνοείται από διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ οι σημαντικότεροι παράγοντες που υποβοηθούν τη βιολογική φθορά είναι τα χαρακτηριστικά της πέτρας και το περιβάλλον στο οποίο είναι εκτεθειμένη. Τα προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι όξινα και δρουν διαλυτικά για τα κονιάματα. Σε συνδυασμό η παρουσία μικροοργανισμών είναι επιζήμια, καθώς μπορεί να δράσει καταλυτικά σε κάποιες χημικές δράσεις που οδηγούν στη φθορά του υλικού.

Η διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες είναι δευτερεύουσα απέναντι στα άλλα αίτια φθοράς σε συνθήκες ατμοσφαιρικής ρύπανσης και σε κλιματολογικές συνθήκες με βροχή και κρύο, ενώ κατέχει σημαντική θέση σε ζεστά και υγρά κλίμακα χωρίς ατμοσφαιρική ρύπανση. Στη διάβρωση από βιολογικούς παράγοντες περιλαμβάνονται κυρίως οι χημικές αλλοιώσεις που προκαλούνται από τους μικροοργανισμούς, αλλά και αυτές που προκαλούνται από έντομα πουλιά και από την ανάπτυξη των διαφόρων φυτών. Τέλος, οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να ασκήσουν μηχανικές τάσεις στο υλικό εάν βρίσκονται σε συνεχή επαφή με αυτούς.

1.2.2.6.1 Άλγη

Οι περισσότεροι διαδεδομένοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των λίθινων μνημείων, είναι τα άλγη τα οποία αναπτύσσονται στον λίθο και παράγουν και θειικό οξύ που μετατρέπει το ανθρακικό ασβέστιο στο ευδιάλυτο θειικό ασβέστιο είτε σε γύψο που επίσης απομακρύνονται με τη διαβροχή.

Τα άλγη διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- κυανά άλγη ή κυανοφύκη
- πράσινα άλγη η χλωροφύκη
- κόκκινα φύκη
- οι λειχήνες

1.2.2.6.2 Βακτήρια

Υπάρχουν δύο είδη βακτηρίων, τα βακτήρια του κύκλου θείου και του κύκλου αζώτου. Τα βακτήρια κατατάσσονται επίσης σε δύο διαφορετικές κατηγορίες. Τα αυτότροφα τα οποία λαμβάνουν τον άνθρακα από το CO₂ και παράγουν ενέργεια μέσω του φωτός και τα ετερότροφα που χρησιμοποιούν οργανικές ουσίες για να λάβουν την ποσότητα άνθρακα που χρειάζονται.

Υπάρχουν κυρίως οι παρακάτω κατηγορίες βακτηρίων:

- τα νιτροαναγωγικά - αμμωνιοβακτήρια
- τα νιτροοξειδωτικά - νιτροδοβακτήρια
- τα σίδηροοξειδωτικά
- τα βακτήρια που προκαλούν μεταβολισμό στα ανθρακικά
- Τα θείοοξειδωτικά - θειοαναγωγικά

1.2.2.6.3 Μύκητες

Οι μύκητες και η ακτινομύκητες προκαλούν φθορά στο λίθο. Οι μύκητες αναπτύσσονται σε όξινο περιβάλλον με pH περίπου 5 - 5,5, τρέφονται με λίγο οργανικό υλικό, άντεχουν και στην έλλειψη ηλιακού φωτός και με ευνοϊκές συνθήκες μπορούν να εισχωρήσουν βαθιά μέσα στη μάζα του λίθου.

1.2.2.6.4 Φυτά

Τα φυτά αναπτύσσονται πάνω στα μνημείων και αποτελούν βασικούς παράγοντες διάβρωσης του λίθου. Αρχικά οι ρίζες τους εισχωρούν ανάμεσα στους διάφορους αριθμούς ή σε ρωγμές που προϋπάρχουν ασκώντας μεγάλες μηχανικές πιέσεις. Επίσης εκκρίνουν οξέα από τις ρίζες τους, που προκαλούν διάλυση του λίθινου υλικού και δημιουργούν χώρο για την επέκταση του συστήματος των ριζών τους. Συνολικά η ανάπτυξη αυτή προκαλεί θρεπτικές δυνάμεις που προκαλούν ρωγμές και μπορούν να φτάσουν μέχρι τη θραύση του υλικού.

1.2.2.6.5 Πουλιά

Τα πουλιά προκαλούν αξιοσημείωτα προβλήματα στα αληθινά μνημεία. Τα εκκρίματα των πουλιών είναι όξινα και μπορούν να φθείρουν το λίθινο υλικό, ενώ παράλληλα δημιουργούν κατάλληλο έδαφος για καλλιέργεια διαφόρων εταιρειών τροφίμων μικροοργανισμών, οι οποίοι με τη σειρά τους μπορούν να εξασκήσουν βλαβερή δράση στο λίθο.

1.2.3 Φθορά Κονιαμάτων

Η φθορά των κονιαμάτων είναι η αλλοίωση των συστατικών τους με την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον, η οποία γίνεται εμφανής με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζει την λειτουργικότητα του υλικού και την αισθητική της κατασκευής. Λόγω της διαφορετικής σύστασης των δομικών υλικών, παρουσιάζουν και διαφορετική αντίσταση στη φθορά η οποία εξαρτάται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το υλικό, καθώς και από τη φύση του υλικού. Οι παράγοντες που προκαλούν την φθορά των κονιαμάτων είναι πολυάριθμοι, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη φύση τους στις εξής τρεις κατηγορίες: μηχανικές ή φυσικές, χημικές και βιολογικές δράσεις. Αυτοί οι παράγοντες δρουν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά και μπορεί να είναι ενδογενείς ή εξωγενείς.

1.2.3.1 Μηχανικές Δράσεις

1.2.3.1.1 Εξωτερικής προέλευσης

Πρόκειται για τα τις καταπονήσεις του υλικού από:

- Τα φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου,
- Τις θερμοκρασιακές μεταβολές που μπορεί να είναι ημερήσιες ή εποχιακές,
- Τις διαστολές και συστολές στα υλικά,
- Τους διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ γειτονικών υλικών.
- Την ανάπτυξη τάσεων που καταπονούν τα υλικά,
- Τη διαστολή λόγω προσρόφησης - εξάτμισης της υγρασίας του περιβάλλοντος,
- Τις καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος που προκαλούν γρήγορη αστοχία του υλικού
- Τις καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί, κ.τ.λ.

1.2.3.1.2 Εσωτερικής προέλευσης

Υπάρχουν δύο μηχανικές δράσεις εσωτερικής προέλευσης, ο παγετός και η κρυστάλλωση των αλάτων.

- Παγετός: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η κατακρατούμενη από το υλικό υγρασία μετατρέπεται σε πάγο όταν η θερμοκρασία κατέβει κάτω του μηδενός και με αποτέλεσμα να διογκώνεται το υλικό προκαλώντας τάσεις στο κονίαμα.
- Κρυστάλλωση των αλάτων: Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο υγρασία που διεισδύει στο κονίαμα μεταφέρει διαλυτά άλατα, τα οποία κρυσταλλώνονται μέσα στους πόρους του

κονιάματος και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων στο εσωτερικό του και εξανθήσεων, εάν η εξάτμιση του νερού γίνει κοντά στην επιφάνεια. Οι πηγές της υγρασίας μπορεί να είναι τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, από το ίδιο το κονίαμα, από τη βροχή και από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

1.2.3.2 Χημικές Δράσεις

Ανάλογα με το είδος του κονιάματος και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται, λαμβάνουν χώρα διαφορετικές χημικές δράσεις.

1.2.3.2.1 Ασβεστιτικά Κονιάματα

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2): Το διοξείδιο του άνθρακα όταν διαλυτοποιείται στο νερό δίνει ($\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) και στη συνέχεια αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σχηματίζεται το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, που είναι προϊόν αρκετά ευδιάλυτο, το οποίο ξεπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής με αποτέλεσμα την σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων.
- Οξείδια του αζώτου (NO_x): Τα οξείδια του αζώτου μετατρέπονται σε NO_2 , το οποίο διαλυτοποιείται στο νερό σχηματίζοντας νιτρικό οξύ (HNO_3) και αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο, παράγοντας το επίσης ευδιάλυτο $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.
- Διοξείδιο του θείου (SO_2): Πρόκειται για το φαινόμενο της γυψοποίησης κατά το οποίο το CaCO_3 προσβάλλεται από SO_2 με αποτέλεσμα την παραγωγή γύψου. Ο γύψος είναι πιο ευδιάλυτος από το CaCO_3 , με αποτέλεσμα το κονίαμα να χάσει την αρχική του συνοχή και γίνεται ευπαθές στην βροχή και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.
- Προσβολή από HCl : Το HCl έχει διαλυτική δράση στο ανθρακικό ασβέστιο.

1.2.3.2.2 Υδραυλικά κονιάματα

- Δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων: Κατά το φαινόμενο αυτό η υδράσβεστος και οι υδραυλικές ενώσεις των κονιαμάτων αντιδρούν με τα διαλυτά άλατα K_2SO_4 και Na_2SO_4 που προέρχονται από πλίνθους, κονιάματα ή και το νερό που εισέρχεται μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης με αποτέλεσμα την παραγωγή γύψου. Έπειτα, ο γύψος αντιδρά με τις υδραυλικές ενώσεις παρουσία υγρασίας και δημιουργεί τις μεγαλομοριακές ενώσεις του ετριγκίτη και θαυμασίτη. Η διόγκωση των ενώσεων αυτών ασκεί τάσεις στο υλικό που είναι δυνατό να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις.

- Διάσπαση υδραυλικών φάσεων: Οι υδραυλικές ενώσεις όταν έρχονται σε επαφή με το CO₂ αποικοδομούνται σύμφωνα με μια αντίδραση με πολύ αργή κινητική η οποία μπορεί να κρατήσει και χιλιάδες χρόνια.

1.2.3.2.3 Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς

- Αλκαλική προσβολή: Κατά το φαινόμενο αυτό τα οξείδια του νατρίου, καλίου που περιέχονται σε υδραυλικά, τσιμεντιτικά κονιάματα ή σαν πρόσμιξη στα αδρανή αντιδρούν με το οξείδιο του πυριτίου που υπάρχει στους πλίνθους της τοιχοποιίας ή στα αδρανή του κονιάματος. Μετά την πραγματοποίηση του φαινομένου ακολουθεί αύξηση του όγκου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία ρωγμών.
- Κύκλοι ύγρυνσης - ξήρανσης: Υπάρχουν δύο φάσεις στο φαινόμενο αυτό. Η υγρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η δημιουργία ενός φιλμ νερού λόγω συμπύκνωσης και η ταυτόχρονη διαλυτοποίηση ρυπαντών. Το νερού εισχωρεί στο εσωτερικό του υλικού. Και η ξηρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η μετακίνηση νερού προς την επιφάνεια του υλικού και η εξάτμισή του. Υπάρχουν δύο δυνατότητες εξάτμισης. Η πρώτη συμβαίνει στο εσωτερικό της μάζας του υλικού. Ως αποτέλεσμα πραγματοποιείται κρυστάλλωση αλάτων με συνέπεια την διόγκωση του υλικού, την δημιουργία τάσεων και τέλος την ρήξη του υλικού. Η δεύτερη συμβαίνει στην επιφάνεια του υλικού με συνέπεια την δημιουργία εξανθημάτων και την δημιουργία σκληρής κρούστας.

1.2.3.3 Βιολογικές Δράσεις

Οι βιολογικές δράσεις στα κονιάματα παρουσιάζουν τα ίδια χαρακτηριστικά με αυτές των λίθων (υποπαρ. 1.2.2.6).

1.2.4 Φθορά Κεραμικών - Οπτόπλινθων

Οι πλίνθοι είναι από τα πιο ανθεκτικά στη διάβρωση υλικά. Ρηγματώνονται όμως και αυτά, λόγω κυρίως αλληλεπίδρασης με υλικά βρισκόμενα σε άμεση επαφή μαζί τους, όπως από μηχανικές τάσεις διαβρωμένων μετάλλων, τη διόγκωση των αργυλοπυριτικών ενώσεων των κονιαμάτων για τη συγκόλληση τους και από τη χημική προσβολή τους από θειικά άλατα του τσιμέντου. Ρηγματώνονται επίσης από την εναλλαγή της θερμοκρασίας και την πήξη του νερού (παγετός). Βέβαια η ένταση της διάβρωσης εξαρτάται από το είδος του πλίνθου (χημική, ορυκτολογική σύσταση, μικροδομή). (Σκουλικίδης, 2000)

Όσο μεγαλύτερη η απορρόφηση νερού και όσο μικρότερη η μηχανική αντοχή, τόσο ευκολότερη η ρηγμάτωση τους:

Απορρόφηση νερού	Αντοχή σε θλίψη
4,5%	70N/mm ²
7%	50 N/mm ²
>10%	35-15 N/mm ²
>20%	15-12 N/mm ²

Επίσης, θα πρέπει να αναφερθεί πως οι πλίνθοι μπορεί να προσβληθούν από βιολογική διάβρωση όπως επίσης και η ηλεκτροχημική διάβρωση (Σκουλικίδης, 2000).

Πέραν της γενικής περιγραφής για τη φθορά των κεραμικών υλικών που δόθηκε παραπάνω, ειδικότερη αναφορά και περιγραφή των μηχανισμών αυτών έχει προηγηθεί για να τη φθορά των λίθων και των κονιαμάτων που αποτελούν το κυριότερο αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Για τον λόγο αυτό δεν γίνεται περαιτέρω εκτενής αναφορά και ανάλυση των μηχανισμών φθοράς, καθώς η περιγραφή και εξήγηση μπορεί να αντληθεί από την αναλυτική περιγραφή της φθοράς των λίθων (υποπαρ. 1.2.2) και κονιαμάτων (υποπαρ. 1.2.3).

2 Ειδικό Θεωρητικό Μέρος

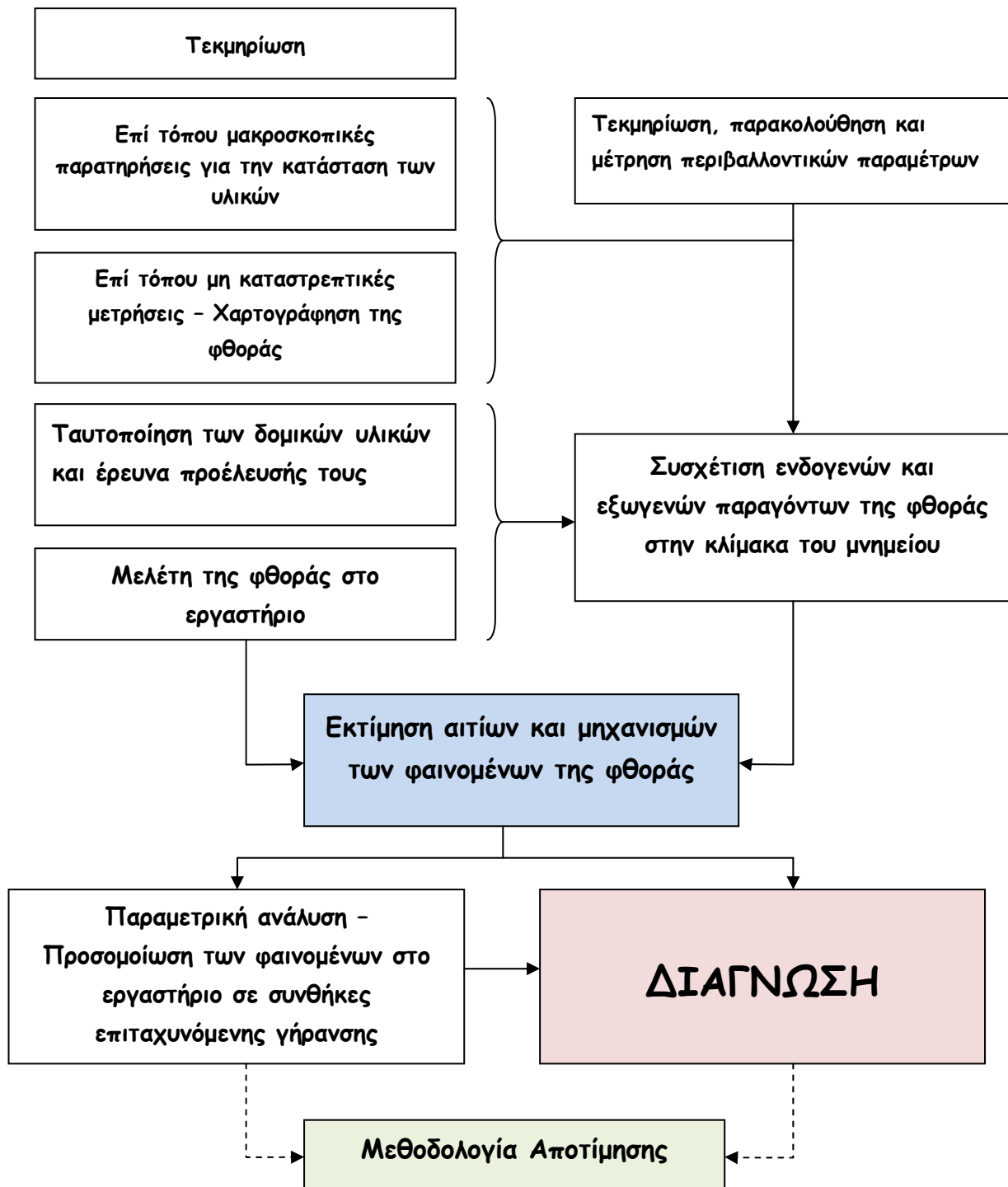
2.1 Διαγνωστική μελέτη

Τα δομικά υλικά των μνημείων ιστορικά ορίζουν την ταυτότητα της κατασκευής και πολλές φορές αφορούν σε περισσότερες της μίας φάσεις κατασκευής. Διαφορετικές οικοδομικές φάσεις, νεότερες αποκαταστάσεις ή και επιδιορθώσεις, προσδίδουν μεγαλύτερο και πιο σύνθετο χαρακτήρα στο χαρακτηρισμό των δομικών υλικών. Επίσης, όλα αυτά τα υλικά βρίσκονται εδώ και δεκάδες αιώνες κάτω από σοβαρές μηχανικές και περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία πολυποίκιλων μηχανισμών συμπεριφοράς, ως αποτέλεσμα αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.

Ο χαρακτηρισμός τέτοιων υλικών μπορεί να επιτευχθεί με την σωστή ενσωμάτωση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων μερικής ανάλυσης, προκειμένου να κατανοηθούν οι διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τελικών σύνθετων υλικών και η φύση των φυσικοχημικών δεσμών που αναπτύσσονται μεταξύ των συστατικών τους.

Τα χαρακτηριστικά των δομικών υλικών επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως η τεχνολογία παραγωγής και εφαρμογής, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, η πρόσφυση κονίας με τα αδρανή κ.α. Συνεπώς, προτού πραγματοποιηθεί μια επέμβαση συντήρησης σε ένα μνημείο, είναι ζωτικής σημασίας να γίνει πρώτα χαρακτηρισμός των δομικών υλικών για να εξασφαλισθεί η συμβατότητα μεταξύ των υλικών της επέμβασης με αυτά του μνημείου.

Γενικά, η μεθοδολογία αποτίμησης δομικών υλικών που ακολουθείται και αφορά στη τεκμηρίωση τους, δίνεται στο διάγραμμα ροής που ακολουθεί. Για τον χαρακτηρισμό των δομικών υλικών ειδικά, χρησιμοποιούνται συνδυαστικά διάφορες μέθοδοι που παρουσιάζονται στις υποπαραγράφους που ακολουθούν.



2.1.1 Διαγνωστικές μέθοδοι για το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών

2.1.1.1 Πετρογραφική, Ορυκτολογική Μελέτη Λίθων

- Οπτική Μικροσκοπία: Χρησιμοποιείται για την πετρογραφική μελέτη των ορυκτών φάσεων των λίθων και αποτελείται από την Ψηφιακή Μικροσκοπία Οπτικών Ινών (DM), τη Στερεομικροσκοπία και το Πετρογραφικό Πολωτικό Οπτικό Μικροσκόπιο.
- Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD): Με την οποία προσδιορίζονται οι κύριες και οι δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις των λίθων.

2.1.1.2 Φυσικές Μέθοδοι Κονιαμάτων

- Κοκκομετρική Ανάλυση: Με αυτήν γίνεται φυσικός διαχωρισμός της κονίας και των αδρανών με αυτόν τον τρόπο παρέχονται πληροφορίες για την κατανομή των αδρανών και προσδιορίζεται ο λόγος συνδετικής ύλης (κονίας) / αδρανών.
- Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας: Με αυτήν καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός διάφορων παραμέτρων, όπως η αναλογία κονίας/αδρανών, η κατανομή των αδρανών, η μέγιστη, μέση και ελάχιστη διάμετρος κ.α.

2.1.1.3 Μέθοδοι Ανάλυσης Χημικής Σύστασης

- Ασβεστιμετρία (Calciometry): Σύμφωνα με την οποία προσδιορίζεται το περιεχόμενο CO₂ με ογκομετρική μέτρηση και έτσι χρησιμοποιείται για την ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό του περιεχόμενου ποσοστού ανθρακικών ενώσεων.
- Θερμικές Μέθοδοι Ανάλυσης (DTA, TG/DTG, DSC, TMA): Αυτές εφαρμόζονται με στόχο την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των συστατικών των κονιαμάτων. Με αυτές τις τεχνικές προσδιορίζονται η φύση των αδρανών και της κονίας, τα πρόσθετα που μπορεί να περιέχονται στο κονίαμα, αλλά και η αερική ή υδραυλική φύση ενός κονιάματος.
- Φασματοσκοπία Υπέρυθρης Ακτινοβολίας με μετασχηματισμό Fourier (FT-IR): χρησιμοποιείται για τον ποιοτική ταυτοποίηση των ενώσεων του κονιάματος, των προϊόντων φθοράς και των οργανικών προσθέτων.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX): Με αυτήν πραγματοποιείται στοιχειακή ανάλυση της μικροδομής.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διαπερατότητας (TEM): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό ύπαρξης υδραυλικών ενώσεων.

2.1.1.4 Χημικές Μέθοδοι

- Υγρός χημικός διαχωρισμός για τον προσδιορισμό των αδρανών και της κονιάς: Η διάλυση-διαχωρισμός της κονιάς από τα αδρανή είναι η απλούστερη μέθοδος και επιτρέπει τον προσδιορισμό της χημικής σύνθεσης του συνδετικού μέσου που είναι διαλυτό στο οξύ και, μετά τον διαχωρισμό, πληροφορίες σχετικά με τα αδρανή του κονιάματος.
- Ουσίες διαλυτές στο νερό: Γίνεται ο προσδιορισμός των διαλυτών αλάτων.
- Προσδιορισμός υγρασίας: Γίνεται ο προσδιορισμός του φυσικά και χημικά δεσμευμένου νερού.
- Χαρακτηρισμός των οργανικών ουσιών που περιέχουν πρωτεΐνες: Συστατικά όπως τα μαλλιά, το άχυρο ή ο άνθρακας μπορούν να παρατηρηθούν μακροσκοπικά μετά τη διάλυση του συνδετικού υλικού ή με μικροσκόπιο, όμως οι ουσίες που περιέχουν πρωτεΐνες που υποδηλώνουν την χρήση καζεΐνης, ορού γάλακτος ή ορού αίματος μπορεί να προσδιοριστεί ποιοτικά μόνο με συγκεκριμένο είδος ανάλυσης.
- Χαρακτηρισμός χρωστικών ουσιών: Οι ανόργανες χρωστικές ουσίες υπάρχουν σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο κονιάμα. Μπορούν να βρεθούν μόνο με συγκεκριμένες αναλύσεις αν είναι ποιοτικά και κατασκευαστικά διαφορετικές από την κονιά ή τα αδρανή.

2.1.1.5 Μελέτη Μικροδομής

- Πορομετρία Υδραργύρου: Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται για την μελέτη των χαρακτηριστικών της μικροδομής των κονιαμάτων, δηλαδή τη μελέτη του πορώδους του υλικού.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (SEM-EDX): Χρησιμοποιείται για τη μελέτη της μικροδομής, της υφής και των διεπιφανειών του υλικού.
- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Διαπερατότητας (TEM).

2.1.1.6 Δοκιμές Μηχανικών Αντοχών

- Εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής του κονιάματος με δοκιμή μονοαξονικού εφελκυσμού επί θραυσμάτων κονιαμάτων.

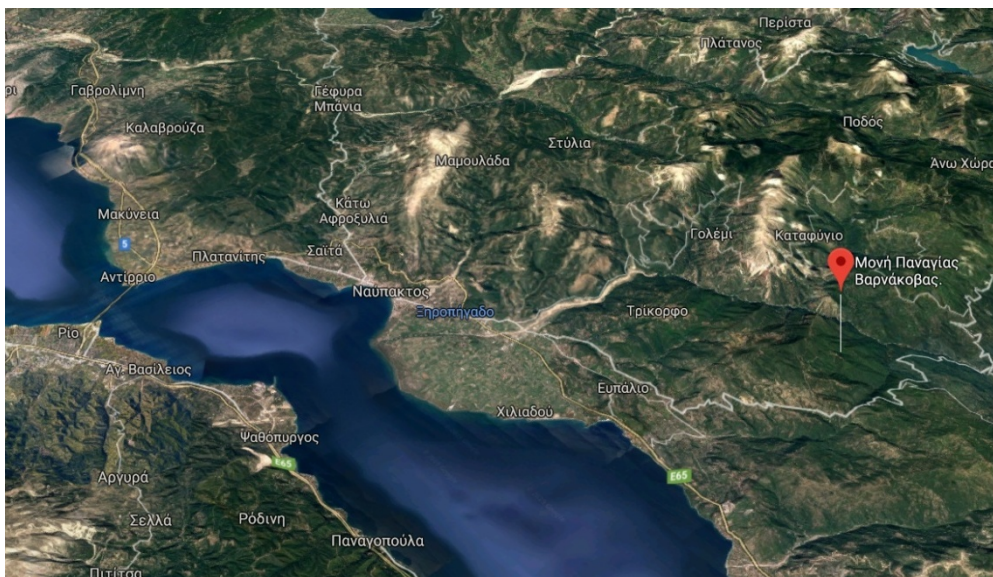
2.2 Η Ιερά Μονή Παναγίας Βαρνάκοβας

Το μοναστήρι της Παναγίας Βαρνάκοβας είναι ένα από τα πιο παλιά μοναστήρια της Στερεάς Ελλάδας. Βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νομού Φωκίδας, στο δήμο Δωρίδος, 25 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Ναυπάκτου. Κτισμένη σε έναν μικρό λόφο στις παρυφές των

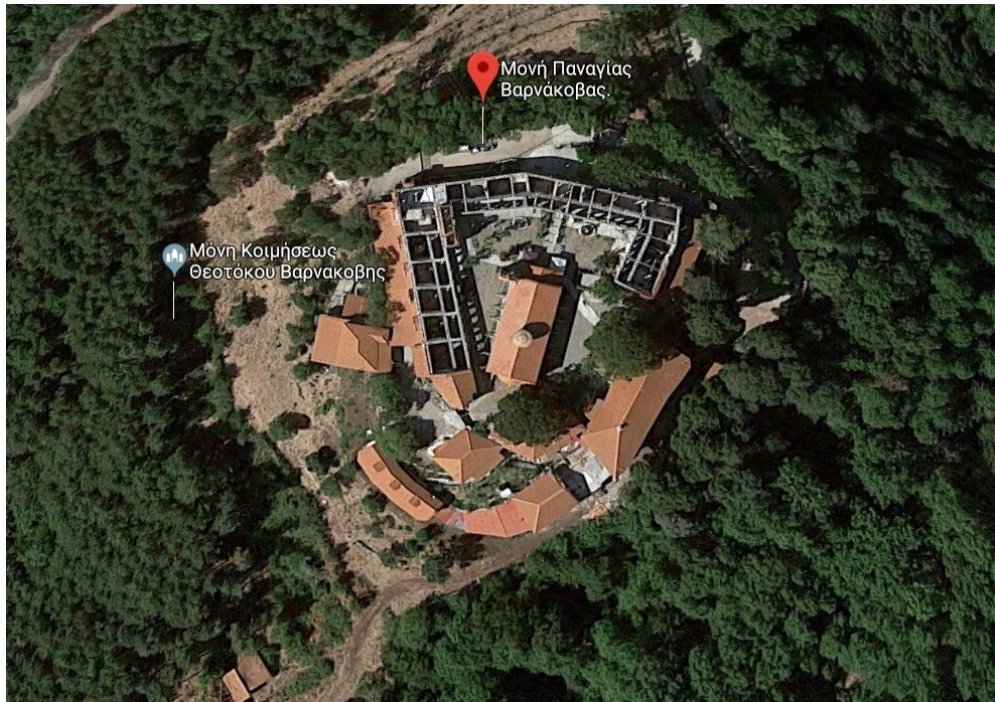
Βαρδουσίων Ορέων, σε υψόμετρο 750 μέτρων περίπου. Είναι προσανατολισμένη προς την ορεινή Ναυπακτία, τη Δωρίδα, το Όρος Γκίωνα και τον ποταμό Μόρνο.

Το μοναστήρι ανεγέρθη το 1077, περίοδο του Αυτοκράτορα Μιχαήλ Ζ΄ Δούκα (ή Μιχαήλ Παραπινάκη), σύμφωνα και με την κτητορική επιγραφή άνω της πύλης, που βρίσκεται στο εσωτερικό του καθολικού, και συγκεκριμένα εκεί που τον εξωνάρθηκα με τον κυρίως ναό. Στα τέλη της Μεσοβυζαντινής περιόδου, γρήγορα ανεδείχθη σε θρησκευτικό κέντρο μεγάλου κύρους. Η γεωγραφική της θέση διατηρείται μέχρι και σήμερα, αποκαλούμενη ως «η Αγία Λαύρα της Ρούμελης». Το χαρακτηριστικό της όνομα, Βαρνάκοβα ή Βερνίκοβα (ή Βερνίκωβα), είναι πιθανόν σλαβικής (σερβικής ή ρωσικής) προέλευσης.

Ανήκει στα κανονικά μοναστηριακά συγκροτήματα, δηλαδή αυτά που το περίγραμμα του περιβόλου παίρνει σχήμα κανονικού ορθογώνιου (στη Βαρνάκοβα ο Περίβολος σχηματίζει ένα μεγάλο αντεστραμμένο Π) με το Καθολικό στο κέντρο του συνόλου. το ότι αυτού του είδους τα συγκροτήματα χτίστηκαν από τον 19ο αιώνα και ύστερα, και το ότι η μόνη Βαρνάκοβα δεν ακολουθεί παρά εν μέρει την τυπική αυτή διάταξη, οφείλεται στην καταστροφή του πρώτου περιβόλου της μονής του 12ου αιώνα το 1826, και στα που επικρατούσαν τότε.



Εικόνα 3: Η τοποθεσία του κτηρίου στην ευρύτερη περιοχή της Ναυπακτίας (ακριβής τοποθεσία: 38.474482, 21.965724, πηγή Googlemaps).



Εικόνα 4: Η άποψη της τοποθεσίας που βρίσκεται η Μονή Βαρνάκοβας από ψηλά όπως είναι σήμερα (πηγή Googlemaps).

2.3 Ιστορικά Στοιχεία του Καθολικού της Ιεράς Μονής Βαρνάκοβας

Ιδρυτής της ήταν ο Όσιος Αρσένιος ο Βαρνακοβίτης, μοναχός, με καταγωγή από τις Καρυές Δωρίδας, ο οποίος αφιέρωσε τον πρώτο ναό στο Γενέθλιο της Θεοτόκου. Στα χρόνια του Αλεξίου Α΄ Κομνηνού και Οικουμενικού Πατριάρχου Γ΄ Κυρδιναίτη (Γραμματικού), ολοκληρώθηκαν οι εργασίες κατασκευής του ναού, ενώ λίγο αργότερα ιδρύθηκε και δεύτερος ναός το 1184.

Ο ίδιος ο Αλέξιος Κομνηνός περιβλήθηκε το μοναχικό Σχήμα με το όνομα «Ακάκιος» και ετάφη μέσα στο Ναό της Παναγίας, όπου στον ίδιο ναό ετάφη και ο Εμμανουήλ ο Πορφυρογέννητος, που είχε δεχθεί τον Ιωάννη τον Ανδρόνικο και αυτός τον Αλέξιο Κομνηνό στον θρόνο.

Στη μονή βρέθηκε επιγραφή που αναφέρει τα ονόματα «Σεβαστοκράτωρ Άννα και Κωνσταντίνος» (Κομνηνοί). Την εποχή εκείνη η μονή είχε μετόχια και μερικά από αυτά να προέρχονται από αφιερώσεις των Κομνηνών, γεγονός που μαρτυρεί την λαμπρότητά της.

Στις αρχές του 13ου αιώνα, όπως αναφέρεται και στο κτητορικό της Μονής, κατά το έτος 1212, ζούσαν στη Μονή Βαρνάκοβας 96 ιερομόναχοι μαζί και διάκοι, καθώς σημειώνεται πως η περιουσία του μοναστηριού σε συνάρτηση με το κύρος του ήταν ιδιαίτερα σημαντική.

Μετά την Άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους Σταυροφόρους (1204) το Μοναστήρι τέθηκε υπό το Δεσποτάτο της Ηπείρου (1204-1359) και παρέμεινε εντεταγμένο σε αυτό ως το 1359 (όσο υπήρχε το Δεσποτάτο), και ενσωματώθηκε ξανά στη Βυζαντινή Αυτοκρατορία.

Οι Κομνηνοί, ως άρχοντες του Δεσποτάτου καθώς και οι Παλαιολόγοι –τελευταίοι αυτοκράτορες του Βυζαντίου– ευεργέτησαν το Μοναστήρι της «Παναγίας της Βαρνάκοβας» με αποτέλεσμα αρκετοί εξ' αυτών να επιλέξουν τον Καθολικό της μονής για τον ενταφιασμό τους. Οι τάφοι⁵ τους βρίσκονται κάτω από το δάπεδο του εσωνάρθηκα, ενώ σώζονται μέχρι σήμερα στη Μονή οι επιτύμβιες πλάκες.

Μετά το τέλος της Βυζαντινής Αυτοκρατορίας προς τα τέλη του 15ου αιώνα, η Μονή γνωρίζει την παρακμή της. Η Μονή επανέρχεται στην ιστορία γύρω στο 1520, όταν αναλαμβάνει ο ηγούμενος Όσιος Δαυίδ (1520-1532). Η Μονή γνωρίζει σημαντική ακμή –οι μοναχοί οργανώνουν τη βιβλιοθήκη καθώς, εκεί λειτουργεί από τις αρχές του 16ου αιώνα– με κεντρική μορφή τον μοναχό διδάσκαλο Νικόδημο Καβασίλα και το σχολείο ελληνικών σε επίπεδο «Σχολαρχείου 1900». Το 1578 η Μονή αριθμεί περίπου 200 μοναχούς, με την πληροφόρηση του πρωτονοτάριου, του Πατριαρχείου Θεοδόσιου Ζυγομαλά.

Ακολουθεί δύσκολη περίοδος, καθώς οι Τούρκοι λεηλατούν την περιουσία του μοναστηριού. Σε μία περίοδο διαδοχικών εχθροπραξιών, η «Βαρνάκοβα» καταφέρνει να συντηρηθεί χάρη στη χρήση διπλωματίας του Ηγούμενου Ιακώβου, αλλά και στις καλές σχέσεις με τους Βενετούς, οι οποίοι κατείχαν ακόμη τη Ναύπακτο.

Κατά την εποχή της Τουρκοκρατίας, η Μονή επιτέλεσε καθοριστικό ρόλο ως εθνικό και πατριωτικό κέντρο. Υπήρξε επίσης ορμητήριο - κρησφύγετο.

Λίγο αργότερα μετά την έξοδο του Μεσολογγίου, ο Κιουταχής (Μεχμέτ Ρεσίτ Πασάς) πολιορκεί την Βαρνάκοβα, όπου φιλοξενούσε και Έλληνες. Η πολιορκία κρατάει μέρες, ωστόσο οι Τούρκοι αδυνατούν να καταλάβουν του μοναστηριού. Έπειτα από επανειλημμένες προσπάθειες χωρίς επιτυχία, αποφασίζουν να σκάψουν υπόγεια, κάτω από τη Μονή με σκοπό να την ανατινάξουν. Η Βαρνάκοβα ανατινάσσεται από τους Τούρκους και ξαναχτίστηκε μετά από πέντε χρόνια το 1831, με προσωπική επιχορήγηση του Ιωάννη Καποδίστρια, ο οποίος θεωρείται ο ευεργέτης της Μονής.

Με τη σύσταση του Ελληνικού κράτους, η Μονή λειτουργεί ξανά χωρίς να έχει την ίδια περιουσία, καθώς και την έκταση όπως άλλοτε. Το 1984 η Μονή ερημώνεται και από το 1992 και μετά επαναλειτουργεί από γυναίκες μοναχές. Την Κυριακή 29 Ιανουαρίου 2017, ξέσπασε μεγάλη πυρκαγιά εντός της Μονής (σε πολλά κτήρια του Μοναστηριού), καθώς το αρχείο της Μονής και πολλά ιστορικά κειμήλια απωλέσθηκαν.

⁵ Το 1919, ο αρχαιολόγος Αναστάσιος Ορλάνδος ανακάλυψε τάφους κάτω από το δάπεδο του εσωνάρθηκα, που αποδίδονται στους Κομνηνούς και τους Παλαιολόγους, ενώ σώζονται μέχρι σήμερα στη Μονή οι επιτύμβιες πλάκες.

Για την αρχιτεκτονική του βυζαντινού καθολικού δεν έχουμε παρά την μελέτη του Αναστασίου Κ. Ορλάνδου, ένα αυτοτελές δημοσίευμα του 1922. Σε αυτήν δόθηκε μια επιμελέστατη αποτύπωση της υπάρχουσας καταστάσεως και ή πρώτη παρουσίαση μαρμαροθετημάτων και γλυπτών. Στην αποκατάσταση όμως την οποία πρότεινε, σε συσχέτισμό με τις γνωστές κτητορικές επιγραφές που έχουν σωθεί, παρασύρθηκε από την θέση των κίωνων της ανακατασκευής του 1831 και έδωσε την αναπαράσταση ενός επιμηκυμένου ναού τύπου βασιλικής με τρούλο⁶. Συνακόλουθα χρονολόγησε με βάση την πρώτη κτητορική επιγραφή στο έτος 1148 τον κυρίως ναό, πιστεύοντας ότι αυτός ήταν ο νέος ναός της επιγραφής, ο οποίος αντικατέστησε τον πρώτο, παλιό ναό του 1077.

Ο Μπούρας (1995) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι: «Είναι πολύ περίεργο ότι ενώ ο Α. Όρλάνδος πρόσεξε και σωστά ερμήνευσε ένα κατά χώραν κατώφλι μεταξύ ναού και εσωνάρθηκα, αγνόησε ένα δεύτερο, το οποίο σώζεται μεταξύ των σημερινών δύο πρώτων από ανατολάς κίωνων. Αυτό δεν αφήνει καμιά αμφιβολία ότι και εκεί υπήρχε ένας εγκάρσιος τοίχος, του οποίου μάλιστα τα θεμέλια αξιοποιήθηκαν κατά την ανακατασκευή του 1831».

Στην νέα προτεινόμενη αναπαράσταση καθοριστικό ρόλο έπαιξε αφενός ο τοίχος αυτός και αφετέρου το μεγάλο περίτεχνο μαρμαροθέτημα που σώζεται κατά χώραν εγγύτατα της νέας κόγχης του ιερού. Σε συνδυασμό με την θεμελίωση δύο κίωνων, στην οποία στηρίχθηκαν οι πεσσοί του ιερού της ανακατασκευής του 1831, δεν αφήνει επίσης αμφιβολία ότι και εκεί υπήρχε αρχικώς ένα τρούλος, του οποίου (όπως σε πολλές μεσοβυζαντινές εκκλησίες) επεσήμαινε τον κατακόρυφο άξονα. (Μπούρας Χ. , 12-14 Μαΐου 1995)

Προκύπτει έτσι η προτεινόμενη κάτοψη. Ο ναός του κύρ. Αρσενίου του έτους ΡΤΦΠΕ'(1077) ήταν ένας δικιόνιος τρουλλαίος σταυροειδής εγγεγραμμένος ή απλός τετρακιόνιος ναός και ο Β' ναός του κυρού 'Ιωάννου ήταν μια τετράγωνη λιτή με τέσσερεις κίονες, επίσης τρουλλαία, ή οποία προσετέθη στο αρχικό καθολικό 71 χρόνια μετά την ανέγερση του. 'Ακόμα αργότερα προστέθηκαν το 1151 και το 1229 οι δύο νάρθηκες.

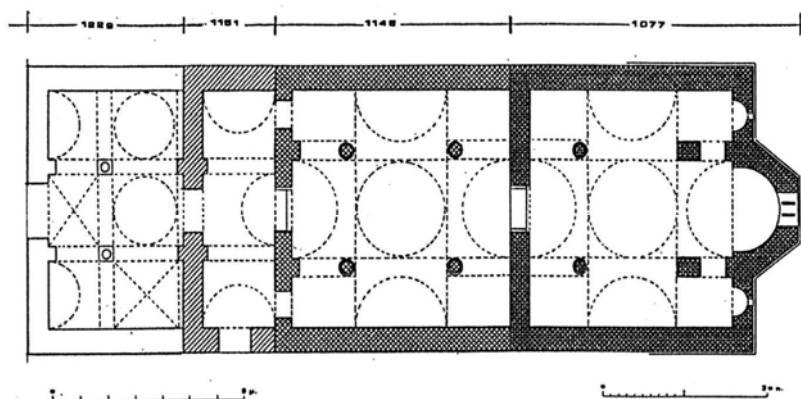
Άξια προσοχής είναι α) ότι ή διάταξη του καθολικού της Βαρνάκοβας, συμπεριλαμβανομένου του εσωνάρθηκα, είναι σχεδόν όμοια με εκείνη της μονής του Σαγματά, β) ότι τα περίτεχνα ιστορημένα μαρμαροθετήματα, χαρακτηριστικά του 12ου αιώνας, ανήκουν στην λιτή του 1148, ενώ το μαρμαροθέτημα του κυρίως ναού έχει απλό γεωμετρικό θέμα και γ) ότι σωζόμενα λίγα γλυπτά μπορούν επί τεχνοτροπικών και θεματολογικών δεδομένων να χρονολογηθούν όλα στον 11ο αιώνα. 'Ανήκαν στο τέμπλο του πρώτου ναού (Μπούρας Χ. , 12-14 Μαΐου 1995).

⁶ Αναφέρεται και ως «Τρουλλαία Βασιλική» από τον Μπούρα (1995).

2.4 Σύντομη Αρχιτεκτονική Περιγραφή

Ο αρχικός ναός ξεκίνησε να δημιουργείται το 1077⁷, ολοκληρώθηκε και αγιογραφήθηκε το 1084. Το 1184 δημιουργείται ένας δεύτερος ναός, μεγαλύτερος.

Ο νέος αυτός ναός ήταν αρχιτεκτονικού τύπου «τρίκλιτης βασιλικής με τρούλο». Ο ναός αποτελούνταν από εξωτερικό νάρθηκα και εσωνάρθηκα και από τον κυρίως ναό, που ήταν το παλαιότερο μέρος του αρχιτεκτονικού συνόλου. Ο εσωνάρθηκας ανεγέρθη το 1151, ενώ ο εξωνάρθηκας το 1229, όπως αναφέρεται σε χρονικό σημείωμα του 1690 σε έγγραφο του αρχείου της μονής. Το δάπεδο του ναού είναι διακοσμημένο με μαρμαροθετήματα. Περίπου το 1700 ο ναός πυρπολήθηκε, αναστηλώθηκε το 1805 και τελικά ανατινάχθηκε στις 26 Μαΐου 1826, κατά την τελική φάση της πολιορκίας της Μονής. Από την ανατίναξη διασώθηκαν μόνον το δάπεδο και τμήματα τοίχων και θόλων του δυτικού άκρου της εκκλησίας (Μπούρας Χ., 12-14 Μαΐου 1995).



Εικόνα 5: Σχεδιαστική αναπαράσταση των φάσεων κατασκευής του καθολικού όπως το απέδωσε ο Μπούρας (1994) .

Ο σημερινός ναός κατασκευάστηκε το 1831. Όπως ο παλιός, αφορά σε τρίκλιτη βασιλική με τρούλο και δίρριχτη στέγη. Στα δεξιά της εισόδου υπάρχει δίλοβο κωδωνοστάσιο. Ο νάρθηκας και ο κυρίως ναός διαιρούνται σε τρία κλίτη από δυο σειρές κίωνων, μεταξύ των οποίων ξεχωρίζουν και οι κίονες του παλαιού εξωνάρθηκα, που είναι οι μοναδικοί σωζόμενοι του παλαιού ναού. Όπως βλέπουμε και στην κάτοψη (εικ.3), ο κύριος ναός έχει τέσσερα ζεύγη κίωνων και ο μοναδικός νάρθηκας βρίσκεται στη θέση του παλαιού εξωνάρθηκα. Πάνω από την πύλη εισόδου μεταξύ του

⁷ Η κτητορική επιγραφή που βρίσκεται εντοιχισμένη πάνω από την πύλη του νάρθηκα (που ανακαινίστηκε το 1148) αναφέρει ότι το Καθολικό της μονής κτίστηκε στα 1077.

νάρθηκα και του κυρίως ναού, είναι εντοιχισμένη η κτητορική επιγραφή (υποσημείωση 3, σελ.13). Σύμφωνα με τον Α. Ορλάνδο έχει διασωθεί τοιχογραφία εικονογραφικού τύπου της Παναγίας Οδηγήτριας, που ανάγεται πριν το 1453⁸. Το δάπεδο του ναού αποτελείται από εν μέρει μαρμαροθετήματα του 11ου αιώνα, που είναι και το μοναδικό διακοσμητικό στοιχείο που διασώζεται από τον παλιό ναό. Οι τοιχογραφίες και το ξυλόγλυπτο τέμπλο, χρονολογούνται από τον 19ο αιώνα (1831-1838) την περίοδο που ανοικοδομήθηκε ο ναός. Αυτό θεωρητικά είναι το σύγχρονο καθολικό, αν και το 2014 στη μονή έγινε σεισμός, γεγονός που επηρέασε το καθολικό της μονής.

2.4.1 Γενικά

Οι εξωτερικές όψεις του ναού χαρακτηρίζονται από την λιτή διακόσμηση και αποτελούνται από λιθόκτιστη εμφανή τοιχοποιία με ψευδοϊσόδομο σύστημα⁹. Εξαίρεση στη γενική όψη εμφανούς τοιχοποιίας αποτελεί ο επιχρισμένος τρούλλος, που φαίνεται να είναι πλινθόκτιστος εσωτερικά. Βλέποντας κανείς συνολικά το ναό εκτός της λιθόκτιστης τοιχοποιίας παρατηρεί την ύπαρξη λιθόκτιστου σκαμνιού-πεζουλιού που περιβάλλει κατά μεγάλο μέρος το ναό. Η ύπαρξη καμπαναριού στη νοτιοδυτική γωνία και σε σύνδεση με τον εξωνάσθηκα φέρει δύο διακριτές φάσεις, μια παλαιότερη και μία νεότερη σε αρμονία με την παλιά. Έντονα εμφανείς είναι και κάποιες νεότερες επεμβάσεις πλευρικής υποστήριξης με μεταλλικές αντηρίδες και η προσθήκη, στη δυτική πλευρά του ναού, νεότερου στεγάστρου με ξύλινο σκελετό και χρήση σύγχρονου τύπου κεράμων. Επίσης, είναι «αρνητικά» διακριτή η αντικατάσταση της κεραμωτής στέγης του ναού με σύγχρονου τύπου κεράμους και καναλιών υδρορροής. Σημειωτέο είναι το γεγονός ότι η κεραμωτή κυκλική στέγη του τρούλλου αποτελείται από παλαιότερου τύπου κεράμους της φάσης της ανακατασκευής του ναού το 1831. Τέλος, Ανάμεσα στους λίθους της τοιχοποιίας παρατηρείται μερική ενσωμάτωση λίθινων και κεραμικών διακοσμητικών στοιχείων, κάποιων που δημιουργήθηκαν κατά τις διαδοχικές ανακατασκευές του ναού και κάποιων άλλων σε επανάχρηση, προερχόμενα από τον παλαιότερο ναό που καταστράφηκε.

⁸ Η συγκεκριμένη τοιχογραφία ταυτίζεται πιθανόν με την εντοιχισμένη τοιχογραφία στο τύμπανο που βρίσκεται πάνω από την πύλη εισόδου του ναού, που συνδέει τον εξωνάσθηκα με τον κυρίως ναό και φέρει την κτητορική επιγραφή στο κάτω μέρος?.

⁹ Το ψευδοϊσόδομο σύστημα αποτελείται από ορθογώνιους, παραλληλόγραμμους λίθους με διαφορετικό ύψος σε κάθε στρώση.

3 Πειραματικό Μέρος

3.1 Πειραματικός Σχεδιασμός και Μεθοδολογία

Ο σκοπός του παρόντος πονήματος είναι η μελέτη των δομικών υλικών του καθολικού της Ι.Μ. Βαρνάκοβας ώστε να αποκομίσουμε πληροφορίες για την κατασκευή (πρώτες ύλες, αναλογίες και συσχετισμοί τους), τις ιδιότητες (μηχανικές και φυσικοχημικές) και την κατάσταση του μνημείου.



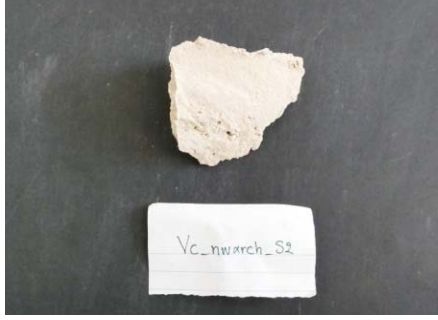
Για τον χαρακτηρισμό των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τεχνικές:

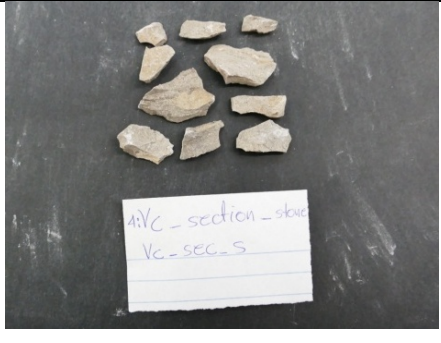
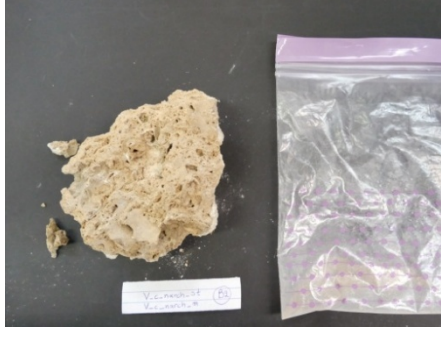
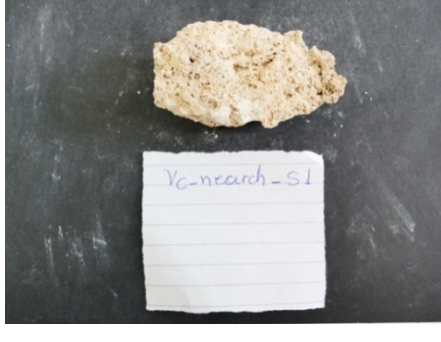

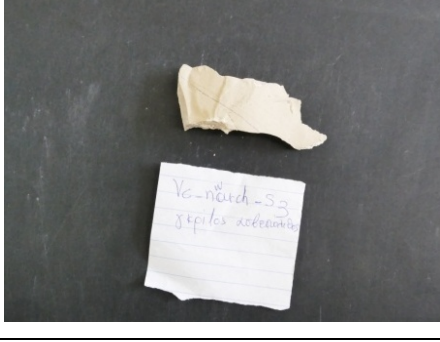
- Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM), για την μελέτη της μορφολογίας των εξεταζόμενων κονιαμάτων.
- Πολωτικό μικροσκόπιο για τη πετρογραφική μελέτη των λίθων.
- Περίθλαση ακτίνων Χ, XRD (X-Ray Diffraction), για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων.
- Θερμική Ανάλυση (DTA-TG), για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών των κονιαμάτων.
- Προσδιορισμός ποσοστού ροφημένου νερού, ολικού ανοιχτού πορώδους προσβάσιμου στο νερό και φαινόμενης πυκνότητας
- Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων - Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των κονιαμάτων σε ολικά διαλυτά άλατα και σε επιβλαβή χλωριόντα, θειικά και νιτρικά ανιόντα.
- Κοκκομετρική ανάλυση, για τον προσδιορισμό της κατανομής των αδρανών και της αναλογία κόνιας αδρανών
- Μηχανικές Αντοχές
- Θερμογραφία Υπερήχων


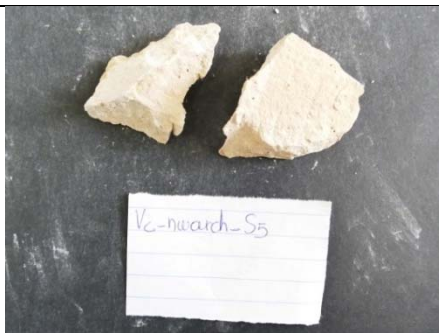
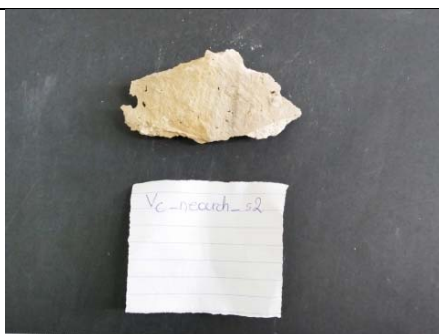
3.2 Δειγματοληψία

Δείγματα δομικών υλικών ελήφθησαν από τις εξωτερικές τοιχοποιίες, αλλά και από κρίσιμες περιοχές του εσωτερικού του Καθολικού της ΙΜ Βαρνάκοβας. Τα δομικά υλικά αφορούν σε λίθους, κονιάματα και επιχρίσματα. Οι κωδικοί των δειγμάτων, η περιγραφή τους και η θέση δειγματοληψίας περιγράφονται στους επόμενους πίνακες.


Πίνακας 3: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων λίθων





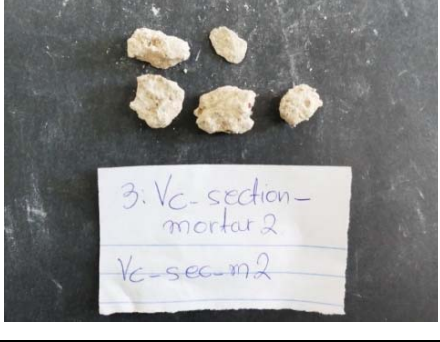
Φωτογραφία δείγματος	Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας
	V_stone_cs	Εξωτερικός δομικός λίθος από τη νότια όψη του Καθολικού
	V_stone_cn	Εξωτερικός δομικός λίθος από τη βόρεια όψη του Καθολικού
	V_c_gbs_s	Γκρίζος Συμπαγής ασβεστόλιθος δόμησης, Νότια πλευρά Καθολικού, Στρωτή Λίθινη Υπόβαση Έδρασης του εξωτερικού Λίθινου Θρανίου – Πεζουλιού
	V_c_nwarch_s2	Υπόλευκος πωρόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, αριστερά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού

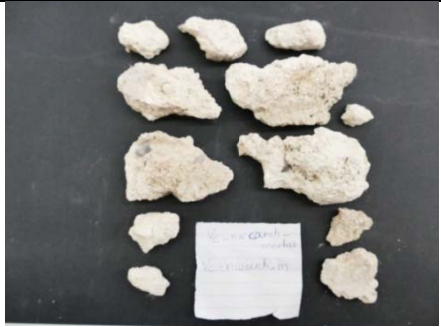
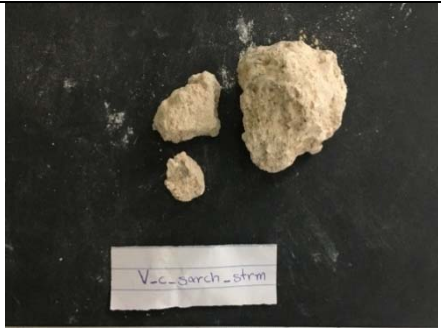



	<p>Vc_sec_s</p>	<p>Τεφρός «σκούρος» λίθος, από τη διερευνητική τομή επί της τοιχοποιίας, βόρειος τοίχος του Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος</p>
	<p>V_n_nwarch_s1</p>	<p>Πωρόλιθος (τύπου σφουγγάρι), Βόρειο τόξο, όψη προς Δύση, αριστερά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού</p>
	<p>Vc_nearch_s1</p>	<p>Πωρόλιθος (τύπος σφουγγάρι), Βόρειο τόξο, όψη προς Ανατολή</p>
	<p>V_c_sarch2_st</p>	<p>Πωρόλιθος (σφουγγάρι), Κεντρικό τόξο της νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού.</p>
	<p>V_c_nwarch_s3</p>	<p>Γκρίζος συμπαγής ασβεστόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, δεξιά του κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού</p>

	V_c_nwarch_s4	Υπόλευκος πωρόλιθος, βόρειου τόξου όψη προς Δύση, αριστερά κεντρικού ορθογώνιου λίθος-κλειδί
	V_c_nearch_s5	Υπόλευκος πωρόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, δεύτερος δεξιά του κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδί
	Vc_nearch_s2	Υπόλευκος πωρόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Ανατολή

Πίνακας 4: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων κονιαμάτων

	Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας
	V_mortar_cn	Κονίαμα από βόρεια όψη Καθολικού

	<p>V_mortar_cs</p>	<p>Κονίαμα από νότια όψη Καθολικού</p>
	<p>V_mortar_ct</p>	<p>Κονίαμα από τη νότια όψη Καθολικού από το καμπαναριό</p>
	<p>V_mortar_ce</p>	<p>Κονίαμα από ανατολική όψη Καθολικού, από την άκρη δίπλα από τη μάντρα, κονίαμα αρμολόγησης</p>
	<p>Vc_sec_m1</p>	<p>Κονίαμα δόμησης, από τη διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος</p>
	<p>Vc_sec_m2</p>	<p>Κονίαμα δόμησης, από τη διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος</p>


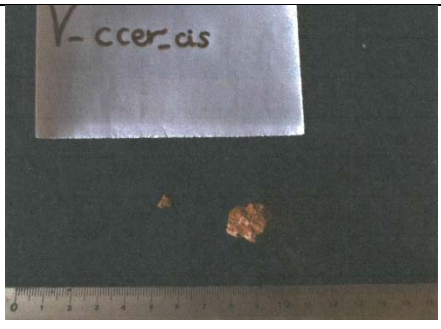
	<p>V_c_nwarch_m</p>	<p>Κονίαμα βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, δεύτερος δεξιά του κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδί</p>
	<p>V_c_sarch_strm</p>	<p>Κονίαμα Δόμησης, Κεντρικό Νοτιοανατολικό Τόξο, Δυτική όψη,</p>
	<p>V_mortar_ic</p>	<p>Κονίαμα στον Εξωνάρθηκα του Καθολικού, Βόρεια πλευρά θύρας εισόδου στο καθολικό, 30cm από το έδαφος</p>
	<p>V_mortar_cfl1</p>	<p>Κονίαμα από κάτω από τις μαρμάρινες πλάκες του δαπέδου βορειοανατολική γωνία τρύπας</p>
	<p>V_mortar_cfl2</p>	<p>Κονίαμα κάτω από τις μαρμάρινες πλάκες του δαπέδου νοτιοανατολική γωνία τρύπας</p>

Πίνακας 5: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων επιχρισμάτων

	Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας
	Vc_sec_pl	Επίχρισμα της διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος
	V_c_sarch2_pl2	Τμήμα επιχρίσματος με μικρά αδρανή Κεντρικό τόξο της Νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού
	V_c_sarch_pl	Τμήμα <u>ελαφροβαρούς επιχρίσματος (από γύψο)</u> με μικρά αδρανή με εγκλείσματα δύο κονιαμάτων, Κεντρικό τόξο της Νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού
	V_plaster_cis0	Δείγμα από τον πάτο της στέρνας (0cm)

	V_plaster_cis30	Δείγμα 30 cm από τον πάτο της στέρνας
	V_plaster_cis70	Δείγμα 70cm από τον πάτο της στέρνας

Πίνακας 6: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων κεραμικών.

	Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας
	Vc_nearch_b	Οπτόπλινθος στο βόρειο τόξο, όψη προς Δύση, πάνω και δεξιά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού
	V_ccer_cis	Κεραμικό στόμιο κιστέρνας, Νοτιοανατική γωνία οπής κιστέρνας.

3.3 Πειραματικές Τεχνικές και Μέθοδοι Ανάλυσης

3.3.1 Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)

Η ψηφιακή μικροσκοπία (DM) αποτελεί μια μη καταστρεπτική μέθοδο εξέτασης επιφανειών, η οποία παρέχει μια αρχική εκτίμηση της μικροδομής των υλικών και σύνθετων υλικών. Καθώς πρόκειται για φορητή διάταξη, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επί τόπου παρατήρηση, για την αναγνώριση των τύπων φθοράς και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας μεθόδων συντήρησης, καθαρισμού και προστασίας του υλικού. Οι εκτιμήσεις των αποτελεσμάτων της μεθόδου αυτής χρησιμοποιούνται συνδυαστικά και με άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους οι οποίες μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για το δομικό υλικό. Πιο συγκεκριμένα, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την διάκριση των κονιαμάτων ανάλογα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και την υφή, αλλά και τον έλεγχο ποιότητας των δομικών υλικών.

Η αρχή της μεθόδου είναι η εξής. Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από υαλώδη κυλινδρικό πυρήνα και περίβλημα από το ίδιο υλικό με ελαφρά μικρότερο δείκτη διάθλασης από εκείνον του πυρήνα. Συνεπώς, όταν μια ακτίνα φωτός εισέλθει στην ίνα υπό κατάλληλη γωνία ανακλάται διαδοχικά στο περίβλημα και μεταδίδεται μέσα στην ίνα. Η οπτική μετάδοση χρησιμοποιεί φως ως φορέα των σημάτων, αντί για ηλεκτρικό ρεύμα. Το προς μετάδοση ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε ακολουθία ψηφιακών παλμών, η οποία μεταδίδεται μέσω της οπτικής ίνας και στη συνέχεια οι παλμοί αυτοί μετατρέπονται και πάλι σε ηλεκτρικό σήμα.

Η διάταξη της μικροσκοπίας οπτικών ινών που χρησιμοποιήθηκε είναι το *i_score moritex* σε μεγεθύνσεις x30 και x50. Κατά την εξέταση των δειγμάτων παίζουν μεγάλο ρόλο η μορφή και ο βαθμός τραχύτητας της επιφάνειας, καθώς το φως πρέπει να προσπίπτει στην επιφάνεια κατακόρυφα και να ανακλάται πίσω διαμέσου των αντικειμενικών φακών, ώστε να λαμβάνονται εικόνες καλύτερης ποιότητας. Άρα είναι σημαντικό κατά την πειραματική διαδικασία το φως να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος. Το μικροσκόπιο διαθέτει έξοδο τυποποιημένου βίντεο σήματος (PAL) που επιτρέπει την εισαγωγή εικόνας και σε Η/Υ με περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας.

3.3.2 Οπτική Μικροσκοπία - Πολωτική Μικροσκοπία (Πετρογραφική μελέτη)

Η μέθοδος πολωτικής μικροσκοπίας αποτελεί τη βάση για τη πετρογραφική μελέτη. Η πετρογραφική μελέτη χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση της γεωγραφικής προέλευσης ενός λίθου και για την αναγνώριση των δομικών ορυκτών του. Η αναγνώριση επιτυγχάνεται με την

εξέταση μιας λεπτής τομής από τον προς εξέταση λίθο και λεπτών τομών δειγμάτων από πυκνές πηγές προέλευσης του υλικού σε πετρογραφικό (πολωτικό) μικροσκόπιο.

Η αρχή της μεθόδου είναι η εξής. Για την 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 του δείγματος σε επίπεδο πολωμένο φως. Η αναγνώριση μέσω του σχήματος είναι περιορισμένης χρήσης, Γιατί στις πέτρες τα ορυκτά σπάνια μπορούν να αναπτυχθούν σε καλοσχηματισμένους κρυστάλλους.

Ακόμα, το σχήμα που παρατηρείται εξαρτάται από το σχήμα του κρυστάλλου που έχει κοπεί από την λεπτή τομή και έτσι είναι τυχαίο. παρόλα αυτά, επειδή υπάρχει σχέση ανάμεσα στον τύπο του κρυστάλλου και των διαρρήξεων, οι γραμμές διαρρήξεις οι οποίες παρουσιάζονται στις λεπτές τομές σαν ραβδώσεις που διατρέχουν τον κρύσταλλο, αποτελούν ένα αξιόπιστο διαγνωστικό στοιχείο.

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 γωνιές οποιασδήποτε τιμής ως προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος και το φυσικό φως να μην εμφανίζεται πολωμένο. Όταν όμως διέρχεται μέσα από ένα πρίσμα Νικολ που δρα ως πολωτής, αναλύεται λόγω διπλοδιαθλαστικότητας σε δύο κολώνες γραμμικές ακτίνες, από τις οποίες η μία μόνο εξέρχεται από το πρίσμα παράλληλη προς το χαρακτηριστικό επίπεδο του πολίτη, με μειωμένη την ένταση της στο μισό.

Η διάταξη της πολωτικής μικροσκοπίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το Πολωτικό μικροσκόπιο LEIKA DM-LP με σύστημα ανάλυσης εικόνας σε μεγεθύνσεις, x100, x500.

3.3.3 Περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη διάταξη των ατόμων ή μορίων σε ένα κρυσταλλικό υλικό πραγματοποιώντας με αυτόν τον τρόπο μία στοιχειακή ή ορυκτολογική σε αυτή την περίπτωση ανάλυση. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε ερευνητικό και βιομηχανικό επίπεδο, παρέχοντας εκτενής πληροφορίες για τη δομή και χημικοί σύσταση διάφορων υλικών. Η αρχή της μεθόδου αναπτύσσεται παρακάτω.

Οι ακτίνες X είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (περιοχή 10-5-100Å), η οποία παράγεται μετά την επιβράδυνση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας ή κατά τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις στις εσωτερικές στοιβάδες των ατόμων. Κατά την πρόσκρουση ακτινοβολίας X σε μια επιφάνεια με γωνία θ , τμήμα της σκεδάζεται από το επιφανειακό στρώμα ατόμων και τμήμα εισέρχεται στο υλικό, το οποίο με τη σειρά του αλληλεπιδρά με το

δεύτερο στρώμα ατόμων κ.ο.κ.. Το αθροιστικό αποτέλεσμα της σκέδασης από τα τακτικά χωροθετημένα κέντρα του κρυστάλλου ονομάζεται περίθλαση. Η θέση περίθλασης εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή της επαναλαμβανόμενης δομικής μονάδας του κρυστάλλου, ενώ η ένταση της εξαρτάται από το είδος των ατόμων και τη θέση τους στη δομική μονάδα. Επομένως είναι αδύνατο δύο ουσίες να παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο περίθλασης, έτσι αποτελεί δακτυλικό αποτύπωμα της ένωσης. Η μέθοδος XRD βασίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων X, γνωστού μήκους κύματος λ , στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος. Προσδιορίζει την γωνία θ της περιθλώμενης ακτινοβολίας και υπολογίζει τα διαστήματα των κρυσταλλικών επιπέδων (d), μέσω του νόμου Bragg:

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

Με τον προσδιορισμό των κρυσταλλικών επιπέδων γίνεται ποιοτική ανάλυση, αφού είναι χαρακτηριστικά της ένωσης, ενώ η ποιοτική ανάλυση γίνεται μέσω της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας για συγκεκριμένη γωνία θ . Κατά την ανάλυση πολύπλοκων μιγμάτων όπως τα κονιάματα η ποσοτική ανάλυση είναι δύσκολη, οπότε στην ουσία γίνεται μόνο ποιοτική. Είναι, όμως, δυνατό να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τη σχετική ποσότητα των ορυκτών φάσεων με την σύγκριση των κορυφών τους στα φάσματα.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο D 5000 X-Ray Diffractometer της εταιρείας Siemens.

3.3.4 Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA-TG)

Οι μέθοδοι θερμικής ανάλυσης μελετούν την συμπεριφορά ενός υλικού (φυσική ή χημική) συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν αυτό υποβάλλεται σε θερμοκρασιακό πρόγραμμα υπό ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα μπορεί να περιέχει ψύξη ή θέρμανση του δείγματος με καθορισμένο ρυθμό. Το θερμοκρασιακό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε κατά την πραγματοποίηση των αναλύσεων είναι η αύξηση της θερμοκρασίας με $10^\circ\text{C}/\text{min}$ από τους 25°C έως τους 1000°C . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή διαγράμματος, το οποίο ονομάζεται θερμογράφημα και είναι χαρακτηριστικό του κάθε υλικού. Με τη μελέτη του θερμογραφήματος λαμβάνονται πληροφορίες για την δομή του δείγματος και τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε αυτό κατά την εκάστοτε θερμοκρασιακή μεταβολή, οπότε χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον χαρακτηρισμό υλικών. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν η Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA) και η Θερμοβαρυμετρική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG) οι οποίες εξυπηρετούν τις απαιτήσεις που είναι απαραίτητες για την αποτίμηση των κονιαμάτων.

3.3.4.1 Διαφορική Θερμική Ανάλυση (DTA)

Όταν ένα υλικό υπόκειται σε θέρμανση ή ψύξη λαμβάνουν χώρα χημικές ή φυσικές μεταβολές κατά την διάρκεια των οποίων παρατηρούνται ενδόθερμα ή εξώθερμα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας. Η Διαφορική Θερμική Ανάλυση ή DTA (Differential Thermal Analysis) μετρά την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εξεταζόμενης ουσίας και ενός υλικού αναφοράς (T_R) ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, όταν τα δυο υλικά υπόκεινται σε προγραμματισμένη θερμοκρασιακή μεταβολή (συνήθως θέρμανση, γραμμικά με το χρόνο). Το όργανο καταγράφει την διαφορά $\Delta T = T_S - T_R$ και την παρουσιάζει σε θερμογράφημα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του δείγματος (T_S). Οι κορυφές ενός θερμογραφήματος αντιστοιχούν σε φυσικές ή χημικές μεταβολές του υλικού κατά την θέρμανσή του και η κατεύθυνση των κορυφών αυτών εξαρτάται από το αν η μεταβολή είναι εξώθερμη ή ενδόθερμη. Φυσικές ενδόθερμες μεταβολές είναι η τήξη, η εξάτμιση, η εξάχνωση, η απορρόφηση και η εκρόφηση, ενώ εξώθερμες είναι η προσρόφηση και η κρυστάλλωση. Αντίστοιχα, χημικές ενδόθερμες μεταβολές αποτελούν η αφυδάτωση, η διάσπαση και η αναγωγή, ενώ η οξειδωση, ο πολυμερισμός και οι καταλυτικές αντιδράσεις αποτελούν εξώθερμες. Η DTA χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό σημείων βρασμού και τήξης, τον εντοπισμό μετασχηματισμών φάσεων, και γενικότερα για τη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς και της σύνθεσης υλικών.

3.3.4.2 Θερμοβαρυσμετρική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG)

Κατά την Θερμοβαρυσμετρική ανάλυση γίνεται συνεχής καταγραφή της μάζας του δείγματος ως συνάρτηση της θερμοκρασίας ή του χρόνου, καθώς το δείγμα υποβάλλεται σε αύξηση της θερμοκρασίας με συγκεκριμένο θερμοκρασιακό πρόγραμμα, σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα. Η διάταξη αποτελείται από αναλυτικό ζυγό τοποθετημένο μέσα σε φούρνο, του οποίου το εσωτερικό ρυθμίζεται σε αδρανή ή και δραστική ατμόσφαιρα, ανάλογα με το δείγμα. Το σύστημα αυτό συνδέεται με Η/Υ για έλεγχο του οργάνου και συλλογή δεδομένων, τα οποία παρουσιάζει σε μορφή θερμογραφήματος. Τα θερμογραφήματα ονομάζονται και καμπύλες θερμικής διάσπασης και είναι διαγράμματα που απεικονίζουν το ποσοστό απώλειας μάζας συναρτήσει της θερμοκρασίας. Βασικότερες εφαρμογές της μεθόδου είναι η μελέτη θερμικής σταθερότητας και θερμικής διάσπασης, αλλά αποτελεί χρήσιμο εργαλείο και για τον χαρακτηρισμό υλικών. Με τη δημιουργία της διαφορικής καμπύλης (DTG) είναι δυνατός και ο ακριβής υπολογισμός της μεταβολής της μάζας και της αντίστοιχης θερμοκρασίας στην οποία έγινε η μεταβολή.

3.3.5 Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό - Προσδιορισμός Ποσοστού Ροφημένου Νερού και Ολικού Ανοιχτού Πορώδους Προσβάσιμου στο Νερό

3.3.5.1 Ρόφηση νερού με ολική βύθιση δείγματος σε νερό

Στόχος της συγκεκριμένης μέτρησης είναι ο χαρακτηρισμός του πορώδους προσβάσιμο στο νερό των δειγμάτων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

- Αρχικά, τα δείγματα πλύθηκαν με απιονισμένο νερό για τη μείωση σκόνης από την επιφάνεια του κάθε δείγματος. Στη συνέχεια, ακολούθησε η ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και μετά τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Έπειτα, ακολουθεί η ζύγιση των ξηρών δειγμάτων (m_0) και η τοποθέτησή τους σε γυάλινα δοχεία (ποτήρια ζέσεως). Στη συνέχεια, τοποθετείται απιονισμένο νερό σε κάθε δοχείο μέχρι την πλήρη κάλυψη του κάθε δείγματος. Μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, που εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες, τα δείγματα απομακρύνονται από τα δοχεία, σκουπίζονται γρήγορα με καθαρό πανί και καταγράφεται η μάζα τους (m_i) και ο χρόνος στον οποίο πάρθηκε η μέτρηση. Τα δείγματα, έπειτα, επανατοποθετούνται στα αντίστοιχα δοχεία με απιονισμένο νερό και οι μετρήσεις συνεχίζονται έως ότου να υπάρχει διαφορά μικρότερη του 1% του απορροφούμενου νερού.
- Στη συνέχεια, καταγράφηκε ο φαινόμενος όγκος των δειγμάτων (V_a). Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο των 500mL τοποθετήθηκε συγκεκριμένη ποσότητα απιονισμένου νερού. Μετά, τοποθετήθηκε το δείγμα με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και σημειώθηκε η διαφορά ύψους του νερού πριν και μετά την τοποθέτηση του δείγματος.
- Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ξηράθηκαν πάλι σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Τέλος καταγράφηκε η τελική μάζα των δειγμάτων (m_d) και ακολούθησαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί.
- Οι υπολογισμοί που έγιναν είναι οι εξής. Αρχικά υπολογίστηκε η ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε στη ξηρή μάζα του δείγματος σε ποσοστό, μέσω του τύπου:
$$M_i\% = 100 * (m_i - m_0) / m_0$$
- Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε γραφική παράστασή με τον άξονα τον x να αναπαριστά τον χρόνο και τον άξονα των y να αναπαριστά το $M_i\%$.

- Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό του ροφημένου νερού κατά τη δοκιμή ολικής εμβάπτισης του δείγματος σε νερό (water absorption capacity, WAC), μέσω του τύπου:
$$WAC=100*(m_{max}-m_d)/m_d$$
- Όπου m_{max} είναι η μέγιστη μάζα του απορροφημένου νερού.
- Ακόμα υπολογίστηκε ο όγκος του ανοιχτού πορώδους. Καθώς η πυκνότητα του νερού στους 4°C είναι 1g/cm³ ο όγκος υπολογίζεται μέσω του τύπου: $V_{op}=m_{max}-m_o$
- Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ποσοστό του ανοιχτού πορώδους σύμφωνα με τον τύπο:
$$\% \text{ open porosity}=100*(V_{op}/V_a)$$
- Τέλος υπολογίστηκε η φαινόμενη πυκνότητα των δειγμάτων μέσω του τύπου:
$$\rho_{\phi}=m_o/V_a$$

3.3.6 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων- Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων

Ένας από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών είναι τα διαλυτά άλατα μαζί με το νερό έναν από τους κυριότερους παράγοντες φθοράς των δομικών υλικών. Τα άλατα αυτά μπορεί είναι θειικά, νιτρικά, ανθρακικά, χλωριούχα αλκάλια και αλκαλικές γαίες, τα οποία μπορεί να προέρχονται από υπόγεια νερά με τριχοειδή αναρρίχηση, τους όξινους ατμοσφαιρικούς ρυπαντές που προσβάλλουν τα δομικά υλικά, τη θάλασσα με τη βοήθεια του ανέμου. Τα κυριότερα από αυτά που συναντώνται στα μνημεία είναι τα θειικά, χλωριούχα, νιτρικά και ανθρακικά και η παρουσία τους είναι καταστρεπτική για τα υλικά. Πιο συγκεκριμένα, αυτά παγιδούνται στο εσωτερικό των δομικών υλικών και μέσω της κρυστάλλωσης και ανακρυστάλλωσης τους μπορούν να προκαλέσουν εκτεταμένη φθορά.

Η δράση των θειικών αλάτων εκδηλώνεται είτε ως σταδιακή απώλεια μάζας και αντοχών του κονιάματος είτε λόγω της διόγκωσης, που οφείλεται στη δημιουργία ογκωδών προϊόντων, και της συνεπακόλουθης μείωσης της ανθεκτικότητας της κατασκευής λόγω εσωτερικών ρηγματώσεων. Τα χλωριόντα υπάρχουν στο κονίαμα είτε από τις πρώτες ύλες (π.χ. άμμος θαλάσσης, χαλίκια ποταμού) ή μεταφέρονται στο εσωτερικό του από το περιβάλλον. Δεν έχουν αξιόλογη δυνατότητα διάβρωσης του κονιάματος, αλλά έχουν μεγάλη διαβρωτική ικανότητα στους μεταλλικούς συνδέσμους που τοποθετούνται στην πλειοψηφία των μνημείων του ελλαδικού χώρου για την στήριξή τους κατά τη διάρκεια επεμβάσεων συντήρησης.

Για τον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αγωγιμομετρίας, σύμφωνα με το ιταλικό πρότυπο "Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83" και για τον προσδιορισμό του είδους των αλάτων που βρίσκονται στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης (spot tests).

Για τη μέθοδο προσδιορισμού των διαλυτών αλάτων λαμβάνει χώρα ζύγιση 100 ± 5 mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Παράλληλα, παρασκευάζεται και ένα διάλυμα blank, το οποίο περιέχει μόνο 100ml απιονισμένο νερό. 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: $(22) SST\% = (C * 6,88) / m$

όπου:

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS με αφαιρεμένη την αγωγιμότητα του blank.

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^-), θεικών αλάτων (SO_4^{2-}) και νιτρικών αλάτων (NO_3^-), 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 (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 θεικών ιόντων προστέθηκε, βάσει της ίδιας διαδικασίας, μικρή ποσότητα χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) 0,1 M. Παρουσία θεικών ιόντων παράγεται θειικό βάριο (BaSO_4), που και αυτό προκαλεί λευκό θόλωμα. Η ποσοτική παρουσία των θεικών ιόντων καθορίζει την ένταση του θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των νιτρικών ιόντων προστέθηκε βάση της διαδικασίας μικρή ποσότητας διαλύματος διφενυλαμίνης το οποίο παρασκευάστηκε στο εργαστήριο. Πιο συγκεκριμένα, 0,5g διφενυλαμίνης (Diphenylamine) προστέθηκαν σε 20mL απιονισμένου νερού και 100mL πυκνού θεικού οξέος. Η παρουσία νιτρικών ιόντων οξειδώνει την διφενυλαμίνης δίνοντάς της χαρακτηριστικό μπλε χρώμα στο μνήσκο του δοκιμαστικού σωλήνα. Η ένταση του μπλε χρώματος δεν καθορίζει την ποσότητα των ιόντων στο διάλυμα.

3.3.7 Κρουσιμετρία

Η μέθοδος αναπτύχθηκε κυρίως για το τσιμέντο και βασίζεται στο ότι η αναπήδηση ελαστικής μάζας εξαρτάται από τη σκληρότητα της επιφάνειας πάνω στην οποία γίνεται η κρούση. Το κρουσίμετρο αναπήδησης πιέζεται προς την επιφάνεια του σκυροδέματος με αποτέλεσμα το έμβολο που πιέζεται προς το σκυρόδεμα να προκαλεί την αναπήδηση της μάζας που είναι στερεωμένη στο εσωτερικό του μέσου ελατηρίου, το οποίο αρχικά είναι τεντωμένο. Η αναπήδηση της μάζας συσχετίζεται με την αντοχή του σκυροδέματος με τη βοήθεια καμπυλών, οι οποίες έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα.

Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται η σκληρότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου. Επίσης τα αποτελέσματα μπορούν να επηρεαστούν από τις επιφανειακές συνθήκες και τις διαστάσεις του σκυροδέματος. Συνήθως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθος χιλιοστών. Οι επιφάνειες που ελέγχονται με την μέθοδο της κρουσιμέτρησης πρέπει να είναι απολύτως λείες και συνιστάται οι μετρήσεις να γίνεται σε ξηρά στοιχεία γιατί η παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο σκυρόδεμα του δοκιμίου έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική μείωση της αξιοπιστίας του οργάνου.

3.3.8 Μετρήσεις μηχανικών αντοχών

3.3.8.1 Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια

Η μέτρηση της μονοαξονικής θλίψεως (compression test) αποτελεί μια δοκιμή κατά την οποία το δοκίμιο φορτίζεται υπό την επίδραση δυο δυνάμεων, ίσου μέτρου, ίδιας διεύθυνσεως, αντίθετης όμως φοράς, τέτοιας ώστε να προκαλείται συμπίεση του υλικού. Όπως και σε κάθε περίπτωση αξονικής καταπόνησης ενός υλικού, όταν η επιβαλλόμενη τάση είναι μικρότερη από την τάση ελαστικότητας (young stress) που αντιστοιχεί στο όριο ελαστικότητας του υλικού, το υλικό παραμορφώνεται ελαστικά, υπό θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης βασίζεται σε απλές αρχές και απαιτεί ελάχιστη πολυπλοκότητα του εξοπλισμού εκτέλεσης. Η απόκριση του πετρώματος θα εξαρτάται τόσο από τη φύση του και την ορυκτολογική του σύσταση όσο και από την κατάσταση των δοκιμίων. Για παρόμοια ορυκτολογική σύσταση, η μετρούμενη αντοχή του πετρώματος μειώνεται με την αύξηση του πορώδους, του βαθμού αποσάθρωσης, της προϋπάρχουσας μικρορωγμάτωσης και της περιεχόμενης υγρασίας του δοκιμίου (Νομικός, 2015)

3.3.8.2 Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων

Οι δυσκολίες που συνδέονται με την εκτέλεση της άμεσης δοκιμής μονοαξονικό εφελκυσμού έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη εμμέσων μεθόδων για την εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής των πετρωμάτων. Οι μέθοδοι αυτές ονομάζονται έμμεσες, διότι στοχεύουν στην ανάπτυξη ενός ομοιόμορφου ελκυστικού εντατικού πεδίου, αλλά περιλαμβάνουν πειραματικές διατάξεις που οδηγούν σε ομοιόμορφες εφελκυστικές τάσεις σε ορισμένες περιοχές του δοκιμίου. Η ακριβής τιμή της εφελκυστικής τάσης στο σημείο όπου εκκινεί η αστοχία πρέπει να βρεθεί από την επίλυση των εξισώσεων της ελαστικότητας. (Νομικός, 2015)

Η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη από αυτές τις δοκιμές είναι η δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης, γνώστης και ως δοκιμή Brazilian Test, κατά την οποία δοκιμή όμορφης δίσκου υποβάλλεται σε αντιδιαμετρική θλίψη, παράγοντας έτσι μία εφελκυστική τάση κάθετα στη διάμετρο φόρτιση. υπό τις συνθήκες αυτές, το δοκίμιο θραύεται κατά τη διάμετρο φόρτιση σε εφελκυσμό. Η εφελκυστική τάση, που προκαλεί την εφελκυστική θραύση του δοκιμίου, θεωρείται ότι είναι ίση με την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό. (Νομικός, 2015)

3.3.8.3 Δοκιμή κάμψης

Η δοκιμή κάμψης έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν για την μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του πετρώματος, για χρόνια εξάρτημα του, ενώ Σε πολλές περιπτώσεις απλά για την επίτευξη μιας καθαρής σεφ ελκυστικής θραύσης για τη μελέτη άλλων φαινομένων (όπως π.χ. της ακουστικής εκπομπής του πετρώματος). οι κάτοικοι φόρτιση παράγει περιοχές θλίψης και εφελκυσμού στο δοκίμιο του πετρώματος. η κατανομή των τάσεων και των μετατοπίσεων μπορεί να βρεθεί από τη στοιχειώδη θεωρία δοκού της τεχνικής μηχανικής. (Νομικός, 2015)

Κατά τη πειραματική διάταξη, δοκός πετρώματος ορθογωνικής διατομής υποβάλλεται σε ροπή κάμψης στα άκρα της. Οι ίνες της δοκού πάνω από τον ουδέτερο άξονα λέγονται, ενώ εκείνες κάτω από τον ουδέτερο άξονα ελκύονται. (Νομικός, 2015)

3.3.9 Θερμογραφία Υπερύθρου IR

Η θερμογραφία Υπερύθρου είναι μία τεχνική κατά την οποία καταγράφεται και μετράται η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα υλικό έμψυχο και άψυχο στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από το 0,7 έως 14μm. Οι εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία, εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία της επιφάνειας και την ικανότητα εκπομπής του υλικού. Υπάρχουν και άλλες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την αξιοπιστία των μετρήσεων, όπως η απόσταση του αντικειμένου από τη συσκευή μέτρησης ή η γωνία με την οποία γίνεται η θερμογράφιση. Υπάρχουν τρεις τρόποι για την καταγραφή της υπέρυθρου ακτινοβολίας:

- Καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας
- Καταγραφή της ανακυκλούμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας μετά από εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας πάνω στο εξεταζόμενο σώμα.
- Καταγραφή ενός μίγματος ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η κλασική θερμογραφία υπέρυθρων βασίζεται στην πρώτη δυνατότητα καταγραφής. Το θερμογραφήμα το σώματος που εξετάζεται δείχνει την πραγματική θερμοκρασία της επιφάνειας. Για να μετατραπεί το σήμα της ακτινοβολίας σε δεδομένα θερμοκρασίας, πρέπει να λάβουμε υπόψιν τον συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας. Επίσης, όταν εφαρμόζουμε αυτή την μέθοδο πρέπει να έχουμε υπόψιν μας ότι πάντοτε μετράται η θερμότητα που ακτινοβολείται. επιφανειακές φθορές μπορούν να καταγραφούν μόνον εφόσον υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα υπό εξέταση σημεία της επιφάνειας. σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20°C) η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή υπέρυθρου είναι περίπου 0,2 °C.

Ο δεύτερος τρόπος καταγραφής της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ανεξάρτητος και από την θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού και από τα θερμοκρασιακά διαφορικά που αναπτύσσονται σε αυτήν. Σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιείται πομπός υπέρυθρης ακτινοβολίας κατάλληλου μήκους κύματος, περίπου 3μm. Το σύστημα είναι έτσι σχεδιασμένο, ώστε το σώμα να ανακλά την προσπίπτουσα στην επιφάνειά του θερμική ακτινοβολία, χωρίς να θερμαίνεται. Η θέση του ανιχνευτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να προσλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η μέθοδος αυτή καλείται ανάκλαση φωτογραφία υπέρυθρου.

Μία άλλη ιδιότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας αποτελεί την βάση της τρίτης μεθόδου. Πρόκειται για την ικανότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (περίπου 0.75-3μm μήκους κύματος) να διεισδύει σε λεπτές στοιβάδες, όπως αυτές των χρωματικών στρωμάτων, των

βερνικιών και συναφών επικαλύψεων, καθιστώντας ορατά τα παλαιότερα υποστρώματα. Η μέθοδος αυτή κατατάσσεται στην ανακλαστογραφία υπέρυθρου μικρού μήκους κύματος.

Η θερμογραφία υπέρυθρων με την πρώτη ή την δεύτερη εκδοχή της χρησιμεύει στην καταστρεπτική ανίχνευση της φθοράς των υλικών και των αρχιτεκτονικών επιφανειών, ενώ η τρίτη μέθοδος αφορά κυρίως την εξέταση έργων τέχνης.

Όσον αφορά στην καταγραφή της φθοράς επιφανειών η θερμογραφία υπέρυθρου μπορεί να διαγνώσει:

- επιφανειακή φθορά τοιχοποιιών αρχιτεκτονικών επιφανειών κ.τ.λ.
- ρωγμές σε υλικά και κατασκευές.
- ανερχόμενη και παραμένουσα υγρασία και συμπύκνωση σε τοιχοποιίες κ.τ.λ.
- Έλεγχος της θερμομόνωσης σε κτίρια με θερμογραφήματα, που αποτιμούν τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε φαινόμενα μεταφορά μάζας και θερμότητας.
- Αξιολόγηση επεμβάσεων συντήρησης σε μνημεία και ιστορικά σύνολα.
- Έλεγχος Συμπεριφοράς Ιστορικών Κονιαμάτων και Κονιαμάτων Αποκατάστασης.
- Εξέταση Ψηφιδωτών - Τοιχογραφιών.

Γενικά κατά τη λήψη του θερμογραφήματος πρέπει να επικρατούν μόνιμες συνθήκες, Ωστόσο μπορεί να εξαχθούν σωστά συμπεράσματα και κάτω από μη μόνιμες συνθήκες αρκεί να υπάρχει η εμπειρία της μεθόδου και αρκετά δεδομένα για το υλικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορετικά συμπεράσματα. Για παράδειγμα ο τοίχος ενός κτιρίου που εκτίθεται άμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία θα εμφανίσει μία θερμή εξωτερική επιφάνεια και μία ψυχρή εσωτερική επιφάνεια κατά τη θερμογραφησή του από το εσωτερικό του κτιρίου.

Στην περίπτωση του ελέγχου της υγρασίας, της μόνωσης και γενικότερα διαφόρων επεμβάσεων σε κατασκευές, η ερμηνεία των θερμογραφικών δεδομένων είναι μία διαδικασία που συνίσταται στη σύγκριση των θερμικών εικόνων (θερμογραφημάτων) της κατασκευής, με θερμογραφήματα που είναι χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων θερμικών ανωμαλιών.

3.3.9.1 Η εφαρμογή της θερμογραφίας υπέρυθρων στη διάγνωση της υγρασίας σε πορώδη τοιχοποιία

Η σχέση ανάμεσα στη χρωματική κλίμακα της θερμοκρασίας και στην περιεχόμενη υγρασία σε πορώδες στέρεο μέσο, στηρίζεται στις ιδιότητες θερμικής ακτινοβολίας των σωμάτων και στις θερμοφυσικές ιδιότητες των στερεών υλικών. Σύμφωνα με αυτές:

1. η θερμική αγωγιμότητα πορώδους στερεού μέσο είναι ευθέως ανάλογη με την περιεχόμενη υγρασία, Σύμφωνα με τις εμπειρικές συναρτήσεις που ισχύουν Σε κάθε περίπτωση, και
2. η εκπομπή από πρότυπα πορώδη στερεά όπως στα (κεραμικά), για ορισμένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, αυξάνει με την αύξηση των κόκκων σε μία περιοχή κόκκων Από 1-200μm όπως στην περίπτωση τοιχοποιίας από πωρόλιθο.

Τα υπέρυθρα θερμογραφικά συστήματα, διακρίνονται σε δύο περιοχές:

1. 2- 5.6μm (κοντινό - μεσαίο υπέρυθρο): αυτή η περιοχή χρησιμοποιείται για τον θερμογραφικό έλεγχο σε θερμοκρασίες που είναι μεγαλύτερες της περιβαλλοντικής,. Η χρήση αυτού του μήκους κύματος προσφέρει μεγαλύτερη ευαισθησία στις θερμοκρασιακές διαφορές και δίνει πιο λεπτομερή θερμογραφήματα σε υψηλές θερμοκρασίες.
2. 8 - 14μm (μακρινό υπέρυθρο): αυτή η περιοχή προτιμάται για τον θερμογραφικό έλεγχο σε θερμοκρασίες που είναι παρόμοιες με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπως λ.χ. για εξωτερικές επιθεωρήσεις σε αρχαιολογικούς χώρους.

3.3.9.2 Συντελεστής εκπομπής υλικών

Ο συντελεστής εκπομπής ενός υλικού εκφράζει, το λόγο της ενέργειας που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο προς την ακτινοβολία θα εξέπεμπε ένα μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία και μήκος κύματος.

Ο συντελεστής εκπομπής ϵ ως μαθηματική έκφραση αποτελεί το λόγο της εκπομπής φάσματος του αντικειμένου προς αυτή του μέλανος σώματος και ισούται με:

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

όπου:

$W_{\lambda o}$: η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα αντικείμενο σε συγκεκριμένη περιοχή του φάσματος

$W_{\lambda b}$: η ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα

Ο συντελεστής εκπομπής παίρνει τιμές από 0 έως 1 και καθώς το ϵ πλησιάζει προς το 1, τόσο πιο πολύ εκπέμπει και αντιστοίχως απορροφά ένα υλικό. Για τα περισσότερα δομικά υλικά ο συντελεστής εκπομπής κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 0,9. Ο υπολογισμός του συντελεστή εκπομπής γίνεται με τη χρήση οργάνου θερμικών μετρήσεων.

Γενικά υπάρχουν τρία είδη πηγών θερμικής ακτινοβολίας που διακρίνονται με βάση τους τρόπους με τους οποίους η εκπομπή φάσματος του καθενός μεταβάλλεται με το μήκος κύματος:

- Για το μέλαν σώμα ισχύει $\epsilon_\lambda = \epsilon = 1$ και το ϵ είναι ανεξάρτητο από το μήκος κύματος.
- Για ένα μη μέλαν σώμα ισχύει $\epsilon_\lambda = \epsilon = \text{σταθερό}$ και μικρότερο του 1 και ανεξάρτητο από το μήκος κύματος.
- Για έναν εκλεκτικό πομπό θερμικής ακτινοβολίας (selective radiator) το ϵ_λ μεταβάλλεται με το μήκος κύματος.

Λόγω του ότι η ικανότητα εκπομπής της θερμικής ακτινοβολίας διαφοροποιείται ανάλογα με το υλικό και τη διαμόρφωση της τελικής του επιφάνειας, η χαρακτηριστική εκπομπή της κάθε επιφάνειας εκφράζεται από το συντελεστή εκπομπής ϵ .

Συνεπώς η χρησιμότητα του συντελεστή εκπομπής κατά τη διαδικασία μετρήσεων με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας είναι σημαντική ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων. Συγκεκριμένα είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των «ορθών» τιμών της θερμοκρασίας κατά τη λειτουργία της θερμοκάμερας. Εάν για μία λήψη μέσω θερμοκάμερας είναι γνωστή η τιμή του ϵ ενός σώματος, τότε βρίσκεται αμέσως η θερμοκρασία του σώματος αυτού.

Σίγουρα η εφαρμογή της θερμογραφίας αποτελεί σημαντική εξεταστική μέθοδο. Η διάγνωση της υγρασίας που σχετίζεται με τη διάγνωση φθοράς και συμβατότητας των υλικών (μεταξύ τους), είναι μια σημαντική εφαρμογή της μεθόδου. Η υγρασία επίσης σχετίζεται με το ανθυγιεινό περιβάλλον διαβίωσης. Συνεπώς, η υγρασία κάνει κακό τόσο στην υγεία του ανθρώπου, όσο και στην «υγεία» του κτιρίου. Η άμεση και μη καταστρεπτική διάγνωση της υγρασίας μέσω της μεθόδου της θερμογραφίας υπέρυθρου, προσφέρει την σημαντική αυτή δυνατότητα.

3.3.9.3 Εξοπλισμός

Χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές θερμοκάμερες. Για το διαγνωστικό έλεγχο της φέρουσας τοιχοποιίας του ναού χρησιμοποιήθηκε η FLIR T640, ενώ για τη περίπτωση του μαρμαροθετημένου δαπέδου η FLIR B200. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιήθηκε ένα φορητό θερμογρόμετρο (FLIR MR77), προκειμένου να βαθμονομηθούν οι ενδείξεις θερμοκρασίας της κάμερας υπέρυθρων.

3.3.10 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση με χρήση Πολυεικονικής μεθόδου δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου με προϊόν την ορθοφωτογραφία

3.3.10.1 Θεωρητικό μέρος

3.3.10.1.1 Η μέθοδος

Η τρισδιάστατη αναπαράσταση και μοντελοποίηση με χρήση πολλαπλών φωτογραφιών, έχει γνωρίσει μεγάλη άνθιση την τελευταία δεκαετία στο πεδίο της γεωμετρικής τεκμηρίωσης της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Οι πολυεικονικές μέθοδοι, κάνουν χρήση μεγάλου αριθμού εικόνων ενός αντικειμένου, με στόχο την τρισδιάστατη ανακατασκευή του. Για τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται ειδικοί αλγόριθμοι όρασης των υπολογιστών. Συγκρινόμενες με τις τεχνικές σάρωσης με laser, διαπιστώνεται ότι δεν επιτυγχάνονται πάντα αποτελέσματα με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια.

Τα στάδια πραγματοποίησης της διαδικασίας είναι:

- Ο προσανατολισμός των εικόνων (ταυτόχρονα με τον εσωτερικό προσανατολισμό τους) και η δημιουργία του αραιού νέφους σημείων μέσω της αυτόματης εξεύρεσης κοινών σημείων.
- Η πυκνωση του νέφους σημείων, με χρήση αλγορίθμων Όρασης υπολογιστών (πυκνή συνταύτιση εικόνας), όπου υπολογίζονται οι συντεταγμένες στο χώρο για κάθε pixel εικόνας.
- Η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου, ως συνεχή επιφάνεια που πάνω σε αυτήν αποδίδεται υφή (texturing).
- Το μοντέλο που παράγεται, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τρισδιάστατο προϊόν απεικόνισης ή να χρησιμεύσει για την παραγωγή εικονιστικών σχεδίων όψεων, κατόψεων και τομών.

Κάποια από τα λογισμικά πακέτα που χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση της παραπάνω διαδικασίας διακρίνονται σε α) εμπορικά όπως τα Photomodeler, Pix 4D, AgisoftPhotoscan, iWitness, 3DF ZephyrPro, Acute 3, β) ελεύθερα διατιθέμενα όπως τα SURE, VSfM, PMVS, Buntler, MicMac, MeshLab και σε γ) παρέχοντα υπηρεσίες μέσω διαδικτύου όπως τα 123D Catch, Photosynth, Cubify, ARC 3D. (Μουργή, 2015).

3.3.10.1.2 Ορθοφωτογραφία

Η διαδικασία παραγωγής της ορθοφωτογραφίας, στοχεύει στην απαλοιφή των προοπτικών παραμορφώσεων μιας εικόνας. Η διαφοροποίησή της από τη διαδικασία της αναγωγής έγκειται στο

γεγονός ότι επιπλέον της εξάλειψης των παραμορφώσεων εξαιτίας της κλίσης της φωτογραφικής μηχανής, πραγματοποιείται και εξάλειψη των αποκλίσεων της εικόνας που οφείλονται στο ανάγλυφο του αντικειμένου. (Ιωάννου, 2016)

3.3.10.1.3 Τρισδιάστατα Μοντέλα

Τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να προκύψει είτε από στερεοαπόδοση, είτε από πολυεικονική φωτογραμμετρία για ένα αποτυπωμένο αντικείμενο σε πλήρη τρισδιάστατη διανυσματική μορφή. Αντίστοιχα, μπορεί να παραχθεί νέφος σημείων από σάρωση με laser, και στη συνέχεια, να μοντελοποιηθεί με διανυσματικά στοιχεία, διαμορφώνοντας με αυτόν τον τρόπο ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Αξιοποιούνται σε αυτές τις περιπτώσεις τα συστήματα ψηφιακής σχεδίασης CAD για τη γραφική απόδοση των προϊόντων. Συγκεκριμένα, παράγονται τρισδιάστατα γραμμικά σχέδια ή σύνθετες εικόνες, προσθέτοντας χρώμα και υφή (Ιωάννου, 2016).

3.3.10.1.4 Τρισδιάστατα Φωτορεαλιστικά Μοντέλα

Ένα τρισδιάστατο φωτορεαλιστικό μοντέλο περιλαμβάνει εκτός από τη διανυσματική μορφή που έχει προκύψει από φωτογραμμετρική επεξεργασία, και την υφή, η οποία προκύπτει από την προβολή ανηγμένων εικόνων ή ορθοφωτογραφιών στις διανυσματικές επιφάνειες, ή από πολυεικονικές διαδικασίες. Θεωρείται ιδιαίτερα εποπτικό προϊόν το οποίο έχει υιοθετηθεί ευρέως στον τομέα της Γεωμετρικής Τεκμηρίωσης Μνημείων (Ιωάννου, 2016).

3.3.10.1.5 Παράδειγμα εφαρμογής

Παράδειγμα εφαρμογής παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου υψηλής ανάλυσης μέσω αυτοματοποιημένης μεθόδου με χρήση ψηφιακών εικόνων, αποτέλεσε η φωτογραμμετρική αποτύπωση του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στον Πανίερο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα, στο πλαίσιο υλοποίησης του «Ολοκληρωμένου προγράμματος διαγνωστικής έρευνας και στρατηγικού σχεδιασμού υλικών και επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στον Πανίερο Ναό της Αναστάσεως στα Ιεροσόλυμα» (Μοροπούλου, Κορρές, Γεωργόπουλος, & Σπυράκος, ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΚΟΥΒΟΥΚΛΙΟΥ ΤΟΥ ΠΑΝΑΓΙΟΥ ΤΑΦΟΥ ΤΟΥ ΠΑΝΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ).



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 6: Η φωτογραμμετρική αποτύπωση του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου με παραγωγή τρισδιάστατου μοντέλου υψηλής ανάλυσης μέσω αυτοματοποιημένης μεθόδου με χρήση ψηφιακών εικόνων. α) Ο προσανατολισμός των εικόνων (ταυτόχρονα με τον εσωτερικό προσανατολισμό τους) και η δημιουργία του αραιού νέφους σημείων μέσω της αυτόματης εξεύρεσης κοινών σημείων. β) Η πυκνωση του νέφους σημείων, με χρήση αλγορίθμων Όρασης υπολογιστών και γ) Η παραγωγή του τρισδιάστατου μοντέλου του αντικειμένου, ως συνεχή επιφάνεια που πάνω σε αυτήν αποδίδεται υφή (texturing). (Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας ΕΜΠ)

Τρισδιάστατα ή δισδιάστατα παράγωγα μεγάλης ακρίβειας και ανάλυσης όπως είναι οι ορθοφωτογραφίες, τα αναπτύγματα, οι τρισδιάστατες αναπαραστάσεις και οπτικοποιήσεις και εικονικές περιηγήσεις δίνουν νέα εργαλεία και δυνατότητες στους ειδικούς επιστήμονες για τη μελέτη των μνημείων πολιτιστικής κληρονομιάς. Με την επεξεργασία τους μπορούν να παραχθούν συμβατικά δισδιάστατα σχέδια υψηλής ακρίβειας που απαιτούνται σε κάθε μελέτη συντήρησης, αποκατάστασης, ανάδειξης. Σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των συμβατικών σχεδίων δισδιάστατης απεικόνισης έχουν τα εικονιστικά προϊόντα, που συνδυάζουν τη γεωμετρική ακρίβεια του σχεδίου με την οπτική - ποιοτική πληροφορία της φωτογραφίας (ορθοφωτομωσαϊκά, συνδυαστικά προϊόντα γραμμικού και εικονιστικού σχεδίου, 3D μοντέλα με υφή) (Ιωάννου, 2016).

3.3.10.1.6 Χρήση Γεωδαιτικού Σταθμού για την τοπογραφική αποτύπωση του δαπέδου

Ο ορισμός σημείων αναφοράς ως στάθμες στη κλίμακα του μνημείου, έλαβε μέρος μέσω της χρήσης του γεωδαιτικού σταθμού Topcon 3003 LN.

3.3.11 Χαρτογράφηση φθορών με χρήση Συστήματος Ψηφιακής Σχεδίασης CAD

Η παράγραφος αναφέρεται σε θέματα τεκμηρίωσης μέσω χαρτογράφησης φθορών επιτόπου μελέτη και ανάγνωση των υλικών, φθορών και προηγούμενων επεμβάσεων. Αφού αναγνωριστούν, μακροσκοπικά, τα υλικά και οι φθορές, οι σχετικές πληροφορίες συγκεντρώνονται και χαρτογραφούνται. Η χαρτογράφηση πραγματοποιείται στην κλίμακα του μνημείου, ψηφιακά, είτε σε σύστημα ψηφιακής σχεδίασης CAD είτε σε περιβάλλον ολοκληρωμένης διαχείρισης χωρικών πληροφοριών ΣΓΠ (Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών) (Ιωάννου, 2016). Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η χαρτογράφηση σε περιβάλλον ψηφιακής σχεδίασης CAD.

3.3.11.1 Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης

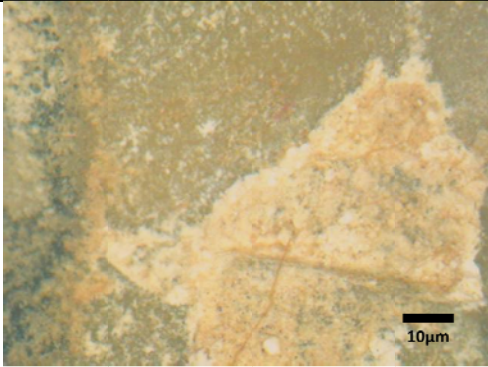
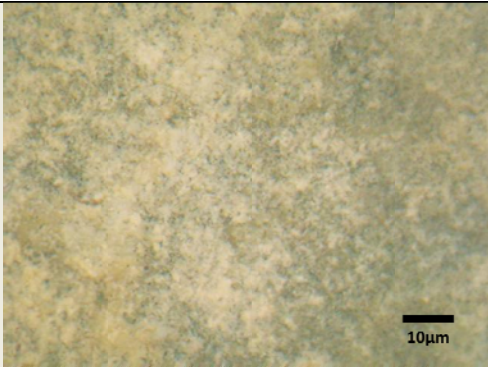
Τα Συστήματα Χωρικής Απεικόνισης CAD έχουν κύριο σκοπό τη γραφική απεικόνιση δισδιάστατων, και πλέον, τρισδιάστατων προϊόντων. Οι εφαρμογές των συστημάτων είναι κυρίως στον χώρο του Αρχιτεκτονικού και βιομηχανικού σχεδιασμού καθώς και των τοπογραφικών διαγραμμάτων. Πλέον δίνεται και η δυνατότητα σύνδεσης των Συστημάτων Χωρικής Απεικόνισης με βάσεις χωρικών δεδομένων, όπως τα ΣΓΠ, με σκοπό τη συμβολή σε ένα διαλειτουργικό σύστημα. Διακρίνεται για τις ιδιαίτερες σχεδιαστικές δυνατότητες, την ακρίβεια σχεδιασμού, την εύκολη μεταφορά και ανταλλαγή μέσω διαδικτύου, την ταχύτητα, και την εύκολη ενσωμάτωση σε άλλα αρχεία ή σχέδια (Ιωάννου, 2016)

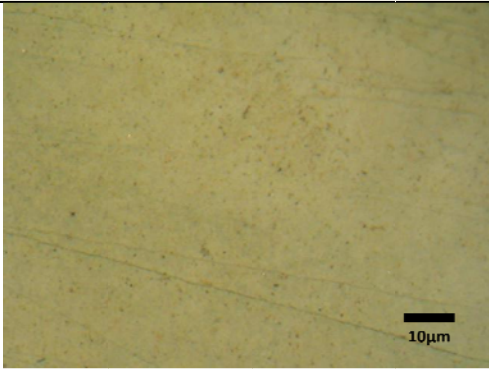
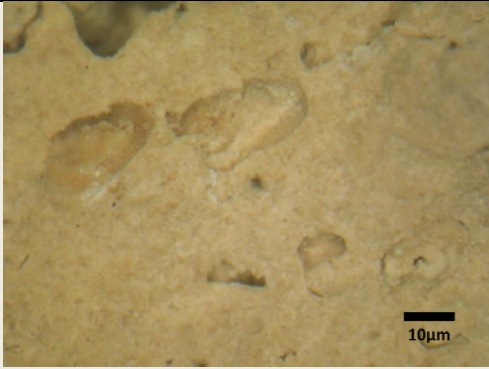
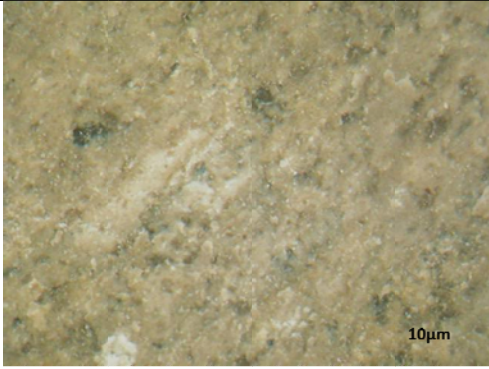
4 Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

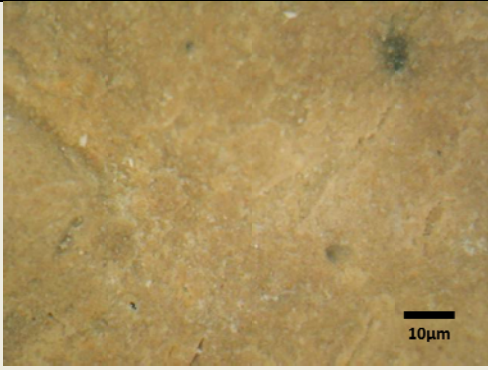

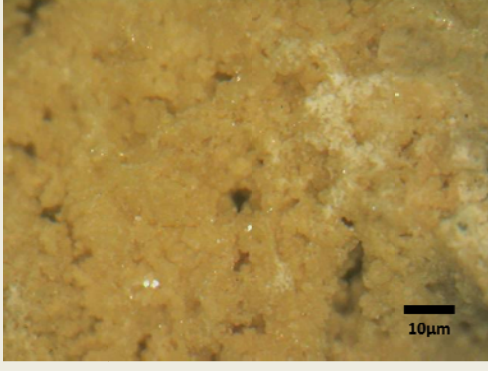
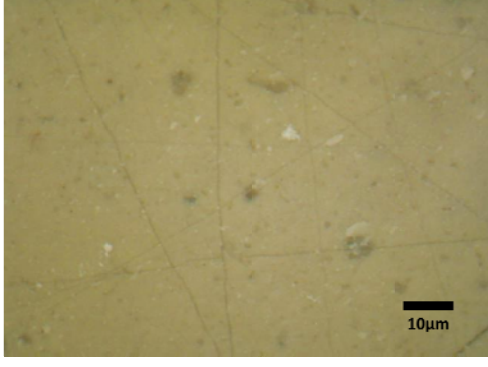
4.1.1 Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) - Μελέτη της υφής και της μορφολογίας των δομικών υλικών του Ναού με ψηφιακή μικροσκοπία

Η μικροσκοπική παρατήρηση πραγματοποιήθηκε τόσο για δείγματα των λίθων, των κονιαμάτων, των επιχρισμάτων και των κεραμικών. Στους παρακάτω πίνακες 7, 8, 9, 10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της παρατήρησης με τη περιγραφή των αξιοσημείωτων χαρακτηριστικών για κάθε μια από τις τέσσερις κατηγορίες υλικών και κάθε δείγμα ξεχωριστά.

Πίνακας 7: Κωδικοποίηση και εικόνα λήψης για τους λίθους.

Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας	Εικόνες Ψηφιακής Μικροσκοπίας
V_stone_cs	Εξωτερικός δομικός λίθος από τη νότια όψη του Καθολικού	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του γκρίζου συγκαγής ασβεστόλιθου Παρατηρείται η αδρή επιφάνεια του λίθου που έχει δημιουργηθεί μέσω αλληλεπίδρασης με τις εξωτερικές συνθήκες. Διακρίνεται επίσης υπόλευκη επικάλυψη που αποτελεί φιλμ προερχόμενο από τη διεπαφή με το κονίαμα δόμησης. Εμφανής είναι και η εναπόθεση οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια καστανής απόχρωσης, ενώ παρατηρείται επίσης τμήμα στυλολίθου που περιέχει οξείδια σιδήρου σκούρας απόχρωσης.</p>		
V_stone_cn	Εξωτερικός δομικός λίθος από τη βόρεια όψη του Καθολικού	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του γκρίζου συγκαγής ασβεστόλιθου Παρατηρείται η αδρή επιφάνεια</p>		

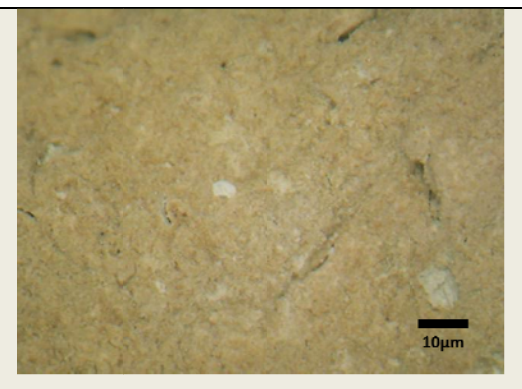
<p>του λίθου που έχει δημιουργηθεί μέσω αλληλεπίδρασης με τις εξωτερικές συνθήκες. Εμφανής είναι και η εναπόθεση οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια καστανής απόχρωσης σε μικρή κλίμακα.</p>		
V_c_gbs_s	<p>Γκρίζος Συμπαγής ασβεστόλιθος δόμησης, Νότια πλευρά Καθολικού, Στρωτή Λίθινη Υπόβαση - Έδραση του εξωτερικού Λίθινου Θρανίου – Πεζουλιού</p>	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του γκρίζου συμπαγή ασβεστόλιθου λείας επιφάνειας που παρουσιάζει διακλάσεις τριχοειδούς εύρους παράλληλου προσανατολισμού.</p>		
V_c_nwarch_s2	<p>Υπόλευκος πωρόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, αριστερά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού</p>	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του υπόλευκου πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μεγάλοι πόροι κυρίως λόγω της ύπαρξης απολιθωμένων κοχυλιών.</p>		
Vc_sec_s	<p>Τεφρός «σκούρος» λίθος, από τη διερευνητική τομή επί της τοιχοποιίας, βόρειος τοίχος του Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος</p>	
<p>Αδρή επιφάνεια με εμφανή πολλά διάσπαρτα «στίγματα» ορυκτών, ενώ παρατηρούνται καταθέσεις οξειδίων του σιδήρου στη μάζα.</p>		

V_n_nwarch_s1	<p>Πωρόλιθος (τύπου σφουγγάρι), Βόρειο τόξο, όψη προς Δύση, αριστερά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού</p>	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του υπόλευκου πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μετρίου μεγέθους πόροι και κηλίδες οξειδίων του σιδήρου σκούρας απόχρωσης.</p>		
Vc_nearch_s1	<p>Πωρόλιθος (τύπος σφουγγάρι), Βόρειο τόξο, όψη προς Ανατολή</p>	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μεγάλοι μεγέθους πόροι και είναι εμφανές ένα δίκτυο από κρυστάλλους ασβεστίτη με δομή παρόμοια του σφουγγαριού.</p>		
V_c_sarch_st	<p>Πωρόλιθος (σφουγγάρι), Κεντρικό τόξο της νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού.</p>	
<p>Πρόκειται για τη περίπτωση του πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μεγάλοι μεγέθους πόροι και είναι εμφανές ένα δίκτυο από κρυστάλλους ασβεστίτη με δομή παρόμοια του σφουγγαριού.</p>		
V_c_nwarch_s3	<p>Γκρίζος συμπαγής ασβεστόλιθος, βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, δεξιά του κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού</p>	

Πρόκειται για τη περίπτωση του γκρίζου συγκαγή ασβεστόλιθου λείας επιφάνειας που παρουσιάζει διακλάσεις τριχοειδούς εύρους. Παρατηρούνται επίσης μικρά στίγματα ορυκτών μαζί με στίγματα οξειδίων του σιδήρου σκούρας απόχρωσης.

V_c_nwarch_s4

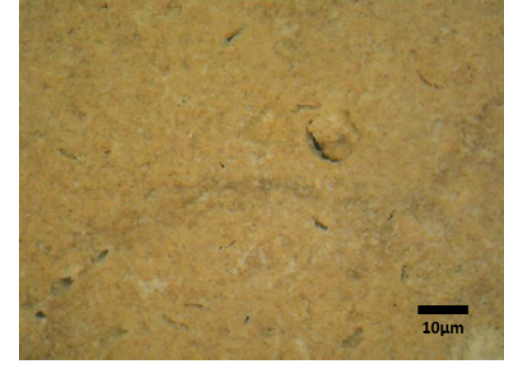
Υπόλευκος πωρόλιθος,
βόρειου τόξου όψη προς Δύση,
αριστερά κεντρικού ορθογώνιου
λίθου-κλειδί



Πρόκειται για τη περίπτωση του υπόλευκου πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μετρίου μεγέθους πόροι, κηλίδες οξειδίων του σιδήρου μικρού μεγέθους και εγκλείσματα μικρού και μετρίου μεγέθους και λευκής απόχρωσης που πιθανόν να αφορούν σε ασβεσίτη.

V_c_nwarch_s5

Υπόλευκος πωρόλιθος,
βόρειου τόξου, όψη προς Δύση,
δεύτερος δεξιά του κεντρικού
ορθογώνιου λίθου-κλειδί



Πρόκειται για τη περίπτωση του υπόλευκου πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μετρίου μεγέθους πόροι και διάχυση οξειδίων του σιδήρου σκούρας απόχρωσης.

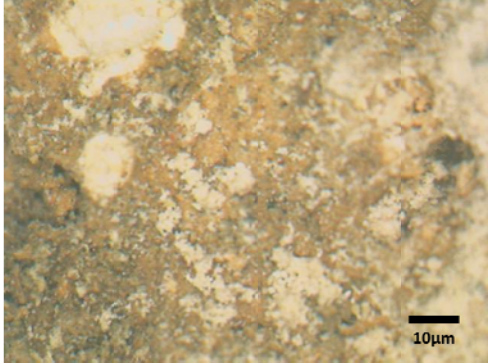
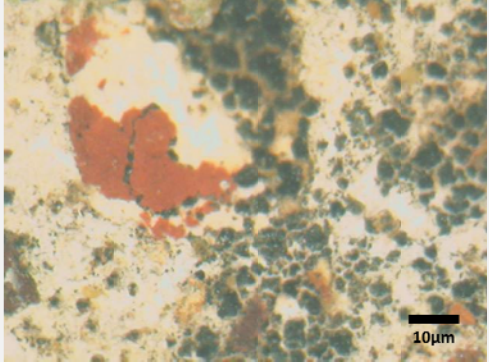
Vc_nearch_s2

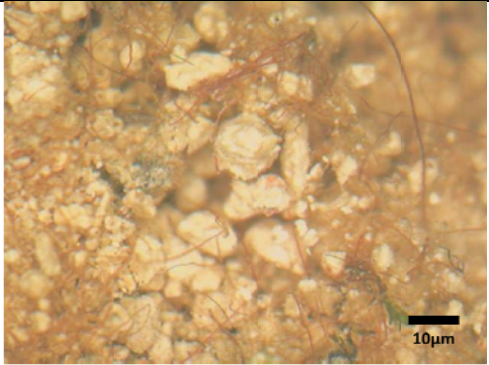
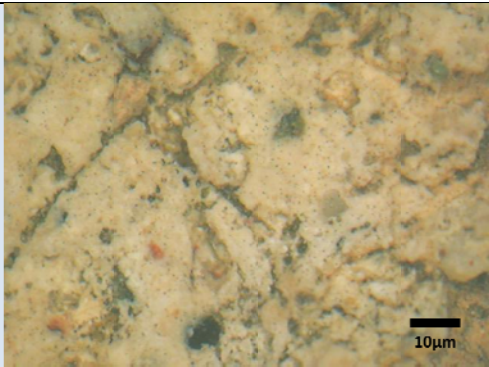
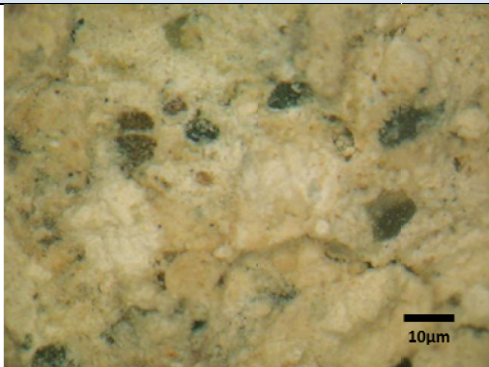
Υπόλευκος πωρόλιθος,
βόρειου τόξου, όψη προς Ανατολή



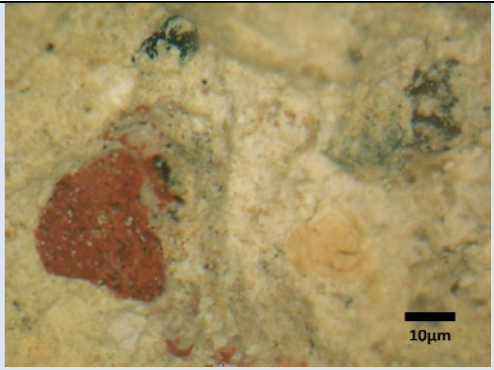
Πρόκειται για τη περίπτωση του υπόλευκου πωρόλιθου όπου παρατηρούνται μετρίου μεγέθους πόροι και διάχυση οξειδίων του σιδήρου σκούρας απόχρωσης (Μεγέθυνση 50x).

Πίνακας 8: Κωδικοποίηση και εικόνα λήψης για τα κονιάματα.

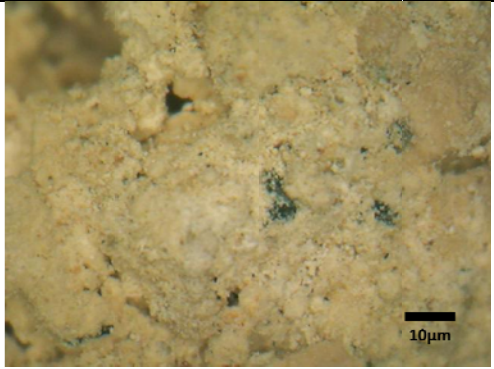
Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας	Εικόνες Ψηφιακής Μικροσκοπίας
V_mortar_cn	Κονίαμα από βόρεια όψη Καθολικού	
<p>Κονίαμα με εμφανή την εξωτερική επιφάνεια εκτεθημένη στο περιβάλλον με επικαθήσεις σκούρας απόχρωσης που έχουν εμφανίζεται ως πάτινα. Λευκές κατα τόπου περιοχές εμφανίζουν επικαθήσεις ασβέστη, ενώ φαίνονται δύο κυλίδες όπου διακρίνεται το συνδετικό υλικό του κονιάματος οι οποίες προήλθαν από αποκόλληση της επιφάνειας. Τέλος είναι εμφανή μικρό μεγέθους αδρανή με κόκκινη και σούρα απόχρωση (Μεγέθυνση 50x).</p>		
V_mortar_cs	Κονίαμα από νότια όψη Καθολικού	
<p>Κονίαμα με εμφανή την εξωτερική επιφάνεια εκτεθημένη στο περιβάλλον με εμφανή την αναπτυξη βιολογικού παράγοντα κατα τόπους που έχει σκούρα απόχρωση. Η υπόλευκη απόχρωση του συνδετικού υλικού αποτελεί αποπλυμένη απο το νερό επιφάνεια, όπου είναι εμφανή κεραμικά αδρανή μικρού, μέτριου και μεγάλου μεγέθους: κεραμικά στην απόχρωση του κόκκινου και λίθινα με στο χρώμα της ώχρας, του κοκκινου και του σκούρου καφέ.</p>		

V_mortar_ct	Κονίαμα από τη νότια όψη Καθολικού από το καμπαναριό	
<p>Κονίαμα με εμφανή την εξωτερική επιφάνεια εκτεθημένη στο περιβάλλον με επικαθήσεις κοκκινωπής απόχρωσης που εμφανίζονται ως πάτινα. Παρατηρείται η παρουσία ινών κοκκινωπής απόχρωσης στην επιφάνεια. Παρουσιάζεται επίσης μια ιδιαίτερη δομή με εκτεθημένους κόκκους αδρανών μεγάλου μεγέθους, ελαφρά συγκολλημένους μεταξύ τους, λόγω της μεγάλης απουσίας συδαιτικού υλικού. Είναι εμφανή και άλλα αδρανή σκούρας απόχρωσης (Μεγέθυνση 50x).</p>		
V_mortar_ce	Κονίαμα από ανατολική όψη Καθολικού, από την άκρη δίπλα από τη μάντρα, κονίαμα αρμολόγησης	
<p>Κονίαμα δόμησης με εμφανή την εξωτερική επιφάνεια εκτεθημένη στο εξωτερικό περιβάλλον. Παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδαιτική ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ περιέχει αδρανή μικρού και μέτριου μεγέθους, κοκκινωπής, γκριζας, πρασινωπής, υπόλευκης και σκούρας απόχρωσης. Παρατηρούνται επίσης επιφανειακές χαραγές με εναποθετημένο υλικό γκριζας απόχρωσης που πιθανά αφορά σε βιολογικό παράγοντα.</p>		
Vc_sec_m1	Κονίαμα δόμησης, από τη διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος	
<p>Θραυσμένη επιφάνεια κονιάματος δόμησης που παορσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδαιτική ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ περιέχει αδρανή μικρού και μέτριου μεγέθους, κοκκινωπής, πρασινωπής, υπόλευκης και σκούρας απόχρωσης. Παρατηρούνται επίσης δύο εγκλείσματα</p>		

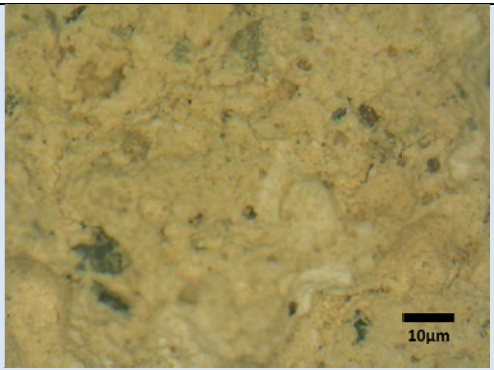
ασβέστη μεγάλου μεγέθους και μια μικρορωγμή στο κάτω μέρος. Γενικά το κονίαμα παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό, με τη ρωγμή να πιθανόν να προέρχεται από μηχανική καταπόνηση και να μη συνδεεται με ευθρυπτότητα.

Vc_sec_m2	Κονίαμα δόμησης, από τη διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος	
-----------	---	--

Θραυσμένη επιφάνεια κονιάματος δόμησης που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ περιέχει αδρανή μετρίου και μεγάλου μεγέθους, κοκκινωπής, πρασινωπής, υπόλευκης και σκούρας απόχρωσης.

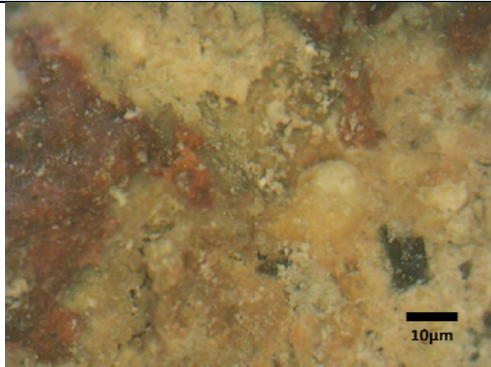
V_c_nwarch_m	Κονίαμα βόρειου τόξου, όψη προς Δύση, δεύτερος δεξιά του κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδί	
--------------	--	---

Θραυσμένη επιφάνεια κονιάματος δόμησης που παρουσιάζει μικρότερη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ περιέχει αδρανή με μικρού μεγέθους, υπόλευκης και σκούρας απόχρωσης. Παρατηρούνται επίσης πόροι στην επιφάνεια και γενικά η όψη του υποδηλώνει κονίαμα λιγότερο συνεκτικό ως προς τη δομή του, σε σχέση με το κονιάματα δόμησης του ναού.

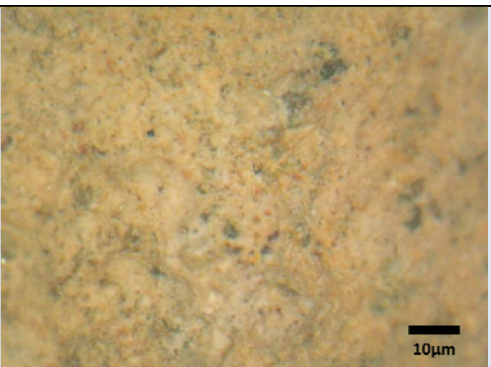
V_c_sarch_strm	Κονίαμα Δόμησης, Κεντρικό Νοτιοανατολικό Τόξο, Δυτική όψη,	
----------------	--	--

Θραυσμένη επιφάνεια κονιάματος δόμησης που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ περιέχει αδρανή μετρίου και μικρού μεγέθους, υπόλευκης,

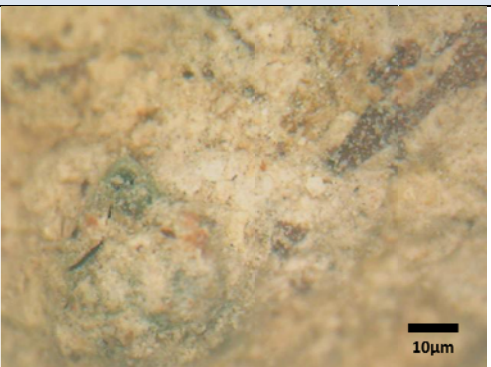
γκρίζας και σκούρας απόχρωσης. Παρατηρούνται επίσης μικρά εγκλείσματα ασβέστη. Το συγκεκριμένο κονίαμα δόμησης παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του.

<p>V_mortar_ic</p>	<p>Κονίαμα στον Εξωνάρθηκα του Καθολικού, Βόρεια πλευρά θύρας εισόδου στο καθολικό, 30cm από το έδαφος</p>	
--------------------	--	--

Θραυσμένη επιφάνεια κονιάματος που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης, ενώ παρουσιάζεται μεγάλη περιεκτικότητα αδρανών μέτριου και μεγάλου μεγέθους, κοκκινωπής, υπόλευκης, και σκούρας απόχρωσης. Παρατηρείται η παρουσία ιδιαίτερα μεγάλου κοκκινωπού κόκκου αδρανούς που βρίσκεται σε μεγάλη περιεκτικότητα μέσα στο κονίαμα. Επίσης, παρατηρείται μεγάλη διάχυση οξειδίων του σιδήρου. Το συγκεκριμένο κονίαμα παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του.

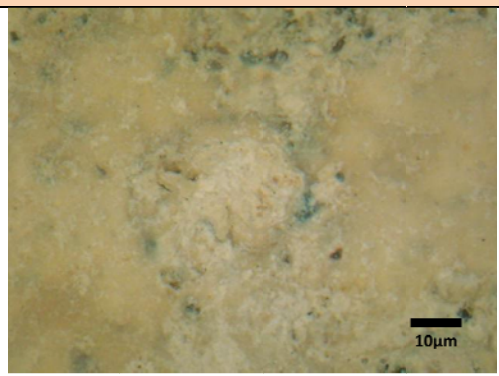

<p>V_mortar_cfl1</p>	<p>Κονίαμα από κάτω από τις μαρμάρινες πλάκες του δαπέδου βορειοανατολική γωνία τρύπας</p>	
----------------------	--	--

Επιφάνεια κονιάματος που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης. Παρουσιάζει μέτρια παρουσία αδρανών μικρού και μέτριου μεγέθους, κοκκινωπής, υπόλευκης, και σκούρας απόχρωσης. Επίσης, παρατηρείται μικρή διάχυση οξειδίων του σιδήρου στο συνδετικό υλικό. Το συγκεκριμένο κονίαμα δόμησης παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του.

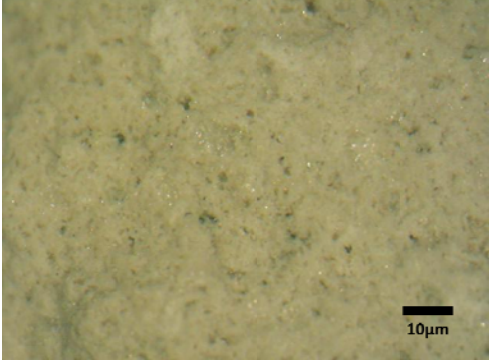
<p>V_mortar_cfl2</p>	<p>Κονίαμα κάτω από τις μαρμάρινες πλάκες του δαπέδου νοτιοανατολική γωνία τρύπας</p>	
----------------------	---	--

Επιφάνεια κονιάματος που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης. Παρουσιάζει μέτρια παρουσία αδρανών μικρού και μεγάλου μεγέθους, κοκκινωπής, υπόλευκης, και σκούρας απόχρωσης. Επίσης, παρατηρείται μικρή διάχυση οξειδίων του σιδήρου στο συνδετικό υλικό. Το συγκεκριμένο κονίαμα δόμησης παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του.

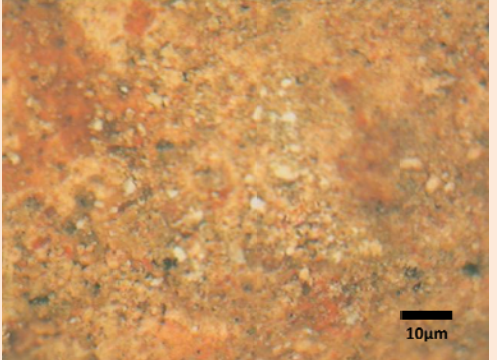
Πίνακας 9: Κωδικοποίηση και εικόνα λήψης για τα επιχρίσματα.

Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας	Εικόνες Ψηφιακής Μικροσκοπίας
Vc_sec_pl	Επίχρισμα της διερευνητικής τομής επί της τοιχοποιίας, Βόρειος τοίχος Καθολικού, κάτω από το παράθυρο, 70cm το έδαφος	
<p>Επιφάνεια επιχρίσματος που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης. Είναι εμφανής η λεία όψη τμήματος διεπιφάνειας μεταξύ του κονιάματος και του γειτνιαζόντος λιθοσώματος, όπου δε παρουσιάζονται αδρανή. Στη πιο αδρή επιφάνεια παρουσιάζει μέτρια παρουσία μικρόκοκκων αδρανών, πρασινωπής και σκούρας απόχρωσης. Το συγκεκριμένο επίχρισμα παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του.</p>		
V_c_sarch2_pl2	Τμήμα επιχρίσματος στο Κεντρικό τόξο της Νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού	
<p>Ημιθραυσμένη επιφάνεια επιχρίσματος που παρουσιάζει μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης, η οποία περιλαμβάνει δυο διαφορετικές περιοχές. Στην αριστερή πλευρα παρουσιάζεται επιφάνεια εκτεθημένη στο εσωτερικό περιβάλλον του ναού, ενώ στη δεξιά φαίνεται η θραυσμένη, σε νεότερο χρόνο περιοχή. Στην αριστερή πλευρά, λόγω της έκθεσης της</p>		

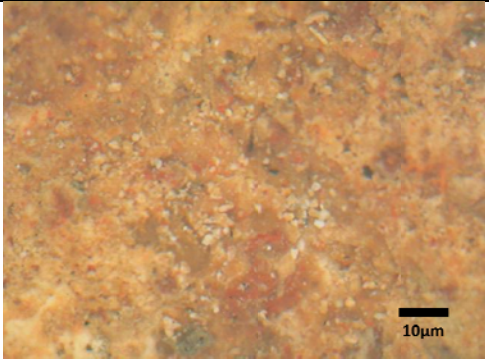
στις εσωτερικές μέρος του επιφανειακού υλικού έχει υποχωρήσει εμφανίζοντας περισσότερα αδρανή υλικά σε σχέση με το αριστερό, εξού και παρουσιάζονται μέτριας προς μεγάλης περιεκτικότητας αδρανή, μικρού και ιδιαιτέρως μικρού μεγέθους. Η αριστερή πλευρά παρουσιάζει επίσης μικρό έγκλεισμα ασβέστη. Στη δεξιά περιοχή εμφανίζονται μικρής περιεκτικότητας αδρανή, ιδιαιτέρως μικρού μεγέθους. Παρουσιάζει μέτρια παρουσία αδρανών ιδιαίτερα μικρού μεγέθους, κοκκινωπής, υπόλευκης, και σκούρας απόχρωσης. Είναι εμφανές αποτύπωμα από στάχυ που περιέχεται στη δομή του.

V_c_sarch_pl	<p>Τμήμα <u>ελαφροβαρούς επιχρίσματος</u> (από γύψο) με μικρά αδρανή με εγκλείσματα δύο κονιαμάτων, Κεντρικό τόξο της Νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού</p>	
--------------	--	--

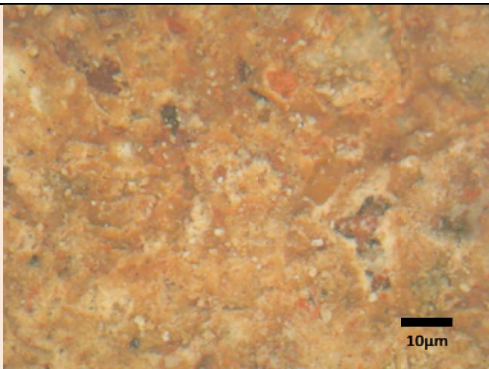
Θραυσμένη επιφάνεια επιχρίσματος που παρουσιάζει ιδιαιτέρως μεγάλη περιεκτικότητα συνδετικής ύλης υπόλευκης απόχρωσης. Παρουσιάζει ιδιαιτέρως μικρούς κόκκους αδρανών, γκριζας και σκούρας απόχρωσης. Το συγκεκριμένο επίχρισμα παρουσιάζεται αρκετά συνεκτικό ως προς τη δομή του. Η δομή του παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με αυτή του γύψου.

V_plaster_cis0	<p>Δείγμα από τον πάτο της στέρνας (0cm)</p>	
----------------	--	--

Επιφάνεια επιχρίσματος του πάτου της κιστέρνας, που παρουσιάζει κατα τόπους απώλεια της «επιδερμίδας» του επιχρίσματος, αποκαλύπτοντας μεγάλο μέρος αδρανών της εσωτερικής δομής τους. Παρουσιάζει μέτρια περιεκτικότητα συνδετικής ύλης, ροδαλής προς την ώχρα απόχρωσης. Περιέχει μικρού και μέτριου μεγέθους, κόκκους αδρανών, κοκκινωπής, λευκής και σκούρας απόχρωσης. Το συγκεκριμένο επίχρισμα παρουσιάζεται μετρίως συνεκτικό ως προς τη δομή του, ενώ είναι εμφανείς πόροι που έχουν προέλθει από την επιφανειακή αποδόμηση του. Οι κοκκινωπές κυλίδες αφορούν στη «επιδερμίδα» του επιχρίσματος και κάποια μετρίου μεγέθους αδρανή αποτελούν θραύσματα κεραμικού. Η δομή του παραπέμπει στο ρωμαϊκό κονίαμα κουρασάνι.

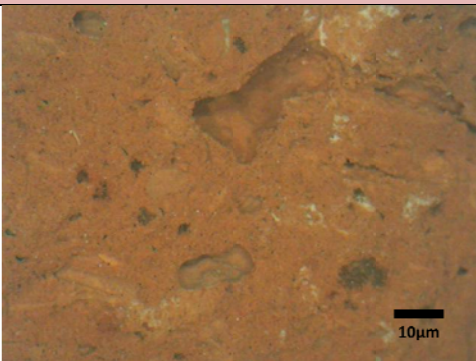
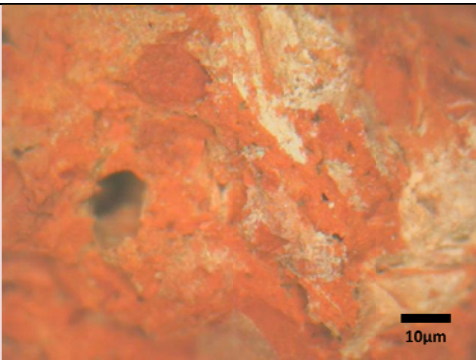
V_plaster_cis30	Δείγμα σε ύψος 30 cm από τον πάτο της στέρνας	
-----------------	---	--

Επιφάνεια επιχρίσματος του τοίχου της κιστέρνας, που διατηρεί την «επιδερμίδα» του επιχρίσματος. Παρουσιάζει μέτρια περιεκτικότητα συνδετικής ύλης, ροδαλής προς την ώχρα απόχρωσης. Περιέχει μικρούς κόκκους αδρανών, κοκκινωπής, λευκής και σκούρας απόχρωσης. Περιέχει μικρού και μέτριου μεγέθους, κόκκους αδρανών, κοκκινωπής, λευκής και σκούρας απόχρωσης. Το συγκεκριμένο επίχρισμα εμφανίζεται συνεκτικό ως προς τη δομή του. Οι κοκκινωπές κηλίδες αφορούν στη «επιδερμίδα» του επιχρίσματος και κάποια μετρίου μεγέθους αδρανή αποτελούν θραύσματα κεραμικού. Η δομή του παραπέμπει στο ρωμαϊκό κονίαμα κουρασάνι.

V_plaster_cis70	Δείγμα σε ύψος 70cm από τον πάτο της στέρνας	
-----------------	--	---

Επιφάνεια επιχρίσματος του τοίχου της κιστέρνας, που διατηρεί την «επιδερμίδα» του επιχρίσματος. Παρουσιάζει μέτρια περιεκτικότητα συνδετικής ύλης, ροδαλής προς την ώχρα απόχρωσης. Περιέχει μικρούς κόκκους αδρανών, κοκκινωπής, λευκής και σκούρας απόχρωσης. Το συγκεκριμένο επίχρισμα εμφανίζεται συνεκτικό ως προς τη δομή του. Οι κοκκινωπές κηλίδες αφορούν στη «επιδερμίδα» του επιχρίσματος. Η δομή του παραπέμπει στο ρωμαϊκό κονίαμα κουρασάνι.

Πίνακας 10: Κωδικοποίηση και εικόνα λήψης για τον κεραμικών.

Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας	Εικόνες Ψηφιακής Μικροσκοπίας
Vc_nearch_b	Οπτόπλινθος στο βόρειο τόξο, όψη προς Δύση, πάνω και δεξιά κεντρικού ορθογώνιου λίθου-κλειδιού	
<p>Θραυσμένο τμήμα οπτοπλίνθου, καφέ απόχρωσης στο χρώμα της ψημένης σιέννας, που περιέχει αδρανή μικρού και μεσαίου μεγέθους, σκούρας απόχρωσης. Περιέχει επίσης πόρους μεσαίου και μεγάλου μεγέθους.</p>		
V_ccer_cis	Κεραμικό στόμιο κιστέρνας, Νοτιοανατολική γωνία οπής κιστέρνας.	
<p>Θραυσμένο τμήμα κεραμικού, ροδαλής απόχρωσης, που περιέχει αδρανή πολύ μικρής κοκκομετρίας. Παρουσιάζει μικρούς και μεγάλους πόρους, ενώ στην επιφάνεια είναι εμφανείς επικαθύσεις αλάτων.</p>		

4.1.2 Μερικά Συμπεράσματα της μικροσκοπική παρατήρησης των δομικών υλικών του Ναού με τη χρήση της Μικροσκοπίας Οπτικών ινών

Οι παρατηρήσεις που προέκυψαν από την Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) παρουσιάζονται για κάθε δομικό υλικό, ως εξής:

Για τους λίθους:

Γενικά, ταυτοποιήθηκαν συγγένειες αλλά και μερικές διαφοροποιήσεις ως προς φαινομενικά ομοίους λίθους. Πιο συγκεκριμένα:

- Οι λίθοι V_stone_cs και V_stone_cn φαίνεται μακροσκοπικά να είναι όμοιοι ενώ κατά την εξέταση διαφοροποιούνται ως προς την απόχρωση, πιθανόν λόγω διαφορετικής αλληλεπίδρασης με το εξωτερικό περιβάλλον
- τα V_c_gbs_s και V_c_nwarch_s3 ταυτίζονται πλήρως.
- Η ομάδα των Vc_nearch_s2 και V_c_nwarch_s2 που είναι σχεδόν πανομοιότυποι μεταξύ τους διαφέρουν από την ομάδα των V_n_nwarch_s1, V_c_nwarch_s4 και V_c_nwarch_s5, που επίσης παρουσιάζουν μεγάλη συγγένεια μεταξύ τους. Οι προαναφερθέντες πέντε λίθοι μακροσκοπικά φαίνεται να είναι ομοιοί.
- Οι λίθοι Vc_nearch_s1 και V_c_sarch_st ταυτίζονται μεταξύ τους, επιβεβαιώνοντας την ομοιότητα τους μακροσκοπικά

Για τα κονιάματα:

- Η ομάδα των κονιαμάτων δόμησης Vc_sec_m1, Vc_sec_m2, V_c_nwarch_m και V_c_sarch_strm που εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Εξαιρέση αποτελεί το V_c_nwarch_m που παρουσιάζεται λιγότερο συνεκτικό, γεγονός που εξηγείται λόγω του ότι προέρχεται από το κλειδί του βορείου τόξου και πιθανόν να προέρχεται από παλαιότερες ασύμβατες επεμβάσεις στην ανωδομή, με εφαρμογή υλικών που φέρουν διαλυτά άλατα, όπως το τσιμέντο.
- Η ομάδα των κονιαμάτων από τον εξωτερικό χώρο του ναού V_mortar_cn, V_mortar_cs, V_mortar_ct και V_mortar_ce παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές κυρίως ως προς την επιφάνεια και λιγότερο ως προς τη δομή. Το V_mortar_cn παρουσιάζει χαλαρή επιφανειακή κρούστα, τα V_mortar_cs και V_mortar_ct παρουσιάζουν διαφορετικές βιολογικές προσβολές, ενώ το V_mortar_ce εμφανίζεται με αποπλυμένη επιφάνεια.
- Το κονίαμα χαμηλής στάθμης V_mortar_ic και δαπέδου, V_mortar_cfl2, V_mortar_cfl1 ενώ μακροσκοπικά παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα, παρουσιάζουν μικρές διαφορές που οφείλονται στην ομαλοποιημένη επιφάνεια, που έχει δημιουργηθεί λόγω εκμαγείωσης¹⁰ του επιχρίσματος από γειτονικό λιθόσωμα.

Για τα επιχρίσματα:

- Τα επιχρίσματα V_c_sarch2_pl2 και V_c_sarch_pl ταυτίζονται μεταξύ τους και παρουσιάζουν μικρές διαφορές με το Vc_sec_pl.

¹⁰ η εκμαγείωση αφορά στη δημιουργία ανάγλυφου σχήματος, μορφής κτλ., μέσα σε μύτρα από άλλο υλικό.

- Η ομάδα επιχρισμάτων από τη κιστέρνα αποτελείται από το ίδιο επίχρισμα σε διαφορετικά επίπεδα. Τα V_plaster_cis30 και V_plaster_cis70 είναι πανομοιότυπα μεταξύ τους και διαφέρουν με το V_plaster_cis0 που παρουσιάζεται πιο αποσαθρωμένο, γεγονός που φαίνεται και μακροσκοπικά.

Για τα κεραμικά

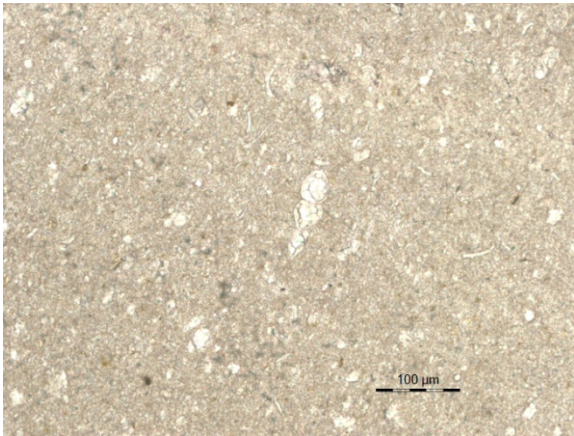
Για τη περίπτωση των κεραμικών δεν τίθεται θέμα σύγκρισης μεταξύ τους, ωστόσο παρουσιάζεται μια ενδιαφέρουσα εικόνα των μορφολογικών χαρακτηριστικών τους κυρίως λόγω παρατήρησης των πόρων στο εσωτερικό τους και των αδρανών που περιέχει ο οπτόπλινθος.

Συμπερασματικά, η μικροσκοπική παρατήρηση με Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM) πρόσφερε μία πρώτη εξέταση των δειγμάτων και οδήγησε σε ασφαλή συμπεράσματα σε σχέση με τα αποτελέσματα των υπολοίπων μεθόδων. Μέσω της μικροσκοπικής παρατήρησης, κατέστη δυνατός ο συσχετισμός της δομής κυρίως των κονιαμάτων και των επιχρισμάτων που ενώ μακροσκοπικά παρουσιάζουν διαφορές, η δομή παρουσιάζει ομοιότητες, ή και το αντίθετο. Σημαντικές είναι οι παρατηρήσεις ως προς την περιεκτικότητα σε συνθετικό υλικό, την παρουσία των αδρανών της διάχυσης των οξειδίων του σιδήρου και κάποιες παρατηρήσεις για παρουσία εγκλεισμάτων ασβέστη, την απόχρωση, τη παρουσία πόρων στη δομή, τη βιολογική προσβολή, την επιφανειακή αποσάθρωση κ.α.

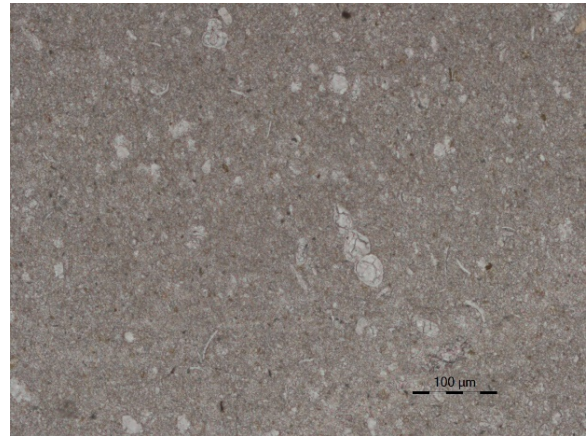
4.2 Πολωτική Μικροσκοπία – Πετρογραφική και Ορυκτολογική Μελέτη

Δείγμα Vc1 V_stone_cs (γκρίζος συμπαγής λίθος, νότια όψη)

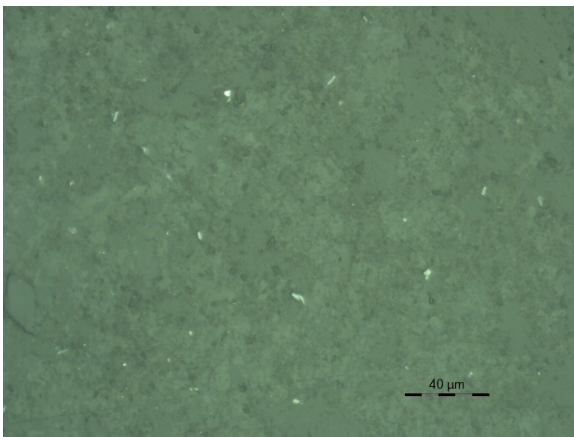
Πρόκειται για βιομικριτικό ασβεστόλιθο, πλούσιο σε μικρο-απολιθώματα τρηματοφόρων και ακτινίζων (Εικ. 6), σε οξειδωμένους κόκκους σιδηρούχου υλικού (Εικ. 7), καθώς και σε κόκκους σιδηροπυρίτη (Εικ. 8). Τα αποτυπώματα των απολιθωμάτων έχουν αντικατασταθεί από σπαριτικό υλικό (Εικ. 9). Παρουσιάζει πλήθος διακλάσεων τριχοειδούς εύρους, οι οποίες είναι πληρωμένες με δευτερογενή ασβεσίτη (Εικ. 10). Τέλος, παρουσιάζει διάσπαρτους κόκκους μικροκρυσταλλικού χαλαζία (Εικ. 11).



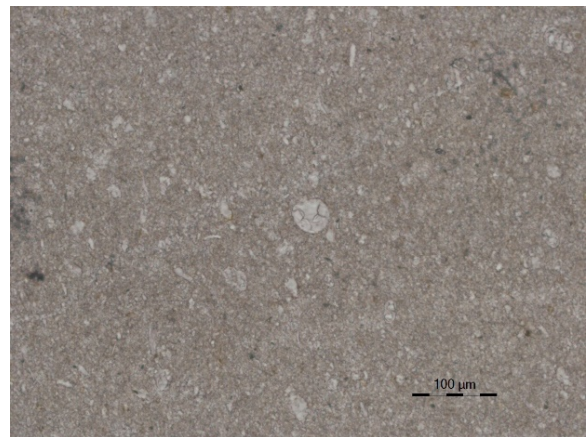
Εικόνα 7: Απολίθωμα στη μικριτική μάζα (//nikols)



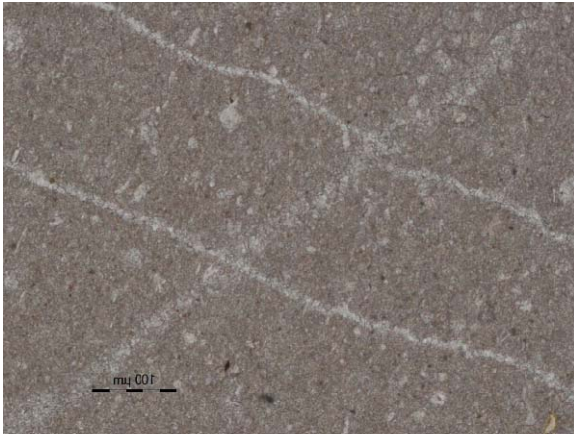
Εικόνα 8: Οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχου υλικού (//nikols)



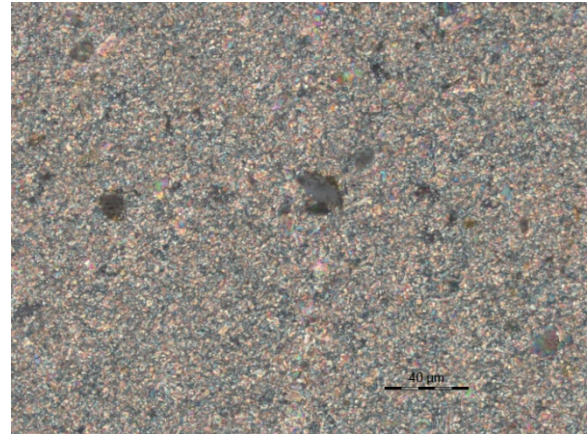
Εικόνα 9: Διάσπαρτοι κόκκοι σιδηροπυρίτη (μεταλλογραφικό μικροσκόπιο)



Εικόνα 10: Αντικατάσταση αποτυπώματος απολιθώματος από σπαριτικό υλικό (//nikols)



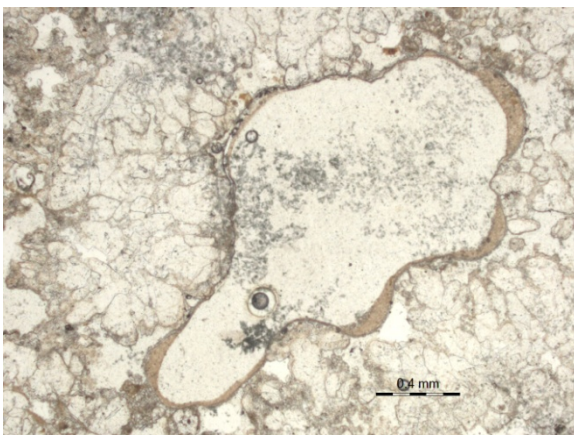
Εικόνα 11: Διακλάσεις τριχοειδούς εύρους (//nikols)



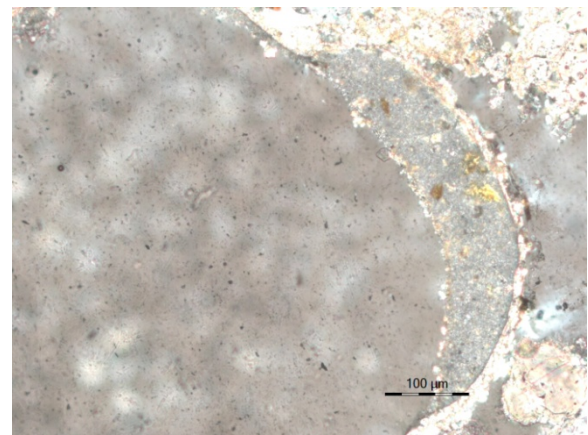
Εικόνα 12: Διάσπαρτοι κόκκοι χαλαζία. Στο κέντρο κόκκος χαλαζία διαστάσεων περίπου 20μm, που περιβάλλεται από υδροξείδια σιδήρου (⊥nikols)

Δείγμα Vc3 (πωρόλιθος από κλειδί του τόξου του κεντρικού τμήματος της Νότιας κιονοστοιχίας του Καθολικού)

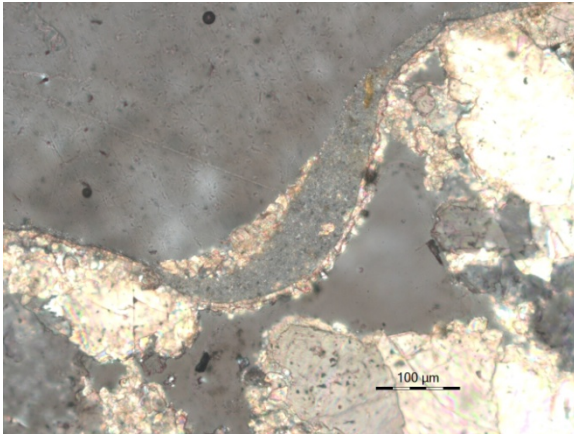
Πρόκειται για έναν έντονα πορώδη απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο, που το τσιμέντο του συνίσταται από σπαρτικούς κρυστάλλους ασβεσίτη (Εικ. 12). Περιμετρικά των πόρων του αναπτύσσεται λεπτοκοκκώδες αργλικό υλικό μικρότερης διάστασης του 1μm, πλούσιο σε υδροξείδια σιδήρου (Εικ. 12, 13, 14), που συχνά περιβάλλεται από επιμήκεις κρυστάλλους ασβεσίτη (Εικ. 15). Τέλος, είναι εμφανείς πόροι, οι οποίοι έχουν προκύψει από θραύσματα απολιθωμάτων (Εικ. 16).



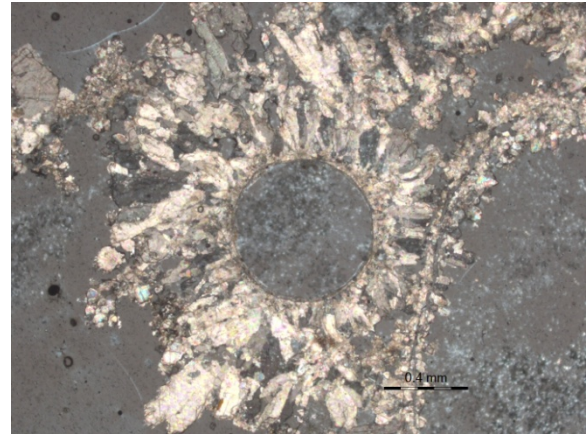
Εικόνα 13: Πόρος περιμετρικά του οποίου αναπτύσσεται λεπτοκοκκώδες αργλικό υλικό, εμφανείς σπαρτικοί κρύσταλλοι ασβεσίτη (//nikols)



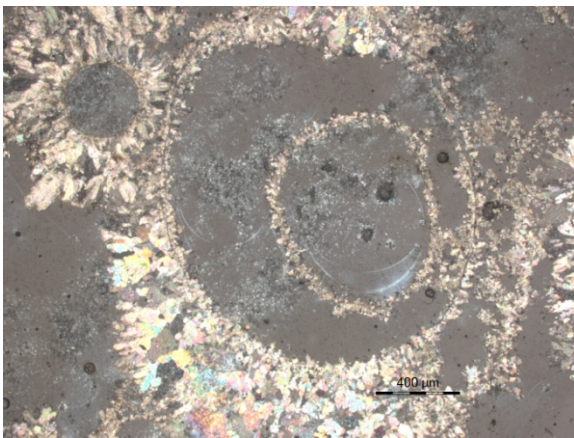
Εικόνα 14: Λεπτοκοκκώδες αργλικό υλικό περιμετρικά πόρου (⊥nikols)



Εικόνα 15: Λεπτοκοκκώδες αργλικό υλικό περιμετρικά πόρου (⊥ nikols)



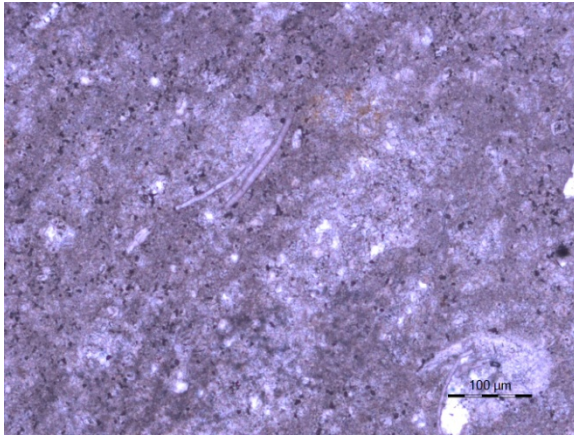
Εικόνα 16: Πόρος διαμέτρου 0.7mm, εμφανείς επιμήκεις κρύσταλλοι ασβεστίτη (⊥nikols)



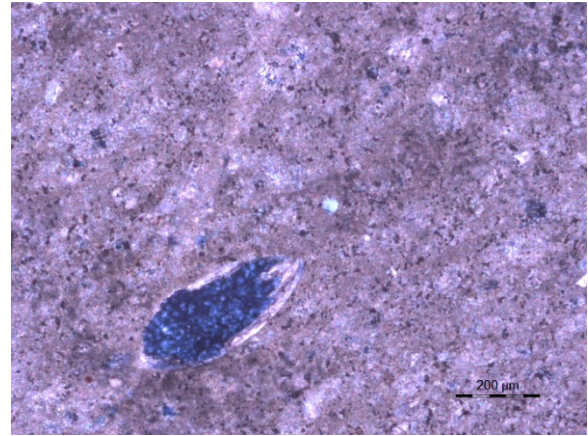
Εικόνα 17: Πόρος που έχει προκύψει από θραύσμα απολιθώματος (⊥nikols)

Δείγμα V_c_nwarch_s5 (πωρόλιθος από τόξο του κεντρικού τμήματος της Βόρειας κιονοστοιχίας του Καθολικού)

Πρόκειται για έναν πορώδη μικροσπαριτικό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο. Η μάζα του είναι μικροσπαριτική που κατά θέσεις έχει ανακρυσταλλωθεί σε σπαρίτη και είναι πλούσια σε θραύσματα απολιθωμάτων (Εικ. 17). Παρουσιάζει διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου κατά περιοχές, καθώς και διάσπαρτο μικροκοκκώδη χαλαζία (Εικ. 13). Χαρακτηρίζεται ως νεογενή ασβεστόλιθος–τραβερτινοειδής.



Εικόνα 18: Μικροσπαριτική μάζα του ασβεστόλιθου που κατά τόπους έχει ανακρυσταλλωθεί σε σπαρίτη. Εμφανή θραύσματα απολιθωμάτων, καθώς και υδροξείδια του σιδήρου (//nikols)



Εικόνα 19: Μικροκοκκώδης χαλαζίας και πόρος που προκύπτει από θραύσμα απολιθώματος (⊥ nikols)

4.3 Περίθλαση Ακτίνων Χ - Ορυκτολογική Μελέτη

Τα δείγματα δομικών υλικών που ελήφθησαν από το Καθολικό της ΙΜ Βαρνάκοβας μελετήθηκαν μέσω περίθλασης ακτίνων Χ (XRD) με σκοπό τη μελέτη της ορυκτολογικής τους σύστασης.

4.3.1 Ορυκτολογική σύσταση δομικών λίθων και πλίνθων/κεραμικών

Οι δομικοί λίθοι που ελήφθησαν από το Καθολικό της ΙΜ Βαρνάκοβας, μελετήθηκαν μέσω περίθλασης ακτίνων Χ, ώστε να αποκαλυφθεί η ορυκτολογική τους σύσταση (Πίνακας 11).

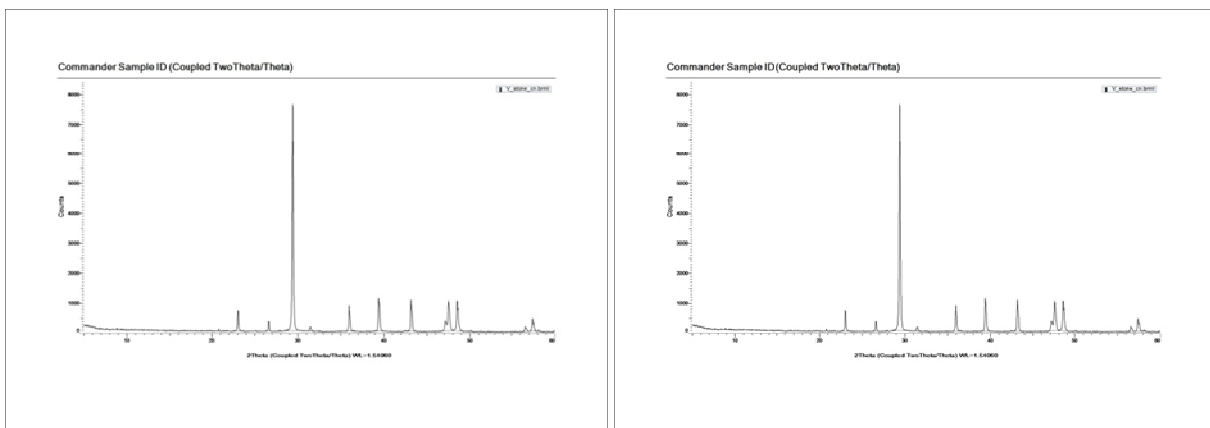
Πίνακας 11: Ορυκτολογική σύσταση λίθων που μελετήθηκαν

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
V_stone_cs	Ασβεσίτης	Χαλαζίας
V_stone_cn	Ασβεσίτης	Χαλαζίας
V_c_gbs_s	Ασβεσίτης	Χαλαζίας
V_c_nwarch_s2	Ασβεσίτης	-
Vc_sec_s	Ασβεσίτης	Χαλαζίας
Vc_nearch_s1	Ασβεσίτης	-
V_c_sarch2_st	Ασβεσίτης	-

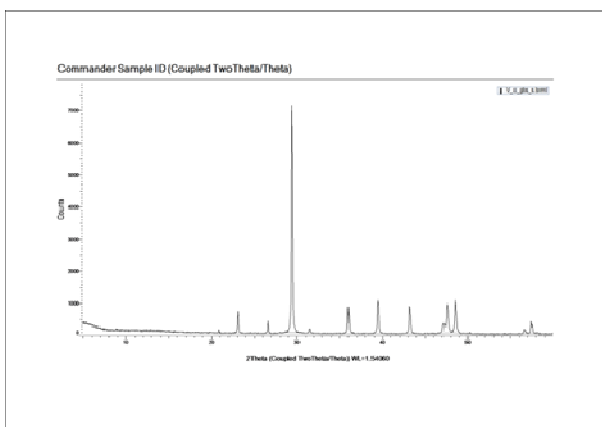
V_c_nwarch_s3	Ασβεσίτης	Χαλαζία
V_c_nwarch_s4	Ασβεσίτης	-
V_c_nwarch_s5	Ασβεσίτης	-
Vc_nearch_s2	Ασβεσίτης	-

Οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι, τόσο των όψεων (V_stone_cs, V_stone_cn, V_c_gbs_s) όσο και της τομής του ισογείου (Vc_sec_s) και του τόξου (V_c_nwarch_s3), που εξετάστηκαν, παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση, ασβεσίτη, και ως δευτερεύουσα, χαλαζία. Οι υπόλοιποι εξεταζόμενοι λίθοι, οι οποίοι είναι πωρόλιθοι και ελήφθησαν από τα κεντρικά τόξα της ανωδομής παρουσιάζουν μόνο ασβεσίτη στην ορυκτολογική ανάλυση.

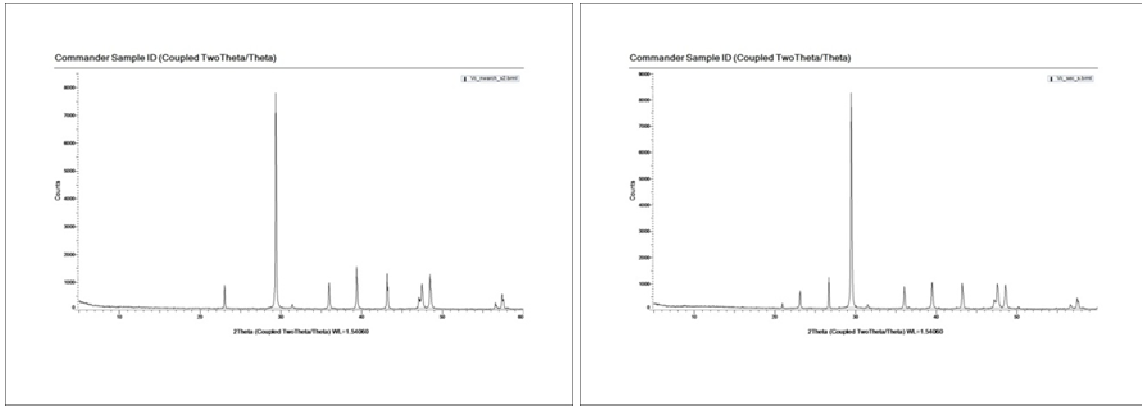
Τα γωνιογράμματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις μέσω περίθλασης ακτίνων Χ για τους λίθους του Καθολικού της ΙΜ Βαρνάκοβας, παρατίθενται παρακάτω.



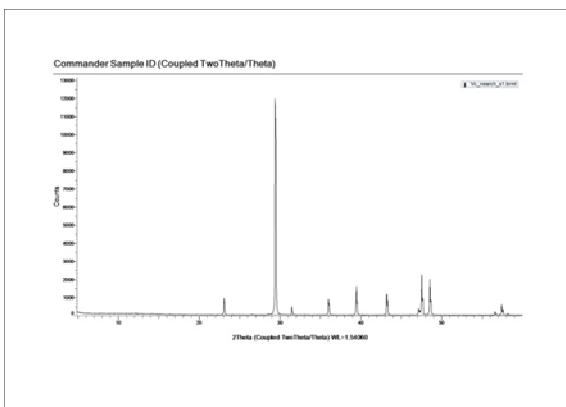
Εικόνα 20: Γωνιογράμματα δειγμάτων λίθων V_stone_cs (αριστερά) και V_stone_cn (δεξιά)



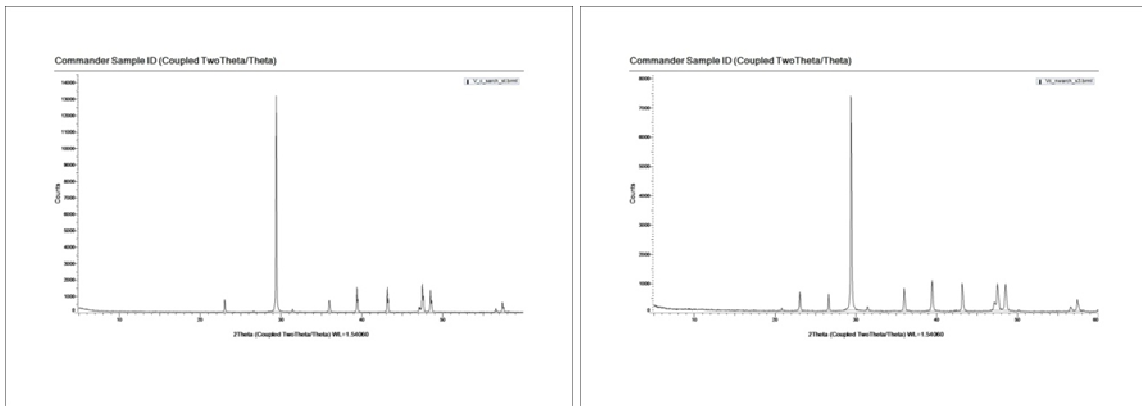
Εικόνα 21: Γωνιογράμματα δειγμάτων λίθων V_c_gbs_s



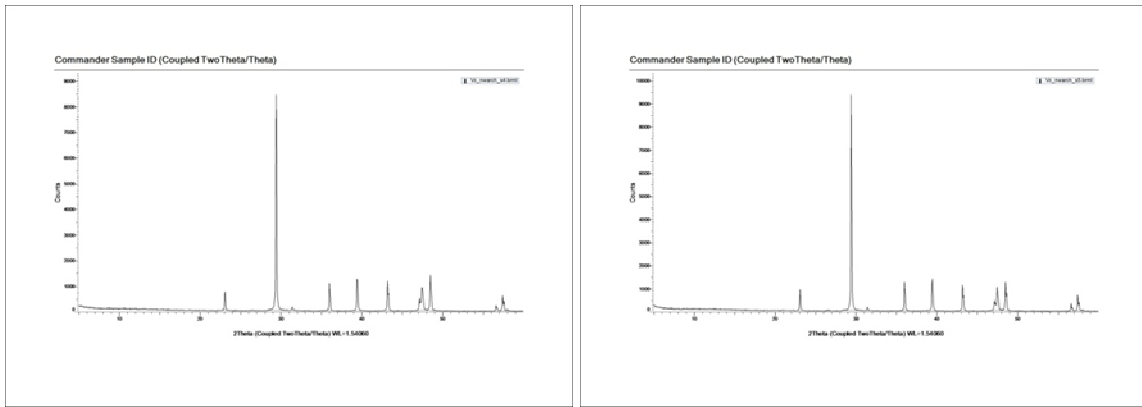
Εικόνα 22: Γωνιογράμματα δειγμάτων λίθων Vc_sec_s (αριστερά) και Vc_nwarch_s2 (δεξιά)



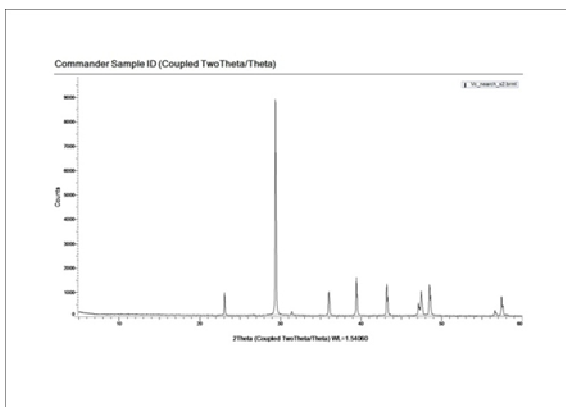
Εικόνα 23: Γωνιογράμμα λίθου Vc_nearch_s1



Εικόνα 24: Γωνιογράμματα δειγμάτων λίθων V_c_sarch2_st(αριστερά) και Vc_nwarch_s3 (δεξιά)



Εικόνα 25: Γωνιογράμματα δειγμάτων λίθων Vc_nwarch_s4(αριστερά) και Vc_nwarch_s5 (δεξιά)



Εικόνα 26: Γωνιογράμμα λίθου Vc_nearch_s2

4.3.2 Ορυκτολογική σύσταση κονιαμάτων και επιχρισμάτων

Στους επόμενους πίνακες παρουσιάζεται συνοπτικά η ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων (Πίνακας 14) και των επιχρισμάτων (Πίνακας 13) του Καθολικού.

Πίνακας 12: Ορυκτολογική σύσταση κονιαμάτων που μελετήθηκαν

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
V_mortar_cn	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, μοσχοβίτης
V_mortar_cs	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, μοσχοβίτης, μικροκλινης
V_mortar_ct	Ασβεσίτης	Χαλαζίας
V_mortar_ce	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, πορτλαντίτης, γελενίτης
Vc_sec_m1	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μοσχοβίτης
Vc_sec_m2	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μοσχοβίτης

V_c_nwarch_m	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, τάλκης, μοσχοβίτης, αλβίτης, ανορθίτης, καολινίτης
V_c_sarch_strm	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μοσχοβίτης
V_mortar_ic	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλίτης, μοσχοβίτης, σερικίτης, γύψος, αιματίτης, μικροκλινης, άστριοι
V_mortar_cfl1	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μαγνησίτης, μοσχοβίτης, διοψίτης, χλωρίτης
V_mortar_cfl2	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μαγνησίτης, μοσχοβίτης, διοψίτης, χλωρίτης

Τα κονιάματα αρμολόγησης των όψεων του Καθολικού, καθώς και αυτό του καμπαναριού (V_mortar_cn, V_mortar_cs, V_mortar_ce, V_mortar_ct) παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση ασβεστίτη και σαν κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία. Τα κονιάματα δόμησης του ισογείου (Vc_sec_m1, Vc_sec_m2), καθώς και το κονίαμα δόμησης του νότιου τόξου της ανωδομής (V_c_sarch_strm), παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη, και ως δευτερεύουσες χαλαζία, αλβίτη και μοσχοβίτη. Έτερο κονίαμα δόμησης της ανωδομής (V_c_nwarch_m) που εξετάστηκε από το βόρειο τόξο, παρουσιάζει κύρια ορυκτολογική φάση ασβεστίτη, και δευτερεύουσες χαλαζία, τάλκη, μοσχοβίτη, αλβίτη, ανορθίτη και καολινίτη. Το κονίαμα δόμησης που ελήφθη από τη βάση του εξωνάρθηκα (V_mortar_ic) παρουσιάζει ασβεστίτη ως κύρια ορυκτολογική φάση και ως δευτερεύουσες παρουσιάζει χαλαζία, αλίτη, μοσχοβίτη, σερικίτη, γύψο, αιματίτη, μικροκλινη και άστριους. Και τα δυο δείγματα από το κονίαμα δαπέδου () παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική σύσταση τον ασβεστίτη και ως δευτερεύουσες χαλαζία, αλβίτη, μαγνησίτη, μοσχοβίτη, διοψίτη, χλωρίτη.

Όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν από το Καθολικό παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη και ως κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία.

Πίνακας 13: Ορυκτολογική σύσταση επιχρισμάτων που μελετήθηκαν

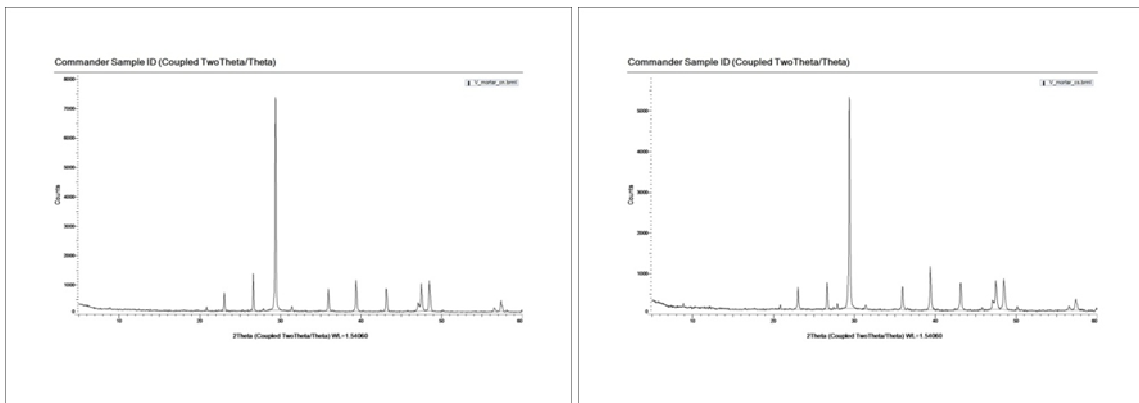
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
Vc_sec_pl	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, καολινίτης, βρουσίτης
V_c_sarch2_pl2	Χαλαζίας, ασβεστίτης	Αλβίτης, ιλλίτης, μοσχοβίτης
V_c_sarch_pl	Γύψος	Ασβεστίτης, χαλαζίας, βασανίτης, αλίτης, βρουσίτης
V_plaster_cis0	Χαλαζίας, ασβεστίτης	Αλβίτης, μικροκλινης, ιλλίτης, χλωρίτης

V_plaster_cis30	Ασβεστίτης, χαλαζίας	Ιλλίτης, αλβίτης, ανορθίτης, ορθόκλαστα, μαγνησίτης, διοψίτης
V_plaster_cis70	Ασβεστίτης, χαλαζίας	Ιλλίτης, αλβίτης, ανορθίτης, ορθόκλαστα, μαγνησίτης, διοψίτης

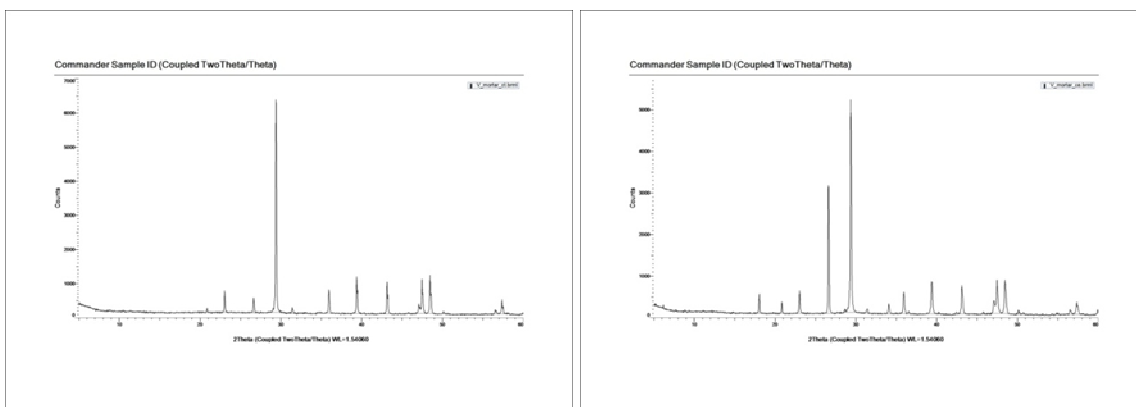
Τα επιχρίσματα του Καθολικού παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογική τους σύσταση. Το επίχρισμα στο ισόγειο του εσωτερικού του Ναού (Vc_sec_pl), παρουσιάζει ασβεστίτη ως κύρια ορυκτολογική φάση, ενώ το επίχρισμα του τόξου της ανωδομής (V_c_sarch2_pl2), το οποίο παρουσίαζε άχυρα στη δομή του επιχρίσματος, έχει ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις τόσο τον χαλαζία όσο και τον ασβεστίτη. Στις ρωγμές που παρουσιάζουν τα τόξα της ανωδομής, βρέθηκε και επίχρισμα με κύρια ορυκτολογική σύσταση τον γύψο (V_c_sarch_pl), προφανώς το συγκεκριμένο επίχρισμα χρησιμοποιήθηκε για μια γρήγορη συμπλήρωση των ρωγμών της ανωδομής.

Τα επιχρίσματα της κιστέρνας παρουσιάζουν και ασβεστίτη και χαλαζία ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις, ενώ παρουσιάζουν σαν δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις, το μεν επίχρισμα δαπέδου αλβίτη, μικροκλινή, ιλλίτη και χλωρίτη, τα δε επιχρίσματα από τα πλευρικά τοιχώματα της κιστέρνας παρουσιάζουν επιπλέον και ανορθίτη, ορθόκλαστα, μαγνησίτη και διοψίτη.

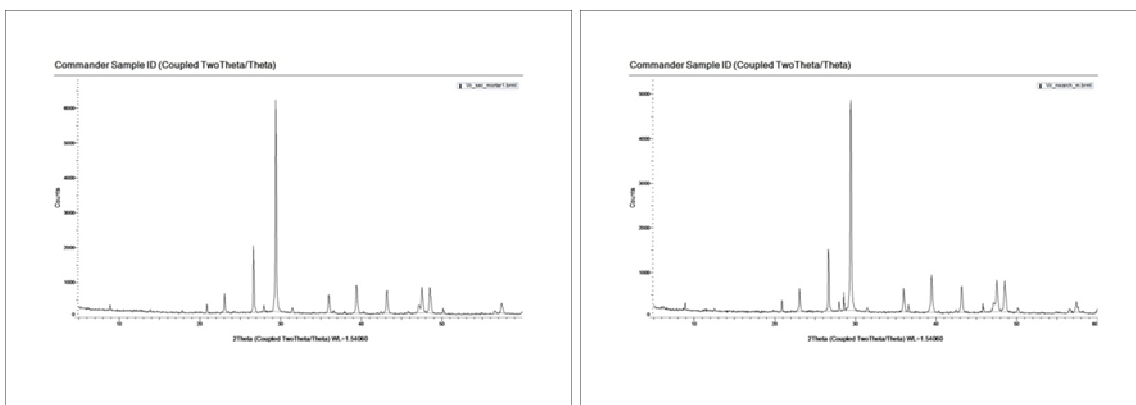
Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα γωνιογράμματα των κονιαμάτων και των επιχρισμάτων, όπως προέκυψαν από την περίθλαση ακτίνων Χ.



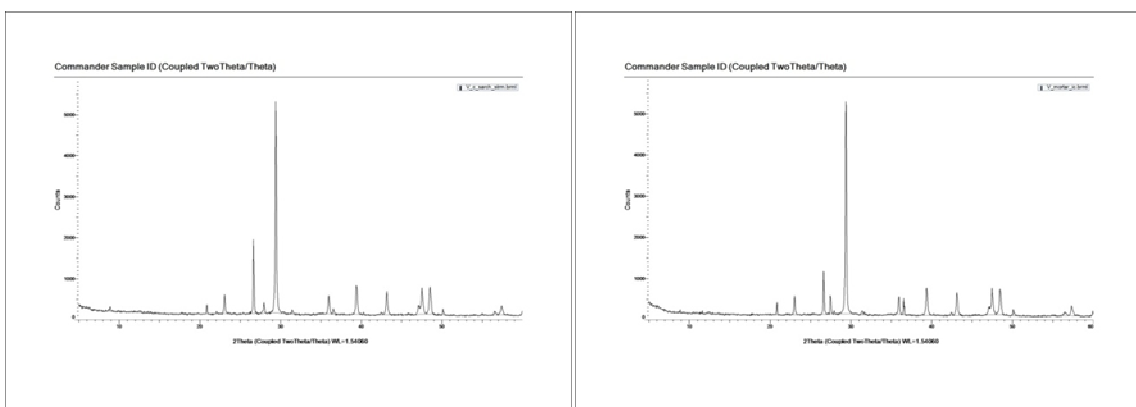
Εικόνα 27: Γωνιογράμματα δειγμάτων κονιαμάτων V_mortar_cn (αριστερά) και V_mortar_cs (δεξιά)



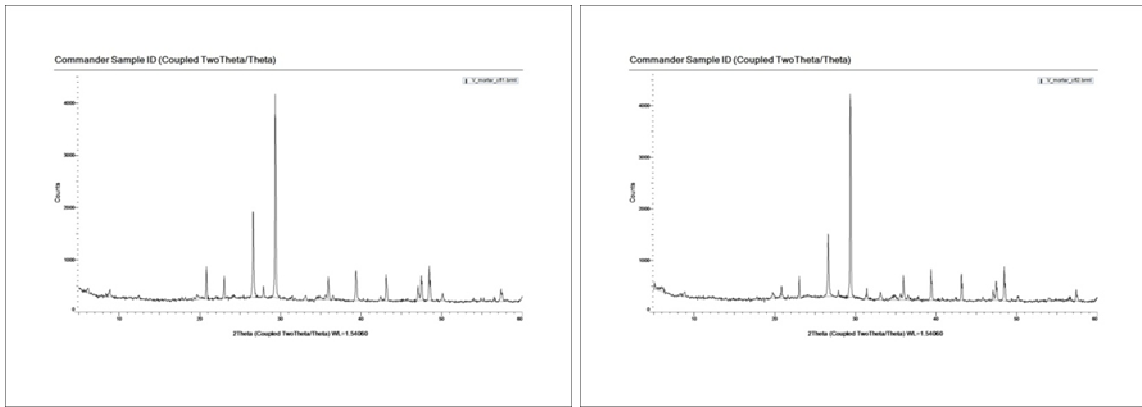
Εικόνα 28: Γωνιογράμματα δειγμάτων κονιαμάτων V_mortar_ct (αριστερά) και V_mortar_ce (δεξιά)



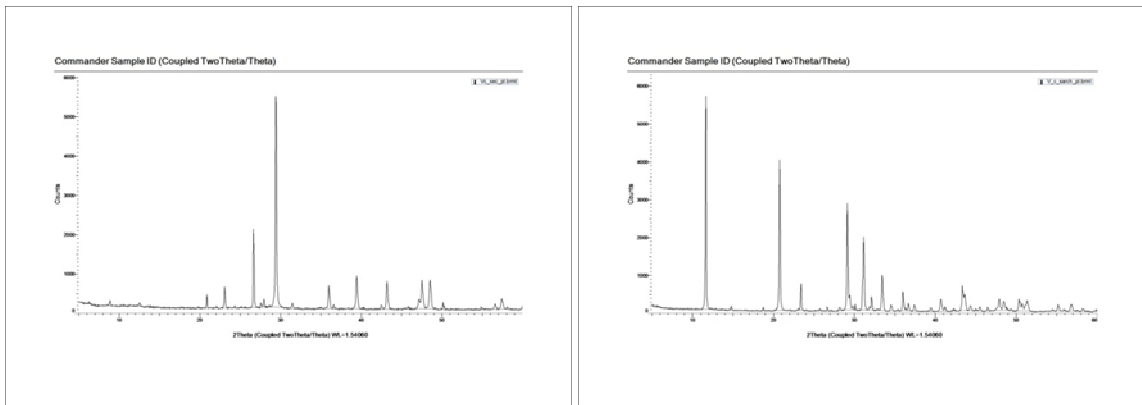
Εικόνα 29: Γωνιογράμματα δειγμάτων κονιαμάτων Vc_sec_mortar1 (αριστερά) και Vc_nwarch_m (δεξιά)



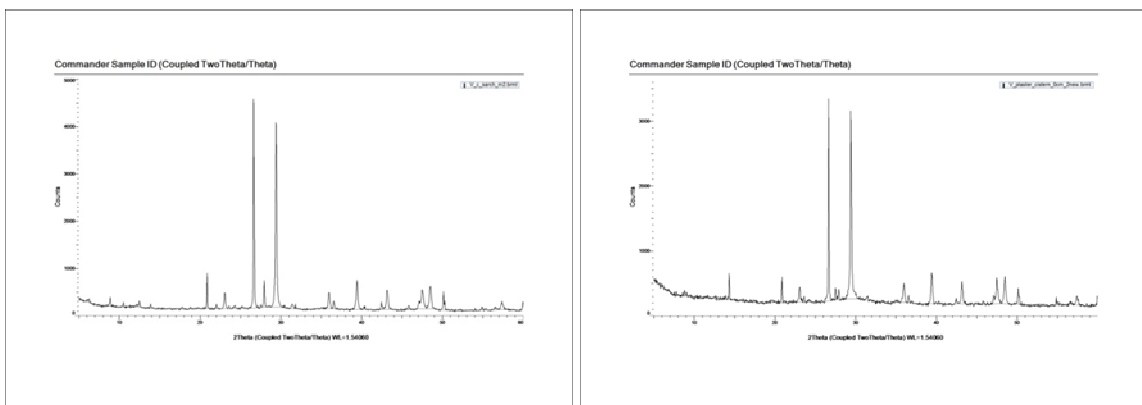
Εικόνα 30: Γωνιογράμματα δειγμάτων κονιαμάτων V_c_sarch_strm (αριστερά) και V_mortar_ic (δεξιά)



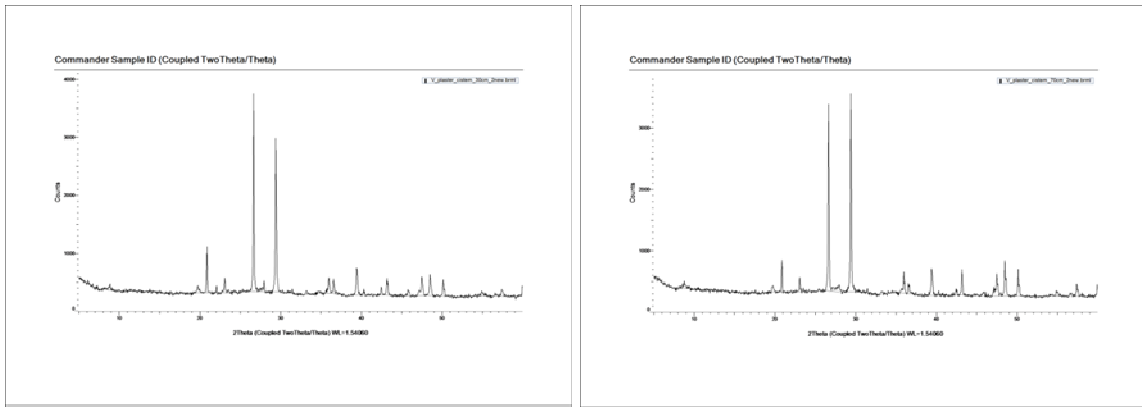
Εικόνα 31: Γωνιογράμματα δειγμάτων κονιαμάτων V_mortar_cfl1 (αριστερά) και V_mortar_cfl2 (δεξιά)



Εικόνα 32: Γωνιογράμματα δειγμάτων επιχρίσματα Vc_sec_pl (αριστερά) και V_c_sarch_pl (δεξιά)



Εικόνα 33: Γωνιογράμματα δειγμάτων επιχρισμάτων Vc_sarch2_pl2 (αριστερά) και του πάτου της στέρας V_plaster_cis_0cm_2(δεξιά)



Εικόνα 34: Γωνιογράμματα δειγμάτων επιχρισμάτων της στέρνας V_plaster_cis_30_2 (αριστερά) και V_plaster_cis_70_2 (δεξιά)

4.4 Θερμοβαρυστρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση – Μελέτη Χημικής Σύστασης

Σε επιλεγμένα δείγματα λίθων και κονιαμάτων πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμικής ανάλυσης και συγκεκριμένα θερμοβαρυστρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης, με σκοπό τη μελέτη της σύστασης των δειγμάτων.

4.4.1 Θερμοβαρυστρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση λίθων

Στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 14) παρατίθενται οι απώλειες μάζας που παρατηρήθηκαν σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά διαστήματα σε επιλεγμένα δείγματα λίθων, ενώ έχει υπολογιστεί και το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου, θεωρώντας ότι η απώλεια μάζας μετά τους 600°C οφείλεται αποκλειστικά στη διάσπαση ανθρακικού ασβεστίου. Στα δείγματα που παρουσιάζουν περιεχόμενο δολομίτη, το ποσοστό ανθρακικών ενώσεων είναι υψηλότερο από το υπολογιζόμενο.

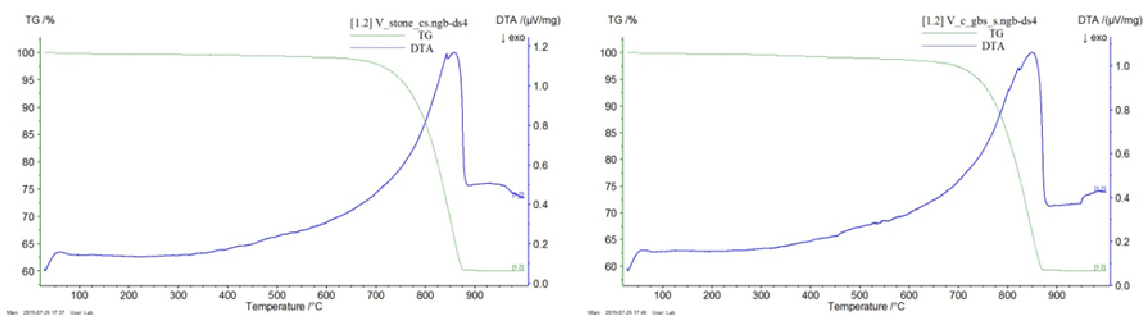
Πίνακας 14: Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακά διαστήματα (ιστορικοί δομικοί λίθοι)

Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C)				Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (%)
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C	
V_stone_cs	0.25	0.07	0.62	39.02	88.77
V_c_gbs	0.23	0.08	1.09	39.47	89.79
Vc_section_s	0.12	0.05	0.46	38.96	88.63

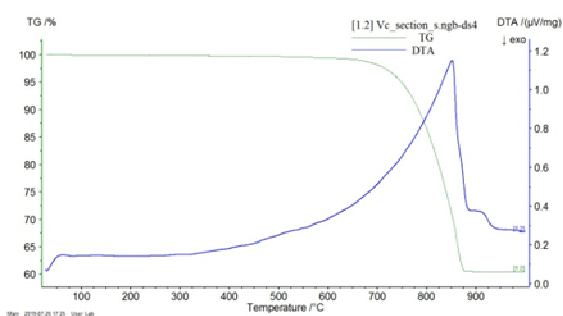
Η θερμοβαρυστρική ανάλυση υπέδειξε μεγάλες ομοιότητες μεταξύ των εξεταζόμενων λίθων όσον αφορά στην χημική τους σύσταση. Και τα τρία δείγματα που μελετήθηκαν παρουσιάζουν παρόμοια ποσοστά απώλειας μάζας μετά τους 600°C, ~89%.

Η διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) υποδεικνύει την ύπαρξη μικρού ποσοστού ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου (δολομίτη), εκτός από ανθρακικό ασβέστιο, στα δείγματα V_stone_cs, V_c_gbs, καθώς παρουσιάζουν μια απαλή διπλή ενδόθερμη κορυφή στο διάγραμμα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης μετά τους 600°C. Η παρουσία του ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου επιβεβαιώνεται από την καμπύλη της πρώτης παραγωγού της διαφορικής θερμικής ανάλυσης.

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα διαγράμματα της θερμικής ανάλυσης των λίθων που εξετάστηκαν.



Εικόνα 35: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης ιστορικών λίθων, V_stone_cs (αριστερά) και V_c_gbs_s (δεξιά)



Εικόνα 36: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης ιστορικού λίθου Vc_sec_s

4.4.2 Θερμοβαρυμετρική & Διαφορική Θερμική Ανάλυση κονιαμάτων και επιχρισμάτων

Θερμική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στα δείγματα των κονιαμάτων που ελήφθησαν από τις τοιχοποιίες του Καθολικού. Οι απώλειες μάζας που παρατηρήθηκαν σε συγκεκριμένα θερμοκρασιακά διαστήματα για κάθε δείγμα, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 17). Σε κάθε θερμοκρασιακό διάστημα λαμβάνουν χώρα, μεταξύ άλλων, οι κάτωθι διεργασίες:

- η απώλεια μάζας που παρατηρείται στο θερμοκρασιακό διάστημα <math><120^{\circ}\text{C}</math> οφείλεται στην απώλεια φυσικά ροφημένου νερού,
- η απώλεια μάζας που ανιχνεύεται στο θερμοκρασιακό διάστημα $120\text{-}200^{\circ}\text{C}$ αποδίδεται στην απώλεια κρυσταλλικών νερών,
- η απώλεια μάζας που παρατηρείται στο θερμοκρασιακό διάστημα $200\text{-}600^{\circ}\text{C}$ αποδίδεται στο χημικά δεσμευμένο νερό υδραυλικών ενώσεων, ή και ένυδρων ορυκτών φάσεων,
- η απώλεια μάζας που παρατηρείται στο θερμοκρασιακό διάστημα άνω των 600°C αποδίδεται στην διάσπαση ανθρακικών ενώσεων (έκλυση CO_2).

Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας υπολογίζεται ως ο λόγος $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}_{\text{CBW}}$ και χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της υδραυλικότητας ενός κονιάματος, όπου όσο χαμηλότερη η τιμή του

δείκτη, τόσο πιο υδραυλική η φύση του. Συγκριμένα, κονιάματα που εμφανίζουν δείκτη υδραυλικότητας χαμηλότερο του 7,5 θεωρούνται ως υδραυλικά.

Όπως προαναφέρθηκε, η απώλεια μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα άνω των 600°C αποδίδεται στην διάσπαση ανθρακικών ενώσεων. Θεωρώντας ότι οι ανθρακικές ενώσεις συνίστανται αποκλειστικά σε ανθρακικό ασβέστιο, παρουσιάζεται στην τελευταία στήλη του επόμενου πίνακα το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου για το κάθε εξεταζόμενο δείγμα.

Πίνακας 15: Απώλειες μάζας (%) ανά θερμοκρασιακά διαστήματα (κονιάματα)

Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C)					Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (%)
	<120°C	120-200°C	200-600°C	600-1000°C	CO ₂ /H ₂ O _{CBW}	
V_mortar_cn	1,06	0,56	4,28	32,00	7,48	72,80
V_mortar_cs	1,18	0,64	3,55	30,12	8,48	68,52
V_mortar_ct	1,97	1,26	4,69	22,97	4,90	52,26
V_mortar_ce	1,04	0,76	3,97	29,75	11,10	67,68
Vc_section_m1	1,00	0,45	3,48	27,85	8,00	63,36
Vc_section_m2	1,35	0,60	2,93	23,66	8,08	53,83
V_c_narch_m	1,09	0,66	3,72	27,98	7,52	63,65
V_c_sarch_strm	0,98	0,51	3,66	26,67	7,29	60,67
V_mortar_ic	3,63	1,31	9,93	8,88	0,89	20,20
V_mortar_cfl1	2,77	0,71	3,76	14,73	3,92	33,51
V_mortar_cfl2	2,87	0,88	3,17	14,54	4,59	33,08

Όλα τα κονιάματα εμφανίζουν υψηλά ποσοστά ροφημένου νερού (>1%) εκτός από το V_c_sarch_strm που ωστόσο παρουσιάζει και αυτό υψηλή τιμή (0,98%), υποδεικνύοντας ότι πρόκειται για κονιάματα μερικής υδραυλικής φύσεως. Ιδιαίτερα υψηλά ποσοστά ροφημένου νερού παρουσιάζουν τα κονιάματα δαπέδου και το κονίαμα του εξωνάρθηκα (V_mortar_cfl1, V_mortar_cfl2, V_mortar_ic) τα οποία παρουσιάζουν ποσοστά ~3%. Όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν παρουσιάζουν σχετικά υψηλά ποσοστά χημικά δεσμευμένου νερού, υποδεικνύοντας την ύπαρξη υδραυλικών ενώσεων, με το δείγμα του εξωνάρθηκα να φτάνει το ποσοστό του 9.93%.

Επίσης, όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου (άνω του 50%), υποδεικνύοντας την ασβεστιτική τους φύση, αλλά και την ασβεστιτική φύση μεγάλου τμήματος των αδρανών, με εξαίρεση τα κονιάματα του δαπέδου και το κονίαμα του εξωνάρθηκα, που παρουσιάζουν ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου χαμηλότερα του 33%.

Αξίζει να σημειωθεί η ύπαρξη ενδόθερμης κορυφής στους ~460°C, με αντίστοιχη απώλεια μάζας, που αντιστοιχεί στην παρουσία πορτλαντίτη στο δείγμα του κονιάματος αρμού της ανατολικής όψης, ο οποίος πιθανά, λόγω της θέσης του υλικού στην εξώτατη στοιβάδα της τοιχοποιίας, αποτελεί προϊόν φθοράς.

Πίνακας 16: Απώλειες μάζας (%) ανά θερμοκρασιακά διαστήματα (επιχρίσματα)

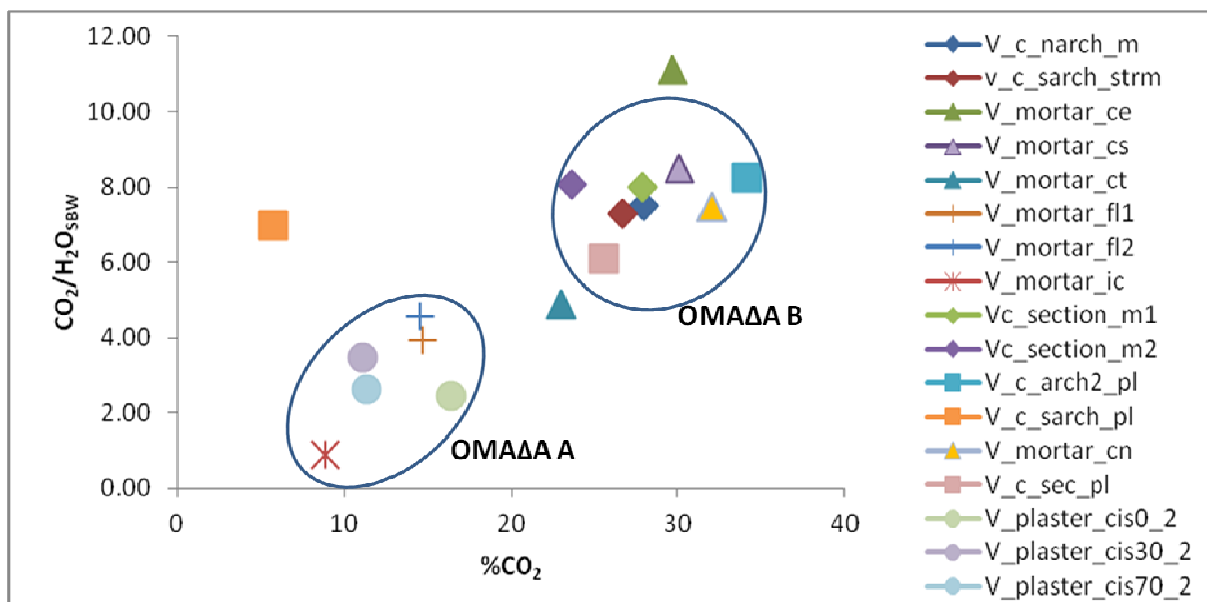
Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C)					Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (%)
	<120°C	120-200°C	200-600°C	600-1000°C	CO ₂ /H ₂ O _{CBW}	
V_c_sec_pl	1.21	0.5	4.2	25.57	6.09	58.17
V_c_sarch_pl	0.88	15.66	0.82	5.71	6.96	12.99
V_c_sarch2_pl	1.14	0.67	4.14	34.14	8.25	77.67
V_plaster_cis0_2	2.6	2.5	6.66	16.4	2.46	37.31
V_plaster_cis30_2	2.19	1.35	3.19	11.13	3.49	25.32
V_plaster_cis70_2	2.34	1.78	4.31	11.31	2.62	25.73

Το επίχρισμα στο ισόγειο του εσωτερικού του Ναού (Vc_sec_pl), καθώς και το επίχρισμα του τόξου της ανωδομής (V_c_sarch2_pl2), το οποίο παρουσίαζε άχυρα στη δομή του, παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα επιχρίσματα (>58%) και σχετικά υψηλά ποσοστά χημικά δεσμευμένου νερού. Το επίχρισμα που βρέθηκε στις ρωγμές των τόξων της ανωδομής (V_c_sarch_pl) παρουσιάζει υψηλό ποσοστό απώλειας μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα 120-200°C, και διπλή ενδόθερμη κορυφή στο αντίστοιχο θερμοκρασιακό διάστημα στο διάγραμμα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης, που αντιστοιχεί στον γύψο.

Τα επιχρίσματα της κιστέρνας παρουσιάζουν αρκετά υψηλότερα ποσοστά ροφημένου νερού από τα υπόλοιπα επιχρίσματα, καθώς και χαμηλότερα ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου (<38%). Παράλληλα, παρουσιάζουν υψηλές τιμές χημικά δεσμευμένου νερού, γεγονός που υποδεικνύει την υδραυλική τους φύση, με το κονίαμα του δαπέδου της στέρνας να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό (6.66%).

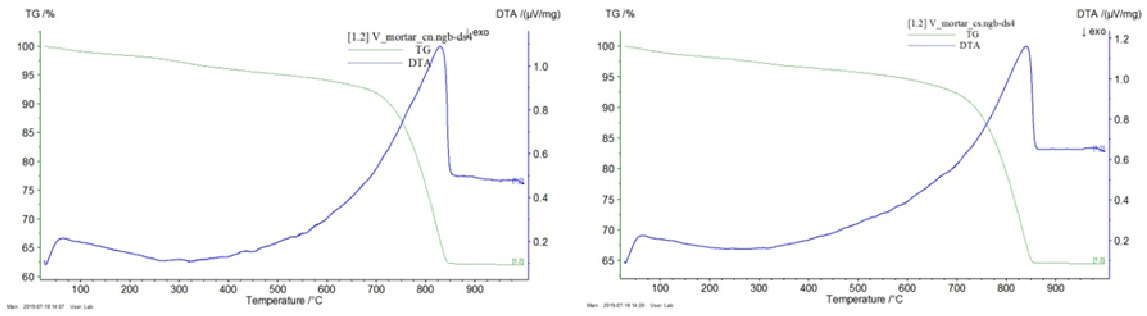
Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται σχηματικά η απώλεια μάζας άνω των 600°C (CO₂%) σε σχέση με τον λόγο CO₂/H₂O_{CBW} για όλα τα δείγματα κονιαμάτων και επιχρισμάτων που εξετάστηκαν. Παρατηρείται η ταξινόμηση των δειγμάτων σε δυο ομάδες (Ομάδα Α και Ομάδα Β). Τα κονιάματα της ομάδας Α (V_mortar_cfl1, V_mortar_cfl2, V_mortar_ic, V_plaster_cis0_2, V_plaster_cis30_2, V_plaster_cis70_2, δηλ. του δαπέδου, του εξωνάρθηκα και της κιστέρνας, αντίστοιχα) παρουσιάζουν χαμηλότερους λόγους CO₂/H₂O_{CBW} και χαμηλότερα ποσοστά απώλειας

μάζας λόγω διάσπασης ανθρακικών ενώσεων (απώλεια CO₂%) και συνεπώς χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερως υδραυλικά, ενώ υποδεικνύεται κοινή τεχνολογία παρασκευής τους. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα εν λόγω κονιάματα και επιχρίσματα έχουν ληφθεί από περιοχές, οι οποίες, βάση των ιστορικών δεδομένων, πιθανά ανήκουν σε πρωθύστερη του 1831 κατασκευαστική φάση του Καθολικού. Τα κονιάματα της Ομάδας Β, παρουσιάζουν ελαφρώς υδραυλικό χαρακτήρα και σχετικά υψηλά ποσοστά ανθρακικών ενώσεων και αφορούν στα κονιάματα αρμών, δόμησης, καθώς και επιχρίσματα του Καθολικού. Το κονίαμα αρμού της ανατολική όψης (V_mortar_ce) δεν συγκαταλέγεται στην Ομάδα Β, λόγω της παρουσίας του πορτλαντίτη, ο οποίος πιθανότατα να είναι προϊόν φθοράς. Ωστόσο, βρίσκεται σε κοντινή περιοχή του διαγράμματος. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το κονίαμα του καμπαναριού, V_mortar_ct, το οποίο βρίσκεται ανάμεσα στις δυο ομάδες ταξινόμησης, χωρίς να ανήκει σε κάποια από αυτές. Τέλος, το επιχρίσμα γύψου, εμφανίζεται σε εμφανώς διαφορετική θέση στο συγκριτικό διάγραμμα.

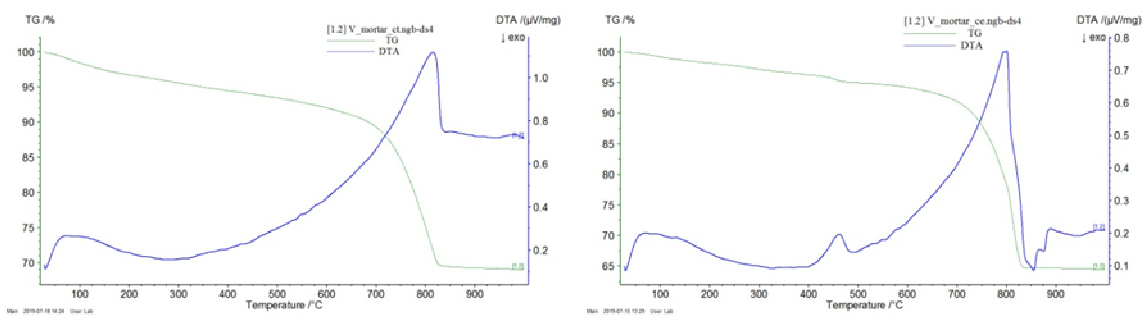


Διάγραμμα 1: Συγκριτική παρουσίαση των κονιαμάτων και των επιχρισμάτων του Καθολικού της IM Βαρνάκοβας σε σχέση με την απώλεια μάζας λόγω έκλυσης CO₂ (%) και συναρτήσει του λόγου CO₂/H₂O_{SBW}.

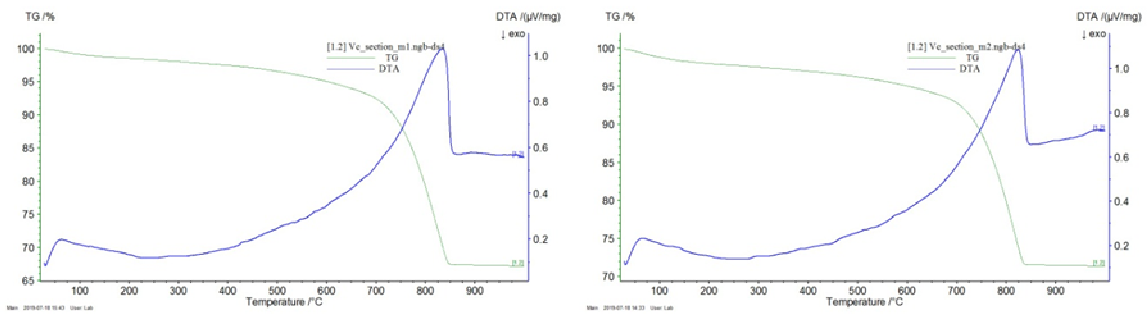
Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται τα διαγράμματα που προέκυψαν από τη θερμική ανάλυση για το κάθε κονίαμα.



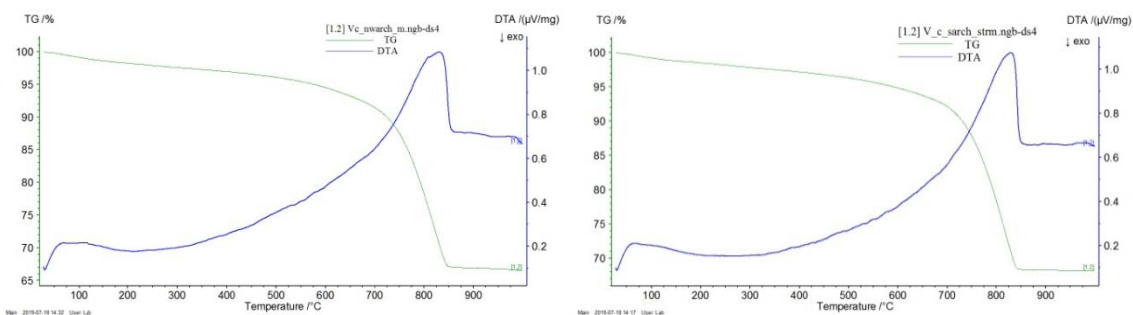
Εικόνα 37: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων V_mortar_cn (αριστερά) και V_mortar_cs (δεξιά)



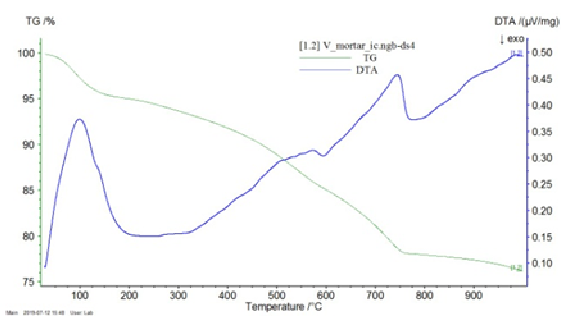
Εικόνα 38: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων V_mortar_ct (αριστερά) και V_mortar_ce (δεξιά)



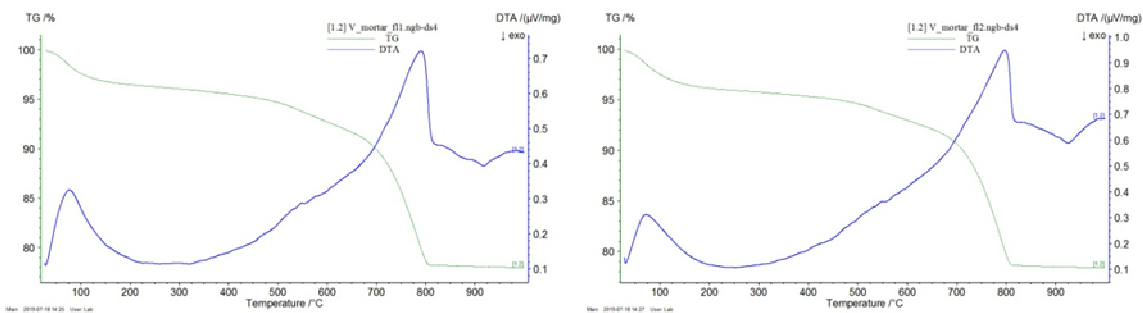
Εικόνα 39: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων Vc_sec_mortar1 (αριστερά) και Vc_sec_mortar2 (δεξιά)



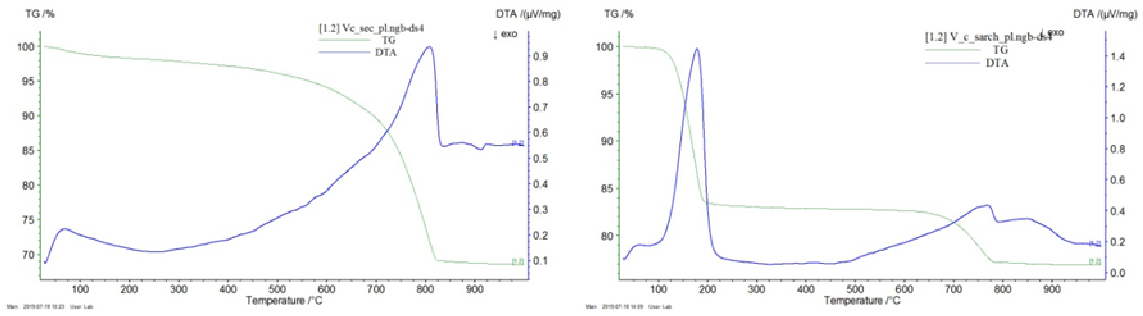
Εικόνα 40: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων Vc_pwarch_m (αριστερά) και V_c_sarch_strm (δεξιά)



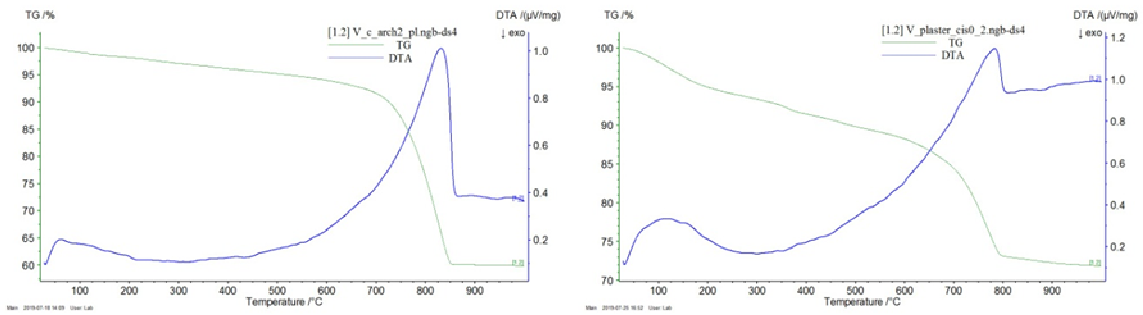
Εικόνα 41: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων V_mortar_ic



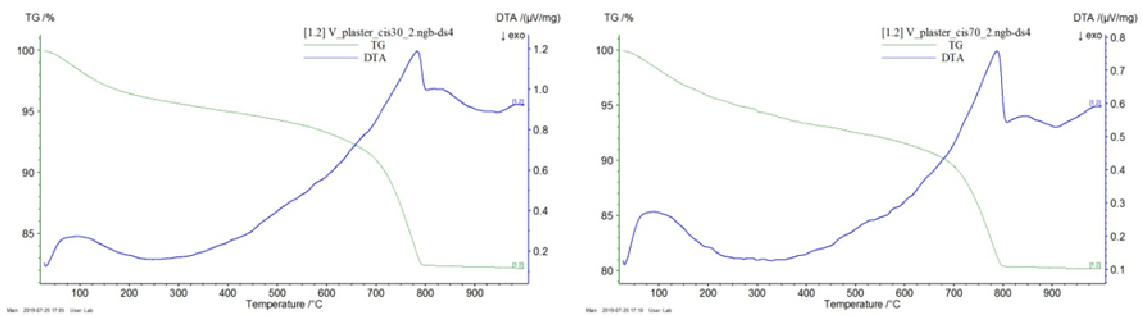
Εικόνα 42: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων V_mortar_cfl1 (αριστερά) και V_mortar_cfl2 (δεξιά)



Εικόνα 43: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των επιχρισμάτων Vc_sec_pl (αριστερά) και V_c_sarch_pl (δεξιά)



Εικόνα 44: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των επιχρισμάτων Vc_sarch2_pl (αριστερά) και V_plaster_cis_0cm_2 (δεξιά)



Εικόνα 45: Διαγράμματα θερμικής ανάλυσης των επιχρισμάτων V_plaster_cis_30_2 (αριστερά) και V_plaster_cis_70_2 (δεξιά)

4.5 Δοκιμές εμφάνισης – Προσδιορισμός ποσοστού ροφημένου νερού, ολικού ανοιχτού πορώδους προσβάσιμου στο νερό και φαινόμενης πυκνότητας.

Δοκιμές ολικής εμφάνισης σε νερό πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα δομικών λίθων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων του Καθολικού, με σκοπό την μελέτη των φυσικών τους χαρακτηριστικών και συγκεκριμένα τον προσδιορισμό του ολικού ανοιχτού πορώδους προσβάσιμου στο νερό, της φαινόμενης πυκνότητας και του ποσοστού ροφημένου νερού των δομικών υλικών του δομήματος.

4.5.1 Δοκιμές εμφάνισης στους δομικούς λίθους

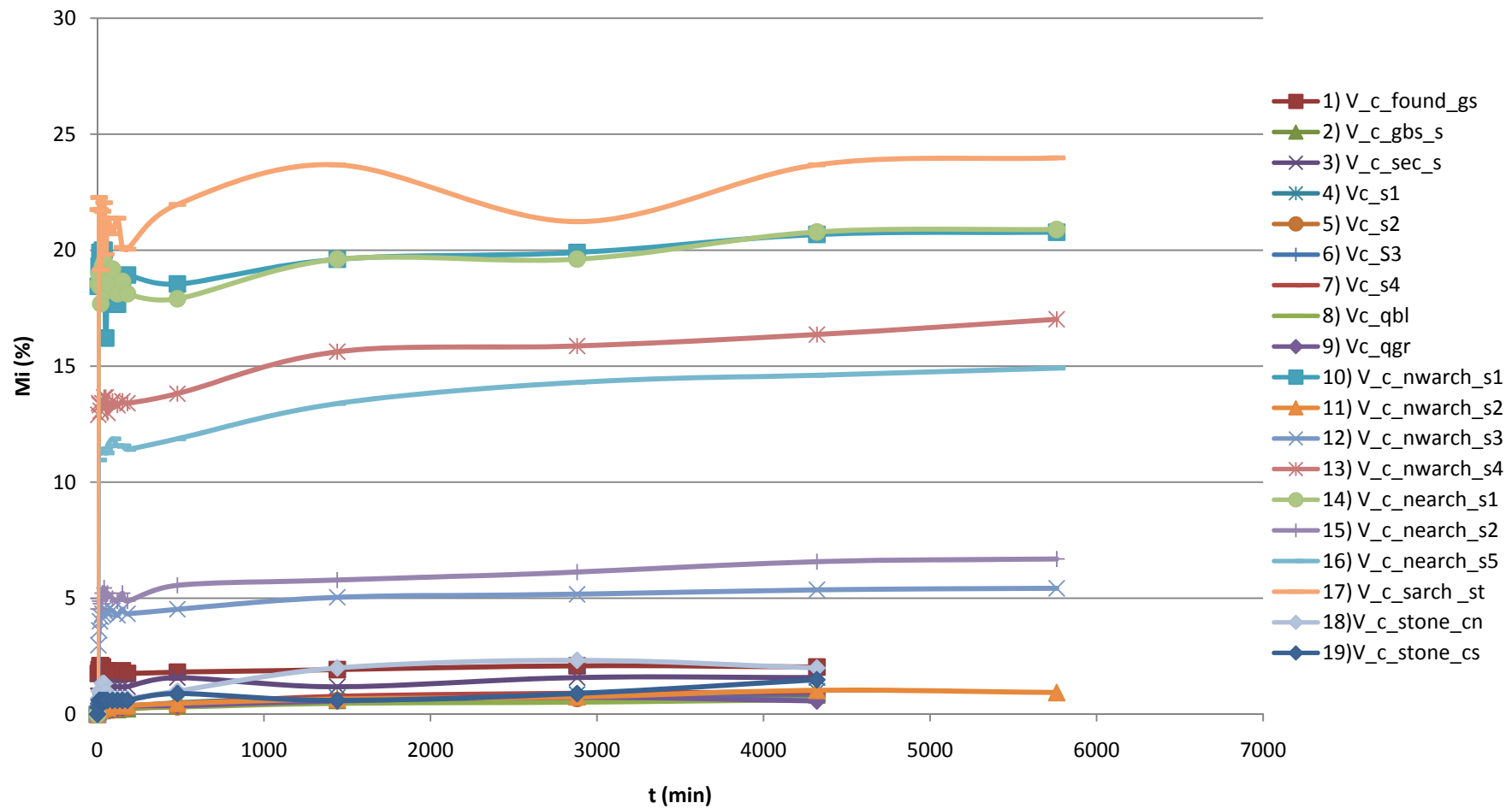
Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ολικής εμφάνισης σε νερό σε επιλεγμένα δείγματα δομικών λίθων του Καθολικού της ΙΜ Βαρνάκοβας, με σκοπό τον προσδιορισμό του ολικού ανοιχτού πορώδους προσβάσιμου στο νερό, της φαινόμενης πυκνότητας και του ποσοστού ροφημένου νερού των δομικών λίθων του δομήματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 17: Αποτελέσματα δοκιμής ολικής εμφάνισης στους ιστορικούς λίθους του Καθολικού

Κωδικός δείγματος	WAC	Ανοιχτόπορώδες (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)
V_c_stone_cn	2,33	4,00	2,01
V_c_stone_cs	1,49	3,13	2,10
V_c_gbs_s	0,87	2,14	2,58
V_c_sec_s	1,98	3,81	2,40
V_c_nwarch_s1	22,20	32,92	1,57
V_c_nearch_s1	21,54	32,94	1,57
Vc_sarch2_st	26,04	33,13	1,36
V_c_nwarch_s4	17,22	27,97	1,64
V_c_nearch_s5	14,92	23,90	1,60

Οι συμπαγείς βιομικρικοί ασβεστόλιθοι των εξωτερικών όψεων και του εσωτερικού, παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές ανοιχτού πορώδους (2,14-4%), με τον λίθο της βόρειας όψης να παρουσιάζει το μεγαλύτερο πορώδες, πιθανότατα λόγω προσανατολισμού της όψης από την οποία ελήφθη και την επακόλουθη χειρότερη κατάσταση διατήρησής του. Παράλληλα, οι προαναφερθέντες λίθοι παρουσιάζουν φαινόμενη πυκνότητα από 2-2,58g/cm³, διαφοροποίηση που

Απορρόφηση Νερού από Ολική εμβάπτιση (λίθοι)



Διάγραμμα 2: Απορρόφηση Νερού από ολική εμβάπτιση των δομικών λίθων.

οφείλεται στο φυσικό υλικό, αλλά και σε διαφορετικές διαδικασίες φθοράς. Ο λιθότυπος αυτός παρουσιάζει σε όλα τα δείγματα χαμηλές τιμές WAC, κάτω του 2,3%.

Αντίθετα οι πωρόλιθοι που εξετάστηκαν από την ανωδομή παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικού πορώδους (24-34%) και χαμηλές τιμές φαινόμενης πυκνότητας, κάτω από $1,6\text{g/cm}^3$. Παράλληλα, παρουσιάζουν και υψηλές τιμές άνω του 15%, αναδεικνύοντας τα διαφορετικά τους υγρομετρικά χαρακτηριστικά σε σχέση με τον συμπαγή ασβεστόλιθο, αλλά και την επιδεκτικότητά τους στη φθορά λόγω κρυστάλλωσης διαλυτών αλάτων.

4.5.2 Δοκιμές εμβάπτισης στα κονιάματα και στα επιχρίσματα

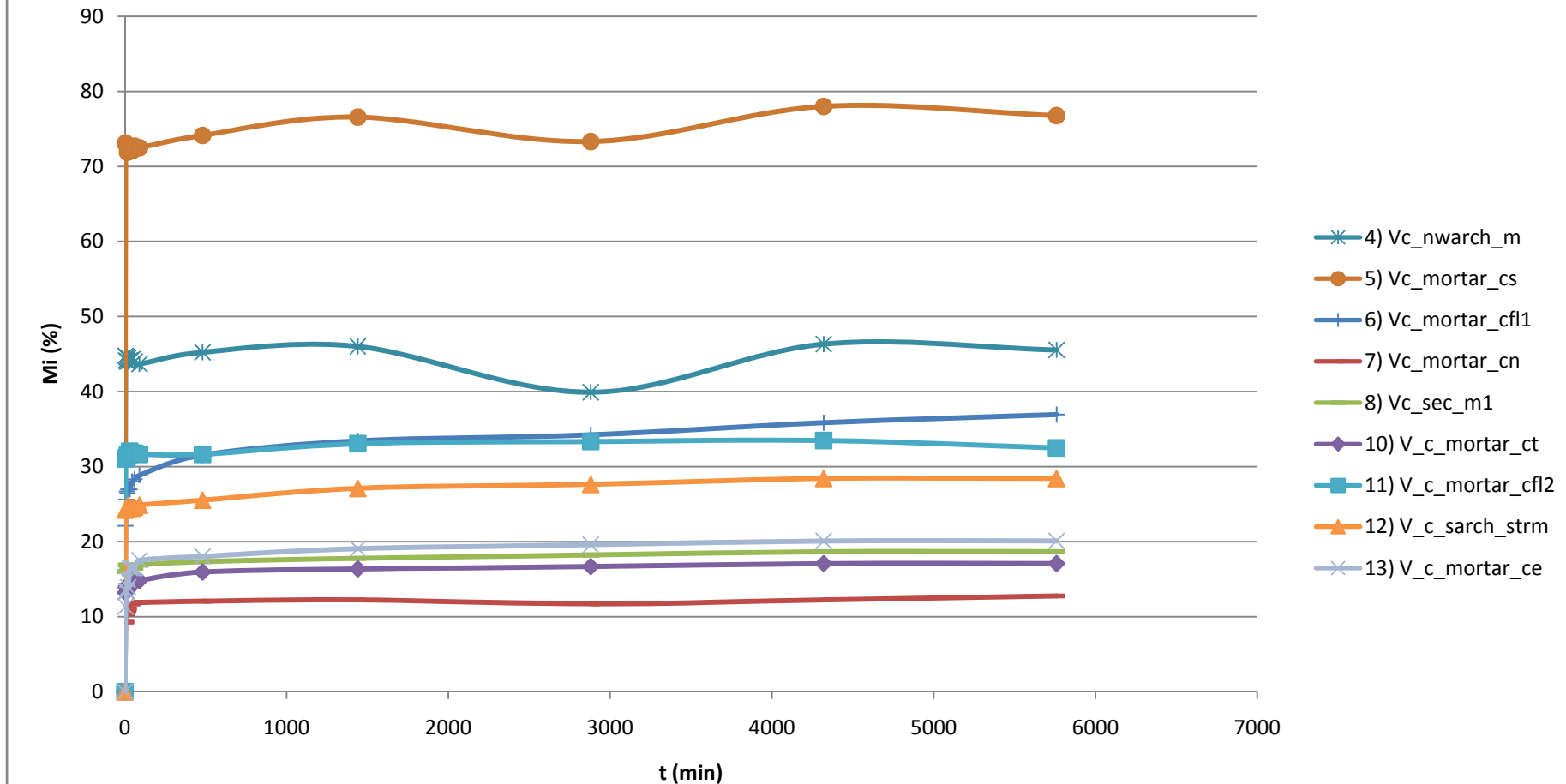
Δοκιμές ολικής εμβάπτισης πραγματοποιήθηκαν και στα κονιάματα και τα επιχρίσματα του Καθολικού.

Πίνακας11: ΑποτελέσματαδοκιμήςολικήςεμβάπτισηςσταιστορικάκονιάματατουΚαθολικού

Κωδικός δείγματος	WAC	Ανοιχτόπορώδες (%)	Πυκνότητα (g/cm^3)
Vc_mortar_cn	13,36	25,33	1,90
V_c_mortar_cs	17,44	30,91	1,77
Vc_mortar_ct	87,47	69,83	0,80
V_c_mortar_ce	20,73	28,57	1,38
Vc_sec_m1	21,36	29,38	1,38
V_c_sarch_strm	30,13	53,81	1,79
Vc_mortar_cfl1	38,42	46,23	1,20
V_c_mortar_cfl2	34,39	45,09	1,31

Τα κονιάματα αρμού που ελήφθησαν από τις εξωτερικές όψεις παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές πορώδους (25-30%) και ικανοποιητικές τιμές φαινόμενης πυκνότητας για ασβεστιτικά κονιάματα, με εξαίρεση το V_c_mortar_ce, το οποίο παρουσιάζει χαμηλή τιμή, $1,38\text{g/cm}^3$, πιθανά λόγω της παρουσίας πορτλαντίτη στη μάζα του. Η φθορά που έχει υποστεί το κονίαμα του καμπαναριού, είναι εμφανής από την πολύ χαμηλή τιμή της φαινόμενης πυκνότητας, η οποία είναι και η χαμηλότερη με διαφορά ανάμεσα στα εξεταζόμενα κονιάματα ($0,80\text{g/cm}^3$), ενώ παρουσιάζει και το υψηλότερο πορώδες (~70%). Σε σχέση με τα κονιάματα δόμησης, το μεν Vc_sec_m1 παρουσιάζει παρόμοιο πορώδες και παρόμοια τιμή φαινόμενης πυκνότητας με το V_c_mortar_ce, ενώ το δε V_c_sarch_strm παρουσιάζει παρόμοια τιμή φαινόμενης πυκνότητας με το V_c_mortar_cs, ωστόσο κατά πολύ μεγαλύτερο πορώδες, πιθανά λόγω φθοράς του. Τα κονιάματα του δαπέδου παρουσιάζουν χαμηλές τιμές φαινόμενης πυκνότητας, $\sim 1,25\text{g/cm}^3$ και υψηλές τιμές πορώδους (~45%).

Απορρόφηση Νερού από Ολική εμβάπτιση (Κονιάματα)



Διάγραμμα 3: Απορρόφηση Νερού από ολική εμβάπτιση των κονιαμάτων.

Πίνακας 18: Αποτελέσματα δοκιμής ολικής εμφάπνυσης στα ιστορικά επιχρίσματα του Καθολικού

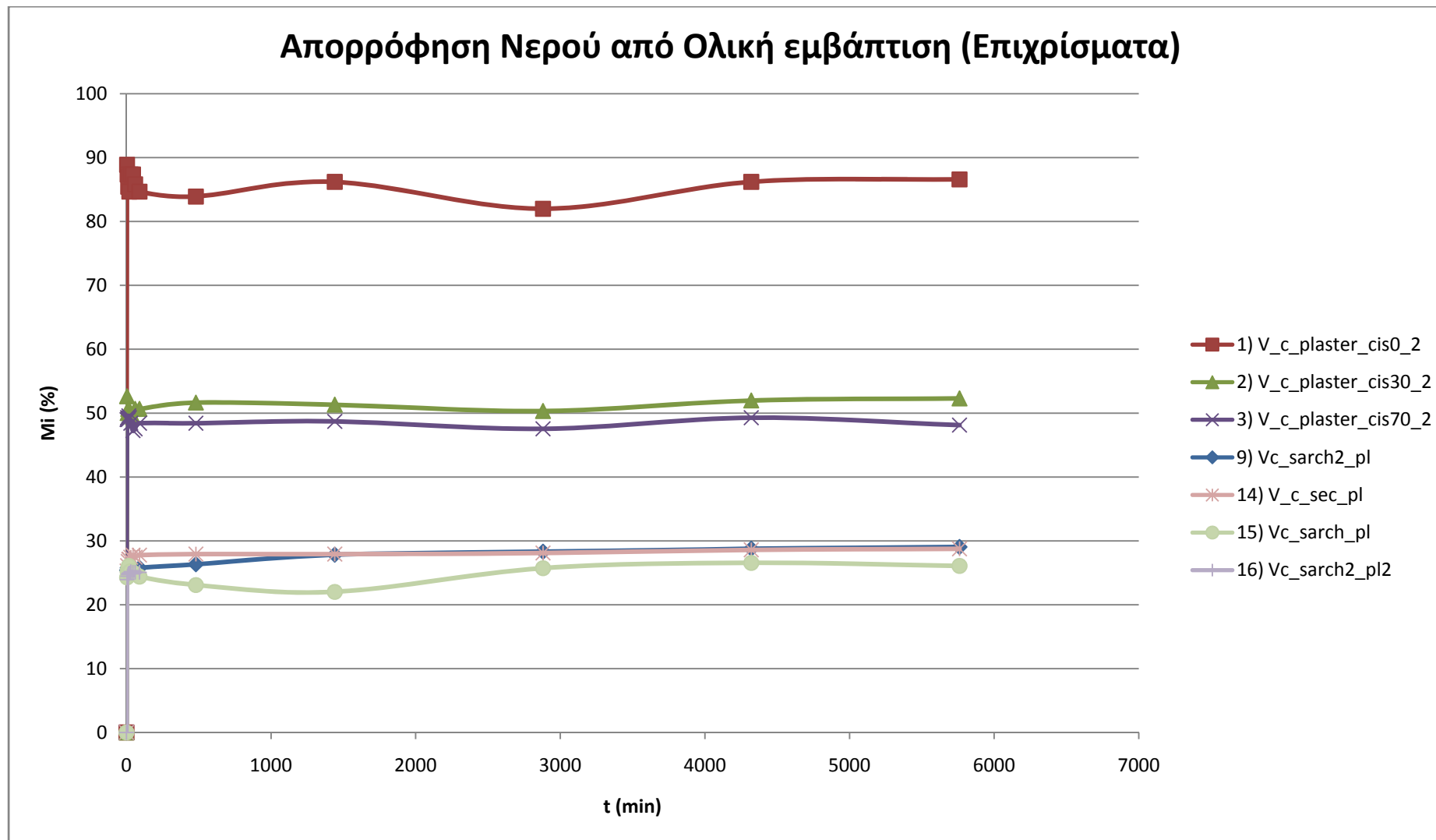
Κωδικός δείγματος	WAC	Ανοιχτόπορώδες (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)
V_c_sec_pl	32,03	38,67	1,31
Vc_sarch2_pl2	31,30	37,43	1,28
Vc_sarch_pl	36,52	29,07	1,03
V_c_plaster_cis0_2	102,92	77,19	0,75
V_c_plaster_cis30_2	53,82	60,00	1,11
V_c_plaster_cis70_2	50,74	54,60	1,08

Τα επιχρίσματα που μελετήθηκαν στο Καθολικό της ΙΜ Βαρνάκοβας παρουσίασαν έντονες διαφοροποιήσεις στα φυσικά τους χαρακτηριστικά, υποδηλώνοντας και την διαφορετική τεχνολογία παρασκευής τους. Γενικά όλα τα επιχρίσματα παρουσιάζουν χαμηλές τιμές φαινόμενης πυκνότητας, που κυμαίνονται από 1,03g/cm³ έως 1,31g/cm³, ενώ το επίχρισμα από το δάπεδο της κιστέρνας παρουσίασε ακόμα χαμηλότερη τιμή, 0,75g/cm³.

Το επίχρισμα V_c_sec_pl παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το Vc_sarch2_pl2, με WAC ~32%, ολικό ανοιχτό πορώδες ~38% και πυκνότητα ~1,375g/cm³.

Το επίχρισμα από το τόξο, το οποίο όπως έδειξε η ορυκτολογική ανάλυση και η μελέτη χημικής σύστασης, πρόκειται για γυψοκονίαμα, παρουσιάζει χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα, ~1g/cm³, χαμηλότερο πορώδες (περίπου 29%), αλλά υψηλότερο ποσοστό ροφημένου νερού μέσω ολικής εμφάπνυσης (~36,5%) σε σχέση με το άλλο επίχρισμα του τόξου και το επίχρισμα της τομής.

Το επίχρισμα που ελήφθη από τον πάτο της κιστέρνας, παρουσιάζει τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά από όλα τα υπόλοιπα επιχρίσματα. Παρουσιάζει εξαιρετικά υψηλό ποσοστό WAC, ~103%, το οποίο μεταφράζεται στο ότι στην ολική εμφάπνυση απορροφά περίπου το βάρος του σε νερό. Παρουσιάζει ανοιχτό πορώδες ~77%, την υψηλότερη τιμή πορώδους από όλα τα δομικά υλικά που μελετήθηκαν στο Καθολικό, και, όπως προαναφέρθηκε, παρουσιάζει και την χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα. Τα άλλα δυο επιχρίσματα της κιστέρνας, που ελήφθησαν από ύψος 30cm από τον πάτο και 70cm από τον πάτο αντίστοιχα, παρουσιάζουν και αυτά υψηλές τιμές WAC (>50%) και ανοιχτού πορώδους (~60% και ~55% αντίστοιχα), ωστόσο χαμηλότερες από το επίχρισμα του δαπέδου της κιστέρνας. Η φαινόμενη πυκνότητα των επιχρισμάτων αυτών παρουσιάζει παραπλήσια τιμή, ~1,1g/cm³, υψηλότερη από το επίχρισμα του δαπέδου της κιστέρνας. Τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των επιχρισμάτων του δαπέδου και των υπολοίπων της κιστέρνας

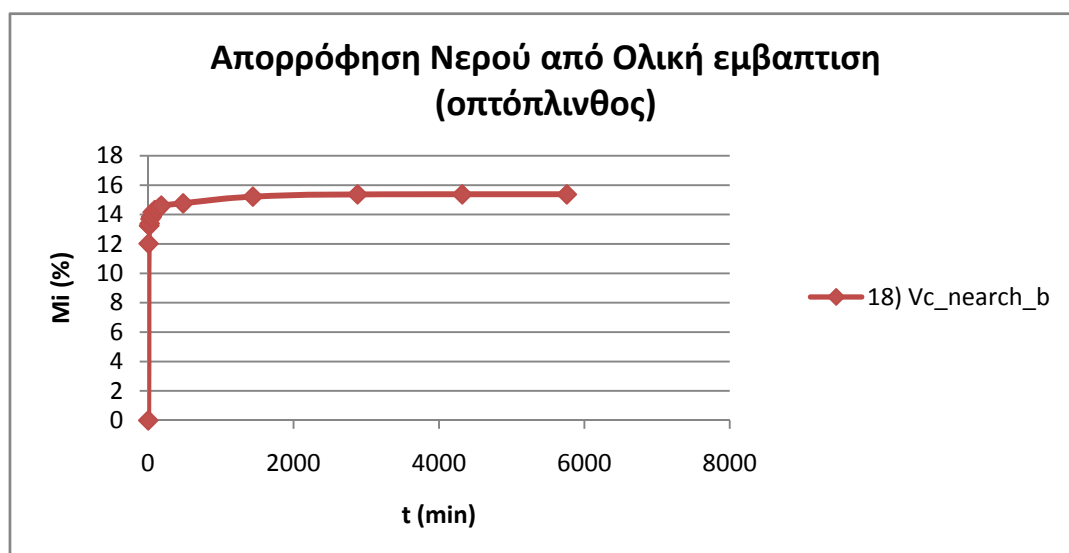


Διάγραμμα 4: Απορρόφηση Νερού από ολική εμβάπτιση των επιχρισμάτων.

είναι ένδειξη διαφορετικού σχεδιασμού κατά την παρασκευή τους, ενώ η διαφοροποίηση που παρατηρείται καθ' ύψος πιθανότατα να οφείλεται στην διαφορετική κατάσταση διατήρησης των επιχρισμάτων στα διάφορα ύψη της κιστέρνας.

4.5.3 Δοκιμή εμφάπνυσης στον οπτόπλινθο

Κωδικός δείγματος	WAC	Ανοιχτόπορώδες (%)	Πυκνότητα (g/cm ³)
Vc_nearch_b	15.73	26.58	1.72



Διάγραμμα 5: Απορρόφηση Νερού από ολική εμφάπνυση του οπτοπλίνθου.

4.6 Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων - Ποιοτική ανίχνευση Χλωριόντων, Θεικών ανιόντων, Νιτρικών ανιόντων

Σε όλα τα δείγματα λίθων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων βάσει του Normal 13/83, καθώς και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θεικών ανιόντων και νιτρικών ανιόντων.

4.6.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στους δομικούς λίθους

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών διαλυτών αλάτων στα δείγματα των λίθων.

Πίνακας 19: Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θεικών και νιτρικών ανιόντων στους ιστορικούς δομικούς λίθους του Καθολικού

Κωδικός Δείγματος	TSS%	Ph	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻²
V_stone_cs	2,3	8,88	+	-	-
V_stone_cn	2,4	8,81	++	+	-
V_c_gbs_s	2,6	9,11	+	-	-
V_c_nwarch_s2	2,5	9,04	++(+)	-	-
Vc_sec_s	2,7	9,07	++	-	-
V_n_nwarch_s1	3,0	9,09	-	-	-
Vc_nearch_s1	2,5	8,91	-	-	-
V_c_sarch2_st	3,5	8,90	+	-	+
V_c_nwarch_s3	2,6	9,07	+	-	-
V_c_nwarch_s4	3,2	9,07	++	-	-
V_c_nwarch_s5	2,7	9,02	++	-	-
Vc_nearch_s2	3,5	8,58	-	-	-

+++++ Πολύ υψηλή, +++++ Υψηλή, ++++ Μέτρια, +++Χαμηλή, ++Πολύ χαμηλή, +Ίχνη, -Καθόλου

Οι δομικοί λίθοι ως επί τω πλείστον παρουσιάζουν τιμές ολικών διαλυτών αλάτων χαμηλότερες του 3% που θεωρείται ως κρίσιμο κατώφλι. Εξάιρεση παρουσιάζουν 2 λίθοι της ανωδομής, V_c_sarch2_st και Vc_nearch_s2. Ο V_c_sarch2_st παρουσίασε το μεγαλύτερο ολικό πορώδες σε σχέση με τους υπόλοιπους λίθους, όπως εκτιμήθηκε από την ολική εμβάπτιση σε νερό, συνεπώς πιθανότατα έχει λειτουργήσει ως θυσιαζόμενο υλικό, συγκεντρώνοντας διαλυτά άλατα από τα γειτονικά υλικά. Το pH των δομικών λίθων παρουσιάζει κοινές τιμές, κοντά στο 9 (8,6-9,11). Στους περισσότερους λίθους ανιχνεύτηκε χαμηλή παρουσία χλωριόντων.

4.6.2 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στα κονιάματα και τα επιχρίσματα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών διαλυτών αλάτων στα δείγματα των κονιαμάτων και των επιχρισμάτων που ελήφθησαν από το Καθολικό.

Πίνακας 20: Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θεικών και νιτρικών ανιόντων στα ιστορικά κονιάματα του Καθολικού

Κωδικός Δείγματος	TSS%	Ph	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻²
V_mortar_cn	2,7	9,25	++(+)	-(+)	-
V_mortar_cs	2,9	8,96	++	+	-
V_mortar_ct	2,8	8,69	+	+	-

V_mortar_ce	15,0	10,26	+++++*	+	-
Vc_sec_m1	2,7	8,88	++	-	-
Vc_sec_m2	3,0	9,09	++(+)	-	-
V_c_nwarch_m	3,2	9,00	++	-	-
V_c_sarch_strm	3,5	9,05	++	-	-
V_mortar_ic	6,6	9,06	++(+)	+	-
V_mortar_cfl1	3,0	8,79	+(+)	-(+)	-
V_mortar_cfl2	2,9	8,70	+	-	-

*Το εν λόγω δείγμα κατά την ποιοτική ανίχνευση για Cl⁻ χρωματίστηκε ανοιχτό καφέ

+++++ Πολύ υψηλή, +++++ Υψηλή, ++++ Μέτρια, +++Χαμηλή, ++Πολύ χαμηλή, +Ίχνη, -Καθόλου

Όλα τα κονιάματα αρμού από τις εξωτερικές όψεις, καθώς και το κονίαμα του καμπαναριού, παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων (<3%), ενώ ανιχνεύονται χλωρίοντα και θειικά, με εξαίρεση το V_mortar_ce, το οποίο παρουσιάζει πολύ υψηλή τιμή ολικών διαλυτών αλάτων, 15% και υψηλό Ph, 10,26, γεγονός που οφείλεται στην παρουσία πορτλαντίτη στο εν λόγω δείγμα.

Τα κονιάματα που ελήφθησαν από το δάπεδο και το ισόγειο του Ναού, παρουσιάζουν τιμές ολικών διαλυτών αλάτων στο όριο του 3%, ενώ αντιθέτως τα κονιάματα της ανωδομής παρουσιάζουν οριακά υψηλότερες τιμές (>3%). Το κονίαμα που ελήφθη από τον εξωνάρθηκα παρουσιάζει αρκετά υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων (6.6%) που μπορούν να αποδοθούν αφενός στην θέση του στο κατώτατο ύψος της τοιχοποιίας και αφετέρου στην παρουσία χλωριόντων και θειικών ανιόντων.

Εν τω συνόλω όλα τα κονιάματα εμφανίζουν παρουσία χλωριόντων, υποδεικνύοντας ότι το μνημείο βάλλεται, ως έναν βαθμό, από ανερχόμενη και κατερχόμενη υγρασία.

Πίνακας 21: Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θειικών και νιτρικών ανιόντων στα επιχρίσματα του Καθολικού

ΚωδικόςΔείγματος	TSS%	Ph	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻²
Vc_sec_pl	3,8	9,09	++	-	-
V_c_sarch2_pl2	3,5	8,9	+	-	+
V_c_sarch_pl	61,7	8,25	++	+++(+)	-
V_plaster_cis0_2	4,3	9,19	++	-	-
V_plaster_cis30_2	2,6	8,96	+++	-	-

V_plaster_cis70_2	3,2	9,04	+	-	-
--------------------------	-----	------	---	---	---

+++++ Πολύ υψηλή, +++++ Υψηλή, ++++ Μέτρια, +++Χαμηλή, ++Πολύ χαμηλή, +Ίχνη, -Καθόλου

Τα επίχρισματα που ελήφθησαν από το Καθολικό παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων και παρουσία χλωριόντων, υποδεικνύοντας την παρουσία υγρασία και την μετακίνηση διαλυτών αλάτων από το εσωτερικό της τοιχοποιίας στην εξώτατη στοιβάδα της. Εξαιρέση αποτελεί το επίχρισμα της κιστέρνας που ελήφθη από τα 30 cm. Το V_c_sarch_pl (επίχρισμα γύψου) παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη τιμή TSS, εξαιτίας της αυξημένης αγωγιμότητας του γύψου.

4.7 Μετρήσεις μηχανικών αντοχών

Όπως προαναφέρθηκε το Καθολικό της IM Βαρνάκοβας δομείται στις εξωτερικές του όψεις σχεδόν εξολοκλήρου από έναν συμπαγή μικριτικό ασβεστόλιθο γκρίζου-μπεζ χρωματισμού. Παράλληλα, όπως επιβεβαίωσε η ορυκτολογική μελέτη σε λίθους που ήταν δυνατόν να εξεταστούν από τη δόμηση, φαίνεται ο ίδιος λιθότυπος να δεσπόζει και στα μη εμφανή δομικά στρώματα του μνημείου.

Από τον μνημείο ελήφθησαν δυο δείγματα αυτού του λιθότυπου, τα οποία διαμορφώθηκαν σε κυβικά δοκίμια για τη μελέτη της θλιπτικής αντοχής, σε πρισματικά δοκίμια για τη μελέτη της καμπτικής αντοχής και σε κυλινδρικά δοκίμια για τη μελέτη της εφελκυστικής αντοχής του συγκεκριμένου λιθότυπου. Τα δείγματα περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 22: Κωδική ονομασία και περιγραφή τύπων λίθου

Κωδικός δειγμάτων	Περιγραφή
Vi	Ιστορικός μπεζ βιομικριτικός ασβεστόλιθος Καθολικού
Vw	Ιστορικός γκρίζος βιομικριτικός ασβεστόλιθος Καθολικού

4.7.1 Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή θλιπτικής αντοχής στους 2 διαφορετικούς τύπους δοκιμίων (6 δείγματα από κάθε λιθότυπο) διαστάσεων 5cmx5cmx5cm με στόχο τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής του λιθότυπου. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση είναι το EN 1926:2006.

Πίνακας 23: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της θλιπτικής αντοχής των δειγμάτων.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	166,31±26,92
Vw	98,00±39,80

Παρατηρείται διαφοροποίηση στις κατά τα άλλα υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής των δυο διαφορετικής απόχρωσης δειγμάτων του ιστορικού βιομικριτικού ασβεστόλιθου. Ο γκρίζος παρουσιάζει χαμηλότερη τιμή θλιπτικής αντοχής σε σύγκριση με τον μπεζ, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στην πληθώρα διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα, όπως κατέδειξε και ο πετρογραφικός έλεγχος.

4.7.2 Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων σε κυλινδρικά δοκίμια - (Braziliantest)

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων στον μπεζ ιστορικό ασβεστόλιθο(6 δοκίμια), διαμέτρου δοκιμίου 10cm και ύψους 5cm, με στόχο τον προσδιορισμό της εφελκυστικής του αντοχής. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση είναι το ISRM 1978. Στον παρακάτω πίνακα, παρουσιάζονται η μέση τιμή και τυπική απόκλιση της εφελκυστικής του αντοχής.

Πίνακας 24: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της εφελκυστικής αντοχής του κυλινδρικού δοκιμίου.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Mpa)
Vi	3,53±1,84

4.7.3 Δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα δοκίμια

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη στους ιστορικούς ασβεστόλιθους του μνημείου (6 δοκίμια από κάθε δείγμα) διαστάσεων 5cmx5cmx30cm με στόχο τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής του κάθε λιθότυπου.

Πίνακας 25: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της καμπτικής αντοχής των δειγμάτων.

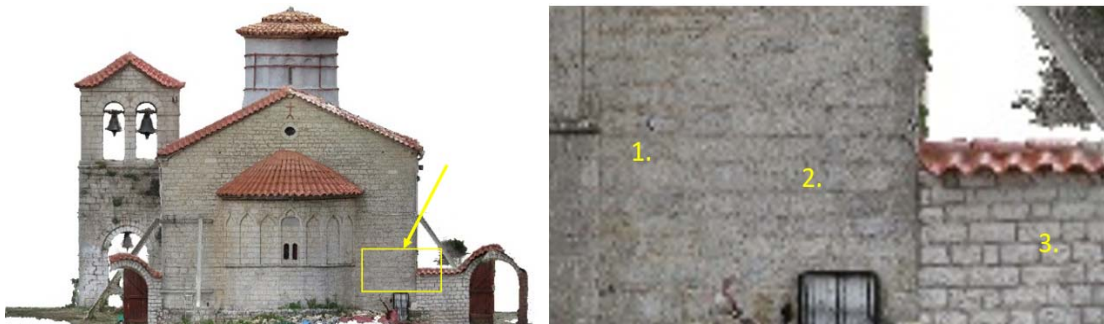
Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή καμπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Mpa)
Vi	22,29±9,92
Vw	20,48±5,03

Ο ιστορικός μπεζ βιομικρικός ασβεστόλιθος του Καθολικού παρουσιάζει εμφανώς υψηλότερη αντοχή σε θλίψη σε σχέση με τον αντίστοιχο ιστορικό γκρίζου χρωματισμού και συγκεκριμένα παρουσιάζει σχεδόν 70% υψηλότερη θλιπτική αντοχή. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την υψηλή τυπική απόκλιση που παρουσιάζουν τα δοκίμια, οφείλεται στην ύπαρξη διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα, όπως κατέδειξε και ο πετρογραφικός έλεγχος.

Παράλληλα, η καμπτική αντοχή των δυο δειγμάτων εμφανίζει παρόμοιες τιμές, με τον μπεζ λίθο και πάλι να παρουσιάζει ελαφρώς υψηλότερες. Και στις μετρήσεις αντοχής σε κάμψη, παρατηρείται και πάλι μεγάλη τυπική απόκλιση, λόγω των πετρογραφικών χαρακτηριστικών του συγκεκριμένου λιθότυπου.

4.8 Κρουσιμετρία

Οι δοκιμές κρουσιμέτρησης σφύρας Schmidt (SHR) διεξήχθησαν σε διάφορες πέτρες – υλικά κατασκευής και σε διάφορες περιοχές των δομικών στοιχείων του καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας με σκοπό την αξιολόγηση της επιφανειακής σκληρότητας των διαφόρων λιθοτύπων, καθώς και της τροποποίησής τους λόγω της επίδρασης εξωτερικών παραγόντων. Χρησιμοποιήθηκε σφυρί τύπου ProceqN (ενέργεια κρούσης: 2.207 Nm), η οποία ακολούθησε τις οδηγίες λειτουργίας. Τουλάχιστον 10 επαναλήψεις κρουσιμέτρησης πραγματοποιήθηκαν σε κάθε εξεταζόμενο οικοδομικό στοιχείο. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με τη σφύρα σε κάθετη θέση σε σχέση με την εξεταζόμενη επιφάνεια. Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων υπολογίστηκαν τόσο η μέση τιμή όσο και τυπική απόκλιση των μετρήσεων.



Εικόνα 46: Θέσεις εφαρμογής κρουσιμέτρου. Ανατολική όψη.



Εικόνα 47: Θέσεις εφαρμογής κρουσιμέτρου. Βόρεια όψη.



Εικόνα 48: Θέσεις εφαρμογής κρουσιμέτρου. Νότια όψη.

Πίνακας 26: Μετρήσεις κρουσιμέτρησης.

	όψη	Δομικό υλικό	Μέσος όρος Τιμών Αναπήδησης	Τυπική Απόκλιση
1	Ανατολική	Ιστορικός λίθος	61,17±2,55	2,55
2	Ανατολική	Κονίαμα Καθολικού	21,22±3,77	3,77
3	Ανατολική	Νέος λίθος μάντρας	59,50±0,77	0,77
4	Βόρεια	Ιστορικός λίθος	48,06±2,38	2,38
5	Βόρεια	Ιστορικός λίθος με επιφανειακές διακλάσεις	50,53±5,57	5,57
6	Νότια	Ιστορικός λίθος	54,35±6,25	6,25
7	Νότια	Ιστορικός λίθος	56,25±5,21	5,21
8	Ανατολική	Ιστορικός γκρίζος λίθος	48.95±3.05	3.05
9	Ανατολική	βόρεια όψη (πιο γκρίζος με λευκή Φλέβα)	50.38±0.38	0.38
10	Ανατολική	νότια όψη (πιο γκρίζος)	54.63±1.62	1.62
11	Βόρεια	νότια άποψη	57.85±1.35	1.35

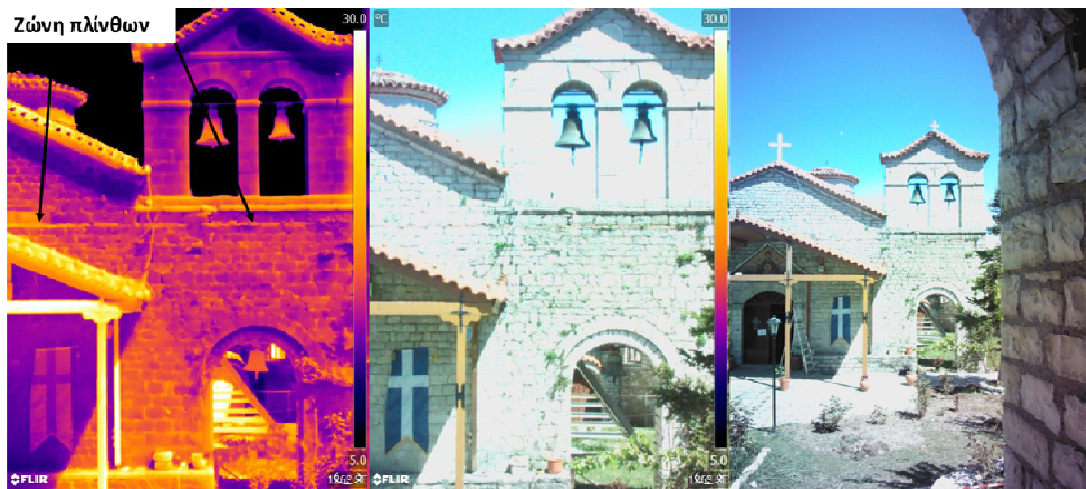
Ο συμπαγής βιομικρικός ασβεστόλιθος στη βόρεια όψη παρουσιάζει ελαφρώς μειωμένες τιμές αναπήδησης σε σχέση με τις υπόλοιπες όψεις του καθολικού, το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην φυσική γήρανση των λίθων στην όψη αυτή, λόγω προσανατολισμού και μικροπεριβάλλοντος.

Το κονίαμα στην ανατολική όψη, σε αρμό που ήταν ικανού πάχους για την εφαρμογή της κρουσιμέτρησης, μετρήθηκε τιμή αναπήδησης περίπου στο 33% της ελάχιστης τιμής που εμφάνισε ο δομικός λίθος. Αυτό μπορεί να αποδοθεί εν μέρει και στη συμμετοχή των λίθων και την καλή συνάφεια λίθου-κονιάματος.

4.9 Θερμογραφία Υπερύθρου

Έγινε χρήση της υπέρυθρης θερμογραφίας για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης της εξωτερικής τοιχοποιίας του καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας, με τη διερεύνηση αντιπροσωπευτικών περιοχών. Η παθητική προσέγγιση που εφαρμόστηκε είχε ως στόχο να αποκαλύψει τυχόν θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις των διαφόρων δομικών υλικών που αποτελείται η τοιχοποιία καθώς επίσης και περιοχών της τοιχοποιίας που έχουν υποστεί φθορά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται φωτογραφίες και θερμογραφήματα ανά όψη, καθώς και συσχετισμοί αυτών.

4.9.1 Θερμογραφήματα στη Δυτική όψη



Εικόνα 49: Ζώνη πλίνθων στη Δυτική όψη.



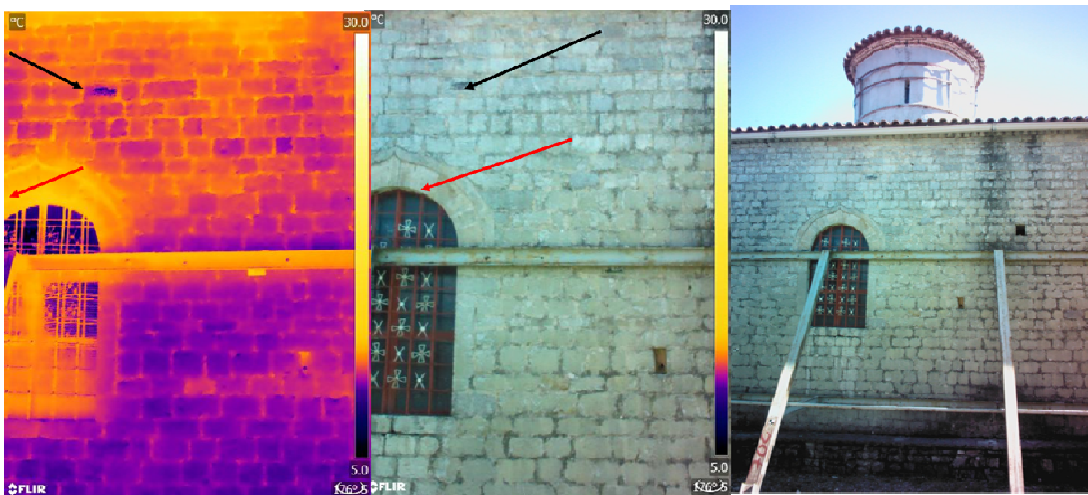
Εικόνα 50: Ζώνη πλίνθων και ρωγμή στη Δυτική όψη.

Το κονιάματα αρμολόγησης παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τα λιθοσώματα των γκριζων συμπαγών βιομικρικών ασβεστόλιθων. Επίσης, υψηλότερες θερμοκρασίες από τα λιθοσώματα και τα κονιάματα αρμών παρουσιάζει η ζώνη πλίνθων που έχει τοποθετηθεί στο πάνω μέρος της τοιχοποιίας και διατρέχει το μεγαλύτερο τμήμα της πρόσοψης, καθώς και το σύνολο της δυτικής όψης του κωδωνοστασίου. Περιοχές αρμολόγησης, όπου έχει λάβει χώρα απώλεια

κονιάματος εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τους δομολίθους και κονιάματα αρμολόγησης (τουλάχιστον 3°C).

4.9.2 Θερμογραφήματα στην Βόρεια όψη

Με τη χρήση της τεχνικής της θερμογραφίας υπέρυθρου είναι εφικτή η ταυτοποίηση των δομολίθων γκρίζου βιομικρικού ασβεστόλιθου που φέρουν εγκλείσματα μαύρου πυριτόλιθου (μαύρο βέλος), όπως αυτός που επισημαίνεται στο θερμογράφημα και στην αντίστοιχη μακροσκοπική φωτογραφία. Οι δομολίθοι που φέρουν τα μαύρα εγκλείσματα παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους γκρίζους ασβεστόλιθους. Πιο συγκεκριμένα, οι εν λόγω δομολίθοι παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμοκρασία στην περιοχή του μαύρου εγκλείσματος τουλάχιστον κατά 0.5°C, σε σύγκριση με την γκριζα ασβεστιτική περιοχή.



Εικόνα 51: Εντοπισμός διαφοροποίησης υλικών δόμησης.

Επιπλέον, είναι σαφές ότι οι δομολίθοι του άνω περιπαραθυρώματος (κόκκινο βέλος) του συγκεκριμένου θερμογραφήματος ανήκουν σε άλλη κατηγορία από αυτή του γκρίζου βιομικρικού ασβεστόλιθου, η οποία και παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές του γκρίζου ασβεστόλιθου. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζει υψηλότερη θερμοκρασιακή τιμή κατά 1.5°C περίπου από τους γκρίζους ασβεστόλιθους της τοιχοποιίας και κατά 0.5°C από τους γκρίζους ασβεστόλιθους των άλλων περιπαραθυρωμάτων της βόρειας όψης.

Επιπλέον, παρατηρούνται 2 ζώνες λίθων (πάνω και κάτω από το οριζόντιο τμήμα της μεταλλικής αντιστήριξης), οι οποίες παρουσιάζουν υψηλότερη θερμοκρασία σε σχέση με τα αντίστοιχα τμήματα της τοιχοποιίας εκατέρωθεν της οριζόντιας μεταλλικής αντιστήριξης. Οι 2 αυτές ζώνες διατρέχουν όλη τη βόρεια όψη, εκτός από το τμήμα του πρόναου που βρίσκεται δυτικά του παραθύρου του.

Η πάνω ζώνη παρουσιάζει μέση θερμοκρασία από 10.5°C έως 11.5°C, ενώ η κάτω ζώνη κυμαίνεται από 10°C έως 10.8°C. Και οι δύο αυτές ζώνες είναι κατά 0.50C περίπου θερμότερες από τις περιοχές της τοιχοποιίας που τις περιβάλλουν.



Εικόνα 52: Ζώνες λίθων στη Βόρεια όψη.



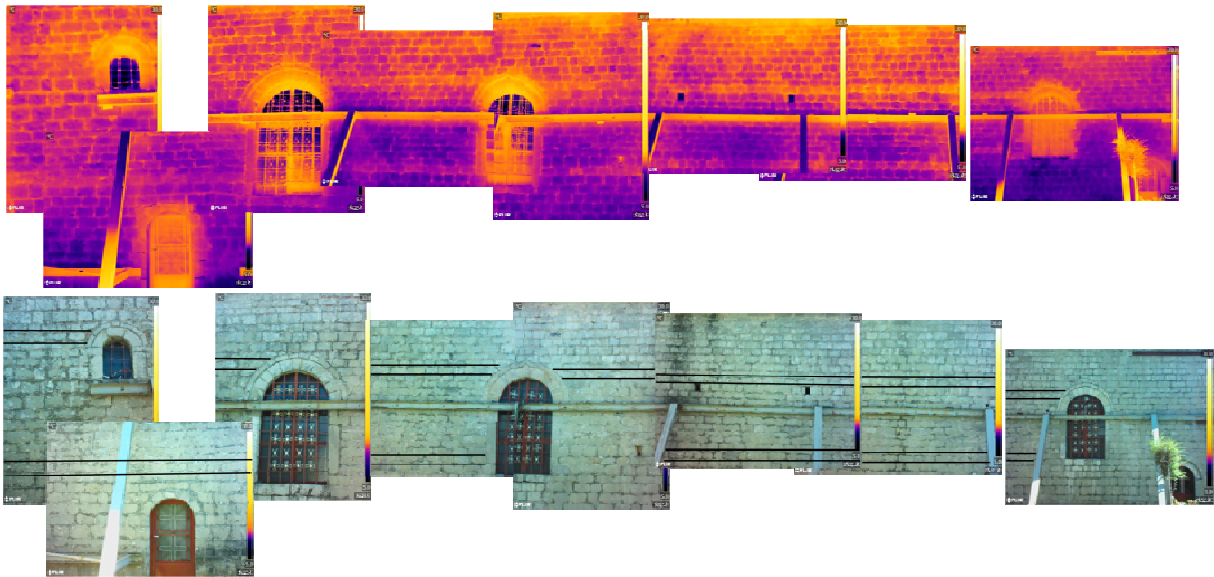
Εικόνα 53: Ζώνες λιθοσωμάτων στη Βόρεια όψη.



Εικόνα 54: Ζώνες λίθων στη Βόρεια όψη.

Η παρουσία των δύο αυτών ζωνών θα μπορούσε να αποδοθεί στην ύπαρξη οριζόντιων στοιχείων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας (π.χ. από ξύλο), στοιχείο που θα πρέπει να διερευνηθεί σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα αποτελέσματα του μη καταστροφικού ελέγχου. Το κονιάματα

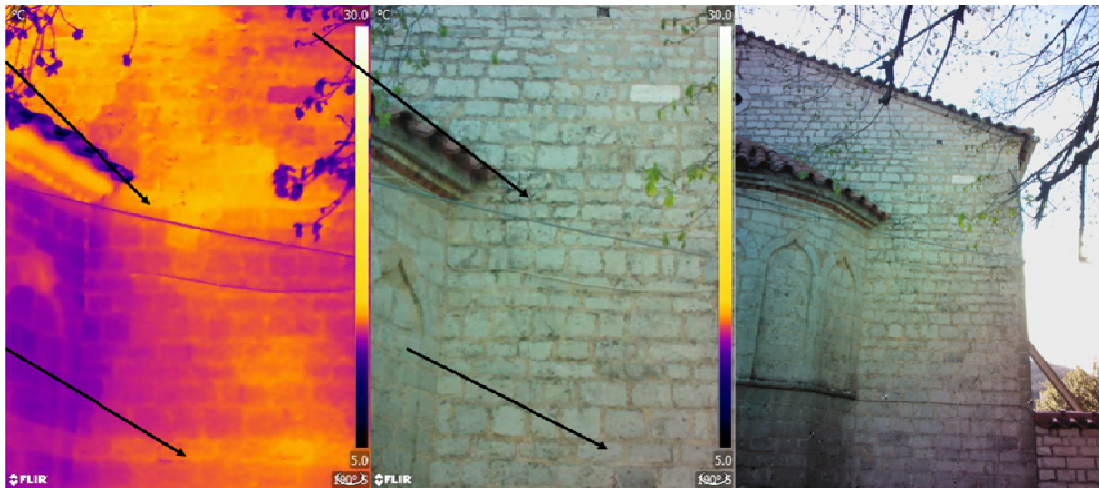
αρμολόγησης παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τα λιθωσώματα των γκρίζων συμπαγών βιομικρικών ασβεστόλιθων. Οι περιοχές, όπου έχει χρησιμοποιηθεί νεότερο κονίαμα αρμολόγησης, τσιμεντιτικής υφής για τη συμπλήρωση ρωγμών, παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες τόσο σε σύγκριση με τις περιοχές αρμών όπου φαίνεται να υπάρχει το ιστορικό κονίαμα, όσο και σε σύγκριση με τους δομόλιθους των γκρίζων ασβεστόλιθων (υψηλότερες θερμοκρασίες περίπου κατά 0.5°C και στις δύο περιπτώσεις).



Εικόνα 55: Συνολική παρουσίαση των θερμογραφήματων που ελήφθησαν στη βόρεια όψη του Καθολικού σε σχέση με μη εμφανή στοιχεία στη δομή της τοιχοποιίας

Γενικότερα αυτό το οποίο παρατηρείται στη βόρεια όψη είναι ότι οι περιοχές της τοιχοποιίας κάτω από τη μεταλλική οριζόντια αντιστήριξη παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερη θερμοκρασιακή ομοιογένεια (μικρότερο εύρος θερμοκρασιακής κατανομής) σε σύγκριση με τις περιοχές της τοιχοποιίας πάνω από την μεταλλική οριζόντια αντιστήριξη. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε παρουσία υγρασίας στα κατώτερα τμήματα της τοιχοποιίας σε συνδυασμό με τη μικρότερη έκθεση των τμημάτων αυτών στο ηλιακό φως. Παρόλα αυτά, ασφαλή συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν μόνο κατόπιν μετρήσεων περιεχόμενης υγρασίας σε δείγματα που θα ληφθούν μετά από συστηματική δειγματοληψία καθ' ύψος και κατά βάθος.

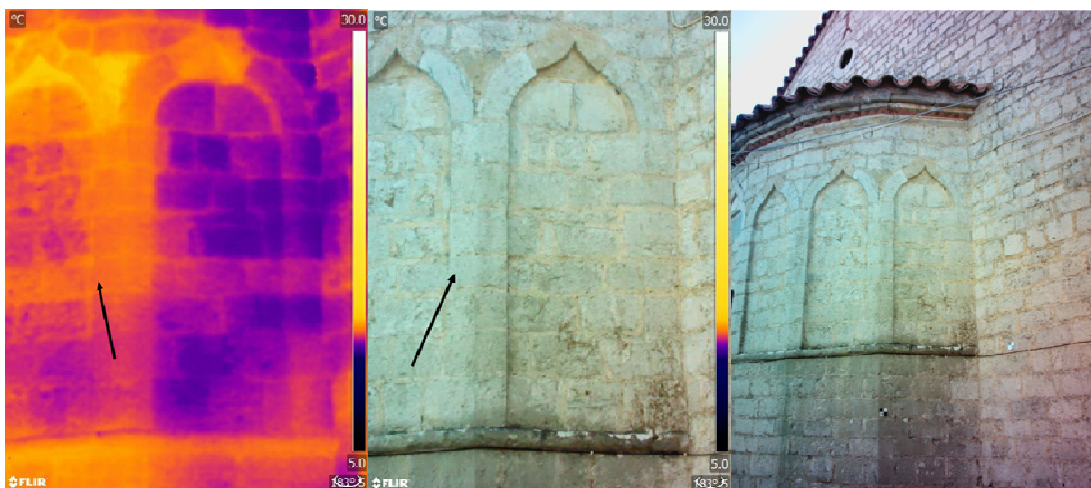
4.9.3 Θερμογραφήματα στην Ανατολική όψη



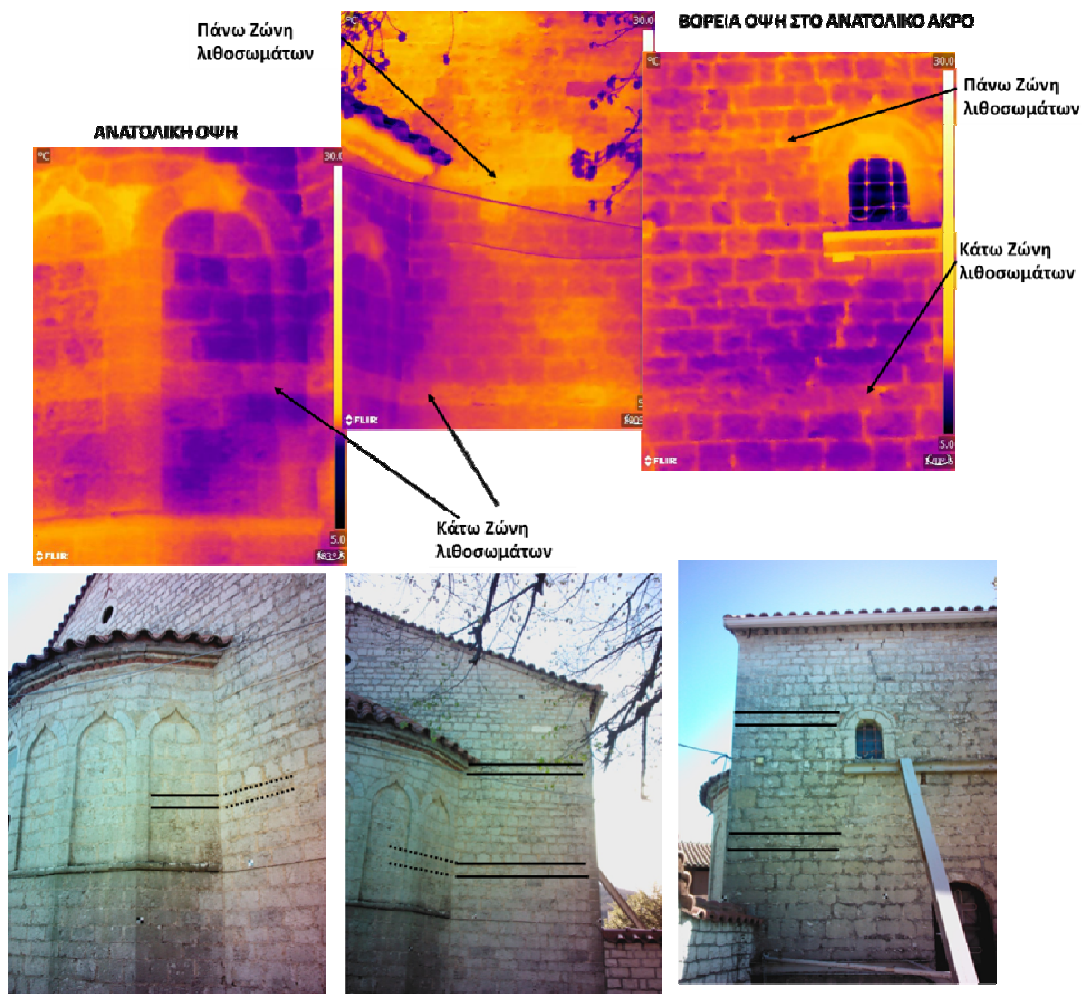
Εικόνα 56: Πάνω και κάτω Ζώνη λιθοσωμάτων στην Ανατολική όψη



Εικόνα 57: Κάτω Ζώνη (πάνω βέλος) και μια τρίτη Ζώνη (κάτω βέλος) λιθοσωμάτων στην Ανατολική όψη

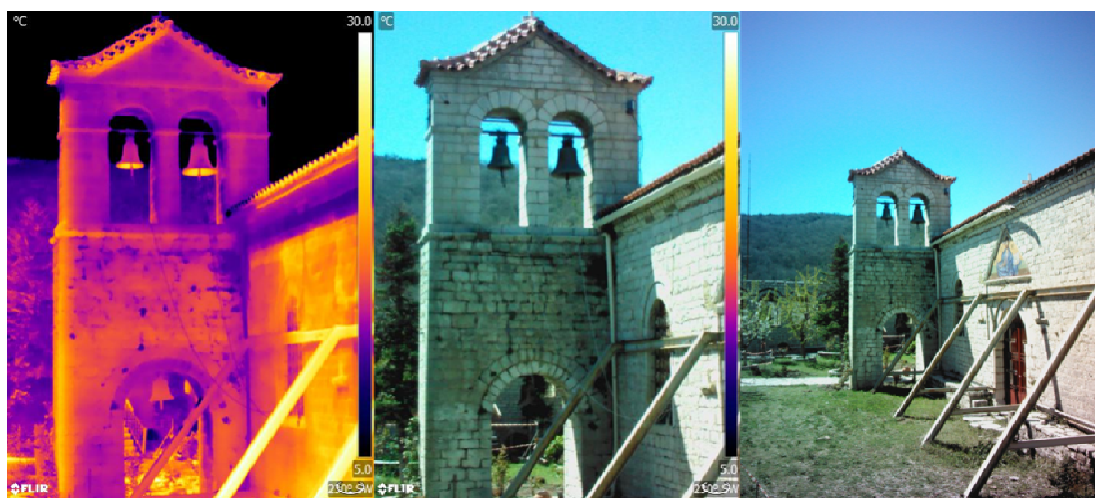


Εικόνα 58: Κάτω Ζώνη λιθοσωμάτων στην Ανατολική όψη

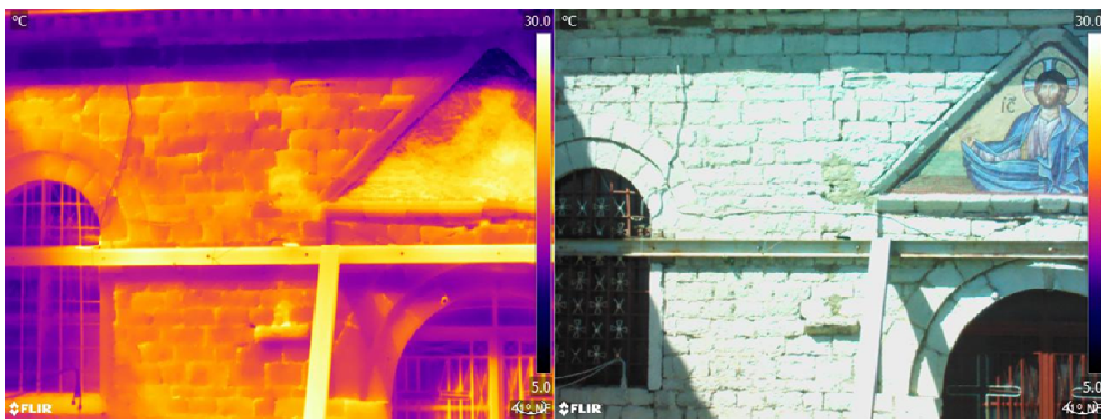


Εικόνα 59: Επισκόπηση Ανατολικής όψης θερμογραφημάτων υπερύθρου - συσχέτιση με τη Βόρεια όψη.

4.9.4 Θερμογραφήματα στη Νότια όψη



Εικόνα 60: Θερμογράφημα του κωδωνοστάσιου στην Νότια όψη



Εικόνα 61:Θερμογράφημα στην Νότια όψη



Εικόνα 62: Θερμογράφημα στην Νότια όψη. Κάτω ζώνη λιθοσωμάτων.

Όπως και στην βόρεια όψη, έτσι και στη νότια, παρατηρούνται 2 ζώνες λίθων (πάνω και κάτω από το οριζόντιο τμήμα της μεταλλικής αντιστήριξης), οι οποίες παρουσιάζουν θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα αντίστοιχα τμήματα της τοιχοποιίας εκατέρωθεν της οριζόντιας μεταλλικής αντιστήριξης. Οι 2 αυτές ζώνες διατρέχουν κεντρικό τμήμα της νότιας όψης, όπως αυτό ορίζεται ανατολικά της πλαϊνής εισόδου και δυτικά του φεγγίτη του ιερού.

Η κάτω ζώνη παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες κατά 1°C από την περιοχή της τοιχοποιίας που οριοθετείται από την οριζόντια μεταλλική αντιστήριξη και την εν λόγω ζώνη, ενώ σε σχέση με το χαμηλότερο από αυτήν καθ' ύψος τμήμα της τοιχοποιίας παρουσιάζει παρόμοιες ή και χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά 1°C περίπου.

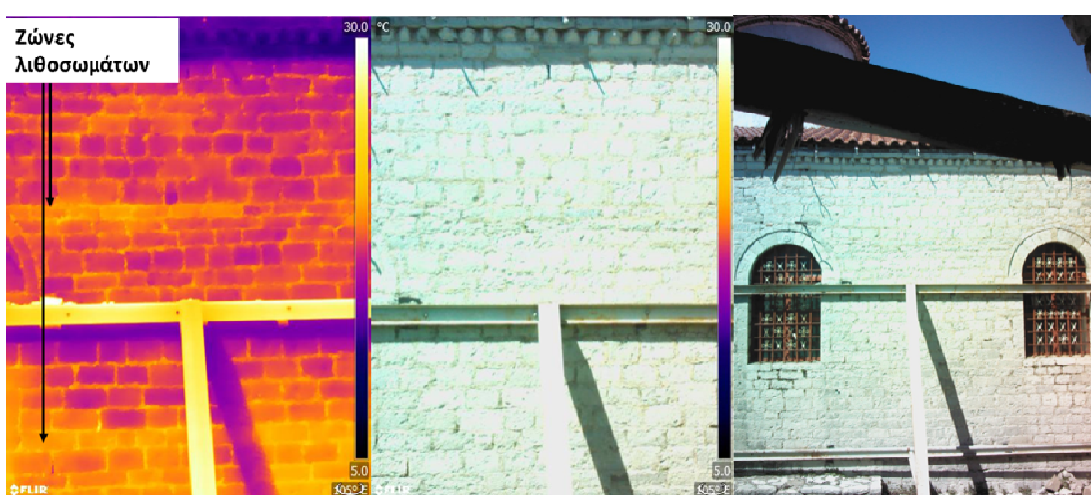


Εικόνα 63: Θερμογράφημα στην Νότια όψη. Κάτω ζώνη λιθοσωμάτων.

Η πάνω ζώνη παρουσιάζει μέσες θερμοκρασίες από 18.5°C έως 20.2°C, ενώ η κάτω ζώνη κυμαίνεται γύρω στους 20.5°C. Η πάνω ζώνη είναι κατά 1°C περίπου θερμότερη από τις περιοχές της τοιχοποιίας που την περιβάλλουν.



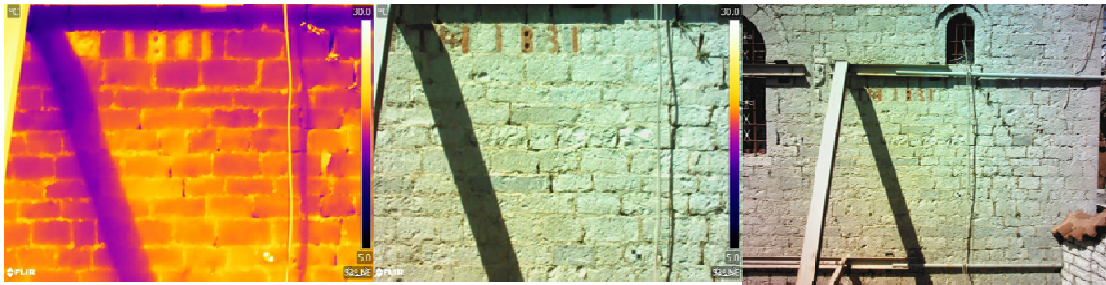
Εικόνα 64: Θερμογράφημα στην Νότια όψη. Πάνω ζώνη λιθοσωμάτων.



Εικόνα 65: Θερμογράφημα στην Νότια όψη. Ζώνες λιθοσωμάτων.

Γενικά, στη νότια όψη, το κάτω μέρος της τοιχοποιίας παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες, εξαιτίας της παρατεταμένης έκθεσής του στον ήλιο, πριν αλλά και κατά τη διάρκεια λήψης των θερμογραφημάτων.

Και σε αυτήν την περίπτωση, όπως στη βόρεια όψη, η παρουσία των δύο αυτών ζωνών θα μπορούσε να αποδοθεί στην ύπαρξη οριζόντιων στοιχείων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας (π.χ. από ξύλο), στοιχείο που θα πρέπει να διερευνηθεί σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα αποτελέσματα του μη καταστροφικού ελέγχου.



Εικόνα 66: Θερμογράφημα στην Νότια όψη.

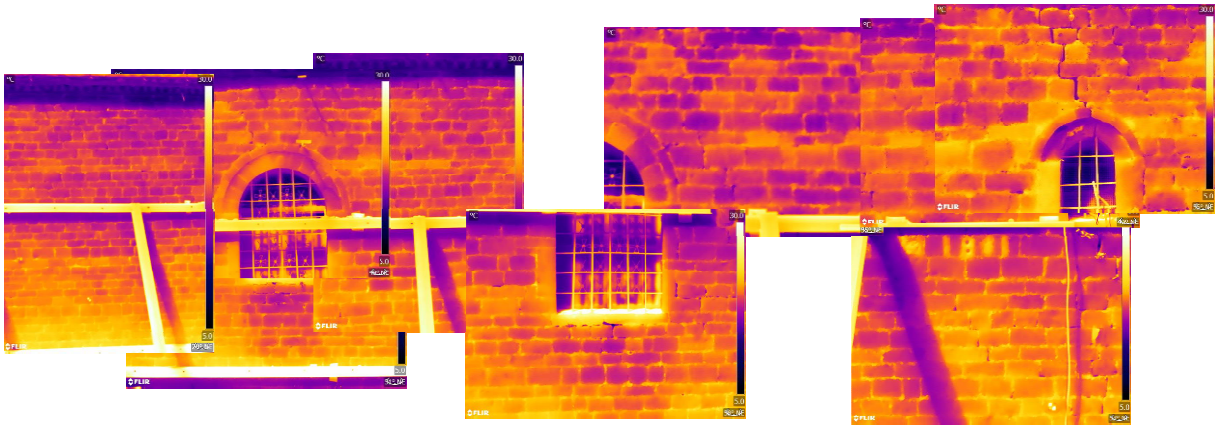
Οι πλίνθοι παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τους λίθους και τα κονιάματα αρμολόγησης τουλάχιστον κατά 1°C .



Εικόνα 67: Θερμογράφημα στην Νότια όψη.

Το κονιάματα αρμολόγησης παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τα λιθοσώματα των γκριζων συμπαγών βιομικρικών ασβεστόλιθων, καθιστώντας εμφανή την αρμολόγηση στις εικόνες της θερμογραφίας υπερύθρου.

Επιπλέον, περιοχές αρμολόγησης, όπου έχει λάβει χώρα απώλεια κονιάματος εμφανίζουν κατά πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από τους δομολίθους και κονιάματα αρμολόγησης (2°C με 3°C).



Εικόνα 68: Συνολική παρουσίαση των θερμογραφημάτων που ελήφθησαν στη νότια όψη του Καθολικού σε σχέση με μη εμφανή στοιχεία στη δομή της τοιχοποιίας.

Όπως έχει ήδη διαπιστωθεί από τη θερμογραφική εξέταση της βόρειας και της νότιας όψης, έτσι και στο βόρειο τμήμα της Ανατολικής όψης, παρατηρούνται ζώνες λίθων, οι οποίες παρουσιάζουν θερμοκρασιακές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα τμήματα της τοιχοποιίας που τα περιβάλλουν. Οι 2 πάνω ζώνες διατρέχουν την τοιχοποιία της Ανατολικής όψης σε αντίστοιχα ύψη με αυτά των δύο ζωνών («πάνω» και «κάτω») της βόρειας όψης. Επιπλέον, επισημαίνεται η παρουσία μιας τρίτης ζώνης σε χαμηλό ύψος της τοιχοποιίας, η οποία δεν απαντάται στις υπόλοιπες εξετασθείσες όψεις (στην περίπτωση που υπάρχει, πιθανά καλύπτεται από την κάτω οριζόντια δοκό της μεταλλικής αντιστήριξης).

Οι δύο αυτές ζώνες («πάνω ζώνη» και «κάτω ζώνη») παρουσιάζουν μέση θερμοκρασία γύρω στους 13.4°C και είναι κατά 0.5°C περίπου θερμότερες από τις περιοχές της τοιχοποιίας που τις περιβάλλουν. Η «κάτω ζώνη» συνεχίζει να είναι ορατή και στο βόρειο τμήμα του ιερού. Παρουσιάζει μέση θερμοκρασία 12.5°C , υψηλότερη κατά 0.5°C από τα υπόλοιπα τμήματα των φατνωμάτων. Τέλος, η τρίτη και χαμηλότερη ζώνη παρουσιάζει μέση θερμοκρασία 13.2°C , η οποία είναι υψηλότερη κατά 0.4°C από τις γειτνιαζουσες περιοχές.

Γενικά συμπεράσματα θερμογραφμάτων υπερύθρου

Συνολικά, τα αποτελέσματα της θερμογραφίας υπερύθρου υποδεικνύουν την παρουσία περιίδεσης (πιθανότατα ξύλινης, αν ληφθεί υπόψη η οικοδομική των κελιών, όπου υπάρχουν ξύλινα στοιχεία στις ιστορικές του τοιχοποιίες), η οποία διατρέχει συγκεκριμένες περιοχές στο εσωτερικό της τοιχοποιίας του Καθολικού και η οποία δεν φαίνεται να υφίσταται στις τοιχοποιίες του εξωάρθηκα που εξετάστηκαν (νότια και δυτική όψη), εκτός από το ανατολικό τμήμα του στη βόρεια όψη. Στη βόρεια όψη είναι σαφής η παρουσία δύο οριζόντιων ζωνών εκατέρωθεν του οριζόντιου τμήματος της μεταλλικής αντιστήριξης. Η παρουσία περιίδεσης στη βόρεια όψη του καθολικού επιβεβαιώνεται σε ότι αφορά στην χαρακτηριστική «κάτω ζώνη» των θερμογραφμάτων και από

τις κατακόρυφες σαρώσεις του γεωραντάρ σε αυτήν την όψη. Στη νότια όψη οι δύο αυτές ζώνες διατρέχουν το «κεντρικό» τμήμα του καθολικού, όπως αυτό ορίζεται ανατολικά της πλαϊνής εισόδου και δυτικά του φεγγίτη του ιερού. Τέλος, στο βόρειο τμήμα της Ανατολικής όψης είναι εμφανής, βάσει των αποτελεσμάτων της θερμογραφίας υπερύθρου, η συνέχιση των δύο αυτών ζωνών σε αντίστοιχα ύψη με αυτά της βόρειας όψης, ενώ διακρίνεται και τρίτη ζώνη σε χαμηλότερο ύψος.

4.10 Μελέτη κατάστασης διατήρησης του μαρμαροθετημένου δαπέδου

4.10.1 Το μαρμαροθετημένο δάπεδο

4.10.1.1 Γενικά

Όπως γίνεται και σε άλλα πολυτελή μεσοβυζαντινά μνημεία του ελλαδικού χώρου (Όσιος Λουκάς, Σαμαρίνα κ.τ.λ.), έτσι και στο Καθολικό της Μονής Βαρνάκοβας έχουμε μαρμαροθετήματα κυρίως τύπου *opus sectile*, με εξαίρεση δύο σχεδίων *opus alexandrinum*¹¹. Η ιδιαιτερότητα τους όμως είναι ότι στα δάπεδα της Μονής Βαρνάκοβας βρίσκονται και παραστάσεις ζώων που σχηματίζονται με μεμονωμένα ψηφοθετήματα (Μπούρας Χ. Θ., 1994)¹². Μια άλλη ιδιαιτερότητα του δαπέδου είναι ότι (όπως έχει προαναφερθεί), κάποιοι από τους Κομνηνούς όσο και από τους Παλαιολόγους έχουν ταφεί κάτω από το δάπεδο αυτό.

Η καταστροφή του ναού ύστερα από έκρηξη στο εσωτερικό του ναού, δε θα μπορούσε να μην έχει αφήσει τα σημάδια του στο περίτεχνο δάπεδο του. Από την πρώτη στιγμή που κάποιος αντικρίζει το δάπεδο αντιλαμβάνεται τη προσπάθεια αναδιάρθρωσης και ανακατασκευής του. Οι επεμβάσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν αφορούν κυρίως σε συμπληρώσεις με ορθογώνιες λίθινες πλάκες (κόκκινη περιοχή εικόνα 69β), μικρότερες σε σχέση με τα μεγέθη που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά τη κατασκευή του δαπέδου, με αδρή και έντονα ανάγλυφη επιφάνεια (κυρίως στη ανατολική πλευρά του κυρίως ναού και το ιερό). Οι πλάκες αυτές αφορούν κυρίως σε δύο είδη λίθου: α) συμπαγή ασβεστιτικού στο χρώμα σκουρόχρωμης ώχρας, β) ερυθρωπό λίθου πιθανότατα αφορά σε ερυθρωπό πηλίτη ή πέτρα Θυμιανών Χίου (πλάκες τοποθετημένες κυρίως στο νότιο τμήμα του ιερού). Εκτός των δύο τύπων λίθων που ανεφέρθηκαν υπάρχουν και άλλοι τύποι με ισχνή παρουσία όπως σκούρος τεφρός, γκριζός πρασινωπός κ.α.. Τέλος, σημειωτέα είναι η τοποθέτηση σε νεότερη επέμβαση (από τη τοποθέτηση των προαναφερθέντων πλακών) ακανόνιστων, μικρών σε μέγεθος πλακών σχιστολίθου τοποθετημένες με μεγάλο αρμό από τσιμεντοκονίαμα, που αποτελεί ατυχή επέμβαση, ιδιαίτερα «ευτελή» σε σχέση με τη αισθητική του δαπέδου.

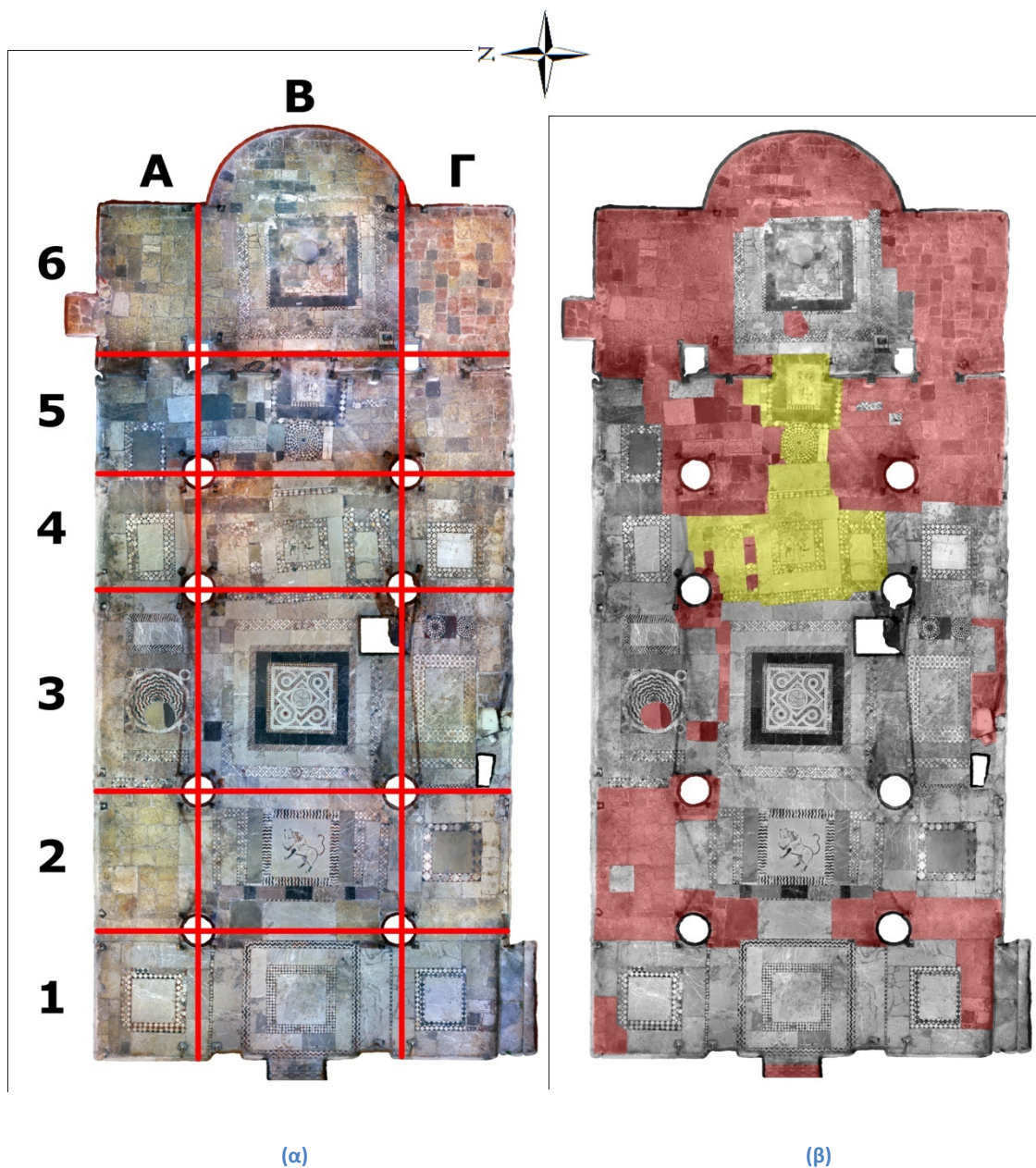
Σημαντική είναι η παρατήρηση πως ένα τμήμα της σύνθεσης του δαπέδου, που βρίσκεται στο κέντρο του ναού και συγκεκριμένα στο τμήμα 4B, δεν ακολουθεί τη στοίχιση παρουσιάζοντας αταξία στο γενικότερο σχέδιο του δαπέδου (κίτρινη περιοχή εικόνα 69β). Το τμήμα αυτό παρουσιάζεται ελαφρώς περιστραμένο κατά τον άξονα Υ, και πιθανότατα αποτελεί νεότερη επέμβαση επανατοποθέτησης ή ανάταξης τμήματος του δαπέδου.

¹¹Το *opus alexandrinum* αναφέρεται και ως *Cosmatesque* ή *Cosmati* και αποτελεί μαρμαροθέτημα που διακρίνεται από τα περίπλοκα γεωμετρικά σχήματα, γεμάτα με μεγάλους δίσκους λίθων ή και ημιπολίτιμων λίθων. Χρησιμοποιείται ευρέως στο Βυζάντιο τον 9ο αι. μ.Χ.

¹²Ο Μπούρας Χ. (1994) επίσης αναφέρει ότι ανάλογα δάπεδα συναντάμε και στη Μονή Σαγμάτα.

Σχεδιαστικά το δάπεδο χωρίζεται κατά πλάτος σε τρεις ζώνες (μια για κάθε κλίτος), και κατά μήκος σε έξι ζώνες (εικόνα 69α): μια του εσωνάρθηκα, τέσσερις του κυρίως ναού, και μια του ιερού. Στο κεντρικό και δυτικό τμήμα του ναού, κυρίως στις ζώνες 1 και 2, οι συνθέσεις σώζονται σχεδόν ακέραιες (τμήματα: Α1, Β1, Γ1, Α2, Β2, Γ3, Γ4) ενώ πιο ανατολικά (του κέντρου) στις ζώνες 3, 4, 5, σώζεται συνήθως το μεγαλύτερο μέρος των συνθέσεων και το υπόλοιπο έχει συμπληρωθεί με λίθινες πλάκες ή έχει ανασυντεθεί με το ίδιο ή διαφορετικό μοτίβο (τμήματα: Γ2, Α3, Β3, Α4, Β4, Α4, Β4). Τέλος, κυρίως στο ανατολικό τμήμα του ναού στις ζώνες 5 και 6 αλλά και στο δυτικό μέρος του ναού στη ζώνη 2, το δάπεδο κατά μεγάλο ποσοστό είναι στρωμένο από λίθινες πλάκες (τμήματα: Α2, μέρος του Γ2, μέρος του Α5, Β5, Γ5, Α6, Β6, Γ6), και αποτελεί την πρώτη φάση του ναού σύμφωνα με τα ιστορικά στοιχεία (αρχιτεκτονική περιγραφή).

Το αρχικό σχέδιο του μαρμαροθετημένου δαπέδου, βάσει των σωζόμενων τμημάτων του, αφορά σε γεωμετρικό κατά κύριο λόγο μοτίβο χωρισμένο κατά τμήματα όπως ορίζουν οι ζώνες της εικόνας 69α. Στα τμήματα αυτά υπάρχουν εγγεγραμμένα σχέδια ορθογωνικά ή κυκλικά που περιβάλλονται από ορθογωνικά σχήματα πλακών που στο κέντρο τους έχουν μια μεγάλη ορθογώνια λίθινη πλάκα. Στα πιο σύνθετα σχέδια, επί των κεντρικών μοτίβων της ζώνης Β της (εικόνας 69α), με εξαιρούμενο το τμήμα Β1, οι ορθογώνιες πλάκες παρουσιάζουν ενσωματωμένα επίθετα μαρμαροθετημένα σχέδια, τα οποία έχουν ενσωματωθεί στις απολαξυμένες εσοχές, με γεωμετρικά και ζωικά θέματα. Στα ορθογωνικά εγγεγραμμένα σχέδια υπάρχει μια ή περισσότερες μαρμαροθετημένες (διακοσμητικές) ταινίες εναλλασσόμενες με μαρμαροθετημένες ζώνες από γεωμετρικά μοτίβα.



Εικόνα 69: α) Οι ζώνες σχεδίασης του δαπέδου, β) Μεταγενέστερες επεμβάσεις: Με κόκκινο, οι συμπληρώσεις με λίθινες πλάκες. Με κίτρινο, η περιοχή τμήματος δαπέδου που έχει επανατοποθετηθεί σε διαφορετικό άξονα σε σχέση με τη γεωμετρία του δαπέδου.

Το λιθόστρωτο δάπεδο αφορά σε *opus sectile*, που είναι κατασκευασμένο κατά κύριο λόγο από γκρίζο συμπαγή ασβεστόλιθο (λίθος Vc1, παρ. 4.2), υπό μορφή μεγάλων ορθογωνίων πλακών και που απαντάται στην ευρύτερη περιοχή. Επίσης, άλλες ορθογώνιες πλάκες που έχουν χρησιμοποιηθεί ως «κορνίζες» σε μαρμαροθετημένα σχέδια, αφορούν σε σκούρο τεφρό ασβεστόλιθο και ερυθρωπό πηλίτη (πέτρα Θυμιανών Χίου). Στα μικρότερα σχέδια όπου απαιτούνται μικρότερα τεμάχια λίθων, συναντάμε κυρίως: λευκό μάρμαρο, πράσινο της Χασάμπαλης Θεσσαλίας (*verde antico*), κροκεάτη λίθο - πράσινο της Σπάρτης (*lapis lacadaemonius*), ερυθρωπό πηλίτη (πέτρα Θυμιανών Χίου), κιτρινωπό ασβεστόλιθο, σκούρο τεφρό ασβεστόλιθο και πράσινο χαλαζίτη. Τα μακροσκοπικά πετρογραφικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στη υποπαράγραφο 4.10.5.. Πέραν των λίθων που αναφέρθηκαν, έχουν τοποθετηθεί πλήθος από

άλλους λίθους σε διαφορετικές αποχρώσεις που δεν ακολουθούν την χρωματική σειρά των σχεδίων των μαρμαροθετημάτων και μάλιστα σε πολλές περιπτώσεις έχουν διαφορετικό μέγεθος. Αυτές οι περιπτώσεις των λίθων θεωρούνται κυρίως νεότερες επεμβάσεις συμπλήρωσης.

Ως προς τα σύνθετα διακοσμητικά σχέδια που βρίσκονται στη ζώνη του κεντρικού κλίτους του κυρίως ναού και στο κέντρο του ιερού, έχουμε δύο ιδιαίτερες κατηγορίες που απεικονίζουν τέσσερις παραστάσεις ζώων:



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα 70: Οι τέσσερις παραστάσεις ζώων: α) Λέοντας, β) Γρύπας, γ) Αετός πάνω σε λαγό και δ) Γρύπας.

Οι τρεις από αυτές, που απεικονίζουν λέοντα, γρύπα και αετό πάνω σε λαγό, σχηματίζονται με μεμονωμένα ψηφοθετήματα σε απολαξευμένες εσοχές σε ενιαία λίθινη πλάκα (εικόνα 70α, 70β, 70γ). Η τέταρτη, γρύπας, αποτελεί μαρμαροθετημένο και ψηφοθετημένο σχέδιο σε μορφή μεταλλείου, ενσωματωμένο σε μαρμαθετημένη διακοσμητική ταινία (εικόνα 70δ).

Όλες οι θεματολογίες των παραστάσεων που απεικονίζονται, αφορούν σε θέματα που απαντώνται σε λαξευμένα θωράκια από αρχιτεκτονικά μέλη της εποχής. Οι απεικονίσεις τόσο του γρύπα όσο και του αετού που κρατάει με τα νύχια του λαγό, απαντώνται συχνά. Σπανιότερο θέμα

αποτελεί η μορφή λέοντα, το οποίο σύμφωνα με τον Ορλάνδο (1935) αφορά σε γνωστό βυζαντινό πρότυπο, που όμοιας απόδοσης ανάγλυφο σε θωράκιο¹³ βρίσκεται στο κάστρο της Άρτας (εικόνα 71α).



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Εικόνα71: Ανάλογα θέματα με τις παραστάσεις των ζώων σε θωράκια: α) Μαρμάρινο θωράκιο με παράσταση λέοντα από το κάστρο της Άρτας (Ορλάνδος Α. Κ., 1935) , β) Μαρμάρινο θωράκιο με παράσταση γρύπα 11ου-12ου αι μ.Χ. που βρίσκεται στο δημαρχείο Χαλκίδας (Κουνουπιώτου-Μανωλέσσου, 2008), γ)Μαρμάρινο θωράκιο με παράσταση αετού με ανοιχτά φτερά που κρατάει με τα νύχια του λαγό, 11ου αι. μ.Χ. από το ενετικό φρούριο της Χαλκίδας (Κουνουπιώτου-Μανωλέσσου, 2008), και δ) Μαρμάρινο θωράκιο τέμπλου με παράσταση γρύπα, 13ου αι μ.Χ. πιθανότατα από την Αγία Θεοδώρα ή την Παναγία την Παρηγορήτισσα Άρτας (Λοΐζος, 2010-2011)

Παρατηρούνται δύο παρόμοια *opus alexandrinum*, ένα στο κεντρικό τμήμα στο μέσο του κυρίως ναού (τμήμα Β3) που σώζεται σε πολύ καλή κατάσταση και ένα στο κέντρο του ιερού (τμήμα Β6). Στο *opus alexandrinum* που βρίσκεται στο κέντρο του ναού, σώζεται μέρος της λίθινης πλάκας,

¹³ το θωράκιο αυτό βρίσκεται πάνω από τη θύρα της μπαρουταποθήκης του κάστρου της Άρτας.

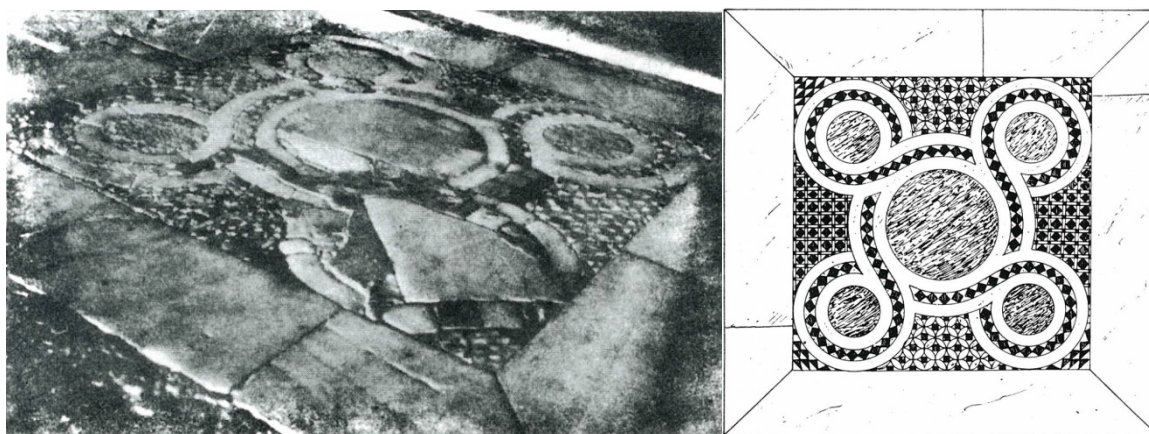
με εμφανή την λαξευμένη επιφάνεια του σχεδίου, ενώ τα μαρμαθετήμενα λίθινα στοιχεία του εσωτερικού μοτίβου, έχουν απολεστεί κατά μεγάλο μέρος.



(α)

(β)

Εικόνα 72: Τα δύο *opus alexandrinum*: (α) Στο κεντρικό τμήμα στο μέσο του κυρίως ναού και (β) στο κέντρο του ιερού.



(α)

(β)

Εικόνα 73: Ανάλογο μαρμαροθέτημα *opus alexandrinum* από το καθολικό της μονής Οσίου Μελετίου: (α) Σωζόμενη κατάσταση (1938), (β) Σχεδιαστική αναπαράσταση. (Ορλάνδος & Α., 1938).

Σημειώνεται ότι, στο *opus alexandrinum* του κυρίως ναού (εικόνα 72α) στο κεντρικό κυκλικό τμήμα έχει τοποθετηθεί λίθος σε μορφή δίσκου. Συγκεκριμένα πρόκειται για εγχάρακτο και μικροαπολαξευμένο με σχέδιο λίθο, ορθογωνικού σχεδίου και λαξευμένο ετσι ώστε να χωράει στο κέντρο, ώστε να αποτελέσει ομφάλιο)¹⁴. Η σύνθεση αφορά σε γεωμετρικό και φυτικό μοτίβο (ρόδακας) που απαντάται κυρίως σε θωράκια, και αποτελείται από γκρίζο ασβεστόλιθο, που έχει χρησιμοποιηθεί στο μεγαλύτερο μέρος του δαπέδου. Επομένως, πιθανά αποτελεί σχέδιο ορθογωνικού σχήματος του δαπέδου, σε δεύτερη χρήση, στη θέση απολεσμένου διακοσμημένου σχεδίου με μαρμαροθετήματα και μικρές ψηφίδες. Τέλος, η ύπαρξη προγενέστερου σχεδίου

¹⁴ το ομφάλιο αποτελεί όρο που χρησιμοποιείται για την περίπτωση λίθινου κυκλικού δίσκου που βρίσκεται στο κέντρο της σύνθεσης ως ομφαλός.

μαρμαροθετήματος στη δυτική πλευρά του ομφαλίου (εικόνα 82, κάτω μέρος), είναι εμφανής. Σημειώνεται επίσης η ύπαρξη ψηφίδων που περιβάλλουν το ομφάλιο.



(α)

(β)

(γ)

Εικόνα 74: Το εγχάρακτο και μικροαπολαξευμένο ομφάλιο του opusalexandrinum α) Γενική άποψη, β) Η σχεδίαση αποτύπωσης του σχεδίου με ψηφιακή επεξεργασία εικόνας, γ) Το σχέδιο όπως αποτυπώθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο opus alexandrinum που βρίσκεται στο κέντρο του ιερού (εικόνα 72β), σημειωτέα είναι η τοποθέτηση του κυλινδρικού λίθινου δόμου (βάση) της Ιερής Τράπεζας, δυτικότερα από το κεντρικό κυκλικό σημείο (θέση του κεντρικού ομφαλίου), με αποτέλεσμα να εγείρει ερωτηματικά ως προς τη λογική εξήγηση αυτής της επέμβασης¹⁵.

4.10.1.2 Κατάσταση διατήρησης

Εκ πρώτης όψεως, το μαρμαροθετημένο δάπεδο στο μεγαλύτερο μέρος του ναού, βρίσκεται σε σχετικά καλή κατάσταση. Παρουσιάζεται πλήρως συμπληρωμένο επιφανειακά, με αρκετές από τις συνθέσεις που απεικονίζονται, να σώζονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους, δίνοντας την εικόνα ενός πολύ καλά διατηρημένου δαπέδου, γεγονός σπάνιο για ένα ναό που έχει υποστεί ολική καταστροφή. Σημαντικοί λόγοι της καλής του διατήρησης κατασκευαστικά, είναι (ι) η χρήση ορθογώνιων λίθινων πλακών μεγάλου πάχους, (ιι) η πολύ καλή έδραση του πάνω σε συμπαγές κονίαμα, (ιιι) η έλλειψη ιδιαίτερων μεταβολών στην επιφάνεια του (δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες καθιζήσεις) και (ιiv) η συνεχόμενη αποκατάσταση των φθορών του δαπέδου κατά τη πολύπαθη ζωή του. Στο μέσο της νότιας πλευράς του κυρίως ναού, το πάχος των λίθων που εδράζονται στο δάπεδο καθώς και το πάχος του υποστρώματος αυτών, είναι ευδιάκριτα, στη θέση που βρίσκεται μία λίθινη πλάκα που λειτουργεί ως καταπακτή, δίνοντας πρόσβαση στην υπόσκαφη κιστέρνα του Ναού.

¹⁵Πιθανόν να υπάρχει παλαιότερο κατασκευαστικό στοιχείο που να εμπόδιζε την τοποθέτηση του κυλινδρικού δόμου στη παλιά θέση της Ιερής Τράπεζας.

Γενικά, οι λίθινες πλάκες καθώς και τα μαρμαροθετήματα παρουσιάζουν κατά περίπτωση διαφορετική κατάσταση διατήρησης που παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Ρωγμές

Σε πολλές λίθινες πλάκες του δαπέδου παρατηρείται πληθώρα ρωγμών, από τριχοειδείς (κατά κύριο λόγο) μέχρι και ακόμα μεγαλύτερες σε πλάτος που φτάνει το 1 cm. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι πλάκες έχουν κατακερματιστεί, γεγονός που πιθανά οφείλεται στην πτώση της στέγης ή λοιπών δομικών λίθων κατά τη καταστροφή του ναού.

Η επιφάνεια των γκρίζων ασβεστόλιθων, υπό μορφή μεγάλων ορθογώνιων πλακών που απαρτίζουν το μεγαλύτερο μέρος του δαπέδου, περιέχει μεγάλο αριθμό διακλάσεων τριχοειδούς εύρους, πληρωμένες με δευτερογενή ασβεσίτη. Παρατηρείται επίσης στη δομή του υλικού, μεγάλη παρουσία στυλολίθων. Η παρουσία των στυλολίθων σε μεγάλο βαθμό και σπανιότερα των διακλάσεων, σε συνάρτηση με την επιδεκτικότητα του γκρί ασβεστόλιθου στη φθορά και τη συνέργια μηχανικών τάσεων, μπορεί να ευθύνονται ως ένα βαθμό στη δημιουργία ανάγλυφης επιφάνειας και τηρηγμάτωση των πλακών. Κατά την εισχώρηση υγρασίας και την επίδραση άλλων φθοροποιών παραγόντων στους στυλόλιθους, παρατηρείται σταδιακή αποσάθρωση και προκαλείται διεύρυνση των καναλιών και μετατροπή αυτών σε ρωγματώσεις. Παρόμοια με την περίπτωση των στυλόλιθων, είναι και η περίπτωση των διακλάσεων, εφόσον αποσαθρωθεί ο δευτερογενής ασβεσίτης, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κανάλια που μετατρέπονται στη συνέχεια σε διευρυμένες ρωγμές. Στην εικόνα 85 παρατηρείται ο σχηματισμός του αναγλύφου και των ρωγμών επί του γκρί ασβεστόλιθου.



Εικόνα 75: Περιπτώσεις λίθων που το ανάγλυφο και οι ρωγμές πολλές φορές ταυτίζονται με παρουσία στυλόλιθων.

Εξαίρεση στη γενική καλή κατάσταση διατήρησης του δαπέδου αφορά το εναπομείναν τμήμα του αρχικού δαπέδου που βρίσκεται στο ιερό. Εν αντιθέσει με την συμπαγή δομή, την καλή

έδραση και την εμφανώς καλύτερα διατηρημένη όψη (αυθεντική ή μετά από νεότερη επέμβαση) του κυρίως ναού, στο ιερό σώζεται σε κακή κατάσταση το τμήμα της κεντρικής σύνθεσης, *opus alexandrinum*. Σε αντίθεση με τον υπόλοιπο ναό, δεν έχει γίνει καμία προσπάθεια σημαντικής αποκατάστασης του σωζόμενου τμήματος, πλην της περιμετρικής τοποθέτησης πλακών και μιας κακής νεότερης επέμβασης με τοποθέτηση τσιμεντοκονιάματος και ακανόνιστων πλακών σχιστόλιθου με μεγάλο αρμό. Από την περαιτέρω παρατήρηση του εν λόγω τμήματος και όσον αφορά στη παθολογία του, στο μεγαλύτερο τμήμα του εμφανίζονται λευκές επιφανειακές επικαθίσεις με βάσει τον ασβέστη που πιθανότατα να αφορούν και ασβεστιτικές. Επιπρόσθετα, ένα μεγάλο τμήμα της επιφάνειας κυρίως γύρω από τις τσιμεντιτικές συμπληρώσεις, σκέτου κονιάματος ή πλακόστρωτου από σχιστόλιθο με αρμό, έχουν τσιμεντιτικές επικαθίσεις από την απρόσεκτη εφαρμογή τους, που έχει επεκταθεί σε γειτνιάζοντα τμήματα κυρίως κάτω από την Ιερή Τράπεζα. Όλα τα παραπάνω εξηγούνται μέσω της διαπίστωσης ότι υπήρχε χτιστό βάθρο που κάλυπτε την όλο το σωζόμενο τμήμα περιμετρικά της Ιερής Τράπεζας (μπορεί και σε όλο το ιερό), που έφτανε μέχρι και την Ωραία Πύλη δημιουργώντας ημικυκλικό αναβαθμό εμπρός της (στο μέρος του κυρίως ναού). Σε αναζήτηση παλαιότερων φωτογραφιών (εικόνες 78, 79) επιβεβαιώνεται ο ισχυρισμός, καθώς παρατηρείται μαρμάρινος αναβαθμός που συνεχίζεται στο ιερό, αλλά δεν είναι διακριτή η έκταση του στο ιερό. Παρατηρείται η τοποθετημένη στον αναβαθμό λίθινη πλάκα με μαρμαροθετημένο ανάγλυφο, με θέμα τον αετό και το λαγό, που αποσπάστηκε για να τοποθετηθεί στο βάθρο και σήμερα είναι επανατοποθετημένο στην αρχική του θέση. Συνεπώς αυτό το χτιστό βάθρο αποξηλώθηκε, αλλά το αυθεντικό δάπεδο με την σύνθεση του *opus alexandrinum* αφέθηκε χωρίς περαιτέρω συντήρηση και αποκατάσταση.



Εικόνες 76, 77: Παλαιότερες φωτογραφίες όπου παρατηρείται η ύπαρξη μαρμάρινου αναβαθμού και μάλιστα με τοποθετημένη πάνω τη μαρμαροθετημένη πλάκα με την απεικόνιση του αετού με τον λαγό που βρίσκεται σήμερα στρωμένη στο δάπεδο.

Άλλη μία περίπτωση με εμφανή την επιφανειακή εναπόθεση αλάτων, κρουστών, και οξειδίων του σιδήρου είναι στις δύο ζώνες, μπροστά από το Βόρειο και Νότιο τοίχο που διατρέχουν κατά μήκος τον κυρίως ναό και έχουν πλάτους περίπου 80cm. Οι συγκεκριμένες ζώνες θεωρείται πως αποτελούν την επιφάνεια έδρασης στασιδίων στο παρελθόν που τις κάλυπταν στο περαλθόν (πλέον έχουν απομακρυνθεί). Στο καλυμμένο τμήμα δαπέδου από τα στασίδια (στο παρελθόν), το μικροκλίμα έχει ευνοήσει το σχηματισμό των επικαθίσεων σε μορφή κρούστας μικρού πάχους, μέσω ανακρυστάλλωσεων ανθρακικού ασβεστίου με ταυτόχρονη έγκλιση αιωρούμενων σωματιδίων και, που ίσως συνδυάζονται με βιολογικές επικαθήσεις. Η κάλυψη από τα στασίδια έχει κατά μια έννοια προστατεύσει τις επιφάνειες αυτές από τη άμεση επαφή με τη μηχανική καταπόνηση που προκαλείται μέσω τριβής από τον ανθρώπινο παράγοντα.

Εν κατακλείδι, από την παρατήρηση του συνόλου του δαπέδου παρατηρούμε κάποιες διακριτές φάσεις επεμβάσεων: α) Το δάπεδο στον κυρίως ναό έχει στο σύνολό του αποκατασταθεί με την προσθήκη διάφορων πλακών και μαρμαροθετημάτων τα οποία τις περισσότερες φορές δεν ακολουθούν την χρωματική διαβάθμιση αλλά έχουν το σωστό μέγεθος και σχήμα ώστε να συμπληρώνουν αισθητικά τις συνθέσεις, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις είναι εντελώς ετερόκλητα λίθινα στοιχεία σε διάφορα μεγέθη σχήματα και μοτίβο. β) υπάρχει μια μεγάλη συμπλήρωση με πλάκες που έχουν συμπληρώσει μεγάλη έκταση επιφάνειας, όπου δε σώζεται το αυθεντικό δάπεδο, γ) είχε δημιουργηθεί βάθρο που εκτινόταν γύρω από τη Ιερή Τράπεζα μέχρι την Ωραία Πύλη (μπορεί και σε όλο το ιερό), δ) έχουν γίνει νεότερες επεμβάσεις αποξήλωσης του βάρου και εξυγίανση του δαπέδου μαζί με τη επανατοποθέτηση της λίθινης μαρμαροθετημένης πλάκας, ε) έχει ανοιχτεί καταπακτή της κιστέρνας που βρίσκεται στη Νότια πλευρά του κυρίως ναού μέσω της απόσπασης λίθινης πλάκας, στ) έχουν γίνει νεότερες επεμβάσεις συμπλήρωσης κενών με τσιμεντοκονίαμα (με σκούρο τσιμέντο) ή με την τοποθέτηση ακανόνιστων πλακών σχιστόλιθου με μεγάλους αρμούς τσιμεντοκονιάματος, κυρίως στο ιερό.

4.10.2 Φωτογραμμετρική Αποτύπωση του Δαπέδου του Καθολικού της Ιεράς Μονής Βαρνάκοβας

4.10.2.1 Εφαρμογή

4.10.2.1.1 Διαδικασία λήψης φωτογραφιών

Κατά τη διαδικασία φωτογραφικών λήψεων για την αποτύπωση του δαπέδου του Ιερού Ναού, χρησιμοποιήθηκε η φωτογραφική μηχανή SONY ILCE-7, με χαρακτηριστικά που δίνονται στον παρακάτω πίνακα, ενώ χρησιμοποιήθηκε φακός με ζουμ 16-50 mm.

Αισθητήρας	πλήρους καρέ CMOS 35 mm(35,8 x 23,9 mm)
Ανάλυση	24.3 MP
Μέγιστη Ανάλυση Εικόνας	6000 x 3376 pixels
Ευαισθησία ISO	50 έως 25600

Για τον φωτισμό του δαπέδου χρησιμοποιήθηκαν δύο προβολείς HQI 400W, λόγω του ιδιαίτερα σκοτεινού περιβάλλοντος, μιας και δεν υπήρχαν μεγάλα ανοίγματα που να επιτρέπουν το φωτισμό σε όλο το εύρος του δαπέδου και επίσης δεν ήταν ομοιόμορφος. Οι λήψεις έγιναν κυρίως από απόσταση 1,50-2,00 m από το δάπεδο και σε ορισμένες περιπτώσεις από μεγαλύτερο ύψος, με τη χρήση σκάλας. Στο σύνολο για την αποτύπωση έχει γίνει η λήψη 1081 φωτογραφιών, αποθηκευμένες σε δύο διαφορετικά format αρχείων: jpg και raw. Οι φωτογραφίες έχουν ληφθεί με ανάλυση 3936 x 2624 pixels στα 350 dpi και ο συνολικός όγκος δεδομένων ήταν ≈3MB ανά φωτογραφία.

4.10.2.1.2 Επιλογή και Επεξεργασία Φωτογραφιών

Κατά τον έλεγχο των φωτογραφιών, διαπιστώθηκε ότι ένας μεγάλος αριθμός από αυτές ήταν ακατάλληλες για χρήση, καθώς παρουσίαζαν πολύ θόρυβο, κάποιες ήταν υποφωτισμένες και κάποιες άλλες υπερφωτισμένες. Έγινε η επιλογή των φωτογραφιών που είχαν τη μεγαλύτερη ευκρίνεια καθώς και αυτών που να αποτυπώνουν ολόκληρο το αντικείμενο προς εξέταση (δηλ. το δάπεδο). Από το σύνολο των φωτογραφιών, επιλέχθηκε περίπου το 60%. Στη συνέχεια, ακολούθησε η ψηφιακή επεξεργασία τους μέσω του λογισμικού Photoshop CS6 Version 13 64bit με σκοπό τη χρωματική και τη τονική διόρθωση. Η ψηφιακή επεξεργασία κρίθηκε αναγκαία, λόγω της

έντονης τονικής και χρωματικής αντίθεσης των φωτογραφιών μεταξύ τους, που οδηγούσε σε ανομοιογένεια της υφής (texture) του μοντέλου.

4.10.2.1.3 Υλοποίηση με χρήση λογισμικού «πολυεικονικής μεθόδου δημιουργίας τρισδιάστατου μοντέλου»

Η επεξεργασία έγινε με τη χρήση του Agisoft Photoscan Professional 14.3 Build 6488 (64bit), Copyright © 2018 Agisoft LLC. Αποτελεί ένα high end λογισμικό πολυεικονικής μεθόδου παραγωγής τρισδιάστατου μοντέλου. Ο τελικός στόχος είναι να δημιουργηθεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο του δαπέδου με υφή καθώς και η παραγωγή της ορθοφωτογραφίας του δαπέδου για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Η επεξεργασία των φωτογραφιών και η κατασκευή του τρισδιάστατου μοντέλου περιλαμβάνει τέσσερα κύρια στάδια, που επιμερίζονται ως:

α) Εισαγωγή των επιλεγμένων φωτογραφιών στο πρόγραμμα (επιλογή Add Photos).

- Δημιουργία μασκών (masks) για την αφαίρεση αντικειμένων, εμποδίων και σκιών, δηλαδή, περιοχές των φωτογραφιών που περιείχαν «λάθος χρωματική πληροφορία» (οριοθέτηση περιοχής στην εικόνα και επιλογή Add Selection).
- Το πρώτο στάδιο είναι η ευθυγράμμιση κάμερας. Σε αυτό το στάδιο η PhotoScan αναζητά κοινά σημεία στις φωτογραφίες και τα ταιριάζει, καθώς επίσης βρίσκει τη θέση της κάμερας για κάθε φωτογραφία και βελτιώνει τις παραμέτρους βαθμονόμησης της κάμερας. Ως αποτέλεσμα σχηματίζεται ένα ισχυρό νέφος σημείων (χαμηλής πληροφορίας) και ένα σύνολο θέσεων κάμερας (επιλογή Align Photos).
 - *Points 1,519,430 of 1,664,599*
 - *Alignment time 54 minutes 30 seconds*

β) Η δημιουργία πυκνού νέφους σημείων βάσει των εκτιμώμενων θέσεων των εικόνων της κάμερας (Build Dense Cloud).

- *Points 125,497,477*
- *Quality High*
- *Depth filtering Aggressive*
- *Depth maps generation time 2 days 1 hours*
- *Dense cloud generation time 3 days 4 hours*

γ) Παραγωγή μοντέλου τρισδιάστατου πλέγματος (επιλογή Build Mesh)

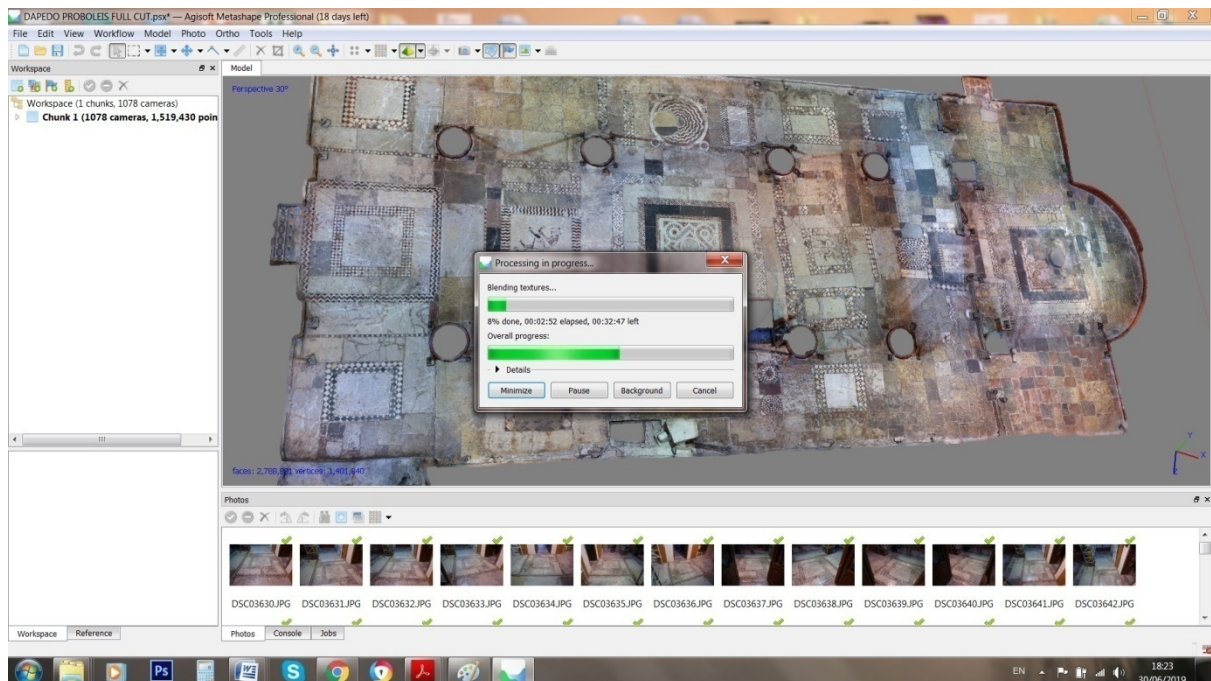
- *Faces 2,788,831*
- *Vertices 1,401,840*

δ) Παραγωγή υφής (texture) μέσω εικόνας (επιλογή Build Texture)

- *Texture size* 25,000 x 25,000
- *Blending time* 5 hours 52 minutes

Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία της ορθοφωτογραφίας του δαπέδου, με γεωαναφορά του νέφους χρησιμοποιώντας τις συντεταγμένες των φωτοσταθερών που μετρήθηκαν κατά τις προηγούμενες εργασίες τοπογραφικής αποτύπωσης¹⁶. Τα βήματα ορίζονται ως:

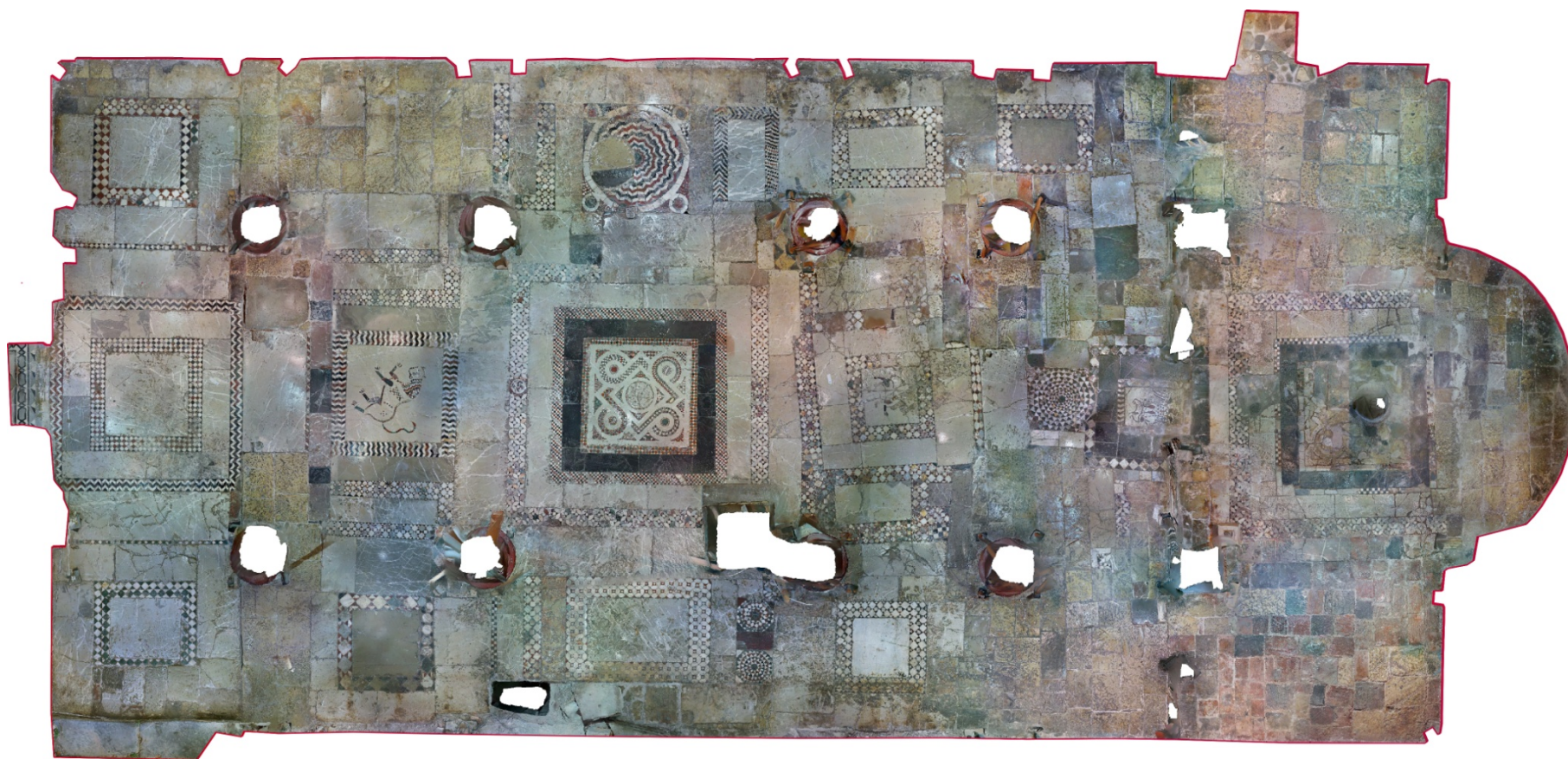
- Παραγωγή ορθοφωτογραφίας (Build Orthomosaic)
- Εξαγωγή ορθοφωτογραφίας σε μορφή TIFF(.tif). (Export-> Orthomosaic-> Export JPG/TIFF/PNG)
 - *size* 423 MB



Εικόνα 78: Το περιβάλλον εργασίας κατά τη διαδικασία δημιουργίας υφής (texture) στο λογισμικό Agisoft Photoscan Professional.

Παρακάτω, παρουσιάζεται το τελικό αποτέλεσμα (ορθοφωτογραφία) που παράχθηκε μέσω της πολυεικονικής μεθόδου.

¹⁶ Πληροφορίες που προέκυψαν από γεωμετρική τεκμηρίωση μέσω γεωδαιτικού σταθμού, από την κα. Ελισάβετ Τσιλιμαντού υπ. Διδάκτωρα ΕΜΠ.

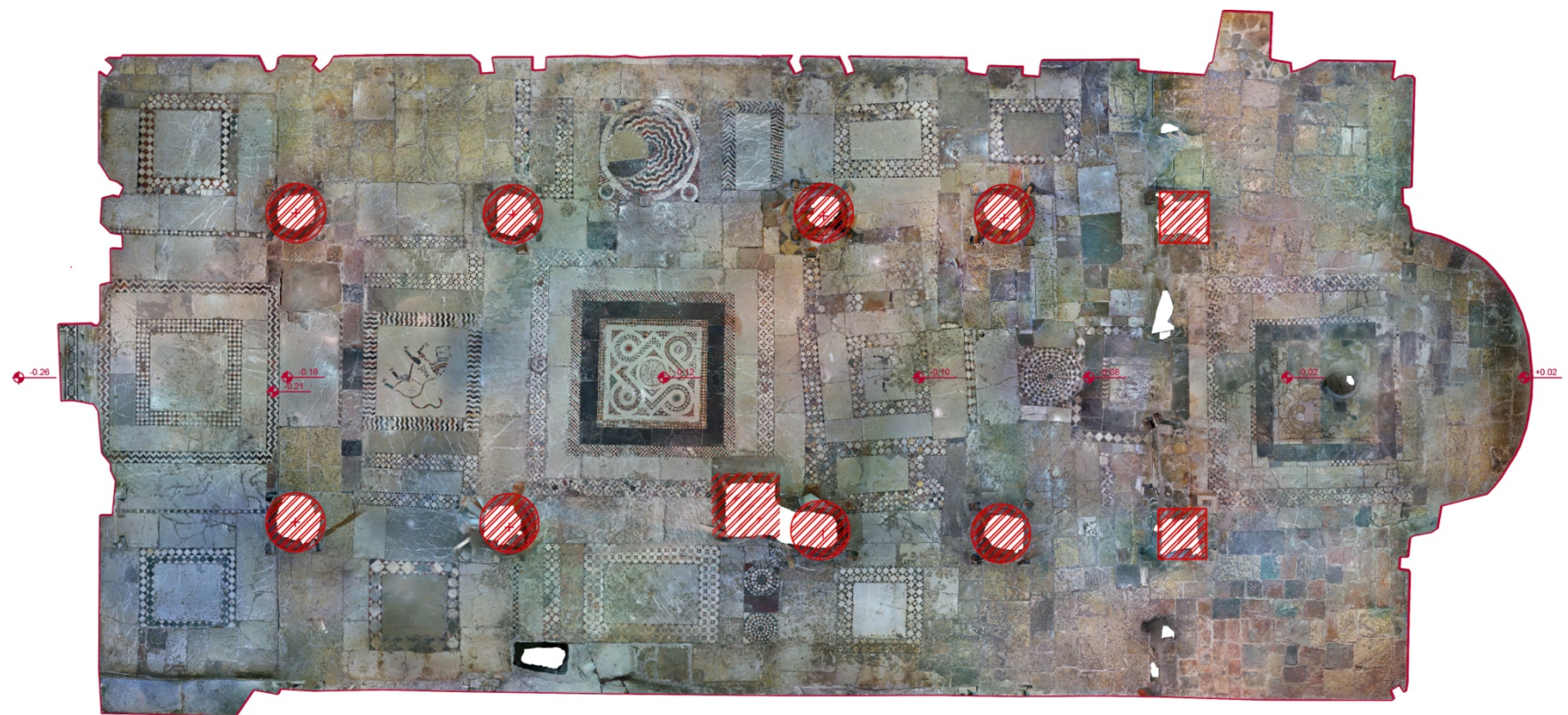


ΚΑΤΟΨΗ ΣΤΑΘΜΗΣ +0.50μ.

0.00 0.50 1.00 2.00 5.00μ.

1 : 50

Εικόνα 79: Το τελικό αποτέλεσμα (ορθοφωτογραφία), που παράχθηκε μέσω της πολυεικονικής μεθόδου.



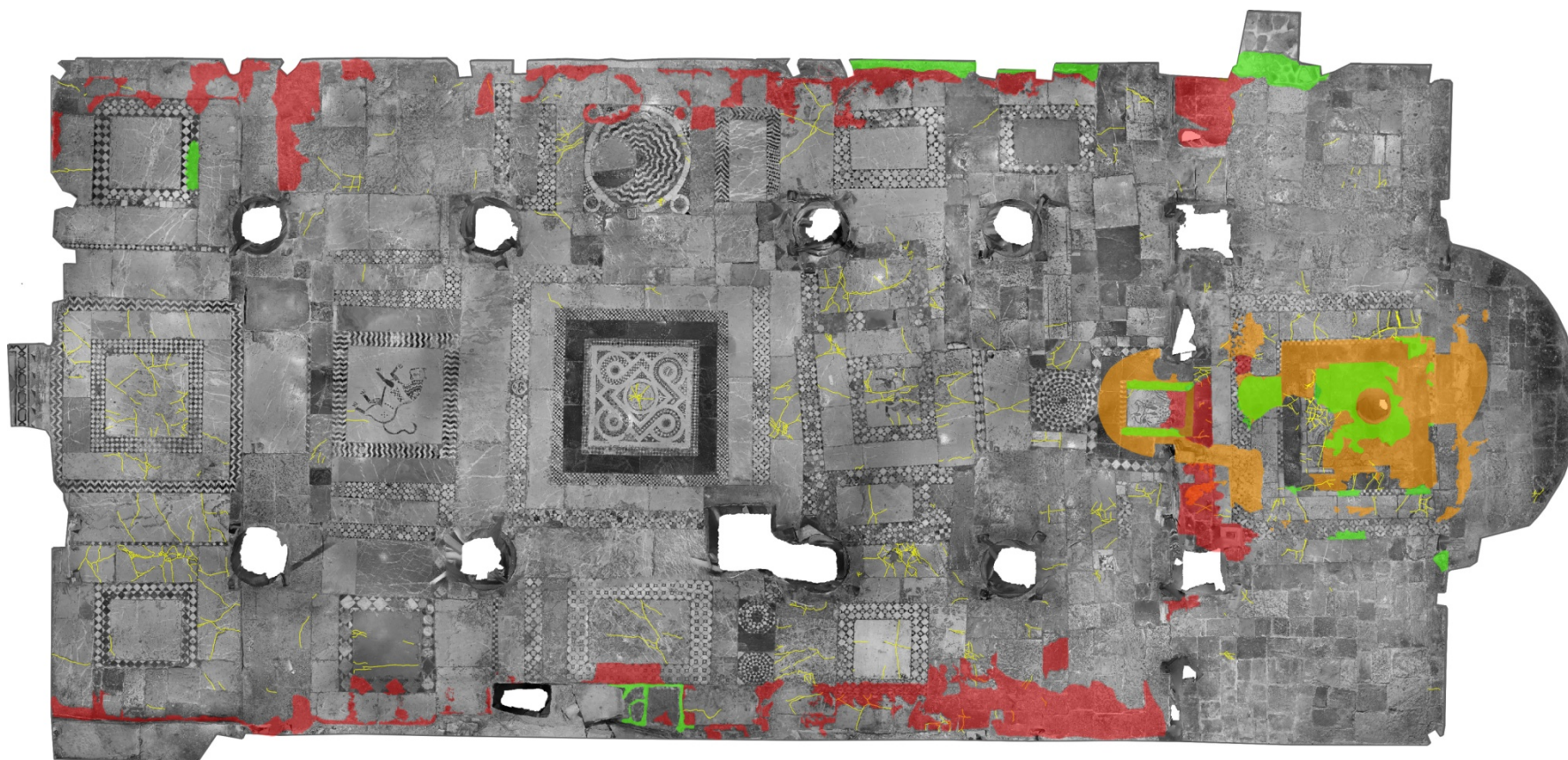
ΚΑΤΟΨΗ ΣΤΑΘΜΗΣ +0.50μ.

0.00 0.50 1.00 2.00 5.00μ.

1 : 50

Εικόνα 80: Το τελικό αποτέλεσμα (ορθοφωτογραφία), που παράχθηκε μέσω της πολυεικονικής μεθόδου, όπου ορίζονται τα σημεία τομής των δομικών υλικών, καθώς και τα υψομετρικές στάθμες.

4.10.3 Χαρτογράφηση φθορών με χρήση Συστήματος Ψηφιακής Σχεδίασης CAD



0.00 0.50 1.00 2.00 5.00μ.

ΚΑΤΟΨΗ ΣΤΑΘΜΗΣ +0.50μ.

1 : 50

Υπόμνημα Παθολογίας

Ρωγμές

Συμπληρώσεις από νεότερες επεμβάσεις

Επικαθίσεις από νεότερες επεμβάσεις

Επιφανειακές Κρούστες



4.10.4 Θερμογραφία Υπερύθρου

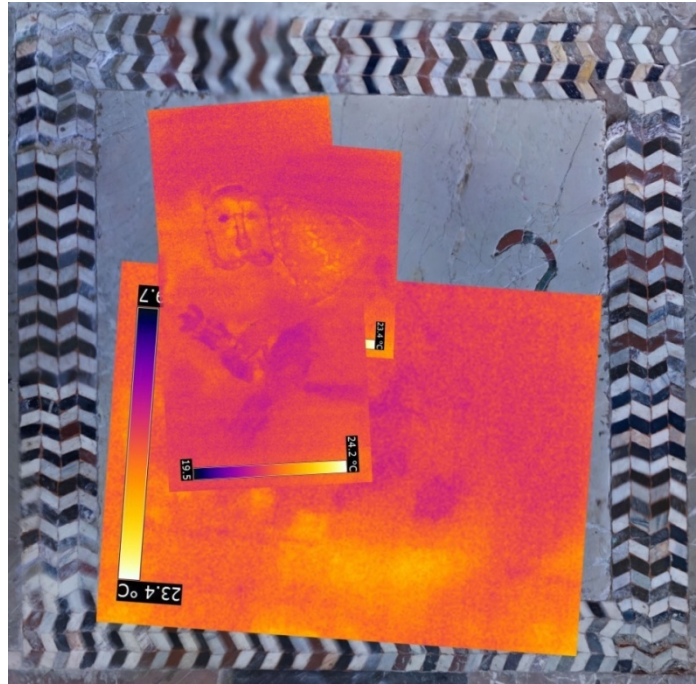
Έγινε χρήση της μη καταστρεπτική τεχνικής της υπέρυθρης θερμογραφίας, για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης του μαρμαροθετημένου δαπέδου του καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας. Πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της υπέρυθρης θερμογραφίας σε αντιπροσωπευτικές περιοχές των διακοσμητικών συνθέσεων, τόσο σε ολόκληρη την περιοχή κάθε σύνθεσης, όσο και σε επιλεγμένες θέσεις ενδιαφέροντος. Η εφαρμογή είχε ως στόχο να αποκαλύψει τυχόν θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις των διαφόρων λίθινων στοιχείων που απαρτίζουν το δάπεδο, καθώς επίσης και πιθανές περιοχές που έχουν υποστεί φθορά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση ασυνεχειών – ελατωμάτων σε ένα υλικό (Αβδελίδης, 2002).

Τα θερμογραφήματα λήφθηκαν από τις κεντρικές συνθέσεις, αυτές του λέοντα, του *opus alexandrinum* του κυρίως ναού, του γρύπα στο τμήμα μπροστά από την Ωραία Πύλη (τμήμα Β5) και του αετού με τον λαγό. Κάνοντας χρήση της παθητικής προσέγγισης, δεν κατέστη εφικτό να γίνει εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, σχετικά με την κατάσταση διατήρησης των διακοσμητικών συνθέσεων. Ωστόσο, από τη παρατήρηση των θερμογραφημάτων διαπιστώθηκαν τα εξής:

- Οι περιοχές των μαρμαροθετημάτων που παρουσιάζουν απώλειες «ψηφίδων» ή επιφανειακές χαράξεις ή «ψηφίδες» σε κακή κατάσταση διατήρησης, ή τραχεία επιφάνεια αποδίδεται πιο ψυχρές.
- Οι θερμοκρασιακές διαφορές μπορούν να είναι ακόμα και της τάξης του 1° C γεγονός που υποδεικνύει θερμική ανισοτροπία σε πολύ μικρής έκτασης περιοχές.

Παρακάτω, παρουσιάζονται φωτογραφίες και θερμογραφήματα των μαρμαροθετημένων συνθέσεων, συγκεντρωμένα επί της σύνθεσως με συνοπτική περιγραφή και έπειτα παρατείνονται μεμονομένες λήψεις για κάθε σύνθεση.

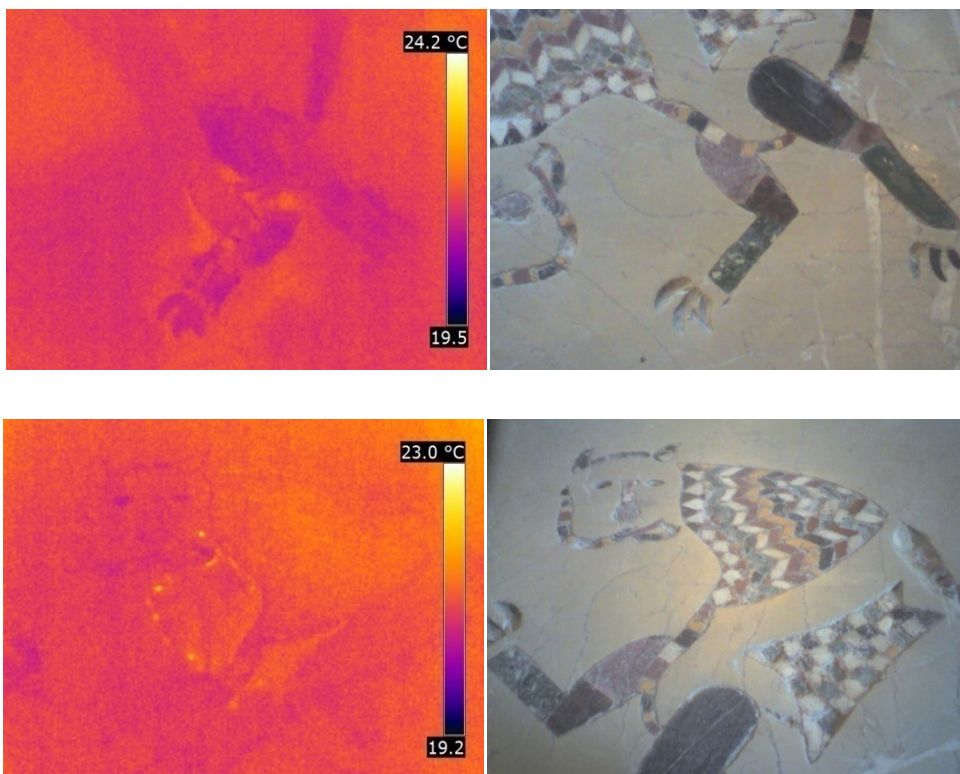
4.10.4.1.1 Θερμογραφήματα στη σύνθεση του λέοντα

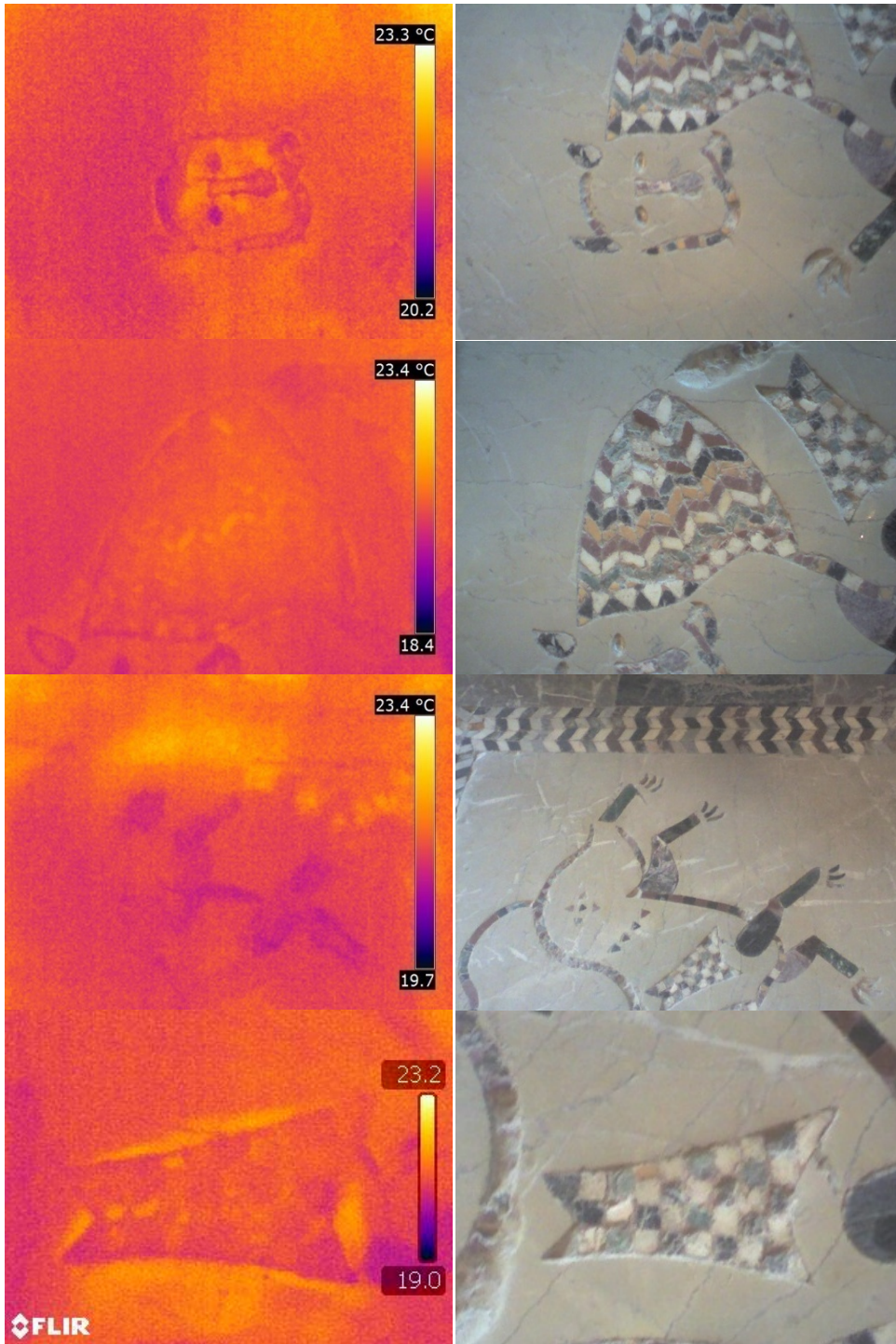


Εικόνα 81: Προβολή των θερμογραφήματων πάνω σε εικόνα της σύνθεσης του λέοντα.

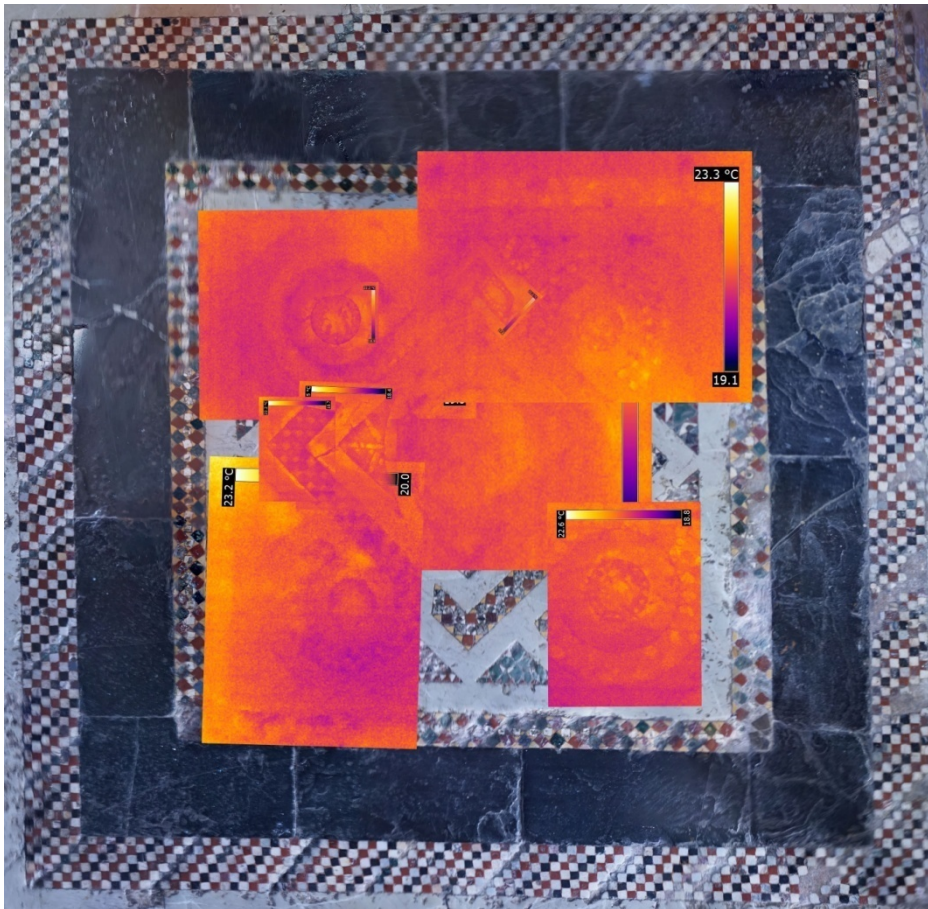
Στη σύνθεση του λέοντα παρατηρούνται με πιο ψυχρές θερμοκρασίες σε τμήματα με απώλειες «ψηφίδων» όπως τα μάτια και τα νύχια των ποδιών, όπως επίσης και για τα «ψηφίδες» με τραχεία επιφάνεια.

Πίνακας 27: Θερμογραφήματα από τη σύνθεση του λέοντα.





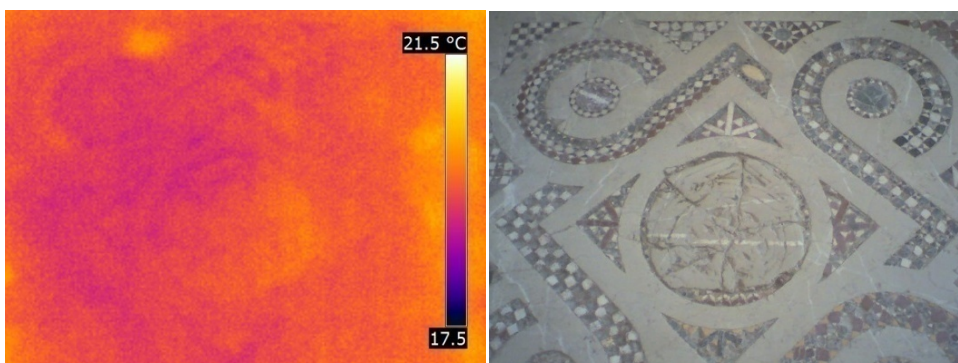
4.10.4.1.2 Θερμογραφήματα στη σύνθεση του *opus alexandrinum*

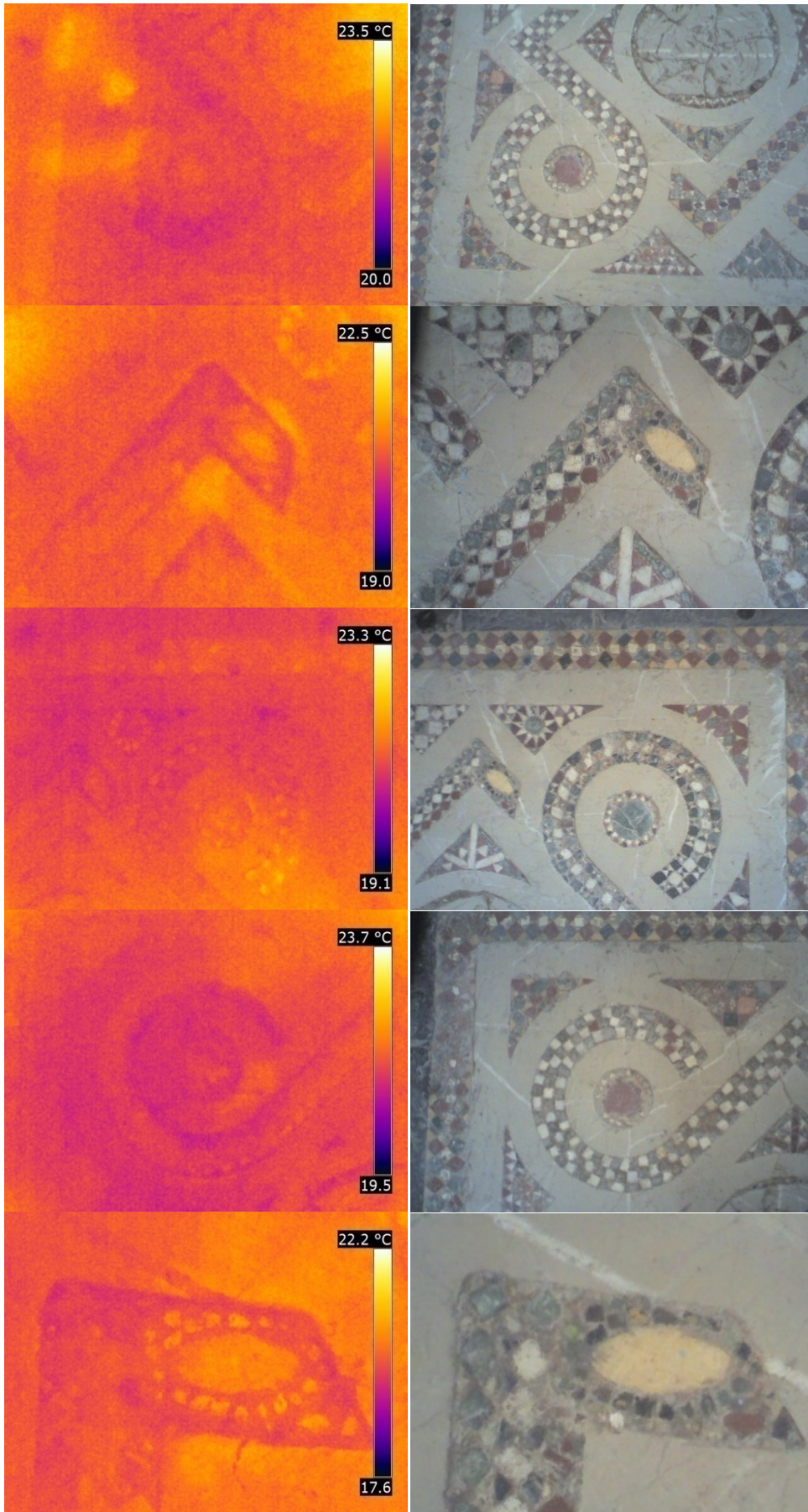


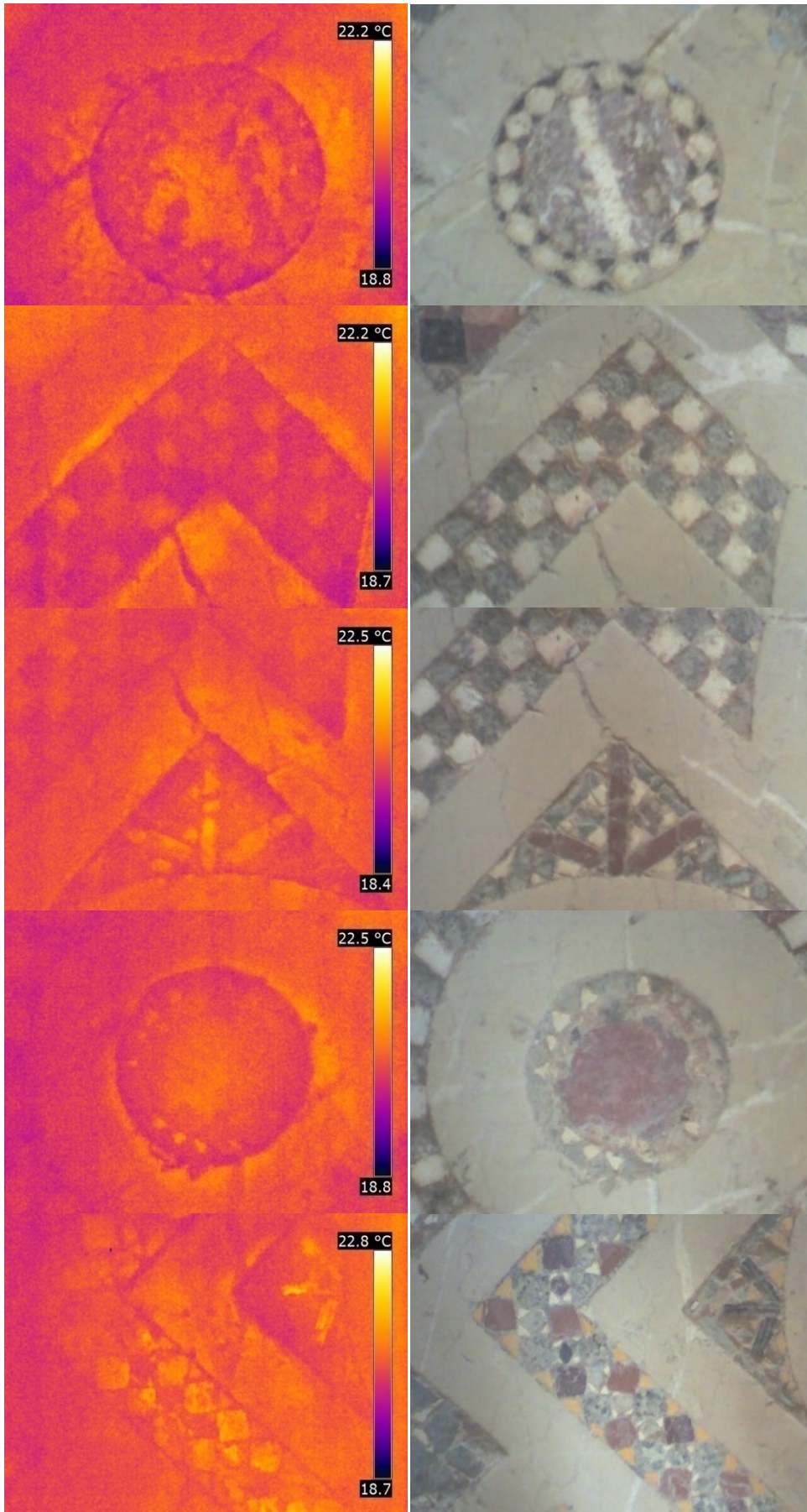
Εικόνα 82: Προβολή των θερμογραφημάτων πάνω σε εικόνα της σύνθεσης του *opus alexandrinum*.

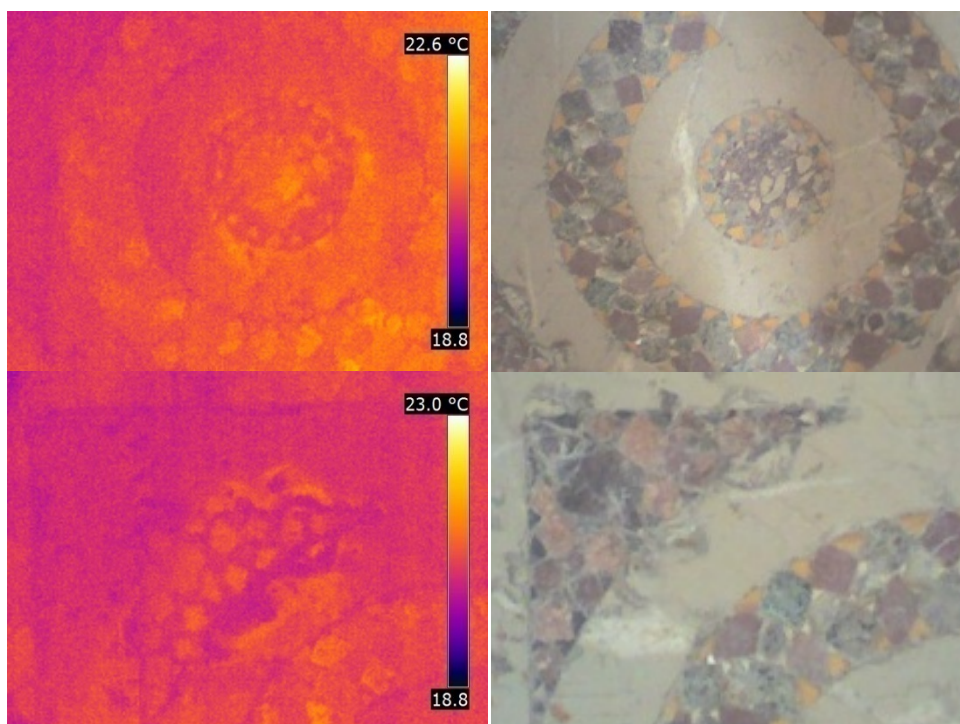
Στη σύνθεση του *opus alexandrinum* παρατηρούνται τμήματα με πιο ψυχρές θερμοκρασίες κυρίως στις διακοσμητικές ταινίες και στις ζώνες γύρω από τα τέσσερα πλευρικά ομφάλια, που αφορούν σε «ψηφίδες» που παρουσιάζουν τραχύτητα και απομείωση επιφάνειας.

Πίνακας 28: Θερμογραφήματα από τη σύνθεση του *opus alexandrinum*.

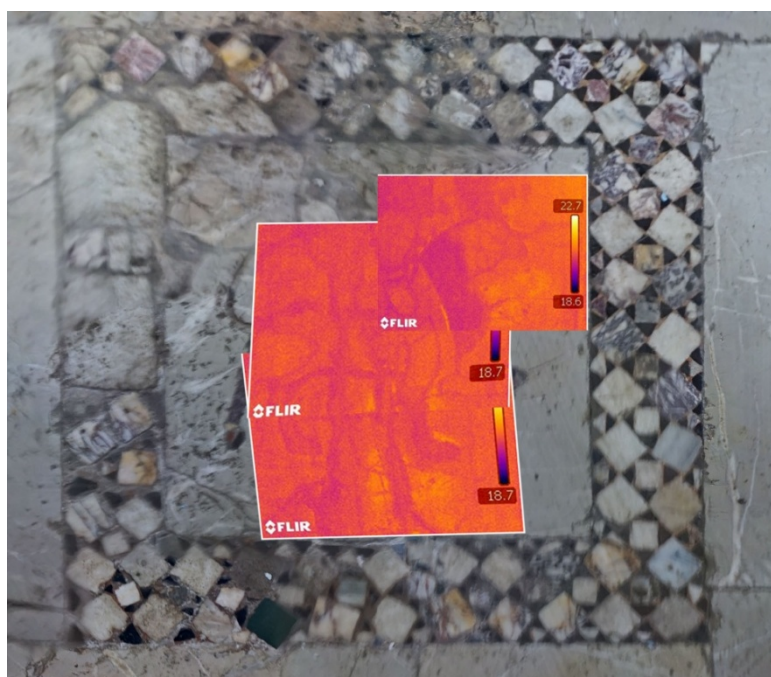








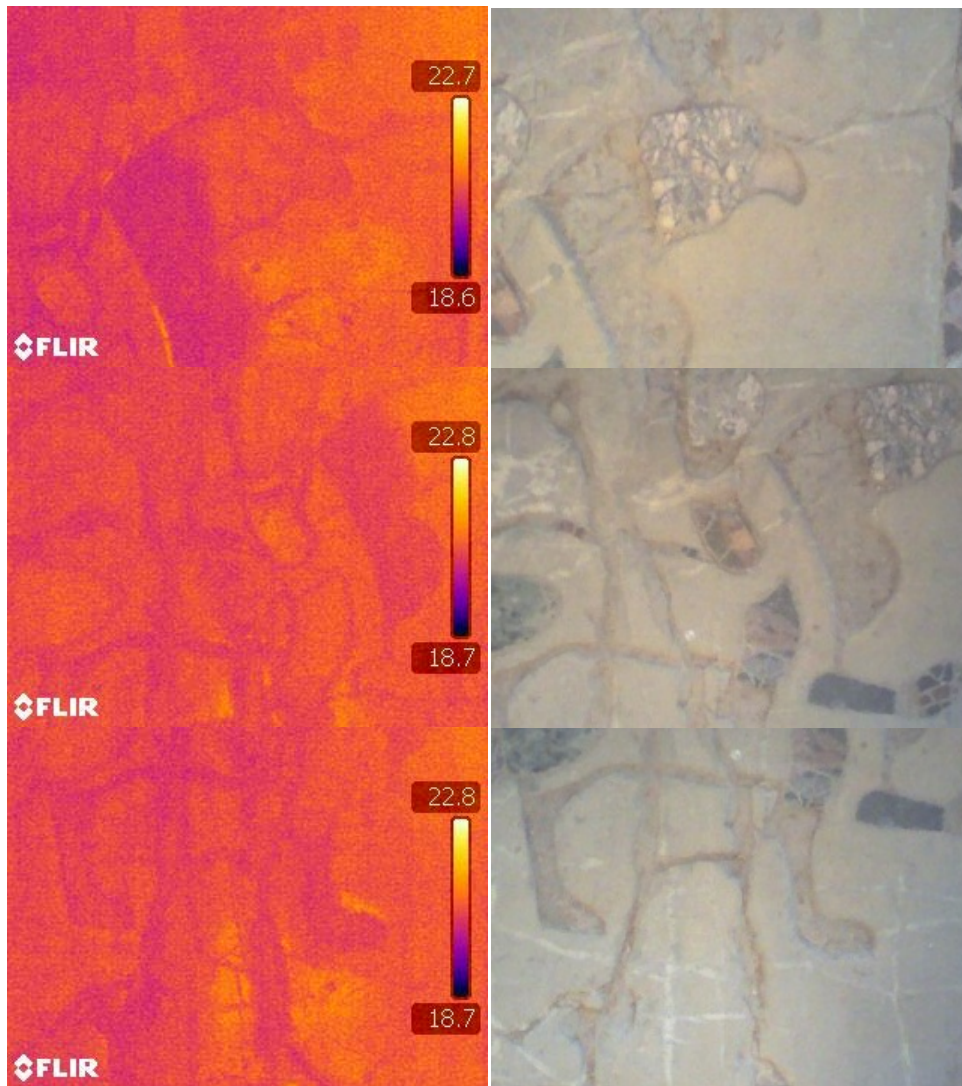
4.10.4.1.3 Θερμογραφήματα στη σύνθεση του γρύπα



Εικόνα 83: Προβολή των θερμογραφήματων πάνω σε εικόνα της σύνθεσης του γρύπα.

Στη σύνθεση του γρύπα παρατηρούνται τμήματα με πιο ψυχρές θερμοκρασίες κυρίως στις αποσμηλευμένες επιφάνειες απο τις οποίες απουσιάζουν οι «ψηφίδες», κυρίως στο ύψος του λαιμού και στα πόδια, αλλά και σε μεγάλες ρηγματώσεις που διατρέχουν τη σύνθεση.

Πίνακας 29: Θερμογραφήματα από τη σύνθεση του γρύπα.



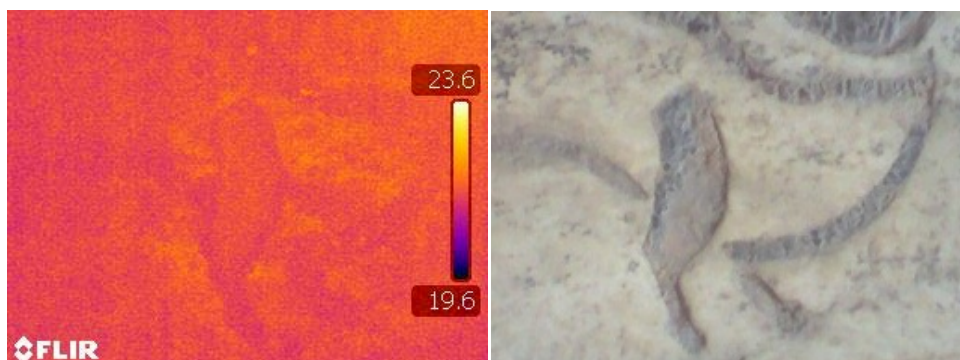
4.10.4.1.4 Θερμογραφήματα στη σύνθεση του αετού και λαγού

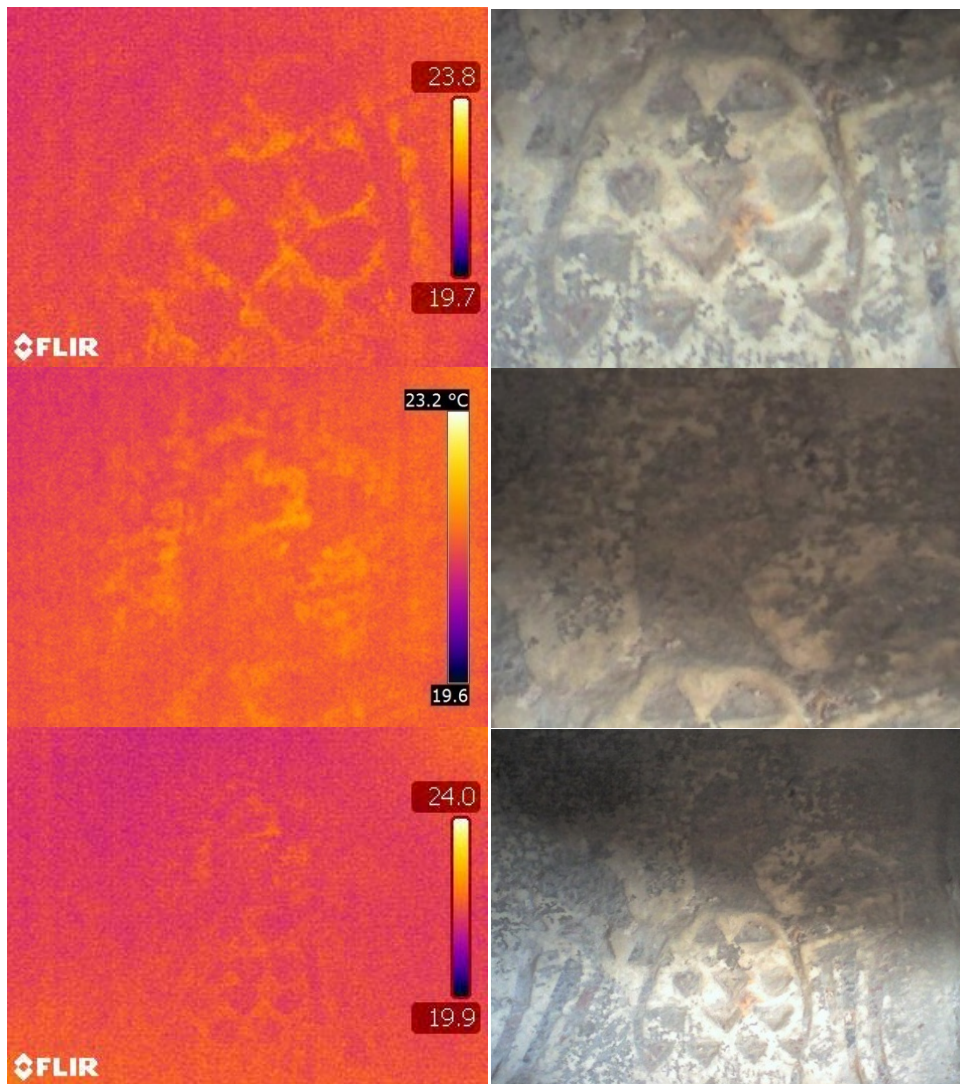


Εικόνα 84: Προβολή των θερμογραφήματων πάνω σε εικόνα της σύνθεσης του αετού και του λαγού.

Στη σύνθεση του αετού και του λαγού παρατηρούνται τμήματα με πιο ψυχρές θερμοκρασίες κυρίως στις πτυχώσεις του σχεδίου που έχουν απωλέσει τις «ψηφίδες» τους, ή έχει απομειωθεί το μεγαλύτερο μέρος τους ή στις επιφάνειες που παρουσιάζουν τραχύτητα (σώμα και κεφάλι αετού).

Πίνακας 30: Θερμογραφήματα από τη σύνθεση του αετού και του λαγού.

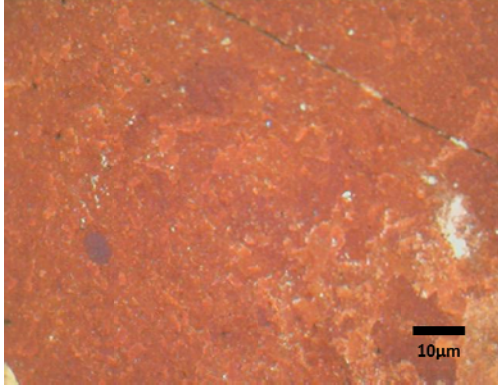
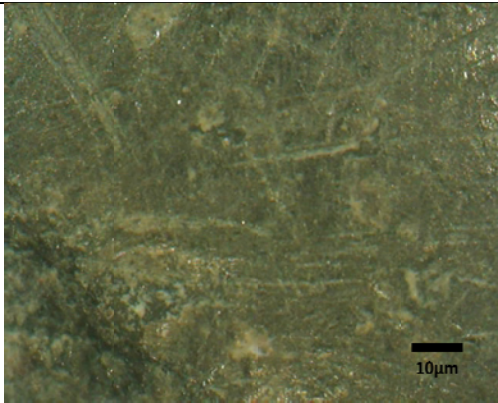
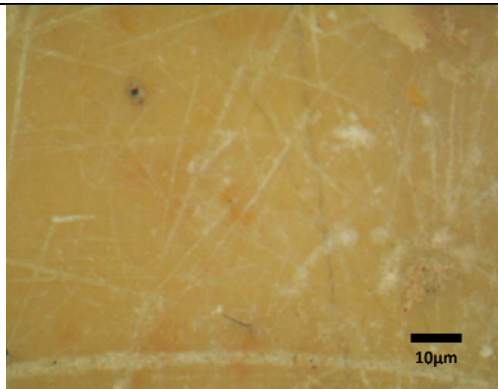


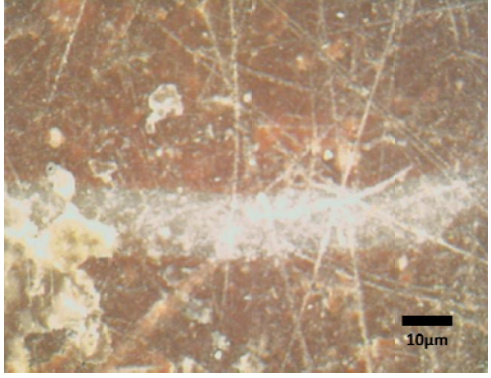
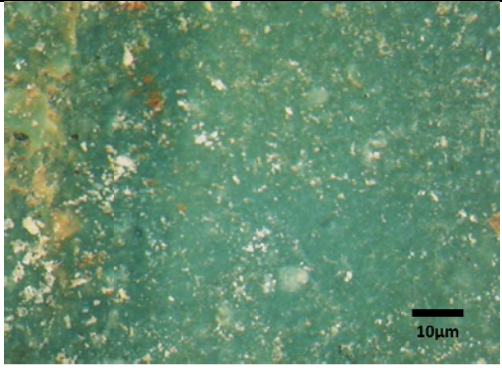
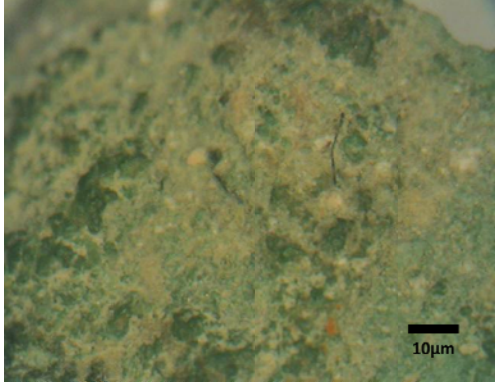


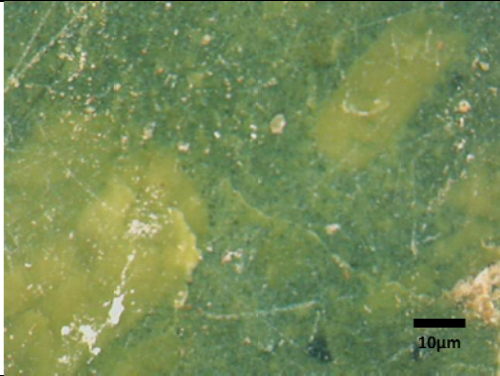
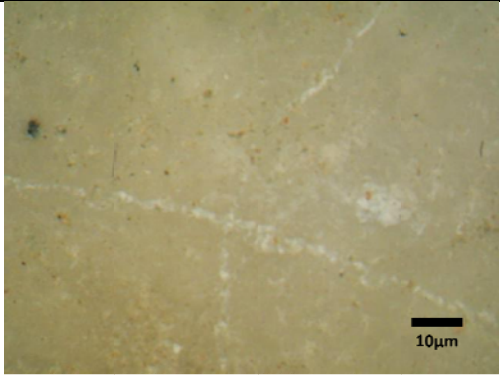
4.10.5 Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM)- Μελέτη της υφής και της μορφολογίας με ψηφιακή μικροσκοπία

Η μικροσκοπική παρατήρηση με ψηφιακό μικροσκόπιο (DM) πραγματοποιήθηκε in situ σε οχτώ λίθους των μαρμαροθετημάτων που αποτελούν «αυθεντικά» στοιχεία του δαπέδου. Παρακάτω, στον πίνακα 33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέρχονται από την παρατήρηση των μικροσκοπικών λήψεων:

Πίνακας 31: Κωδικοποίηση και περιγραφή λίθων-μαρμαροθετημάτων.

Κωδικός Εξεταζόμενου λίθου	Περιγραφή δείγματος και περιοχής δειγματοληψίας	Εικόνες Ψηφιακής Μικροσκοπίας
<u>V c red manis</u>	Πρόκειται για την έταιρη κόκκινη «ψηφίδα» που εμφανίζεται να έχει μικρή επιφανειακή αποφλοιώση και διάκλαση τριχοειδούς εύρους.	
<u>V c mauro</u>	Πρόκειται για τεφρή σε απόχρωση «ψηφίδα» που παρουσιάζει πολλές εγχαράξεις στην επιφάνεια του.	
<u>V c oxra</u>	Πρόκειται για κιτρινωπή στο χρώμα της ώχρας «ψηφίδα», που παρουσιάζει διάχυση υδροξειδίων σιδήρου και διακλάσεις δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεστίτη. Επίσης εμφανίζει πολλές επιφανειακές εγχαράξεις.	

<p><u>V c skouro ke ramidi</u></p>	<p>Πρόκειται για σκούρα ερυθρωπή (σκούρο κεραμιδί) «ψηφίδα» με διακλάσεις δευτερογενώς πληρωμένες με ασβεσίτη. Εμφανίζει πληθος επιφανειακών εγχαράξεων</p>	
<p><u>V c prasinos li thos</u></p>	<p>Πρόκειται για μια εκ των τριών τύπων πράσινων «ψηφίδων» στην επιφάνεια του έχει σημειακές επικαθήσεις υδροξειδίων του σιδήρου.</p>	
<p><u>V c chasabalis</u></p>	<p>Πρόκειται για μια εκ των τριών τύπων πράσινων «ψηφίδων», που εμφανίζει πολύ τραχειά και απομειωμένη επιφάνεια και που αφορά σε διαβρωμένη «ψηφίδα»</p>	

V_c_krokeatis	Αποτελεί τη μια εκ των τριών τύπων πράσινων «ψηφίδων». Παρατηρούνται μικρότερα σχήματα ανοιχτότερου πράσινου μέσα στη δομή του. Επίσης είναι εμφανείς επιφανειακές εγχαράξεις	
V_c_lefki	Πρόκειται για τη λευκή «ψηφίδα» η οποία εμφανίζεται κατά τόπους με ιδιαίτερα λεία επιφάνεια. Παρατηρούνται εγχαράξεις στην και μικρές	

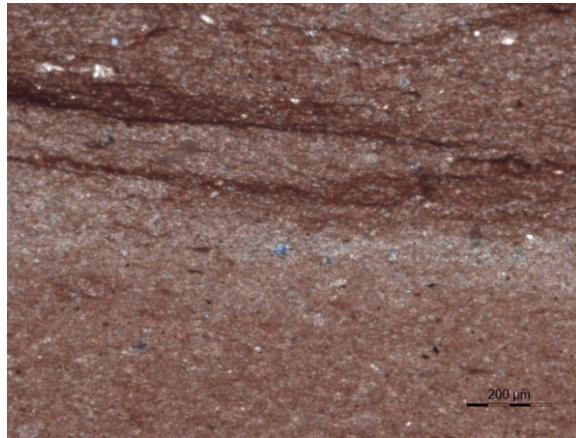
Συμπερασματικά, μέσω της ψηφιακής μικροσκοπίας για τις «ψηφίδες» του δαπέδου, έγιναν μικρές παρατηρήσεις σχετικά με τη επιφανειακή τους κατάσταση που έδειξε, ότι στις περισσότερες παρουσιάζονται επιφανειακές εγχαράξεις (V_c_lefki, V_c_krokeatis, V c skouro keramidi, V c oxra, V c mauro). Το γεγονός αυτό μαρτυράει την αναμενόμενη μηχανική καταπόνηση που δέχονται τα δάπεδα κατά της ελεύθερης προσπέλασης των επισκεπτών. Εξάιρεση, αποτελούν οι V_c_red, V_c_prasinos_lithos που δεν παρουσιάζουν εγχαράξεις, γεγονός ότι πιθανόν να είναι πιο ανθεκτικοί στην χάραξη, αρα και σκληρότεροι στη δομή τους. Τέλος, η «ψηφίδα» V_c_chasabalís εμφανίζεται επιδεχτική στη φθορά, έχει απομειωθεί η επιφάνεια του και είναι λογικό να μην έχει επίσης εγχαράξεις.

4.10.6 Μικροσκοπικός έλεγχος με Πολωτικό μικροσκόπιο

- **Κόκκινο μικρό μαρμαροθέτημα (V_c_red)**

Αφορά στην εταιρη κόκκινη «ψηφίδα». Πρόκειται για λίθο που αποτελείται από υπέρλεπτοκοκκο (ultrafine) ίζημα που βάσει της κοκκομετρίας του (<10µm) κατατάσσεται στους

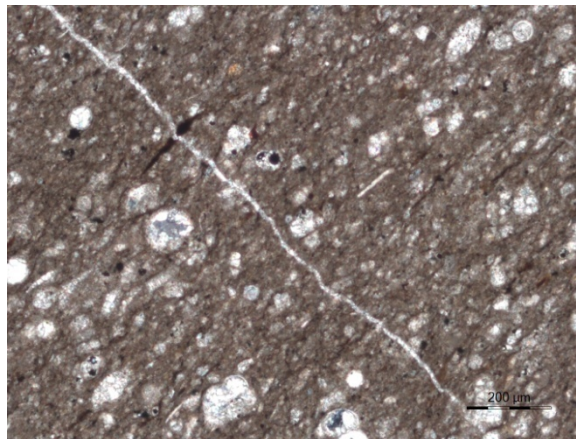
πηλίτες. Το υπερλεπτόκοκκο κλαστικό υλικό του λίθου αποτελείται από χαλαζία, αστρίους και κάποια φυλλάρια μοσχοβίτη. Παρουσιάζει πολύ μεγάλη διάχυση Υδροξειδίων του σιδήρου, γεγονός στο οποίο οφείλεται το έντονο ερυθρώπο του χρώμα. Τα οπτικά χαρακτηριστικά του λίθου παρουσιάζουν μεγάλη ομοιότητα με αυτά της ερυθρής πέτρας Θυμιανών (Χίου).



Εικόνα 85: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του λίθου καλούμενου ως «κόκκινος» πηλίτης.

- **Μαύρη ψηφίδα (V_c_mauro)**

Πρόκειται για έναν τεφρό βιομικριτικό ασβεστόλιθο, πλούσιο σε βιοκλάστες¹⁷. Διασχίζεται από πλήθος τριχοειδούς εύρους διακλάσεων πληρωμένων δευτερογενώς από ασβεσίτη. Παρατηρούνται πάρα πολλά διάσπαρτα αδιαφανή «στίγματα» μεταλλικών ορυκτών (σιδηρούχα), ενώ καταθέσεις παρατηρούνται οξειδία του σιδήρου στη μάζα¹⁸. Στη μάζα του παρατηρούνται διάσπαρτοι μικροσκοπικοί κόκκοι χαλαζία. Το συνδετικό του υλικό είναι μικρίτης.



Εικόνα 86: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη της καλούμενης ως «μαύρης» ψηφίδας που άφορα σε τεφρό ασβεστόλιθος μικροσπαριτικός (x100).

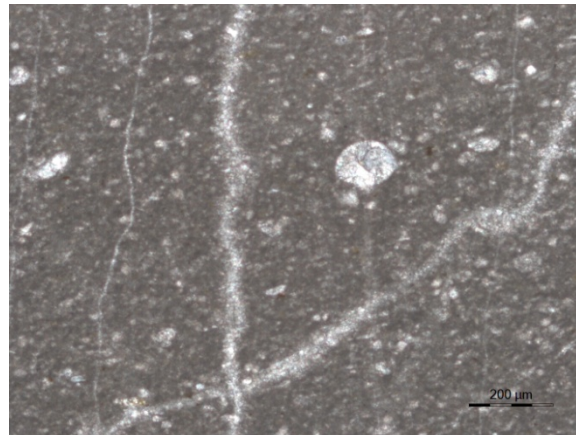
- **Λίθος στο χρώμα ωχράς (V_c_oxra)**

Ασβεστόλιθος μικριτικός υποκίτρινης απόχρωσης που διασχίζεται από μικροδιακλάσεις κατακερματισμένος. Εμπεριέχει πλήθος διακλάσεων τριχοειδούς εύρους που κυμαίνεται από 4 έως

¹⁷ Οι βιοκλάστες αποτελούν μικρά απολιθώματα.

¹⁸ και συγκεκριμένα αποστρογγυλεμένους κόκκους σιδηροπυρίτη (παρατήρηση από μεταλλογραφικό φακό)

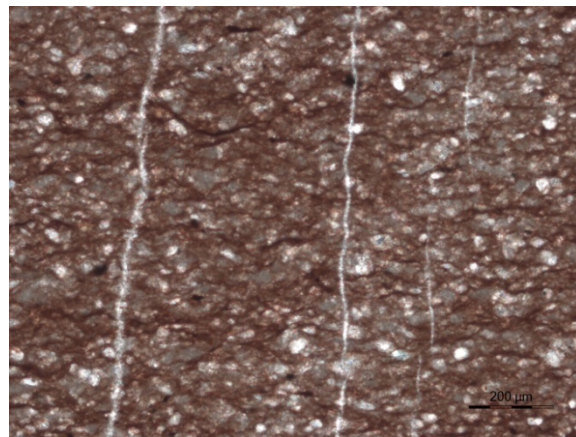
8μm. Παρουσιάζει διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου, γεγονός στο οποίο οφείλεται η απόχρωση του.



Εικόνα 87: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του καλούμενου ως ψηφίδας στο χρώμα της ώχρας που άφορα σε μικριτικό ασβεστόλιθο υποκίτρινης απόχρωσης (x100).

- **Κεραμίδι λίθος (V_c_skouro_keramidi)**

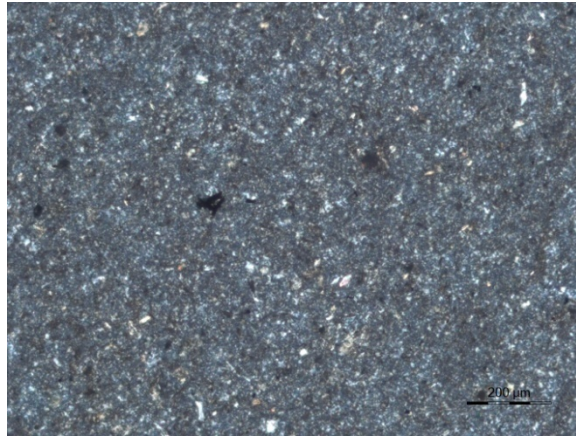
Πρόκειται για έναν ερυθρωπό (ροδαλής απόχρωσης) βιομικριτικό ασβεστόλιθο, πλούσιο σε βιοκλάστες. Παρουσιάζει μεγάλη διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του. Διασχίζεται από πλήθος τριχοειδούς εύρους διακλάσεων πληρωμένων δευτερογενώς από ασβεσίτη και φλεβίδια με σιδηρούχο υλικό, που έχουν προέλθει από μικρορωγματώσεις στις οποίες έχουν διεισδύσει σιδηρούχα διαλύματα.



Εικόνα 88: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του καλούμενου ως «κεραμίδι» λίθου που άφορα σε Ερυθρωπό μικριτικό ασβεστόλιθος (x100).

- **Πράσινος λίθος (V_c_prasinos_lithos)**

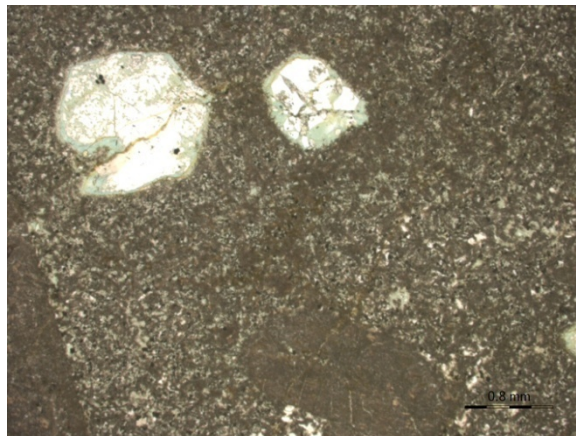
Πρόκειται για πρασινωπό πυριτωμένο πέτρωμα και συγκεκριμένα για χαλαζίτη, αποτελούμενο σχεδόν εξ' ολοκλήρου από κρυπτοκρυσταλλικό χαλαζία. Τη μάζα του διασχίζουν πλήθος διακλάσεων, οι οποίες είναι πληρωμένες με χαλαζιακό και ασβεστιτικό υλικό. Η πρασινωπή απόχρωση οφείλεται στη παρουσία χλωρίτη. Επίσης, παρατηρούνται διάσπαρτα αδιαφανή μεταλλικά ορυκτά.



Εικόνα 89: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του καλούμενου ως πράσινου λίθου που άφορα σε πρασινωπό υπερλεπτόκοκκο χαλαζίτη (x100).

- **Κροκεάτης λίθος (V_c_krokeatis)**

Πρόκειται για σκουροπράσινο πορφυρίτη¹⁹ έντονα εξαλλοιωμένο ηφαιστειακό πέτρωμα γνωστό ως κροκεάτης λίθος ή πράσινος λίθος Σπάρτης (Iapis Iacadaemonius ή porfido verde antico). Ο βαθμός εξαλλοίωσης είναι υψηλός και έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη αντικατάσταση των πρωτογενών υλικών από δευτερογενή ορυκτά εξαλλοίωσης (επίδοτα, χλωρίτη, σερικήτη, αργυλικά ορυκτά κ.α.).



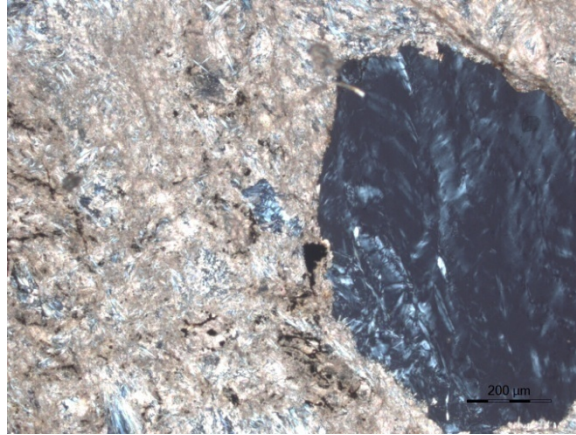
Εικόνα 90: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του κροκεάτη λίθου (x25).

- **Πράσινος λίθος Χασάμπαλης (V_c_chasabalis)**

Πρόκειται για λατυποπαγές πέτρωμα που οι λατύπες του προέρχονται από θραύσματα υπερβασικών πετρωμάτων (σερπεντιωμένα) έντονα εξαλλοιωμένα. Η συνθετική ύλη είναι αμιγώς

¹⁹ ένας ιδιαίτερος τύπος ανδεσίτη με τυπικό πορφυριτικό ιστό, διάστικτος από ανοιχτόχρωμους ορθογώνιους κρυστάλλους

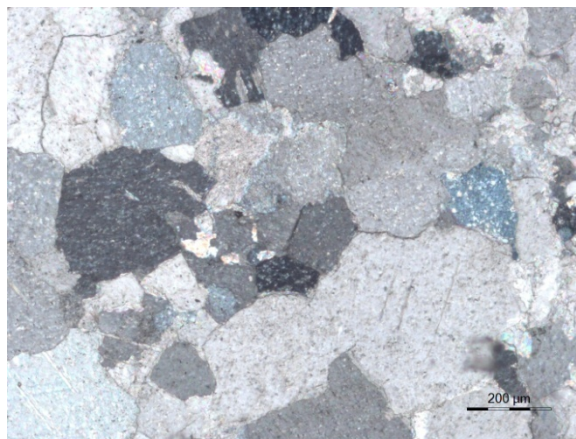
ασβεστιτικής σύστασης, ενώ στη μάζα του παρατηρούνται συστήματα ινομορφών ορυκτών της κατηγορίας του αμιάντου. Αφορά τον πράσινο λίθο Χασάμπαλης Θεσσαλίας ή αλλιώς πράσινος Θεσσαλικός λίθος, γνωστό και ως *Verde Antico*.



Εικόνα 91: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη του πράσινου λίθου Χασάμπαλης που άφορα σε Λατυποπαγές πέτρωμα (x100).

- **Λευκή ψηφίδα (V_c_lefki)**

Λευκό ασβεστιτικό μάρμαρο με λεπτοκοκκώδεις κρυστάλλους ασβεστίτη διαστάσεων που κυμαίνονται από 0,30 έως 0,50mm, με υφή συμπαγή ακανόνιστη και ιστό γρανοβλαστικό.



Εικόνα 92: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου, γενική άποψη της καλούμενης ως λευκής ψηφίδας που άφορα σε λευκό ασβεστιτικό μάρμαρο με λεπτοκοκκώδεις κρυστάλλους (x100).

4.10.7 Περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Τα μικροδείγματα των λίθων που έχουν χρησιμοποιηθεί ως «ψηφίδες» στο μαρμαροθετημένο δάπεδο του Καθολικού της ΙΜ Βαρνάκοβας μελετήθηκαν μέσω περίθλασης ακτίνων X (XRD) με σκοπό τη μελέτη της ορυκτολογικής τους σύστασης.

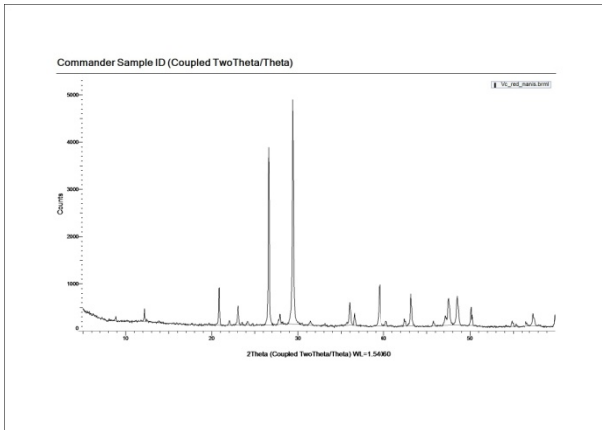
4.10.7.1 Ορυκτολογική σύσταση δομικών λίθων και πλίνθων/κεραμικών

Οι δομικοί λίθοι που ελήφθησαν από το Καθολικό της ΙΜ Βαρνάκοβας, μελετήθηκαν μέσω περίθλασης ακτίνων X, ώστε να αποκαλυφθεί η ορυκτολογική τους σύσταση (Πίνακας 11).

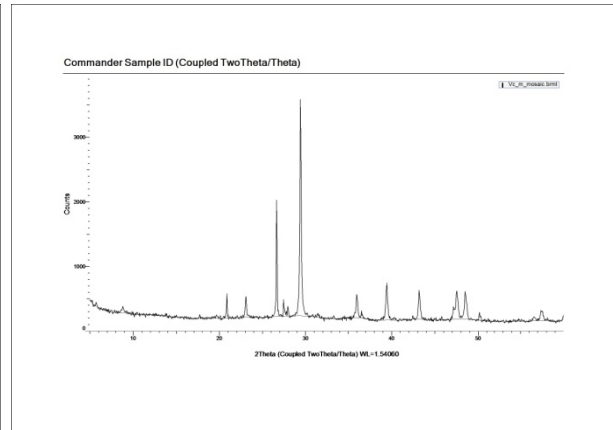
Πίνακας 32: Ορυκτολογική σύσταση λίθων που μελετήθηκαν

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
<u>V c red</u>	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, Αιματίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
<u>V c mauro</u>	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, Μοσχοβίτης
<u>V c oxra</u>	Ασβεστίτης	Χαλαζίας
<u>V c skouro keramidi</u>	Ασβεστίτης	Χαλαζίας
<u>V c prasinος lithos</u>	Χαλαζίας	Μοσχοβίτης, Αλβίτης
<u>V c chasabalis</u>	Λιζαρδίτης	Χρυσοτίλης, Σερπεντίτης
<u>V c krokeatis</u>	Χαλαζίας	Χλωρίτης, Μοσχοβίτης, Αλβίτης
<u>V c lefki</u>	Ασβεστίτης	-

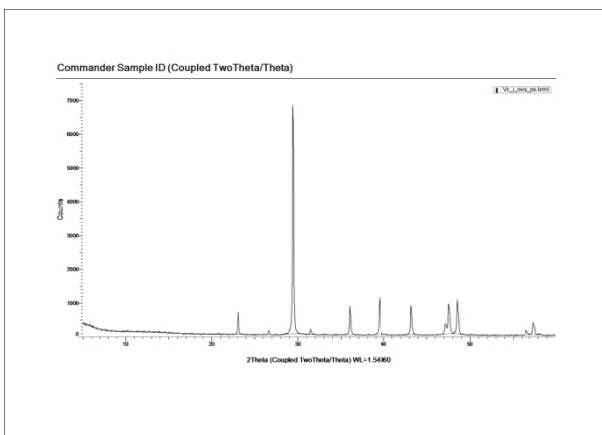
Τα γωνιογράμματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις μέσω περίθλασης ακτίνων X για τις λίθινες «ψηφίδες» του Καθολικού της ΙΜ Βαρνάκοβας, παρατίθενται παρακάτω.



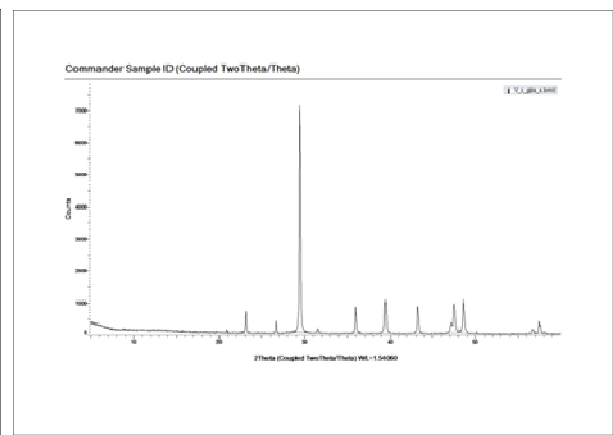
Εικόνα 93: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_red



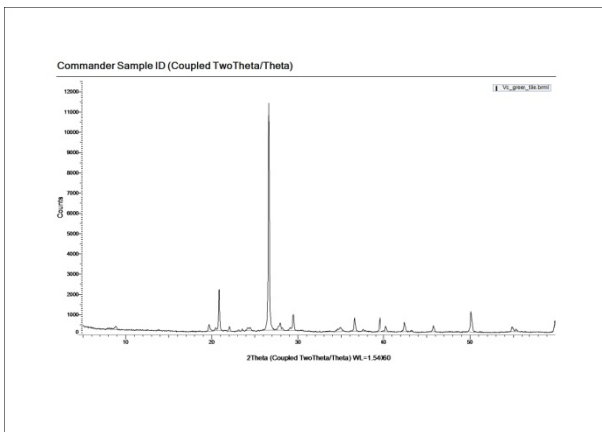
Εικόνα 94: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_mauro.



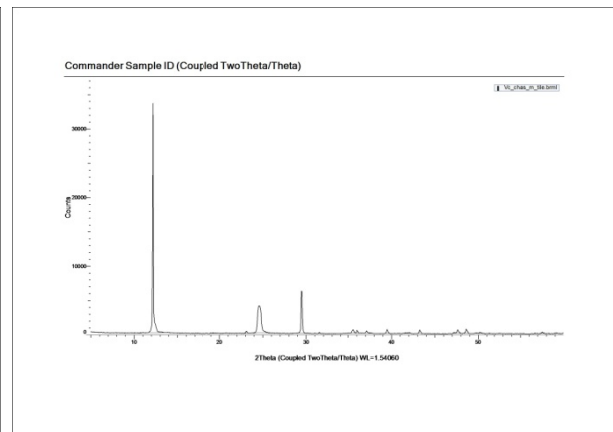
Εικόνα 95: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_oxra.



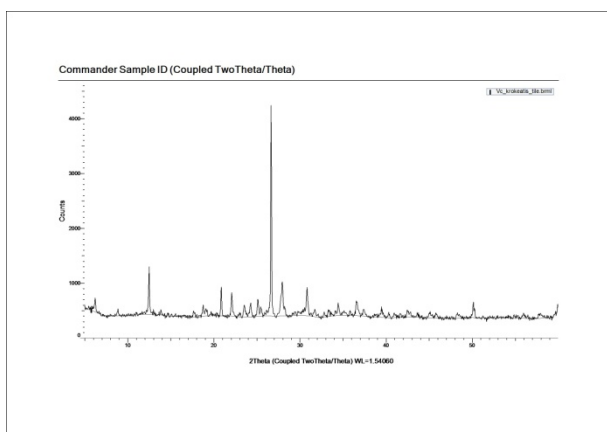
Εικόνα 96: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_skouro_keramidi.



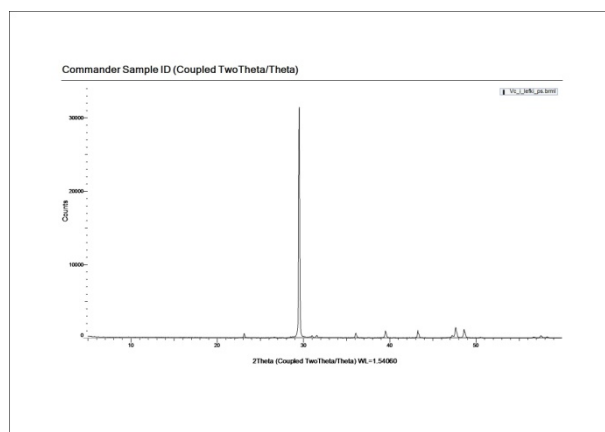
Εικόνα 97: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_prasinos_lithos



Εικόνα 98: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας»
V_c_chasabalis.



Εικόνα 99: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας» V_c_krokeatis.



Εικόνα 100: Γωνιογράμματα δείγματος λίθινης «ψηφίδας» V_c_lefki.

4.10.8 Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων - Ποιοτική ανίχνευση Χλωριόντων, Θεικών ανιόντων, Νιτρικών ανιόντων

Σε όλα τα δείγματα λίθινων «ψηφίδων» του μαρμαροθετημένου δαπέδου πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων βάσει του Normal 13/83, καθώς και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θεικών ανιόντων και νιτρικών ανιόντων.

4.10.8.1 Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων στους δομικούς λίθους

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των ολικών διαλυτών αλάτων στα δείγματα των λίθων.

Πίνακας 33: Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων και ποιοτική ανίχνευση χλωριόντων, θεικών και νιτρικών ανιόντων στις λίθινες «ψηφίδες του μαρμαροθετημένου δαπέδου.

Κωδικός Δείγματος	TSS%	Ph	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻²
V_c_red_manis	2.44	8.46	+	-	-
V_c_oxra	3.47	8.12	+	-	-
V_c_white	2.71	9.07	++	-	-
V_c_sk_ceramic	2.60	8.86	+	-	-
V_c_krokeatis	2.05	8.7	-	-	-
V_c_prasinos_lithos	2.97	8.88	+	-	-
V_c_chasabalis	3.06	9.25	++	-	-
V_c_floor_blst	3.92	8.46	+	-	-

+++++ Πολύ υψηλή, ++++ Υψηλή, ++++ Μέτρια, +++Χαμηλή, ++Πολύ χαμηλή, +Ίχνη, -Καθόλου

Πέντε εκ των οχτώ λίθινων «ψηφίδων» παρουσιάζουν τιμές ολικών διαλυτών αλάτων χαμηλότερες του 3% που θεωρείται ως κρίσιμο κατώφλι. Εξαίρεση παρουσιάζουν οι υπόλοιπες τρεις: V_c_oxra, V_c_chasabalis και V_c_floor_blst. Το pH τους παρουσιάζει κοινές τιμές, κοντά στο 9 (8,12-9,25). Στις περισσότερες από τις λίθινες «ψηφίδες» ανιχνεύτηκε χαμηλή παρουσία χλωριόντων, στις περιπτώσεις του λευκού μαρμάρου και του πράσινου λίθου Χασάμπαλης παρουσιάστηκε μέτρια παρουσία χλωριόντων, ενώ στον Κροκεάτη λίθο καθόλου. Η χαμηλή παρουσία χλωριόντων δείχνει ότι το δάπεδο βάλλεται, ως έναν βαθμό, από ανερχόμενη υγρασία.

5 Συμπεράσματα - Συζήτηση

5.1 Χαρακτηρισμός δομικών υλικών και διάγνωση της φθοράς για το Καθολικό της Ι.Μ. Βαρνάκοβας

Στη παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκαν, μία σειρά από αναλυτικές μεθόδους στο εργαστήριο και μη καταστρεπτικές στη κλίμακα του μνημείου. Μέσω των αποτελεσμάτων της διαγνωστικής μελέτης με σκοπό την αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης, συγκεντρώθηκαν και παρουσιάζονται όλες οι πληροφορίες που προέκυψαν και σχετίζονται με την δομή του ναού και το χαρακτηρισμό των δομικών υλικών και της φθοράς τους. Βάσει των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν σχετικά με υφιστάμενη κατάσταση του μνημείου, γίνεται πρόταση σχεδιασμού των υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για το έργο της αποκατάστασης του ναού, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ανάγκες που προκύπτουν κατά την φάση υλοποίησης του έργου. Παρακάτω παρουσιάζονται:

- Χαρακτηρισμός των Δομικών λίθων,
- Χαρακτηρισμός για τα Κονιάματα και τα επιχρίσματα Καθολικού
- Πρόταση συμβατών λιθοσωμάτων και περιοχών λατόμευσης
- Μηχανικές αντοχές λίθων – Συγκριτική μελέτη
- Χαρακτηρισμός υλικών και διάγνωση φθοράς του μαρμαροθετημένου δαπέδου
- Πρόταση της σύστασης κατάλληλων συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων δόμησης και ενεμάτων
- Πρόταση Κονιάματος
- Πρόταση Ενέματος
- Προτάσεις υλικών και επεμβάσεων Συντήρησης Μαρμαροθετημένου δαπέδου

5.1.1 Δομικοί λίθοι Καθολικού

Ο κύριος δομικός λίθος του μνημείου είναι ο συμπαγής γκρίζος-μπεζ βιομικριτικός ασβεστόλιθος. Ο λιθότυπος αυτός απαντάται σε διάφορες αποχρώσεις, από μπεζ έως γκρίζο και είναι διάσπαρτος από διακλάσεις και στυλόλιθους. Ο λιθότυπος αυτός απαντάται στις εξωτερικές όψεις του μνημείου, οι οποίες είναι σχεδόν αποκλειστικά δομημένες από αυτόν, ενώ απαντάται και στα υπόλοιπα στρώματα της τοιχοποιίας και της ανωδομής. Παρουσιάζει ως κύρια ορυκτολογική φάση,

ασβεστίτη, και ως δευτερεύουσα, χαλαζία. Όλα τα λιθοσώματα που εξετάστηκαν παρουσίασαν υψηλή περιεκτικότητα ανθρακικού ασβεστίου (~90%). Κάποια από τα λιθοσώματα αυτού του λιθότυπου παρουσιάζουν μικρή περιεκτικότητα σε δολομίτη. Ανεξαρτήτως θέσης δειγματοληψίας, ο λιθότυπος αυτός παρουσιάζει χαμηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων, κάτω του 3%, γεγονός που οφείλεται στην μικροδομή του. Ο λιθότυπος αυτός εμφανίζει υψηλές μηχανικές αντοχές, ωστόσο με υψηλή διασπορά τιμών, η οποία οφείλεται στην ύπαρξη διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα.

Παράλληλα, στην ανωδομή, καθώς και στις απολήξεις κάποιων ανοιγμάτων των όψεων του Καθολικού, απαντώνται πωρόλιθοι, ένας πορώδης απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος και ένας πορώδης μικροσπαρτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος. Και οι δυο τύποι πωρόλιθου που εξετάστηκαν παρουσιάζουν μόνο ασβεστίτη στην ορυκτολογική ανάλυση. Οι πωρόλιθοι παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα σε σχέση με τον συμπαγή βιομηχανικό ασβεστόλιθο, ενώ παρουσιάζουν και υψηλές τιμές πορώδους. Και οι δυο αυτοί πορώδης λιθότυποι παρουσίασαν υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων, παρόλο που είχαν ληφθεί δείγματά τους από την ανωδομή. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι λειτουργούν ως «θυσιαζόμενα υλικά», συγκεντρώνοντας διαλυτά άλατα από τα γειτονικά υλικά. Η πηγή των διαλυτών αλάτων σε αυτό το ύψος θα μπορούσε να προέρχεται από παλαιότερες ασύμβατες επεμβάσεις στην ανωδομή, με εφαρμογή υλικών που φέρουν διαλυτά άλατα, όπως το τσιμέντο.

5.1.2 Κονιάματα και επιχρίσματα Καθολικού

Όλα τα κονιάματα που εξετάστηκαν από το Καθολικό παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη και ως κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία. Παρατηρείται η ταξινόμηση των κονιαμάτων/επιχρισμάτων σε δυο βασικές ομάδες, αυτά που είναι ιδιαίτερας υδραυλικά με χαμηλότερα ποσοστά ανθρακικών ενώσεων και αυτά που παρουσιάζουν ελαφρώς υδραυλικό χαρακτήρα και σχετικά υψηλά ποσοστά ανθρακικών ενώσεων, υποδεικνύοντας διαφορετική τεχνολογία παρασκευής. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι τα κονιάματα και επιχρίσματα που ανήκουν στην πρώτη βασική ομάδα υψηλού υδραυλικού χαρακτήρα έχουν ληφθεί από περιοχές, οι οποίες, βάση των ιστορικών δεδομένων, πιθανά ανήκουν σε πρωθύστερη του 1831 κατασκευαστική φάση του Καθολικού (κονιάματα δαπέδου, κονίαμα εξωνάρθηκα και επιχρίσματα κιστέρνας). Τα αρμολογήματα και τα κονιάματα δόμησης του Καθολικού, καθώς και τα υπόλοιπα επιχρίσματα ανήκουν στη δεύτερη ομάδα, ελαφρώς υδραυλικού χαρακτήρα. Το κονίαμα αρμολόγησης του καμπαναριού είναι σε εξαιρετικά κακή κατάσταση διατήρησης και δεν ανήκει σε καμία από τις παραπάνω ομάδες. Το επίχρισμα γύψου που απαντάται στην ανωδομή, κυρίως σαν συμπλήρωμα σε ρωγμές, πιθανά πρόκειται για μεταγενέστερη επέμβαση. Εν τω συνόλω όλα τα

κονιάματα εμφανίζουν παρουσία χλωριόντων, υποδεικνύοντας ότι το μνημείο βάλλεται, ως έναν βαθμό, από ανερχόμενη και κατερχόμενη υγρασία. Τα κονιάματα που ελήφθησαν από το δάπεδο και το ισόγειο του Ναού, παρουσιάζουν τιμές ολικών διαλυτών αλάτων στο όριο του 3% με εξαίρεση το κονίαμα από τον εξωνάρθηκα. Αντιθέτως τα κονιάματα της ανωδομής παρουσιάζουν οριακά υψηλότερες τιμές (>3%), ενώ όλα τα κονιάματα αρμού από τις εξωτερικές όψεις, καθώς και το κονίαμα του καμπαναριού, παρουσιάζουν χαμηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων (<3%). Τα επιχρίσματα που ελήφθησαν από το Καθολικό παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων και παρουσία χλωριόντων, υποδεικνύοντας την παρουσία υγρασία και την μετακίνηση διαλυτών αλάτων από το εσωτερικό της τοιχοποιίας στην εξώτατη στοιβάδα της.

Στα περισσότερα δείγματα δομικών υλικών που εξετάστηκαν (λίθοι, κονιάματα, επιχρίσματα) ανιχνεύονται χλωριόντα, γεγονός που υποδεικνύει ότι το μνημείο βάλλεται από ανερχόμενη και κατερχόμενη υγρασία, ενώ υποδεικνύει και την πιθανή τοπική χρήση ασύμβατων υλικών, που εισάγουν διαλυτά άλατα στην τοιχοποιία.

5.1.3 Πρόταση συμβατών λιθοσωμάτων και περιοχών λατόμευσης

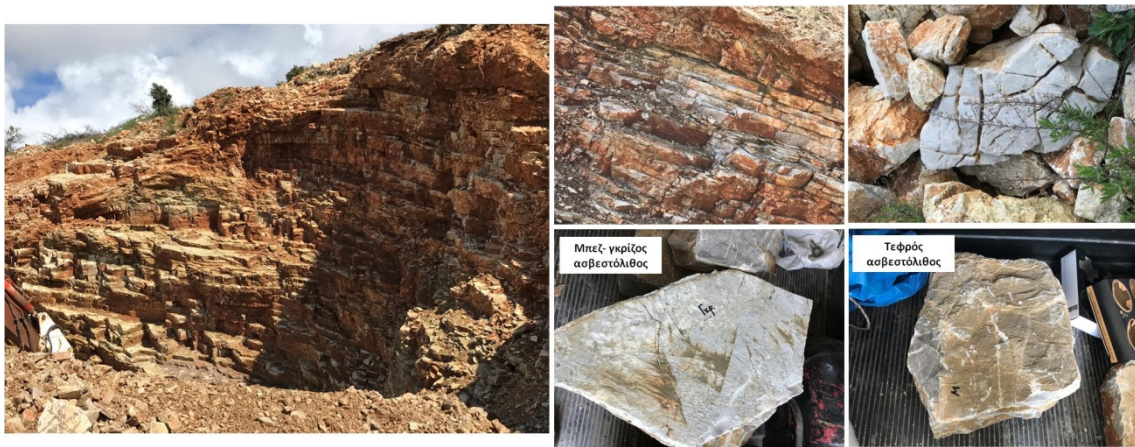
Βάσει του Γεωλογικού Χάρτη, Φύλλο “ΝΑΥΠΑΚΤΟΣ”, κλίμακας 1:50.000, έκδοσης Ι.Γ.Μ.Ε. 1971 και σε συνεργασία με τον Δρ. Χ. Παπατρέχα της Δ/σης Ορυκτολογίας και Πετρογραφίας του ΙΓΜΕ, η ευρύτερη περιοχή της ΙΜ Βαρνάκοβας ανήκει γεωτεκτονικά στη ζώνη της Πίνδου της οποίας η στρωματογραφική κολόνα περιλαμβάνει μεταξύ άλλων σχηματισμών **πλακώδεις ασβεστόλιθους** του Ανώτερου Κρητιδικού, στους οποίους συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων μελών, οι:

- **«Ασβεστόλιθοι με Globotruncanes»:** Πρόκειται για τον πλέων απολιθωματοφόρο ορίζοντα που συνίσταται από λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, με ενδιαστρώσεις σκούρων πυριτικών και πηλιτικών στρωμάτων.
- **«Γκρίζοι ασβεστόλιθοι»:** Το μέλος αυτό περιλαμβάνει ανοικτού γκρίζου χρώματος μεσοπλακώδεις ασβεστόλιθους. Τα κατώτερα στρώματα είναι δυνατόν να περιέχουν και στρώματα η κονδύλους πυριτόλιθων.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι τα λιθοσώματα των γκρίζων-μπεζ βιομικριτικών ασβεστόλιθων που έχουν χρησιμοποιηθεί στο Καθολικό, προέρχονται από την ευρύτερη περιοχή της Μονής.

Στο πλαίσιο αναζήτησης λίθων συμβατών με τους ιστορικούς για πιθανή χρήση τους στο επικείμενο έργο αποκατάστασης του Καθολικού βάσει των ανωτέρω δεδομένων, αναζητήθηκε στην ευρύτερη περιοχή της Ναυπακτίας ενεργό λατομείο ασβεστόλιθων.

Σε ότι αφορά την αναζήτηση συμβατών ασβεστόλιθων αποκατάστασης, ελήφθησαν δείγματα ασβεστόλιθων από το μοναδικό ενεργό λατομείο της περιοχής (Λατομείο Κουφογιάννης, το οποίο βρίσκεται πλησίον της Ι Μ Βαρνάκοβας), για να εξετασθούν σε σχέση με τη δυνατότητα χρήσης τους στο επικείμενο έργο αποκατάστασης.

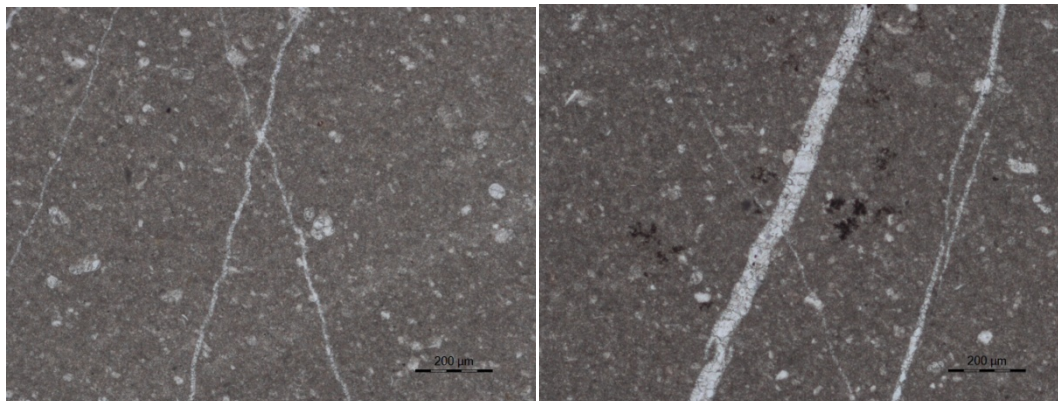


Εικόνα 101. Λατομείο και ασβεστόλιθοι γκρίζας-μπεζ και τεφρής απόχρωσης

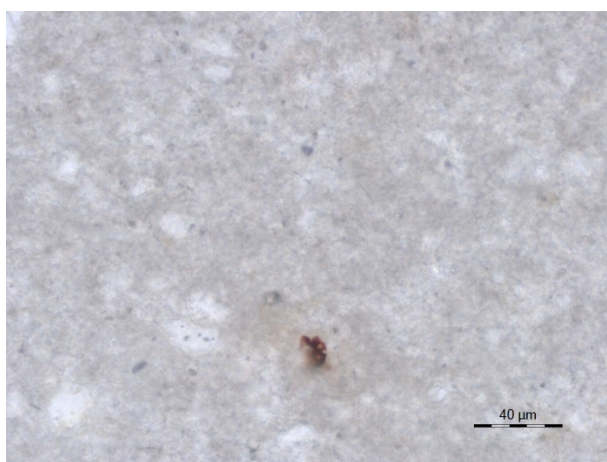
Στο πλαίσιο αυτό ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων της μελέτης πετρογραφικών, ορυκτολογικών και μηχανικών ιδιοτήτων των λίθων λατομείου, βάσει των οποίων αποτιμάται η συμβατότητα τους με τους ιστορικούς ασβεστόλιθους, έτσι ώστε να διαπιστωθεί το αν θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε επικείμενο έργο αποκατάστασης του συγκροτήματος του Καθολικού.

5.1.4 Πετρογραφική & Ορυκτολογική μελέτη

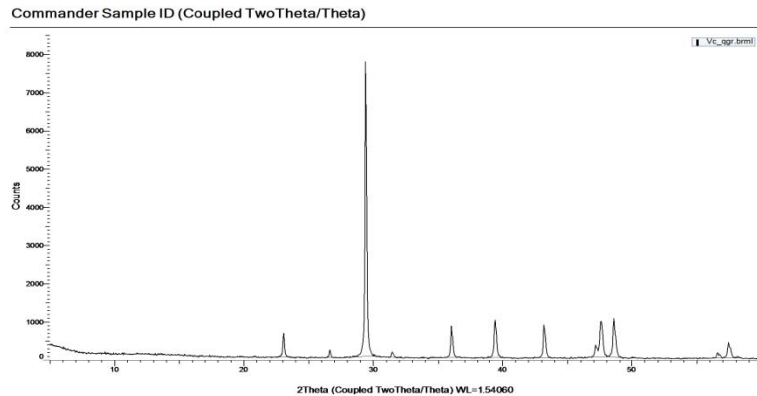
Μπεζ-γκρίζος συμπαγής λίθος λατομείου (δείγμα Vc_qgr)



Εικόνα 102. Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου του μπεζ-γκρίζου βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η μικριτική του μάζα (α) φέρει απολιθώματα (κυρίως τρηματοφόρα), τα οποία αντικαθίστανται από σπαριτικό υλικό και (β) διασχίζεται από πληθώρα διακλάσεων ποικίλου εύρους που πληρώνονται από δευτερογενή ασβεστίτη. Στη δεύτερη εικόνα παρατηρούνται συγκεντρώσεις οργανικής ύλης (βιτουμένια) (Nicols //).



Εικόνα 103. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του μπεζ-γκρίζου βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η συγκολλητική του μάζα συνίσταται αποκλειστικά από μικριτικό υλικό. Παρατηρείται κόκκος αδιαφανούς σιδηρούχου ορυκτού που παρουσιάζει οξείδωση (Nicols //).



Εικόνα 104. Γωνιόγραμμα Περίθλασης Ακτίνων Χ του μπεζ-γκρίζου βιομικρικού ασβεστόλιθου λατομείου, όπου καταγράφεται η ασβεστιτική ορυκτολογική του σύσταση, καθώς και ίχνη χαλαζία.

Ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος παρουσιάζει τα παρακάτω πετρογραφικά χαρακτηριστικά:

Ιστός: βιοκλαστικός-κατακλαστικός. Ιζηματογενές πέτρωμα ασβεστιτικής σύστασης, αποτελούμενο από μικριτική μάζα πλούσια σε πλαγκτονικά τρηματοφόρα. Το πέτρωμα διασχίζεται από πυκνό δίκτυο διακλάσεων και στυλόλιθων.

Υφή: συμπαγής-στυλολιθική.

Ορυκτολογική σύσταση: το πέτρωμα συνίσταται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ασβεσίτη, ανιχνεύεται δε χαλαζίας.

Αλλοχημικό υλικό: παρατηρούνται πελαγικοί βιοκλάστες (τρηματοφόρα).

Συγκολλητική μάζα: το υλικό το οποίο συνδέει το παραπάνω αλλοχημικό υλικό, δηλαδή τους βιοκλάστες είναι κυρίως σπαριτικής σύστασης (ασβεστιτικό υλικό).

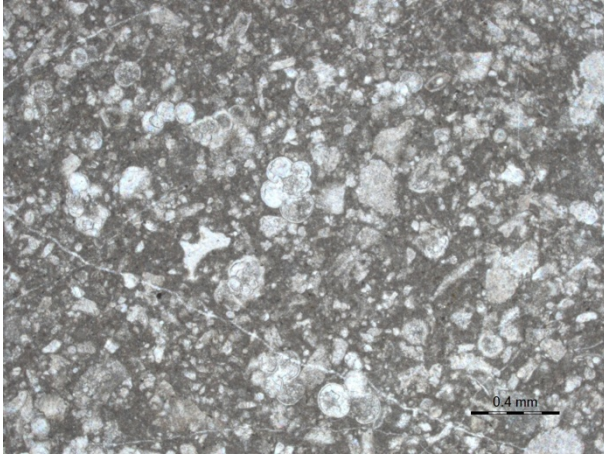
Στυλόλιθοι: παρατηρούνται τεκτονικοί στυλόλιθοι, οι οποίοι είναι μερικώς πληρωμένοι από δευτερογενές ασβεστιτικό υλικό, αργιλικά ορυκτά, από οξειδία-υδροξειδία του σιδήρου και χαλαζία.

Διακλάσεις: παρατηρείται πλήθος διακλάσεων ποικίλων διαστάσεων (τριχοειδείς έως και 0,5mm), οι οποίες διασχίζουν τη μάζα του πετρώματος. Οι διακλάσεις αυτές είναι συνήθως πληρωμένες από δευτερογενές ασβεστιτικό υλικό.

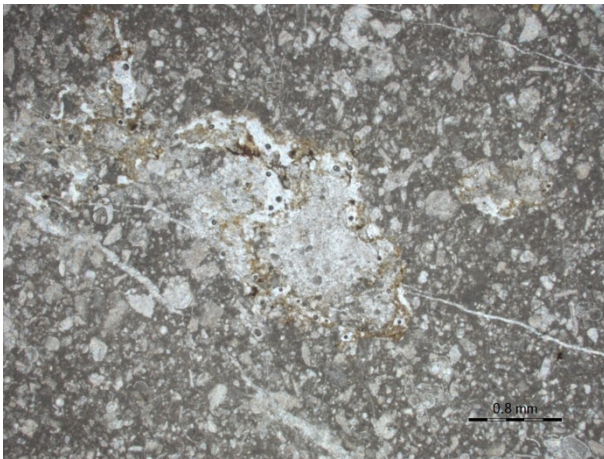
Ταξινόμηση πετρώματος: με βάση την πετρογραφική και ορυκτολογική εξέταση πρόκειται για

ιζηματογενές πέτρωμα ασβεστιτικής σύστασης, αποτελούμενο από πελαγικά τρηματοφόρα (βιοκλάστες) μέσα σε μία μικριτική μάζα. Πρόκειται γιαβιομικριτικό ασβεστόλιθο.

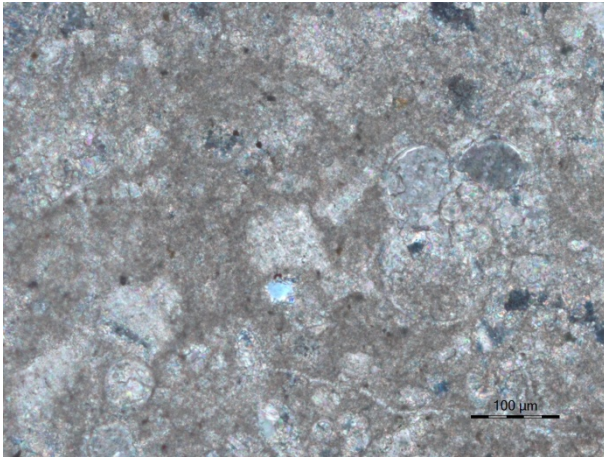
Τεφρός συμπαγής λίθος Λατομείου (δείγμα Vc_φbl)



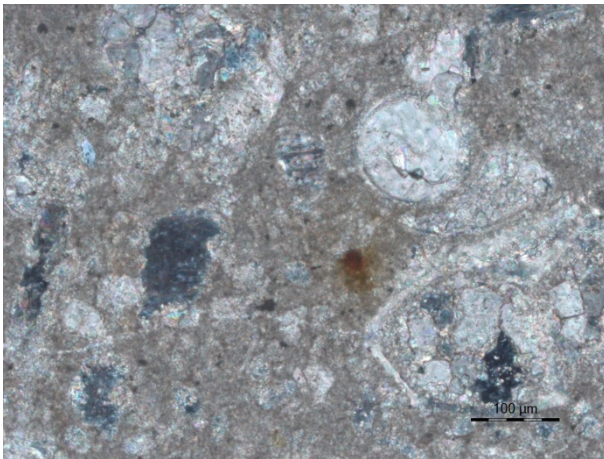
Εικόνα 105. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η μικριτική μάζα του παρουσιάζει πληθώρα βιοκλαστικού υλικού (πολύ μεγαλύτερο ποσοστό απολιθωμάτων σε σύγκριση με τον μπεζ-γκρίζο βιομικριτικό ασβεστόλιθο), το οποίο αποτελείται από τρηματοφόρα που αντικαθίστανται από σπαριτικό υλικό (Nicols //).



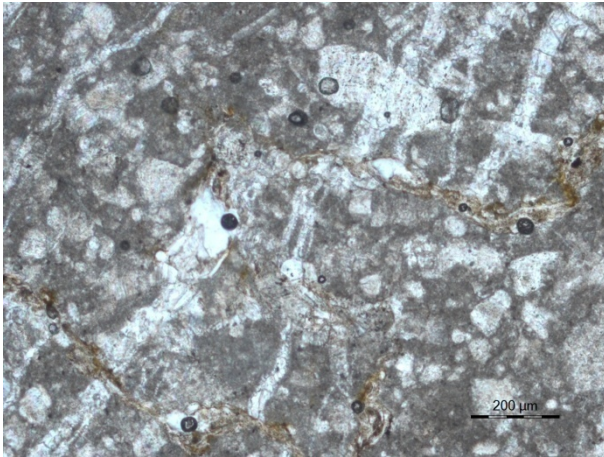
Εικόνα 106. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η μικριτική μάζα του παρουσιάζει κατά τόπους δολομιτικά συσσωματώματα ευμεγεθών κρυστάλλων (Nicols //).



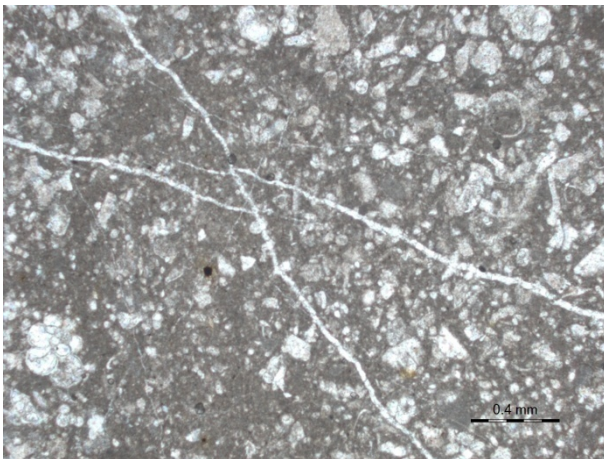
Εικόνα 107. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικρικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η μικριτική μάζα του παρουσιάζει κλασικό χαλαζία (Nicols ±).



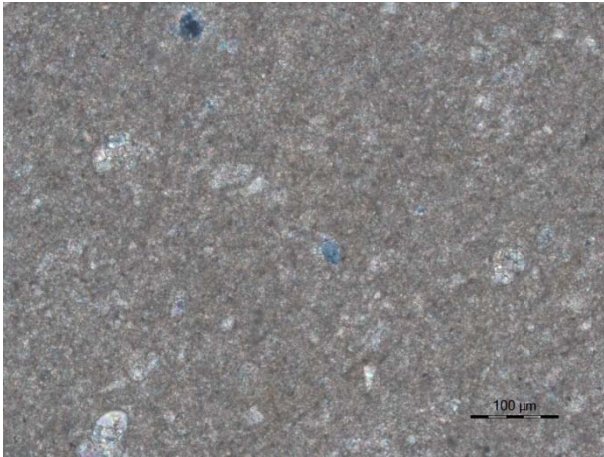
Εικόνα 108. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικρικού ασβεστόλιθου λατομείου. Η Παρατηρείται διάχυση των υδροξειδίων του σιδήρου που προέρχονται από οξειδωμένους σιδηρούχους κόκκους, φαινόμενο στο οποίο αποδίδεται το τεφρό χρώμα του λίθου (Nicols ±).



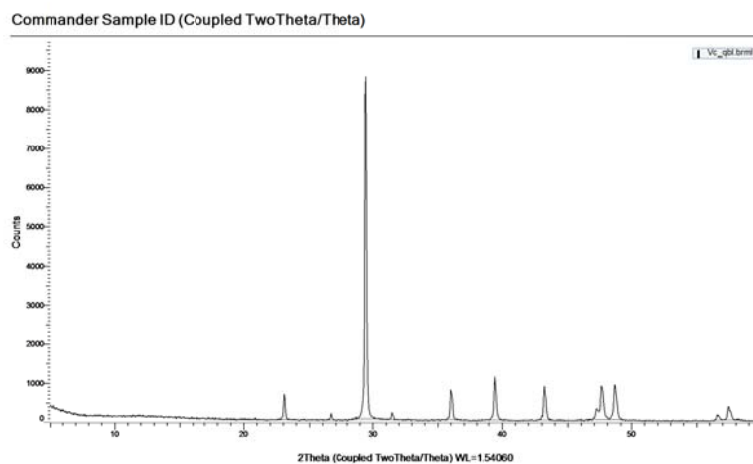
Εικόνα 109. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Παρατηρούνται στυλόλιθοι που διατρέχουν τη μάζα του πετρώματος, οι οποίοι περιέχουν δευτερογενές υλικό που αποτελείται από ασβεστίτη, μίγμα αργλικών ορυκτών και οξειδίων του σιδήρου, φυλλάρια μοσχοβίτη, καθώς και κόκκους χαλαζία (Nicols //).



Εικόνα 110. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Το πέτρωμα είναι τεκτονικά καταπονημένο – κατακερματισμένο και επανασυγκολλημένο στις θέσεις των διακλάσεων με ασβεστίτη. Παρατηρείται σύστημα μικροδιακλάσεων πληρωμένων με ασβεστίτη, καθώς και νεότερο σύστημα μικροδιακλάσεων με εύρος του 1μm, (Nicols //).



Εικόνα 111. Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου. Στη μικριτική του μάζα παρατηρείται κλαστικός χαλαζίας (Nicols ±).



Εικόνα 112. Γωνιόγραμμα Περίθλασης Ακτίνων Χ του τεφρού βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου, όπου καταγράφεται η ασβεστιτική ορυκτολογική του σύσταση, καθώς και χαλαζιακές προσμίξεις.

Ο εξεταζόμενος ασβεστόλιθος παρουσιάζει τα παρακάτω πετρογραφικά χαρακτηριστικά:

Ιστός: βιοκλαστικός-κατακλαστικός. Ιζηματογενές πέτρωμα ασβεστιτικής σύστασης με έντονη δολομιτίωση (παρουσιάζει ευμεγέθη δολομιτικά συσσωματώματα), αποτελούμενο από μικριτική μάζα πλούσια σε θραύσματα απολιθωμάτων (τρηματοφόρα) και κλαστικά γωνιώδη υλικά από χαλαζία. Η παρουσία του βιοκλαστικού υλικού (απολιθωμάτων) είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με τον μπεζ-γκρίζος ασβεστόλιθο (δείγμα Vc_qgr). Το πέτρωμα διασχίζεται από πυκνό δίκτυο

στυλόλιθων και διακλάσεων.

Υφή: συμπαγής - στυλολιθική.

Ορυκτολογική σύσταση: το πέτρωμα συνίσταται κυρίως από ασβεστίτη και χαλαζία.

Αλλοχημικό υλικό: παρατηρείται άφθονο βιοκλαστικό υλικό.

Συγκολλητική μάζα: το υλικό το οποίο συνδέει το παραπάνω βιοκλαστικό υλικό, είναι μικριτικό.

Κλαστικό υλικό: θραύσματα χαλαζία.

Στυλόλιθοι: παρατηρούνται τεκτονικοί στυλόλιθων, οι οποίοι είναι μερικώς πληρωμένοι από δευτερογενή ασβεστίτη, αργιλικά ορυκτά, οξείδια του σιδήρου και ενίοτε από μασχοβίτη και χαλαζία.

Διακλάσεις: παρατηρείται πλήθος διακλάσεων ποικίλων διαστάσεων να διασχίζουν τη μάζα του πετρώματος. Οι διακλάσεις αυτές είναι συνήθως πληρωμένες από δευτερογενές ασβεστιτικό υλικό.

Ταξινόμηση πετρώματος: με βάση την ορυκτολογική εξέταση πρόκειται για ιζηματογενές πέτρωμα ασβεστιτικής και δολομιτικής σύστασης, που φέρει βιοκλαστικό και κλαστικό υλικό μέσα στην μικριτική μάζα. Πρόκειται για έναν βιομικριτικό ασβεστόλιθο εν μέρει δολομιτιωμένο.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι σε ότι αφορά τα πετρογραφικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά οι γκρίζο-μπεζ ιστορικοί ασβεστόλιθοι του Καθολικού ταυτίζονται με τον μπεζ-γκρίζο ασβεστόλιθο του λατομείου που εξετάστηκε (δείγμα Vc_qgr).

5.1.5 Μηχανικές αντοχές λίθων – Συγκριτική μελέτη

Με σκοπό τη σύγκριση των μηχανικών ιδιοτήτων του ιστορικού βιομικριτικού ασβεστόλιθου με τους δυο τύπους βιομικριτικού ασβεστόλιθου λατομείου, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντοχής σε θλίψη (EN 1926:2006, σε κυβικά δοκίμια), σε εφελκυσμό (ISRM 1978, σε κυλινδρικά δοκίμια) και σε κάμψη (σε πρισματικά δοκίμια). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες.

Πίνακας 34: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της θλιπτικής αντοχής των δειγμάτων.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	166,31±26,92
Vw	98,00±39,80
V_qgr	154,08±23,81
V_qbl	121,78±28,76

Παρατηρείται ότι τα δοκίμια λατομείου που αντιστοιχούν στον μπεζ-γκρίζο βιομικριτικό ασβεστόλιθο παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές θλιπτικής αντοχής από τον τεφρό βιομικριτικό ασβεστόλιθο λατομείου. Οι λίθοι λατομείου παρουσιάζουν τιμές θλιπτικής αντοχής ενδιάμεσες των δυο ιστορικών δειγμάτων. Η μεγάλη διασπορά που παρουσιάζεται στις μετρήσεις όλων των λίθων, ιστορικών και λατομείου, αποδίδεται στην πληθώρα διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα.

Πίνακας 35: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της εφελκυστικής αντοχής του κυλινδρικού δοκιμίου.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή εφελκυστικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	3,53±1,84
V_qgr	3,07±1,90
V_qbl	2,79±0,43

Οι λίθοι λατομείου παρουσιάζουν τιμές εφελκυστικής αντοχής ελαφρά χαμηλότερες σε σχέση με τον ιστορικό, ενώ ο μπεζ-γκρίζος βιομικριτικός ασβεστόλιθος παρουσιάζει υψηλότερη τιμή από τον τεφρό λατομείου.

Πίνακας 36: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της καμπτικής αντοχής των δειγμάτων.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή καμπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	22,29±9,92
Vw	20,48±5,03
V_qgr	17,04±6,16
V_qbl	27,78±14,71

Ο μπεζ-γκρίζος βιομικριτικός ασβεστόλιθος του λατομείου παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερη τιμή καμπτικής αντοχής σε σχέση με τα δείγματα του ιστορικού, ενώ ο τεφρός παρουσιάζει υψηλότερη τιμή καμπτικής αντοχής και πολύ μεγάλη διασπορά.

Ο μπεζ-γκρίζος βιομικριτικός ασβεστόλιθος του λατομείου διαθέτει τα ίδια πετρογραφικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά με τον ιστορικό συμπαγή ασβεστόλιθο του Καθολικού. Παράλληλα, παρουσιάζει και ικανοποιητικές τιμές αντοχής σε θλίψη, κάμψη και εφελκυσμό, χωρίς να θέτει τον ιστορικό λίθο σε κίνδυνο λόγω ασυμβατότητας μηχανικών ιδιοτήτων.

5.1.6 Χαρακτηρισμός υλικών και διάγνωση φθοράς του μαρμαροθετημένου δαπέδου

5.1.6.1 Χαρακτηρισμός υλικών του μαρμαροθετημένου δαπέδου

Το μαρμαροθετημένο δάπεδο του Καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας αποτελείται κατα το μεγαλύτερο μέρος του από κιτρινωπό συμπαγή ασβεστόλιθο, στο χρώμα της ανοιχτής ώχρας, που παρουσιάζει διακλάσεις και στυλόλιθους ασαφούς προσανατολισμού. Πρόκειται για παρόμοιο λίθο με τον γκρίζο συμπαγή δομικό λίθο V_c_gbs, ως προς την ορυκτολογική του προέλευση, που προέρχεται από τη γύρω περιοχή.

Παρατηρούνται νεότερες επεμβάσεις συμπλήρωσης του δαπέδου με ορθογώνιες πλάκες λίθου, παρόμοιου με τον κιτρινωπό συμπαγή ασβεστιτικό λίθο που προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή. Οι νεότερες πλάκες παρουσιάζονται πιο σκουρόχρωμες με περισσότερες διακλάσεις και στυλόλιθους από τους αυθεντικούς. Το μεγαλύτερο τμήμα συμπλήρωσης με αυτούς τους λίθους είναι στο κεντρικό και βόρειο τμήμα του ιερού καθώς και στο βόρειο και νότιο τμήμα του κυρίως ναού σε επαφή με τον τοίχο. Πέραν του συμπαγή ασβεστόλιθου, στις επεμβάσεις συμπλήρωσης, έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες πλάκες με χαρακτηριστικότερη την περίπτωση του ερυθρωπού

λίθου που έχει τοποθετηθεί επανειλημμένα στο νότιο τμήμα του ιερού και πιθανότατα αφορά σε ερυθρωπό πηλίτη (πέτρα Θυμιανών).

Οι συνθέσεις μαρμαροθετημένων λίθινων «ψηφίδων» που παραπέμπουν στις αυθεντικές, απαρτίζονται κατά κύριο λόγο από οκτώ διαφορετικές περιπτώσεις λίθων, που ταυτοποιήθηκαν κατόπιν της μικροσκοπικής και ορυκτολογικής μελέτης. Προέκυψαν έτσι οι εξής λίθοι: α) κόκκινος Πηλίτης, β) ο έτερος κόκκινος, λίθος της Μάνης γ) τεφρός βιομικρικός ασβεστόλιθος, δ) υπόκίτρινος μικρικός ασβεστόλιθος, ε) πρασινωπός χαλαζίτης, στ) ερυθρωπός βιομικρικός ασβεστόλιθος, ζ) Κροκεάτης λίθος (Lapis Lacedemonius), η) Πράσινος λίθος Χασάμπαλης (Verde Antico) και θ) Λευκό ασβεστιτικό μάρμαρο.

5.1.6.2 Διάγνωση του μαρμαροθετημένου δαπέδου

Αναφερόμενοι στις επεμβάσεις που έχουν συμβεί στο παρελθόν, από την παρατήρηση του συνόλου του δαπέδου, παρατηρούνται κάποιες διακριτές φάσεις επεμβάσεων:

α) Το δάπεδο στον κυρίως ναό έχει στο σύνολό του αποκατασταθεί με την προσθήκη διάφορων πλακών και μαρμαροθετημάτων τα οποία τις περισσότερες φορές δεν ακολουθούν την χρωματική διαβάθμιση αλλά έχουν το σωστό μέγεθος και σχήμα ώστε να συμπληρώνουν αισθητικά τις συνθέσεις, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις είναι εντελώς ετερόκλιτα λίθινα στοιχεία σε διάφορα μεγέθη σχήματα και μοτίβο.

β) υπάρχει μια μεγάλη συμπλήρωση με πλάκες που έχουν συμπληρώσει μεγάλη έκταση επιφάνειας, όπου δε σώζεται το αυθεντικό δάπεδο,

γ) στο παρελθόν είχε δημιουργηθεί βάθρο που εκτινόταν γύρω από τη Ιερή Τράπεζα μέχρι την Ωραία Πύλη (μπορεί και σε όλο το ιερό),

δ) έχουν γίνει νεότερες επεμβάσεις αποξήλωσης του βάρου και εξυγίανση του δαπέδου μαζί με τη επανατοποθέτηση της λίθινης μαρμαροθετημένης πλάκας (της σύνθεσης του αετού και του λαγού) την οποία είχαν τοποθετήσει στο ύψος του βάρου,

ε) έχει ανοιχτεί καταπακτή της κιστέρνας που βρίσκεται στη Νότια πλευρά του κυρίως ναού μέσω της απόσπασης λίθινης πλάκας,

στ) έχουν γίνει νεότερες επεμβάσεις συμπλήρωσης κενών με τσιμεντοκονίαμα, συνδυάζοντας την με τοποθέτηση ακανόνιστων πλακών σχιστόλιθου με μεγάλους αρμούς, κυρίως στη περιοχή του ιερού.

Από πλευράς των φθορών που παρουσιάζονται, το μαρμαροθετημένο δάπεδο φέρει κυρίως, ρωγμές, νεότερες συμπληρώσεις τσιμέντου και λίθων, επικαθίσεις από παλιές επεμβάσεις συμπλήρωσης, καθώς επίσης σχηματισμό κρούστας στην επιφάνεια των λίθων.

Πιο αναλυτικά, οι κυριότερες φθορές που παρουσιάζονται στο δάπεδο είναι:

- Ρωγμές

Σε πολλές λίθινες πλάκες του δαπέδου παρατηρείται πληθώρα ρωγμών, από τριχοειδείς μέχρι και ακόμα μεγαλύτερες πλάτους 1 cm. Σε κάποιες περιπτώσεις, οι πλάκες παρουσιάζονται κατακερματισμένες. Ο συνδυασμός της, ως ένα βαθμό, ανερχόμενης υγρασίας με συγκέντρωση Χλωριόντων στην επιφάνεια των γκρίζων ασβεστόλιθων αλλά και στις «ψηφίδες» των μαρμαροθετημάτων, φαίνεται να έχει συμβάλει στη μετατροπή των διακλάσεων και των στυλόλιθων σε διευρυμένες ρωγμές για ένα μέρος πλακών.
- Νεότερες Συμπληρώσεις
 - Στο τμήμα της κεντρικής σύνθεσης, υπήρχε στο παρελθόν χτιστό βάθρο που αφαιρέθηκε σε νεότερη επέμβαση, αποκαλύπτωντας το *opus alexandrinum*. ωστόσο από τη στιγμή που αφαιρέθηκε το βάθρο έχουν αποκαλυφθεί νεότερες συμπληρώσεις με τσιμεντοκονίαμα και σχιστόπλακες.
 - Νεότερες πλάκες που στην πλειονότητά του έχουν συγγένεια με τον μπεζ-γκρι βιομικρικό ασβεστόλιθο που απαντάται στην περιοχή, μαζί με άλλους διαφορετικούς τύπους λίθινων πλακών, αποτελούν τη νεότερη συμπλήρωση του δαπέδου του ναού, που περιλαμβάνει περίπου το ένα τρίτο της έκτασης του δαπέδου συνολικά.
- Επικαθίσεις από νεότερες επεμβάσεις συμπλήρωσης απαντώνται κυρίως στην περιοχή του Ιερού γύρω από την θέση της Αγίας τράπεζας, στα σημεία που εδραζόταν χτιστό βάθρο, επί της επιφάνειας του δαπέδου.
- Επιφανειακές κρούστες, αλάτων, οξειδίων του σιδήρου, βιολογικών παραγόντων και αιωρούμενης σκόνης, προήλθαν από τη χρόνια τοποθέτηση στασιδίων που λόγω της κάλυψης της επιφάνειας, ευνοήθηκε ο σχηματισμός τους λόγω της ανάπτυξης μικροκλίματος στο εσωτερικό τους.

5.2 Πρόταση της σύστασης κατάλληλων συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων δόμησης και ενεμάτων

Η επιλογή ενός συμβατού και επιτελεστικού κονιάματος αποκατάστασης για την αποκατάσταση ενός μνημείου ή ιστορικού κτηρίου, είναι εξεχούσης σημασίας για την αειφορία του μνημείου. Κατά τον σχεδιασμό και την επιλογή του βέλτιστου κονιάματος αποκατάστασης ανά περίπτωση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πληθώρα παραγόντων.

Το κονίαμα αποκατάστασης πρέπει να είναι συμβατό και σε σχέση με το ιστορικό κονίαμα και σε σχέση με τους δομικούς λίθους της κατασκευής. Η συμβατότητα είναι μια ευρεία έννοια η οποία υποδηλώνει την καλή «συνεργασία» νέου και ιστορικού υλικού ως προς την απόκριση του μνημείου υπό την επίδραση φυσικοχημικών και μηχανικών παραγόντων. Σκοπός της αποκατάστασης είναι η επίτευξη της ομοιογένειας και της ιστροπίας (στον βαθμό που είναι φυσικά επιτρεπτό) του αποκατεστημένου κτηρίου ή μνημείου. Συνεπώς, είναι επιθυμητό να χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία θα παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά με τα υπάρχοντα χαρακτηριστικά του μνημείου, ωστόσο ελαφρώς βελτιωμένα.

Παράλληλα με την συμβατότητα, η οποία έχει σκοπό την προστασία των ιστορικών δομικών υλικών, αλλά και την μακροζωία του μνημείου ή κτηρίου εν τω συνόλω, θα πρέπει να επιτυγχάνεται και η επιτελεστικότητα του κονιάματος αποκατάστασης, δηλαδή, θα πρέπει να κονίαμα να συνεισφέρει θετικά και στον βέλτιστο βαθμό στην απόκριση του μνημείου σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις. Συνεπώς οι μηχανικές και οι φυσικοχημικές ιδιότητες ενός κονιάματος αποκατάστασης πρέπει να είναι κατάλληλες ώστε αφενός να μην επηρεαστούν αρνητικά τα δομικά υλικά του κτηρίου και αφετέρου να βελτιώσουν την απόκριση του μνημείου σε καταπονήσεις. Τις επιθυμητές μηχανικές αντοχές που πρέπει να πληροί το βέλτιστο κονίαμα αποκατάστασης μπορεί να τις ορίσει, για παράδειγμα, ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων.

Στην περίπτωση του Καθολικού της Μονής Βαρνάκοβας, όπως παρουσιάζεται στο αντίστοιχο τμήμα, μελετήθηκαν πληθώρα ιστορικών δομικών υλικών, λίθων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων. Τα χαρακτηριστικά των υλικών αυτών, σε συνάρτηση με την παθολογία του μνημείου και τους ιδιαίτερους περιβαλλοντικούς παράγοντες, αλλά και τις απαιτήσεις που ορίζει το μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων για την αποκατάσταση ώστε να διασφαλίζεται η απόκριση του μνημείου σε στατικές και δυναμικές καταπονήσεις, είναι οι άξονες που ορίζουν την επιλογή του βέλτιστου κονιάματος αποκατάστασης.

Ο βασικός δομικός λίθος είναι ένας συμπαγής βιομικρικός ασβεστόλιθος, μικρού σχετικά πορώδους και υψηλής αντοχής. Παράλληλα, ταυτοποιήθηκαν και πωρόλιθοι που έχουν χρησιμοποιηθεί ωστόσο λιγότερο εκτεταμένα. Οι πωρόλιθοι που εξετάστηκαν παρουσιάζουν

μεγάλο πορώδες και μεγάλα ποσοστά απορρόφησης νερού. Η ύπαρξη των πυρόλιθων, και με γνώμονα την επιταγή για τη διατήρηση των ιστορικών υλικών και τη διασφάλιση της μακροζωίας τους, εντείνει την απαίτηση μη εισαγωγής αλάτων στην τοιχοποιία μέσω εφαρμογής υλικών με υψηλή περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα.

Τα ιστορικά κονιάματα του Καθολικού ταξινομήθηκαν σε δυο βασικές ομάδες, μια ομάδα όπου ομαδοποιούνται κονιάματα που είναι ιδιαίτερα υδραυλικά με χαμηλά ποσοστά ανθρακικών ενώσεων και μια ομάδα όπου ομαδοποιούνται κονιάματα που παρουσιάζουν ελαφρώς υδραυλικό χαρακτήρα και σχετικά υψηλά ποσοστά ανθρακικών ενώσεων. Τα αρμολογήματα και τα κονιάματα δόμησης του Καθολικού ανήκουν στη δεύτερη ομάδα, ελαφρώς υδραυλικού χαρακτήρα και αποτελούν τα υλικά βάσει των οποίων μπορεί να εφαρμοστεί η **αντίστροφη μηχανική προσέγγιση**:

○ 1η Φάση: Χαρακτηρισμός Ιστορικών Κονιαμάτων

Προσδιορισμός και αποτίμηση των ορυκτολογικών, χημικών, φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των παραδοσιακών κονιαμάτων και της συμπεριφοράς τους σχετικά με την περιβαλλοντική δράση και τις μηχανικές καταπονήσεις. Επιλογή των πρώτων υλών παραγωγής για τη σύνθεση των νέων υλικών.

○ 2η Φάση: Παρασκευή Κονιαμάτων Αποκατάστασης.

Σύνθεση κονιαμάτων αποκατάστασης, αποτελούμενων από μίγματα διαφόρων αναλογιών, ποσοστών και κλασμάτων κοκκοδιαβάθμισης συνδετικής ύλης, αδρανών, πρόσθετων, υπό διάφορες συνθήκες και με ποικίλους τρόπους.

○ 3η Φάση: Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Κονιαμάτων Αποκατάστασης.

Αξιολόγηση των νέων υλικών αποκατάστασης και των τεχνικών θεμελιωδών χαρακτηριστικών τους σε σχέση με τα παραδοσιακά σε εργαστηριακή κλίμακα. Εργαστηριακή προσομοίωση για τη μελέτη της φυσικοχημικής και φυσικομηχανικής αντίστασης των κονιαμάτων στη φθορά, σε συνθήκες επιταχυνόμενης γήρανσης. Δοκιμαστική εφαρμογή σε εργαστηριακή κλίμακα και σε πιλοτική τοιχοποιία, και αξιολόγηση της συμπεριφοράς με επιτόπου μη καταστρεπτικές δοκιμές.

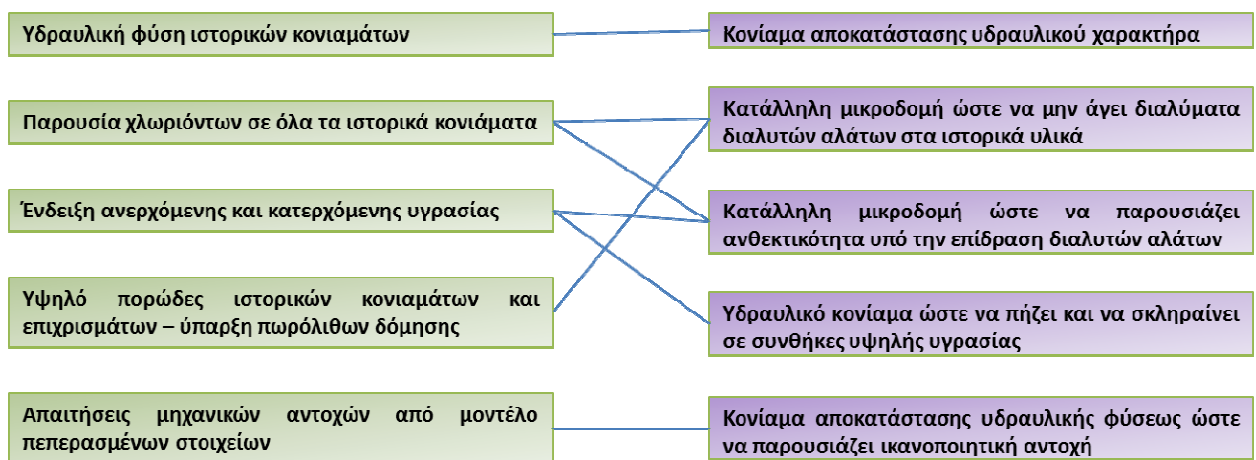
○ 4η Φάση: Αριστοποίηση Παρασκευής Κονιαμάτων Αποκατάστασης.

Επιλογή, σχεδιασμός και αριστοποίηση της τεχνολογίας παραγωγής -προτυποποίηση προϊόντος, με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται από την προηγούμενη φάση.

ο 5η Φάση: Αποτίμηση Κονιαμάτων Αποκατάστασης.

Παραγωγή του προτυποποιημένου προϊόντος, σε ευρεία κλίμακα, και εφαρμογή του σε πιλοτική κλίμακα, σε αντιπροσωπευτικά ιστορικά μνημεία.

Το κονίαμα αποκατάστασης που θα εφαρμοστεί, θα πρέπει να ακολουθεί τις επιταγές συγκεκριμένων ιδιαίτερων επιταγών που θέτουν τα ιστορικά υλικά, αλλά και οι ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες του μνημείου, σύμφωνα με το διάγραμμα που ακολουθεί.



5.2.1 Πρόταση Κονιάματος

Με γνώμονα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ιστορικών υλικών, τις ιδιαίτερες απαιτήσεις του μνημείου λόγω μικροπεριβάλλοντος και τις απαιτήσεις του μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων για κονίαμα M15, πραγματοποιήθηκε συγκριτική μελέτη των ιστορικών κονιαμάτων με πληθώρα κονιαμάτων αποκατάστασης που έχουν μελετηθεί στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών. Βάσει της συγκριτικής μελέτης, αλλά και βάσει της εμπειρίας του εργαστηρίου σε πραγματικά έργα, προτείνεται ως βέλτιστη λύση η χρήση εμπορικού κονιάματος ασβέστη-μετακαολίνη, ώστε να διασφαλίζεται η αναπαραγωγισιμότητα, η ποιότητα και η ταχύτητα των εργασιών, ενώ πληρούνται τα κριτήρια συμβατότητας και επιτελεσματικότητας του κονιάματος αποκατάστασης.

Ο μετακαολίνης είναι εξαιρετικά δραστική τεχνητή ποζολάνη. Αυτή η κατηγορία κονιαμάτων:

- Αναπτύσσει υψηλά επίπεδα μηχανικών αντοχών, το οποίο όπως προαναφέρθηκε είναι ζητούμενο. Παράλληλα, επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα μηχανικών αντοχών ακόμα και σε πρώιμους χρόνους ωρίμανσης (γρήγορη ανάπτυξη μηχανικών αντοχών).
- Παρουσιάζει ταχύτατη κατανάλωση πορτλαντίτη (ήδη στις 28 ημέρες), το οποίο είναι σημαντικό, καθώς δεν αναπτύσσεται δυναμικό που μπορεί να προκαλέσει φυσικοχημικές αλλοιώσεις στα υπόλοιπα δομικά υλικά.
- Πήζει και σκληραίνει σε συνθήκες υψηλής υγρασίας, το οποίο είναι επίσης ζητούμενο, καθώς όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν ενδείξεις κατερχόμενης και ανερχόμενης υγρασίας στις τοιχοποιίες του Καθολικού.
- Δεν συνεισφέρει άλατα στην τοιχοποιία, σε αντίθεση με το τσιμέντο το οποίο φέρει (και κατά συνέπεια άγει) φορτία διαλυτών αλάτων στα υπόλοιπα δομικά υλικά, εντείνοντας φαινόμενα φθοράς.
- Το προτεινόμενο κονίαμα τοιχοποιίας, είναι κονίαμα υδρασβέστου - ποζολάνης (μετακαολίνης υψηλής δραστηριότητας), χωρίς τσιμέντο, με ποταμίσια πυριτικά αδρανή μέγιστης διαμέτρου 2 mm και ορυκτές ανόργανες ίνες. Εξασφαλίζει θλιπτική αντοχή >15 MPa και κατατάσσεται ως κονίαμα τοιχοποιίας τύπου M15 κατά EN 998/2. Το κονίαμα παρουσιάζει υψηλές μηχανικές αντοχές, μολονότι χωρίς τσιμέντο και με βάση τον ένυδρο ασβέστη. Τα ειδικά χαρακτηριστικά του κονιάματος είναι:
- Προϊόν με σήμανση CE: διαδικασία παραγωγής και έλεγχος ποιότητας κατά EN 998/2
- Απουσία τσιμέντου: η πλήρη απουσία τσιμέντου στο προϊόν το καθιστά συμβατό με τα παραδοσιακά δομικά υλικά της προς ενίσχυση τοιχοποιίας
- Υψηλές μηχανικές αντοχές: οι υψηλές μηχανικές αντοχές που παρουσιάζει είναι εξαιρετικές για ένα προϊόν με βάση τον ένυδρο ασβέστη επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τη σύζευξη ιστορικών, τεχνολογικών, δομικών και εκτελεστικών απαιτήσεων
- Υψηλή πρόσφυση στην τοιχοποιία: καλή συμπεριφορά σε διάτμηση (σημαντική για τους αρμούς) και σε εφελκυσμό (σημαντικός για τους σπλισμένους μανδύες και θόλους)
- Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά άλατα: παρουσιάζει χαμηλή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, δεν εισάγει στην τοιχοποιία θειικά, χλωριούχα και νιτρικά άλατα, καθώς και ιόντα καλίου και νατρίου και δεν συμβάλλει σε φυσικοχημικά φαινόμενα φθοράς που σχετίζονται με το σχηματισμό και την κρυστάλλωση αλάτων
- Εύκολο και απλό στην εφαρμογή: με μυστρί ή με εκτόξευση χρησιμοποιείται για επεμβάσεις ενίσχυσης για πάχη μέχρι 5 cm. Για επεμβάσεις όπου απαιτείται πάχος

μεγαλύτερο των 5 cm, μπορεί να εφαρμοσθεί με χύτευση προσθέτοντας στο κονίαμα αδρανή κατάλληλης κοκκομετρίας επιτυγχάνοντας σκυροδέματα υψηλής αντοχής.

- Υψηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς: σημαντική ιδιότητα που επιτρέπει την κανονική διαπνοή της τοιχοποιίας
- Χαμηλή τριχοειδή ρόφηση: σημαντική για να παρεμποδίζει εξωτερικά την είσοδο του νερού στην τοιχοποιία
- άκαυστο υλικό: άκαυστο υλικό και δεν εκλύει καπνό (EuroclassA1)

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που ακολουθούν στον Πίνακα 39, αναφέρονται σε νωπό κονίαμα συνεκτικότητας 160-170 mm, κατά EN 1015/3.

Πίνακας 37: τεχνικά χαρακτηριστικά για το προτεινόμενο κονίαμα

Αντοχή σε θλίψη EN 1015/11	18 MPa, κονίαμα τύπου M15
Συντελεστής διάχυσης υδρατμών, EN 1745	$\mu < 35$
Υδατοδιαλυτά άλατα (κονίαμα μετά την σκλήρυνση) Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, Normal 13/83 Ιοντική χρωματογραφία, Normal 26/87	$< 80 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ $\text{SO}_4^{2-} < 0.1\%$ $\text{Na}^+ < 0.05\%$ $\text{K}^+ < 0.05\%$
Συντελεστής τριχοειδούς ρόφησης, EN 1015/18	$0,2 \text{Kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-0.5}$
Συμπεριφορά σε φωτιά EN 13501/1	Euroclass A1
Αντοχή pullout σε ράβδους χάλυβα και MBar, Rilem-CEM-FIPRC6-78	$> 6 \text{ MPa}$
Στατικό μέτρο ελαστικότητας UNI 6556	16.000 MPa
Πρόσφυση στο υπόστρωμα – EN 1015/12 (με άμεσο εφελκυσμό) EN 1052/3 (με διάτμηση)	$> 0,6 \text{ MPa}$ (θραύση τύπου A (διεπιφάνεια κονίαμα – υπόστρωμα)) $\tau_0 > 0,80 \text{ MPa}$

Προσθέτοντας αδρανή με D_{max} (διάμετρο) 20 mm λαμβάνεται σκυροδέμα συνεκτικότητας S3, EN 206/1, που παρουσιάζει θλιπτική αντοχή $> 15 \text{ MPa}$.

5.2.1.1 Προετοιμασία του υποστρώματος

Το φθαρμένο κονίαμα πρέπει να απομακρύνεται. Πρέπει επίσης να απομακρύνονται ενδεχόμενα υπολείμματα εξανθήσεων ή οποιαδήποτε άλλη ουσία που θα μπορούσε να διακινδυνεύσει την καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα. Πριν την εφαρμογή του κονιάματος το υπόστρωμα πρέπει να έχει καθαρισθεί και να έχει γίνει κορεσμός με νερό χαμηλής πίεσης. Ο κορεσμός με νερό είναι αναγκαίος για να παρεμποδισθεί η αφαίρεση νερού από το κονίαμα στο υπόστρωμα. Η κακή διαβροχή του υποστρώματος με νερό μπορεί να προκαλέσει απώλεια στην πρόσφυση και ρηγματώσεις στο κονίαμα. Σε περίπτωση που το υπόστρωμα δε μπορεί να διαβρεχτεί συνίσταται ωστόσο η ελάχιστη διαβροχή για να επιτευχθεί η σωστή αγκύρωση του κονιάματος.

5.2.1.2 Ανάμειξη - Εφαρμογή

Εάν το κονίαμα θα εφαρμοστεί με μυστρί ή εκτόξευση θα πρέπει να αναμιγνύεται μόνο με καθαρό νερό (χωρίς άλατα και οργανικές ενώσεις) σε αναλογία 5,5 ÷ 6 λίτρα/25 Kg ξηρού κονιάματος (22 ÷ 24% κατά βάρος της ξηρής μάζας). Στην περίπτωση εφαρμογής με χύτευση τυπική για πάχος μεγαλύτερο των 5 είναι αναγκαίο να προστεθούν στο κονίαμα αδρανή μεγαλύτερης διαμέτρου (5-20 mm), σε αναλογία 35 % του ξηρού κονιάματος και νερό σε αναλογία 28 %, για να αποκτηθεί μια ρευστή συνεκτικότητα (S3 - S4). Το κονίαμα πρέπει να αναμιγνύεται σε μπετονιέρα ή αναμικτήρα μηχανής επίχρισης μέχρι να αποκτηθεί ένα ομοιογενές πλαστικό μίγμα χωρίς σβόλους. Δεν συνίσταται η ανάμειξη στο χέρι.

Η εφαρμογή του κονιάματος μπορεί να γίνει με το χέρι ή με μηχανή επίχρισης μη συνεχούς κύκλου ή διαμέσου χύτευσης. Στην περίπτωση εφαρμογής με το χέρι συνίσταται η εφαρμογή με μυστρί μιας λεπτής πρώτης στρώσης (2÷3 mm), με το ίδιο υλικό ημίρρευστης συνεκτικότητας, ούτως ώστε να εξισορροπηθεί η ρόφηση της τοιχοποιίας και να αυξηθεί η πρόσφυση. Στη συνέχεια ακολουθείται ο παλιός κανόνας, με στρώσεις 1,5 με 2 cm την κάθε φορά, μέχρι να φθάσουμε το επιθυμητό ολικό πάχος. Κάθε φορά φροντίζουμε να στρώνουμε την επόμενη στρώση αφού η προηγούμενη δεν έχει εντελώς σκληρυνθεί. Επίσης είναι αναγκαίο να διαβρέχουμε το υποκείμενο στρώμα προτού εφαρμόσουμε το επόμενο.

Όταν τελειώσει η εφαρμογή το κονίαμα θα πρέπει να τριφτεί μέχρι να αποκτηθεί μια επίπεδη επιφάνεια. Όταν το υπόστρωμα αποτελείται από ανομοιογενή υλικά, που παρουσιάζουν διαφορετική θερμική συμπεριφορά συνίσταται η εφαρμογή στο επίχρισμα ενός πλέγματος με ίνες υάλου (ανθεκτικές σε αλκαλικό περιβάλλον) ούτως ώστε να παρεμποδιστούν πιθανές ρηγματώσεις. Τέτοιο μέτρο μπορεί να ληφθεί και επίσης και για τα άκρα των ανοιγμάτων, όπου δημιουργούνται συγκεντρώσεις τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν ρηγματώσεις.

5.2.2 Πρόταση Ενέματος

Η χρήση ενέματος για την ενίσχυση της τοιχοποιίας και την επανεγκαθίδρυση της συνάφειας των δομικών στρωμάτων της, θεωρείται ως απαραίτητη. Τονίζεται ότι η ενεμάτωση διαμέσου σωληνίσκων τοιχοποιίας πρέπει να εφαρμοστεί με μεγάλη προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη τις υπόγειες δομές του Καθολικού, που μπορούν να αποτελέσουν διαδρομές διαφυγής του ενέματος. Το ένεμα προτείνεται να είναι ίδιου τύπου με το κονίαμα, υδραυλικής φύσεως και ίδιας βάσεως από άποψη σύστασης, ώστε να διασφαλίζεται η συμβατότητα στον μέγιστο βαθμό με το κονίαμα αποκατάστασης, ενώ θα πρέπει να παρουσιάζει κατάλληλα ρεολογικά χαρακτηριστικά.

Ως πλέον συμβατό, προτείνεται εμπορικό ένεμα, βάσης ασβέστη-μετακαολίνη, το οποίο παρουσιάζει τη μέγιστη συνάφεια με το κονίαμα.

Το προτεινόμενο ένεμα, χωρίς τσιμέντο, υπέρλεπτης κοκκομετρίας (<12μm), υψηλής ρευστότητας διατηρεί παρατεταμένη εργασιμότητα. Επίσης παρουσιάζει διόγκωση κατά την πλαστική φάση, εξασφαλίζοντας την πλήρωση ακόμη και των μικρότερων κενών. Εξασφαλίζει θλιπτική αντοχή >10 MPa και κατατάσσεται ως κονίαμα τοιχοποιίας τύπου M10 κατά EN 998/2. Τα ειδικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει είναι:

- Προϊόν με σήμανση CE: διαδικασία παραγωγής και έλεγχος ποιότητας κατά EN 998/2
- Απουσία τσιμέντου: η πλήρη απουσία τσιμέντου στο προϊόν το καθιστά συμβατό με τα παραδοσιακά δομικά υλικά της προς ενίσχυση τοιχοποιίας
- Πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υδατοδιαλυτά άλατα: παρουσιάζει χαμηλή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας, δεν εισάγει στην τοιχοποιία θειικά, χλωριούχα και νιτρικά άλατα, καθώς και ιόντα καλίου και νατρίου και δεν συμβάλλει σε φυσικοχημικά φαινόμενα φθοράς που σχετίζονται με το σχηματισμό και την κρυστάλλωση αλάτων
- Υπέρλεπτη κοκκομετρία, υψηλή ρευστότητα, υψηλή συγκράτηση νερού: τα χαρακτηριστικά αυτά αποδίδουν στο υλικό εύκολη ενεσιμότητα ακόμη και στα μικρότερα κενά παρεμποδίζοντας την απώλεια νερού από το μίγμα στην τοιχοποιία καθώς και την πρόωμη αφυδάτωσή του
- Διατήρηση υψηλής εργασιμότητας: η ιδιότητα αυτή επιτρέπει ικανοποιητικούς χρόνους εργασιμότητας στο εργοτάξιο
- Πολύ χαμηλή θερμοκρασία ενυδάτωσης: σημαντικό χαρακτηριστικό για την αποφυγή δημιουργίας ρηγματώσεων εξαιτίας της συνέργειας θερμικών φαινομένων στο εσωτερικό της τοιχοποιίας
- Ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές: μολονότι πρόκειται για ένεμα υψηλής ρευστότητας, χωρίς τσιμέντο, παρουσιάζει ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές για την ενίσχυση των τοιχοποιιών

- Υψηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς: σημαντική ιδιότητα που επιτρέπει την κανονική διαπνοή της τοιχοποιίας
- Αντοχή σε θειικά άλατα: το υλικό δεν είναι ευπαθή σε επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με θειικά άλατα, που πιθανόν να περιέχονται στην τοιχοποιία (στα κονιάματα, λίθους, πλίνθους ή από ανερχόμενη υγρασία)
- Άκαυστο υλικό: άκαυστο υλικό και δεν εκλύει καπνό (Euroclass A1)



Εικόνα 113: Ενίσχυση τοιχοποιιών και θεμελιώσεων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του φαίνονται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 38: Τεχνικά χαρακτηριστικά προτεινόμενου ενέματος

Εξίδρωση, Normal 33/87	Απούσα
Ρευστότητα, Κώνος Marsh	Αρχή < 30 s 30 min < 30 s 60 min < 30 s
Συντελεστής διάχυσης υδρατμών, EN 1745	$\mu < 35$
Μέγιστη θερμοκρασία ενυδάτωσης,	< 30 °C

αδιαβατική κάμερα

Υδατοδιαλυτά άλατα (κονίαμα μετά την σκλήρυνση), UNI 11087	Ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα < 140 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ SO_4^{2-} < 0,1 % Na^+ < 0,1 % K^+ < 0,1 %
Αντοχή σε θειικά άλατα	Καμία απώλεια αντοχών σε δοκίμια εμβαπτισμένα για 90 ημέρες σε διάλυμα Na_2SO_4 5%
Συμπεριφορά σε φωτιά, EN 13501/1	Euroclass A1
Αντοχή σε θλίψη, EN 1015/11	> 10 MPa κονίαμα τύπου M10
Στατικό μέτρο ελαστικότητας, EN 13412	6.000 \pm 1.000 Mpa
Πρόσφυση στο υπόστρωμα (διάτμηση), EN 998/2	> 0,15 MPa
Αντοχή pull-out σε ράβδους χάλυβα και FRP (MBar), RILEM-CEB-FIP RC6-78	> 4 MPa
Διόγκωση στην πλαστική φάση, CRD C 621	> 0.4%

5.2.2.1 Προετοιμασία και Εφαρμογή

Το ένεμα πρέπει να αποθηκεύεται σε στεγασμένο και ξηρό μέρος σε θερμοκρασία +5°C - +35°C. Αρχικά είναι απαραίτητο να σφραγιστούν τυχόν ρηγματώσεις και κενά που μπορούν να αποτελέσουν οδό διαφυγής του ενέματος κατά την εισπίεσή του. Στη συνέχεια πρέπει να διανοιχτούν οπές, χρησιμοποιώντας εργαλεία απλής περιστροφής, διαμέτρου 20÷40 mm και βάθους περίπου τα 2/3 του πάχους της τοιχοποιίας, δημιουργώντας κάνναβο με διάταξη ισόπλευρου τριγώνου. Η απόσταση μεταξύ των οπών δημιουργείται ανάλογα με τη δομή και τη συνεκτικότητα της τοιχοποιίας και θα πρέπει να ορίζεται μετά από προκαταρκτικές δοκιμές στο εργοτάξιο. Σε κάθε οπή τοποθετείται σωληνάκι για ένεμα διαμέτρου 15÷20 mm και εισάγεται στην τοιχοποιία για περίπου 10 cm. Σταθεροποιείται το σωληνάκι και η οπή σφραγίζεται με κονίαμα. Πριν την εφαρμογή του ενέματος, συνιστάται προκαταρκτικός καθαρισμός του δικτύου και της μάζας της τοιχοποιίας, αρχίζοντας από τις υψηλότερες οπές, με εισπίεση νερού χαμηλής πίεσης (μέχρι 1 atm). Ο καθαρισμός επιτρέπει τη βέλτιστη και αποτελεσματική διείσδυση του ενέματος. Το ένεμα δεν πρέπει να εφαρμόζεται σε θερμοκρασίες κάτω των 5°C και άνω των 40°C. Η συνιστώμενη

ποσότητα νερού για την ανάμειξη είναι περίπου $5,25 \div 5,7$ λίτρα ανά σάκο ($35 \div 38$ %κατά βάρος της ξηρής μάζας). Η ανάμειξη πρέπει να γίνεται με μηχανικό αναμικτήρα και να αποφεύγεται η ανάμειξη με το χέρι. Για να επιτευχθεί η βέλτιστη ανάμειξη συνιστάται να προστίθεται αρχικά στο προϊόν μόνο ένα μέρος του απαιτούμενου νερού και να ομογενοποιείται με χαμηλή ταχύτητα για μερικά λεπτά. Στη συνέχεια προστίθεται η υπόλοιπη ποσότητα νερού, αναγκαία για να αποκτηθεί η επιθυμητή ρευστότητα, αναμειγνύοντας για μερικά λεπτά ακόμη και μέχρι να αποκτηθεί ένα ομοιογενές ρευστό μίγμα χωρίς σβόλους. Η εισαγωγή του ενέματος γίνεται με χαμηλή πίεση (μέχρι 1 atm) αρχίζοντας από την κατώτερη σειρά οπών μέχρι την έξοδό του από την πιο πάνω οπή. Στη συνέχεια κλείνεται το κατώτερο σωληνάκι και συνεχίζεται η εισαγωγή του ενέματος σε όλη την πρώτη σειρά των οπών. Η διαδικασία συνεχίζεται σταδιακά κατά τον ίδιο τρόπο μέχρι την έξοδο του ενέματος από την υψηλότερη σειρά των οπών.

Ιδιαίτερη σημασία, όπως προαναφέρθηκε, θα πρέπει να δοθεί στην παρακολούθηση της διαδικασίας της ενεμάτωσης, ώστε να προστατευτούν και να διατηρηθούν χώροι εξέχουσας ιστορική αξίας για το Καθολικό.

5.2.3 Προτάσεις υλικών και επεμβάσεων Συντήρησης Μαμαροθετημένου δαπέδου

Οι επεμβάσεις συντήρησης, έχουν σκοπό την απομάκρυνση των φθοροποιών παραγόντων του δαπέδου, όπως καταγράφηκαν και έχουν αναφερθεί. Κατα κύριο λόγο περιλαμβάνουν τη συμπλήρωση, τον καθαρισμό, τη στερέωση και συγκόλλησεις θραυσμένων λίθινων όπου είναι απαραίτητο. Ωστόσο, είναι απαραίτητο προηγουμένως να γίνουν πιλοτικές εφαρμογές επεμβάσεων καθαρισμού και στερέωσης έτσι ώστε να γίνει ο έλεγχος συμβατότητας ώστε να επιλεγούν τα κατάλληλα συμβατά υλικά.

Βάση της διαγνωστικής μελέτης προτείνεται ο έλεγχος συμβατότητας των παρακάτω υλικών και επεμβάσεων συντήρησης:

- Κονίαμα αποκατάστασης
Θα πρέπει να έχει σχέση με το κονίαμα που αποτελεί το υπόστρωμα του δαπέδου (V_c_mortar_cfl1, V_c_mortar_cfl2), οπότε και θα πρέπει έχει βάση την υδραυλική άσβεστο.
- Καθαρισμός
 - Για τον καθαρισμό χαλαρών επιφανειακών επικαθίσεων των λίθινων στοιχείων προτείνεται η χρήση νερού με μη τασιενεργό σαπούνι.
 - Για τις περιπτώσεις με ήπια επιφανειακή φθορά συνιστάται η εφαρμογή επιθεμάτων σεπιόλιθου, που διαλύει τις επικαθίσεις και ταυτόχρονα δρα ως παράγοντας αφαλάτωσης

- Για το καθαρισμό ισχυρότερων επιφανειακών εναποθέσεων και κρουστών προτείνεται η εφαρμογή επιθέματος πάστας AB57, καθώς και χρήση κάποιου βιοκτόνου τύπου Desogen για τις βιολογικές επικαθίσεις. Στα ενδιάμεσα στάδια των εργασιών να γίνεται καλή πλύση με απιονισμένο νερό.
- Στις ρηγματώσεις αρχικά να γίνει καθαρισμός με υπεροξείδιο του υδρογόνου 10% με τη χρήση συριγγών και με την υποβοήθηση οδοντιατρικών ταινιών και μικροεργαλείων. Εν συνεχεία για την πλήρωση των μικρορωγμών μπορεί να χρησιμοποιηθεί λεπτόρρευστο ένεμα υδραυλικής ασβέστου με απιονισμένο νερό.
- Για την αφαίρεση της επιφανειακής κρούστας προτείνεται η χρήση επιθέματος AB57 με χρήση κάποιου βιοκτόνου τύπου Desogen σε συνδυασμό με μηχανικό καθαρισμό και χρήση απιονισμένου νερού.
- Αφαίρεση λεκέδων από οξείδια του σιδήρου ενδείκνυται η χρήση αραιού διαλύματος εξουδετερωμένου θειογλυκολικού οξέως σε επίθεμα κυτταρίνης.
- Συγκόλλησεις θραυσμένων λίθινων πλακών, προτείνεται η σύνδεση των θραυσμάτων με συνδέσμους τιτανίου διαμέτρου 0,5 έως 0,8 cm και συμβατό σε σχέση με το λίθο κονίαμα, όπου χρειάζεται.
- Για την πλήρωση των ρωγμών των λίθων προτείνεται η χρήση ενέματος με βάση την υδραυλική άσβεστο.
- Στερέωση σε περίπτωση που αποφασιστεί η χρήση υδροφοβιωτικών προστατευτικών μέσων, όπως τα σιλάνια και σιλοξιλάνια
- Μέριμνα για τη προστασία των κεντρικών διακοσμητικών συνθέσεων με διαμόρφωση κατάλληλου προστατευτικού δαπέδου με κατασκευή γυάλινου βατού δαπέδου, με σκοπό την αποφυγή περαιτέρω μηχανικής καταπόνησης των συνθέσεων του μαρμαροθετημένου δαπέδου.

Βιβλιογραφία

- Grabendörfer, W., Gregor ., M., Nildas, L., Frielinghaus, R., Kaule, W., Schlemm, H., et al. (1983). *Ultrasonic Testing of Materials*. Cologne: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- Guilland, R. (1951). Οι Βυζαντινοί αυτοκράτορες και το θέλγητρον του μοναστηρίου. Στο *Επετηρίς Εταιρείας Βυζαντινών Σπουδών - ΤΟΜΟΣ ΚΑ* (σσ. 215-234). Αθήνα: Εταιρία Βυζαντινών Σπουδών.
- Hatakeyama, T., & Liu, Z. (1998). *Handbook of Thermal Analysis*. Chichester: JOHN WILEY & SONS.
- Ramachandran, V. S., Paroli, R. M., Beaudoin, J. J., & Delgado, A. H. (2002). *Handbook of thermal analysis of construction materials*. Norwich, New York, U.S.A.: Noyes Publications / William Andrew Publishing.
- Αβδελίδης, Ν. (2002). *Εφαρμογές της υπέρυθρης θερμογραφίας για τον έλεγχο δομικών υλικών σε κατασκευές*. (Τόμ. Διδακτορική Διατριβή). Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ).
- Βογιατζή, Σ. (2008). *Χαρακτηρισμός πετρωμάτων με μη καταστροφικές μεθόδους*. Χανιά: Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
- Γεωργιάδου, Ζ. (2005). *Δομικά και διακοσμητικά υλικά*. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Ιωάννου, Μ. (2016). *Ανάπτυξη Building Information Model για τη διαγνωστική μελέτη του εσωτερικού χώρου της Βίλας Κλωναρίδη*. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Καλαμίτση - Αδάμη, Μ. (1984, Φεβρουάριος). Το Καθολικό της Μονής Βαρνάκοβας και ο αρχιτέκτων Ανδρέας Γάσπαρης Κάλανδρος. *Αρχαιολογία* (10), σσ. 78-84.
- Καλκάνης, Γ., & Χατήρης, Ι. (2009). *Τεχνολογία υλικών*. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Κουζέλη, Κ. (2008). *Στρώματα στις επιφάνειες των ασβεστιτικής φύσης λίθινων μνημείων και γλυπτών*. Ημερίδα Συντήρησης ΑΜΘ 2007.
- Κουλουμπή, Ν., & Μοροπούλου, Α. (2014). *Φθορά και Προστασία Υλικών*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Κουνουπιώτου-Μανωλέσσου, Ε. (2008). Μεσοβυζαντινά γλυπτά με ζώα από τη συλλογή γλυπτών στο Τζαμί της Χαλκίδας. *Δελτίον της Χριστιανικής Αρχαιολογικής Εταιρείας, ΚΘ' (Περίοδος Δ')*, σσ. Σελ. 221-232.
- Λαμπρόπουλος, Β. (1993). *Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας*. Αθήνα.
- Λοΐζος, Δ. Ι. (2010-2011). Ο μύθος των Αριμασπών για τους γρύπες. Επιρροές του μύθου στην ελληνική τέχνη. *Ανιστόριτον*, 8, σ. 14.
- Λυριτζής, Γ. (2007). *Φυσικές επιστήμες στην αρχαιολογία*. Αθήνα: Τυπωθήτω.
- Μοροπούλου, Α. *Δομικά Υλικά (Λίθοι, Μαρμαρα)*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημειων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Ελληνική συμβολή στη συντήρηση, αποκατάσταση και αντισεισμική προστασία της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Κριτήρια αξιολόγησης της επιδεκτικότητας των δομικών υλικών στη φθορά βάσει των ιδιοτήτων τους*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Κριτήρια Επιλογής Υλικών και Στρατηγικός Σχεδιασμός Επεμβάσεων Συντήρησης*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Μεθοδολογία Διαγνωστικής Μελέτης*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Μη καταστρεπτικές & ενόργανες μέθοδοι χαρακτηρισμού & διάγνωσης της φθοράς και ελέγχου υλικών και επεμβάσεων συντήρησης*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. (2014). *Ολοκληρωμένη Μεθοδολογία Διάγνωσης, Ανάλυσης και Χαρτογράφησης των Δομικών Υλικών και της Φθοράς στα Κτίρια- Εφαρμογή στη Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου*. ΔΠΜΣ “Προστασία Μνημείων”. ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Περιβαλλοντικά αίτια - φαινόμενα και μηχανισμοί φθοράς - Σχέση φθοράς και παθολογίας*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. *Υλικά και επεμβάσεις στερέωσης ιστορικών υλικών*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α. (2014). *Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση Δομικών υλικών - Μεθοδολογία ενόργανων και μη καταστρεπτικών τεχνικών*. Αθήνα: Τμήμα Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

Μοροπούλου, Α. (2014). *Χαρακτηρισμός, έλεγχος ποιότητας, διάγνωση φθοράς και συντήρηση δομικών υλικών: Μεθοδολογία Ενόργανων & μη καταστρεπτικών τεχνικών*. Αθήνα: Εκδόσεις ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., & Δελέγκου, Α. Θ. *Ιστορικά δομικά υλικά - Παθολογία - Διάγνωση - Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης - καθαρισμοί επιφανειών και προστασία*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., & Καρόγλου, Μ. *Η επίδραση του νερού. Ανερχόμενη υγρασία. Τεχνικές και μέθοδοι αντιμετώπισης*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., & Λαμπρόπουλος, Κ. *Κεραμικά Υλικά*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., Α., Μ., & Αποστολοπούλου, Μ. *Δομικά Υλικά (Κονίες, Ιστορικά Κονιάματα)*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., Βασιλείου, Π., Σιμιτζής, Ι., & Ζουμπουλάκης, Λ. (2015). *Επιστήμη και τεχνική υλικών*. Αθήνα: ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., Κορρές, Ε., Γεωργόπουλος, Α., & Σπυράκος, Κ. ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΙΕΡΟΥ ΚΟΥΒΟΥΚΛΙΟΥ ΤΟΥ ΠΑΝΑΓΙΟΥ ΤΑΦΟΥ ΤΟΥ ΠΑΝΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ. *ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ - Διεπιστημονική Ερευνητική Ομάδα Προστασίας Μνημείων*, (σφ. Καθ. Ε. Κορρές, Καθ. Α. Γεωργόπουλος, Καθ. Α. Μοροπούλου, Καθ. Κ. Σπυράκος,).

Μοροπούλου, Α., Κορρές, Ε., Γεωργόπουλος, Α., Σπυράκος, Κ., & Χ., Μ. (2017). *Περουσίαση για την ολοκλήρωση της αποκατάστασης του ιερού κουβουκλίου*. Ιεροσόλυμα: ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ - Διεπιστημονική Ερευνητική Ομάδα Προστασίας Μνημείων.

Μοροπούλου, Α., Κουή, Μ., Κροκίδα, Μ., & Καραγιάννης - Μπακόλας, Α. (2014). *Σημειώσεις ασκήσεων του μαθήματος: «Δομικά υλικά» 9ου εξαμήνου Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ*. Αθήνα: Τμήμα Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Μοροπούλου, Α., Μούνδουλας, Π., & Αποστολοπούλου, Μ. *Συμβατά και Επιτελεστικά Κονιάματα Αποκατάστασης*. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων» ΕΜΠ.

Μουργή, Γ. (2015). *Σχεδιασμός και διαχείριση δεδομένων διαγνωστικής μελέτης στην κλίμακα του μνημείου του καθολικού της Μονής Καισαριανής*. Αθήνα: Μεταπτυχιακή Εργασία - Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο.

Μπούρας, Χ. Θ. (1994). *Ιστορία της Αρχιτεκτονικής* (Τόμ. Β'). Αθήνα: Μέλισσα.

Μπούρας, Χ. (12-14 Μαΐου 1995). ΟΙ ΠΑΛΑΙΟΤΕΡΕΣ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΘΟΛΙΚΟΥ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΒΑΡΝΑΚΟΒΑΣ. Στο Χ. Α. ΕΤΑΙΡΕΙΑ (Επιμ.), *ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ ΣΥΜΠΟΣΙΟ ΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΥΖΑΝΤΙΝΗΣ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΣ* (σ. 47). Αθήνα: Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.

Νομικός, Π. (2015). *Εισαγωγή στη μηχανική των πετρωμάτων*. Αθήνα: Εκδόσεις Κάλλιπος.

Ορλάνδος, & Α. Κ. (1938). *Αρχείο των Βυζαντινών Μνημείων της Ελλάδας* (Τόμ. Δ' 1938 - Ε' 1939/1940 - ς' 1948). Αθήνα: Εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρία.

Ορλάνδος, Α. Κ. (1935). *Αρχείον των Βυζαντινών μνημείων της Ελλάδος* (Τόμ. Α' 1935 - Β' 1936 - Γ' 1937). Αθήνα: Εν Αθήναις Αρχαιολογική Εταιρία.

Σκουλικίδης, Θ. Ν. (2000). *Διάβρωση και Συντήρηση των Δομικών Υλικών των Μνημείων*. Ηράκλειο: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.