



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΚΡΗΤΗΣ**

*Διπλωματική Εργασία*

*«Χαρακτηρισμός και Συντήρηση Κονιαμάτων:  
Εφαρμογή στον Φιρκά Χανίων»*

*Ξενίδη Αναστασία*

*Εξεταστική Επιτροπή:*

*Καλλίθρακας-Κόντος Νικόλαος, Καθηγητής (Επιβλέπων)  
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*

*Μαραβελάκη Νόννη-Παγώνα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια  
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών*

*Περδικάτσης Βασίλειος, Ομότιμος Καθηγητής  
Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων*



## Πρόλογος

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Ανάλυση και Συντήρηση Κονιαμάτων: Εφαρμογή στο Φρούριο Φιρκά Χανίων » εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας μου, φιλοξενήθηκα στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς & Σύγχρονης Δόμησης, υπό την επιστημονική επιμέλεια της Αναπληρώτριας Καθηγήτριας της Σχολής Αρχ/ων Μηχ/ών κ. Ν. Μαραβελάκη

Είναι υποχρέωση μου να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους με βοήθησαν να ολοκληρώσω την διπλωματική μου εργασία. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή Καλλίθρακα-Κόντο Νικόλαο, ο οποίος είναι και ο επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για το ενδιαφέρον και την βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, την αναπληρώτρια καθηγήτρια της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών κ. Μαραβελάκη Παγώνα –Νόνη όχι μόνο για την συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή αλλά και για την καθοδήγησή της σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς επίσης και για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις της που κατάφερε να μου μεταφέρει. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον ομότιμο καθηγητή της σχολής Μηχ. Ορυκτών Πόρων κ. Βασίλειο Περδικάτση για την συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή και την συμβολή του στην τελική συγγραφή της διπλωματικής εργασίας και την συμβολή του στην τελική συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά την Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια κ. Καπριδάκη Χρυσή κυρίως για την πολύτιμη βοήθεια της σε όλα τα θέματα που αφορούν την παρούσα εργασία καθώς και για την καθοδήγηση της στην συγγραφή της εργασίας, και φυσικά για την υπομονή της.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον προπτυχιακό φοιτητή της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Θεολογίτη Αντώνη του οποίου η πρακτική βοήθεια και συμβολή καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και τη συνεχή βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου και για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε αυτά τα χρόνια στα Χανιά.

### Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση κονιαμάτων, επιχρισμάτων και λίθων του Τείχους του Φρουρίου Φιρκά και του Γενοβέζικου Πύργου. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η διευκρίνιση της τεχνολογίας παρασκευής και φύσης των υλικών αυτών, καθώς και η συντήρηση τόσο των συγκεκριμένων υλικών όσο και μεταγενέστερων επεμβάσεων. Η πλήρης αποτύπωση της τεχνολογίας παρασκευής των κονιαμάτων – επιχρισμάτων μέσω της ολιστικής ανάλυσης (φυσικοχημική/μηχανική) των υφιστάμενων υλικών, συνέβαλλε στο να προταθεί συμβατό κονίαμα – επίχρισμα αποκατάστασης με τα επιθυμητά αποτελέσματα το οποίο όμως δεν αποτελεί τμήμα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η συστηματική αυτή μελέτη συμβάλλει στην συντήρηση του μνημείου και η ολοκλήρωση της πραγματοποιήθηκε με τη ουσιαστική συλλογή δειγμάτων κονιαμάτων, επιχρισμάτων και λίθων από το μνημείο (Φρούριο Φιρκά και Γενοβέζικο Πύργο) τα οποία παρουσίαζαν διαφορετικούς βαθμούς διάβρωσης. Στη συνέχεια, επιλέχθηκαν τα πιο χαρακτηριστικά δείγματα και αναλύθηκαν με χημική και ορυκτολογική ανάλυση όπου διαπιστώθηκε η φύση της κονιάς και των αδρανών, προσδιορίστηκαν τα ιχνοστοιχεία για το κάθε δείγμα καθώς επίσης και οι δείκτες υδραυλικότητάς τους. Για περαιτέρω διερεύνηση, πραγματοποιήθηκε μικροσκοπικός και μακροσκοπικός χαρακτηρισμός των κονιαμάτων με στόχο τον χαρακτηρισμό της μικροδομής τους, καθώς επίσης και κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών συστατικών τους.

Τέλος, με σκοπό την συντήρηση τόσο του μνημείου όσο και των προτεινόμενων κονιαμάτων και επιχρισμάτων που συντέθηκαν, πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς & Σύγχρονης Δόμησης εφαρμογές καινοτόμων στερεωτικών νάνο-υλικών σε Ασβεστοκονιάματα και δοκίμια Αλφά και μελετήθηκε η συμπεριφορά τους τόσο με τον έλεγχο της ανθεκτικότητας σε άλατα θεικού νατρίου όσο και με τον έλεγχο διαπερατότητας σε υδρατμούς.

Συμπερασματικά, η ανάλυση και ο χαρακτηρισμός των ιστορικών κονιαμάτων του Φιρκά, ειδικά μετά από την ομαδοποίηση τους, συνετέλεσε στο να διευκρινιστούν οι κατασκευαστικές φάσεις του Φρουρίου και να προταθούν κατάλληλα κονιάματα συντήρησης.



## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	iii
Περίληψη .....	iv
Κατάλογος Πινάκων .....	vii
Κατάλογος Εικόνων .....	vii
Κατάλογος Σχημάτων .....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Ιστορικά Στοιχεία.....	1
1.2 Φρούριο Φιρκά .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	4
2.1 Ιστορική εξέλιξη Κονιαμάτων .....	4
2.2 Γενικά.....	6
2.3 Σημαντικότερες Κατηγορίες Κονιαμάτων .....	8
2.3.1 Κονιάματα Τοιχοποιίας ή Συγκόλλησης .....	8
2.3.2 Κονιάματα Δαπέδων.....	8
2.3.3 Κονιάματα Επιχρισμάτων.....	8
2.3.4 Επισκευαστικά Κονιάματα .....	9
2.4 Συνδετική Ύλη Κονιαμάτων (Κονία) .....	10
2.4.1 Κατηγορίες Κονιών .....	11
2.5 Τα Αδρανή Υλικά στα Κονιάματα.....	12
2.5.1 Κατηγορίες Αδρανών Υλικών .....	12
2.5.2 Χαρακτηριστικά των Αδρανών Υλικών .....	13
2.6 Το Νερό στα Κονιάματα.....	14
2.7 Παράγοντες που οδηγούν στη διάβρωση κονιαμάτων .....	14
2.7.1 Η Παρουσία Υγρασίας στα Κονιάματα.....	15
2.7.2 Η Επίδραση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στα Κονιάματα.....	15
2.7.3 Διαλυτά Άλατα στα Κονιάματα.....	16
2.7.4 Βιολογική Δραστηριότητα και Κονιάματα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ.....	19
3.1 Γενικά.....	19
3.2 Στερεωτικά Υλικά.....	20
3.2.1 Ανόργανα Στερεωτικά Υλικά .....	21
3.2.2 Οργανικά Στερεωτικά Υλικά.....	22
3.2.3 Τα νάνο – υλικά ως Στερεωτικά Υλικά.....	22

A) Υδατικό SurfaPore Fx .....	23
B) Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) .....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	25
4.1 Περιθλασιμετρία Ακτίνων – X (XRD) .....	25
4.2 Φασματοσκοπία Υπερύθρου με σχηματισμό Fourier (FT - IR) .....	26
4.3 Φθορισμομετρία ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (ED-XRF) .....	27
4.4 Θερμική Ανάλυση (TA).....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	31
5.1 Μέθοδοι Αξιολόγησης Στερεωτικών Υλικών.....	36
5.1.1 Εφαρμογή Στερεωτικών Υλικών .....	37
5.2 Μέθοδος Αξιολόγησης Αντοχής σε Άλατα .....	41
5.3 Μέθοδος Ελέγχου Διαπερατότητας Υδρατμών .....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	48
6.1 Μακροσκοπικός Χαρακτηρισμός Δειγμάτων .....	48
6.2 Μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων και κοκκομετρική διαβάθμιση κονιαμάτων/επιχρισμάτων .....	54
6.2.1 Μικροσκοπική Ανάλυση Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων .....	54
6.2.2 Κοκκομετρική Διαβάθμιση Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων .....	57
6.3 Αποτελέσματα Χημικής και Ορυκτολογικής Ανάλυσης Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων .....	69
6.4 Αποτελέσματα Θερμικής Ανάλυσης Δειγμάτων .....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	83
7.1 Αποτελέσματα Ελέγχου Ανθεκτικότητας σε Άλατα.....	83
7.1.1 Αποτελέσματα Εφαρμογής Υδατικού SurfaPore Fx .....	83
7.1.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής Αλκοολούχου SurfaPore Fx (SiOx) .....	90
7.1.3 Συμπεράσματα Ελέγχου Αντοχής σε Άλατα .....	95
7.2 Αποτελέσματα Ελέγχου Διαπερατότητας Υδρατμών .....	96
7.2.1 Συμπεράσματα Ελέγχου Διαπερατότητας σε Υδρατμούς .....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ/ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	104
8.1 Ομαδοποίηση των Κονιαμάτων και Επιχρισμάτων .....	104
8.2 Συμπεράσματα .....	117
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΚΑΡΤΕΛΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	123

## *Κατάλογος Πινάκων*

<b>Πίνακας 1:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-1. ....	59
<b>Πίνακας 2:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-2. ....	60
<b>Πίνακας 3:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-4. ....	62
<b>Πίνακας 4:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΓ-2Ε. ....	64
<b>Πίνακας 5:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΓ-4Κ. ....	66
<b>Πίνακας 6:</b> Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΓ-6Ε. ....	68
<b>Πίνακας 7:</b> Ορυκτολογική σύσταση κονιαμάτων – επιχρισμάτων. ....	76
<b>Πίνακας 8:</b> Εκατοστιαία στοιχειακή σύσταση κονιαμάτων-επιχρισμάτων και λίθων. ....	77
<b>Πίνακας 9:</b> Αδιάλυτο υπόλειμμα κονιαμάτων-επιχρισμάτων και λίθων. ....	78
<b>Πίνακας 10:</b> Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης των δειγμάτων. ....	83
<b>Πίνακας 11:</b> Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων Ασβεστοκονιαμάτων κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα. ....	95
<b>Πίνακας 12:</b> Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα. ....	95
<b>Πίνακας 13:</b> Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Αλκοολούχο SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα. ....	96
<b>Πίνακας 14:</b> Ποσοστό Υδατικού SurfaPore Fx που συγκρατήθηκε σε δοκίμια Αλφά. ....	96
<b>Πίνακας 15:</b> Ποσοστό Υδατικού SurfaPore Fx που συγκρατήθηκε σε Ασβεστοκονιάματα. ....	96
<b>Πίνακας 16:</b> Συντελεστής διαπερατότητας και (%) μείωση διαπερατότητας κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά. ....	99
<b>Πίνακας 17:</b> Συντελεστής διαπερατότητας ακατέργαστων δοκιμίων Αλφά. ....	99
<b>Πίνακας 18:</b> Συντελεστής διαπερατότητας και (%) μείωση διαπερατότητας κατεργασμένων Ασβεστοκονιαμάτων με Υδατικό SurfaPore Fx. ....	102
<b>Πίνακας 19:</b> Συντελεστής διαπερατότητας ακατέργαστων ασβεστοκονιαμάτων. ....	102

## *Κατάλογος Εικόνων*

<b>Εικόνα 1:</b> Απεικόνιση της πόλης των Χανίων από τον F. BASILICATA (1618). ....	2
<b>Εικόνα 2:</b> Το Φρούριο του Φιρκά στις αρχές του αιώνα (ΦΩΤ. Π. ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ). ....	3
<b>Εικόνα 3:</b> Φρουρίου Φιρκά (ενετικό λιμάνι) [62]. ....	4
<b>Εικόνα 4:</b> Ανάκλαση ακτίνων – Χ στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου. ....	25
<b>Εικόνα 5:</b> Διάταξη υπερύθρου φασματοφωτόμετρου με μετασχηματισμό κατά Fourier (FT-IR) [61]. ....	27
<b>Εικόνα 6:</b> Ιοντισμός της στιβάδας Κ από ένα φωτόνιο ακτίνων Χ. ....	28
<b>Εικόνα 7:</b> Σχηματικό διάγραμμα διάταξης θερμικού αναλυτή [46]. ....	30
<b>Εικόνα 8:</b> Στιλπνές τομές δειγμάτων. ....	35
<b>Εικόνα 9:</b> Οπτικό μικροσκόπιο με εφαρμογή φωτογραφικής μηχανής. ....	36

<b>Εικόνα 10:</b> Ασβεστοκονιάματα πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Υδατικό SurfaPore Fx, (Β) μη επεξεργασμένο. ....	38
<b>Εικόνα 11:</b> Δοκίμια Αλφά πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Υδατικό SurfaPore Fx, (Β) μη επεξεργασμένο .....	38
<b>Εικόνα 12:</b> Δοκίμια Αλφά πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) , (Β) μη επεξεργασμένο .....	39
<b>Εικόνα 13:</b> Εφαρμογή Υδατικού SurfaPore Fx σε Ασβεστοκονιάματα .....	40
<b>Εικόνα 14:</b> Εφαρμογή Υδατικού SurfaPore Fx σε δοκίμια Αλφά .....	40
<b>Εικόνα 15:</b> Απεικόνιση προτύπου EN-12370 (1999) [63].....	43
<b>Εικόνα 16:</b> Διαδικασία πειράματος κατά τη διάρκεια του 15ου κύκλου.....	44
<b>Εικόνα 17:</b> Φωτογραφία από το ξηραντήριο του εργαστηρίου. ....	44
<b>Εικόνα 18:</b> Εμβάπτιση των δειγμάτων σε απιονισμένο νερό πριν από το 15ο κύκλο και μετά από 24 ώρες.....	45
<b>Εικόνα 19:</b> Συσκευή Ελέγχου διαπερατότητας υδρατμών.....	46
<b>Εικόνα 20:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-1 .....	48
<b>Εικόνα 21:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-1. ....	48
<b>Εικόνα 22:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-2 .....	49
<b>Εικόνα 23:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-2 .....	49
<b>Εικόνα 24:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-4 .....	50
<b>Εικόνα 25:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-4 .....	50
<b>Εικόνα 26:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-2Ε .....	51
<b>Εικόνα 27:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-2Ε.....	51
<b>Εικόνα 28:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-4Κ.....	52
<b>Εικόνα 29:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-4Κ .....	52
<b>Εικόνα 30:</b> Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-6Ε .....	53
<b>Εικόνα 31:</b> Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-6Ε.....	53
<b>Εικόνα 32:</b> Δείγματα λίθων ΦΛ-1 και ΦΛ-2 .....	54
<b>Εικόνα 33:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-1 από οπτικό μικροσκόπιο. ....	55
<b>Εικόνα 34:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-2 από οπτικό μικροσκόπιο. ....	55
<b>Εικόνα 35:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-4 από οπτικό μικροσκόπιο. ....	55
<b>Εικόνα 36:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-2Ε από οπτικό μικροσκόπιο. ....	56
<b>Εικόνα 37:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-4Κ από οπτικό μικροσκόπιο. ....	56
<b>Εικόνα 38:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-6Ε από οπτικό μικροσκόπιο. ....	56
<b>Εικόνα 39:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΛ-1 από οπτικό μικροσκόπιο. ....	57
<b>Εικόνα 40:</b> Φωτογραφίες δείγματος ΦΛ-2 από οπτικό μικροσκόπιο. ....	57
<b>Εικόνα 41:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-1. ....	58
<b>Εικόνα 42:</b> Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-1 από οπτικό μικροσκόπιο .....	58
<b>Εικόνα 43:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-2 .....	59
<b>Εικόνα 44:</b> Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-2 από οπτικό μικροσκόπιο .....	60
<b>Εικόνα 45:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-4 .....	61
<b>Εικόνα 46:</b> Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-4 από οπτικό μικροσκόπιο .....	61
<b>Εικόνα 47:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής επιχρίσματος ΦΓ-2Ε.....	63
<b>Εικόνα 48:</b> Φωτογραφίες τομών του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε από οπτικό μικροσκόπιο.....	63
<b>Εικόνα 49:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΓ-4Κ .....	65

<b>Εικόνα 50:</b> Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΓ-4Κ από οπτικό μικροσκόπιο...	65
<b>Εικόνα 51:</b> Φωτογραφία στιλπνής τομής επιχρίσματος ΦΓ-6Ε.....	67
<b>Εικόνα 52:</b> Φωτογραφίες τομών του επιχρίσματος ΦΓ-6Ε από οπτικό μικροσκόπιο	67

### *Κατάλογος Σχημάτων*

<b>Σχήμα 1:</b> Στάδια πειραματικής διαδικασίας.....	31
<b>Σχήμα 2:</b> Κάτοψη χώρου – Θέσεις δειγματοληψίας κονιαμάτων/επιχρισμάτων.....	33
<b>Σχήμα 3:</b> Κάτοψη χώρου – Θέσεις δειγματοληψίας των προς ανάλυση κονιαμάτων/επιχρισμάτων .....	34
<b>Σχήμα 4:</b> Κατεργασμένα δοκίμια Αλφά/Ασβεστοκονιάματα με Υδατικό SurfaPore Fx .....	42
<b>Σχήμα 5:</b> Κατεργασμένα δοκίμια Αλφά με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) .....	42
<b>Σχήμα 6:</b> Κατεργασμένα και Ακατέργαστα δοκίμια Αλφά με Υδατικό SurfaPore Fx .....	46
<b>Σχήμα 7:</b> Κατεργασμένα και Ακατέργαστα Ασβεστοκονιάματα με Υδατικό SurfaPore Fx .....	47
<b>Σχήμα 8:</b> Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιαμάτων ΦΚ-1 και ΦΚ-2. ....	68
<b>Σχήμα 9:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΚ-1.....	70
<b>Σχήμα 10:</b> Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-1 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.....	70
<b>Σχήμα 11:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΚ-2.....	71
<b>Σχήμα 12:</b> Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-2 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.....	71
<b>Σχήμα 13:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) κονιάματος ΦΚ-4. ....	72
<b>Σχήμα 14:</b> Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-4 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.....	72
<b>Σχήμα 15:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε.73	
<b>Σχήμα 16:</b> Ανάλυση του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ. ....	73
<b>Σχήμα 17:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΓ-4Κ... 74	
<b>Σχήμα 18:</b> Ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-4Κ με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ. ....	74
<b>Σχήμα 19:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΓ-6Ε... 75	
<b>Σχήμα 20:</b> Ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-6Ε με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.....	75
<b>Σχήμα 21:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του λίθου ΦΛ-1. ....	76
<b>Σχήμα 22:</b> Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FTIR) του λίθου ΦΛ2. ....	77
<b>Σχήμα 23:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-1.....	79
<b>Σχήμα 24:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-2.....	80
<b>Σχήμα 25:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-4.....	80
<b>Σχήμα 26:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-Ε2.....	81
<b>Σχήμα 27:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-Κ4.....	81
<b>Σχήμα 28:</b> Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-Ε6.....	82
<b>Σχήμα 29:</b> Κύκλοι γήρανσης σε άλατα κατεργασμένων και μη δοκιμίων Αλφά με SurfaPore Fx .....	84
<b>Σχήμα 30:</b> Κύκλοι γήρανσης σε Άλατα κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SurfaPore Fx .....	85
<b>Σχήμα 31:</b> Φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά (κατεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20 <sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης .....	86

<b>Σχήμα 32:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων και μη ασβεστοκονιαμάτων με SurfaPore Fx. ....	87
<b>Σχήμα 33:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων ασβεστοκονιαμάτων με SurfaPore Fx. ....	87
<b>Σχήμα 34:</b> Φωτογραφίες ασβεστοκονιαμάτων (κατεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20 <sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης.....	89
<b>Σχήμα 35:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά μέχρι τον 18 <sup>ο</sup> κύκλο. ....	90
<b>Σχήμα 36:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SiOx μέχρι τον 20 <sup>ο</sup> κύκλο.....	91
<b>Σχήμα 37:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SiOx μέχρι τον 10 <sup>ο</sup> κύκλο.....	92
<b>Σχήμα 38:</b> Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά από 10 <sup>ο</sup> μέχρι και τον 20 <sup>ο</sup> κύκλο. ....	93
<b>Σχήμα 39:</b> Φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά (κατεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20 <sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης.....	94
<b>Σχήμα 40:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(1) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	97
<b>Σχήμα 41:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(2) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	97
<b>Σχήμα 42:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(3) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	98
<b>Σχήμα 43:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου δοκιμίου Αλφά(4) .....	98
<b>Σχήμα 44:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου δοκιμίου Αλφά(5) .....	99
<b>Σχήμα 45:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(1) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	100
<b>Σχήμα 46:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(2) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	100
<b>Σχήμα 47:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(3) με Υδατικό SurfaPore Fx.....	101
<b>Σχήμα 48:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου Ασβεστοκονιάματος(4)....	101
<b>Σχήμα 49:</b> Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου Ασβεστοκονιάματος(5)....	102
<b>Σχήμα 50:</b> Μακροσκοπική ομαδοποίηση κονιαμάτων .....	104
<b>Σχήμα 51:</b> Σημεία δειγματοληψίας της Ομάδας (Β) .....	105
<b>Σχήμα 52:</b> Σημεία δειγματοληψίας της Ομάδας (Γ) των κονιαμάτων .....	106
<b>Σχήμα 53:</b> Μακροσκοπική ομαδοποίηση επιχρισμάτων.....	107
<b>Σχήμα 54:</b> Σημεία δειγματοληψίας των δειγμάτων ΦΚ-8 και ΦΕ-7 .....	108
<b>Σχήμα 55:</b> Διάγραμμα υδραυλικότητας δειγμάτων και ομαδοποίηση τους με βάση αυτή.....	109
<b>Σχήμα 56:</b> Ομαδοποίηση δειγμάτων με βάση την ορυκτολογική σύσταση και την υδραυλικότητα .....	110
<b>Σχήμα 57:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Α) των επιχρισμάτων .....	111

<b>Σχήμα 58:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Β) των επιχρισμάτων .....	112
<b>Σχήμα 59:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Α) των κονιαμάτων .....	113
<b>Σχήμα 60:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Β) των κονιαμάτων .....	114
<b>Σχήμα 61:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Γ) των κονιαμάτων .....	115
<b>Σχήμα 62:</b> Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Δ) των κονιαμάτων .....	116

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### *1.1 Ιστορικά Στοιχεία*

Οι πρώτες ενδείξεις κατοίκησης μέσα από τις ανασκαφικές έρευνες που έχουν γίνει στην πόλη των Χανίων, χρονολογούνται ήδη από την 4<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ. Η κατοίκηση στο χώρο αυτό φαίνεται να είναι συνεχιζόμενη μέχρι τα μινωικά χρόνια, με την ονομασία Ku-do-ni-ja, όπου μετέπειτα στους ιστορικούς χρόνους αναπτύχθηκε η μεγάλη πόλη Κυδωνία [1].

Η Κυδωνία καταλήφθηκε από τους Ρωμαίους το 69π.Χ. και κατά τους παλαιοχριστιανικούς χρόνους έγινε η έδρα της ομώνυμης παλαιοχριστιανικής Επισκοπής. Το γεγονός ότι η πόλη ήταν σημαντική στην αρχαιότητα υποστηρίζεται από την εποχή του Ομήρου, ενώ αρχαίοι συγγραφείς θεωρούν τη Κυδωνία «μητέρα» των άλλων κρητικών πόλεων [1].

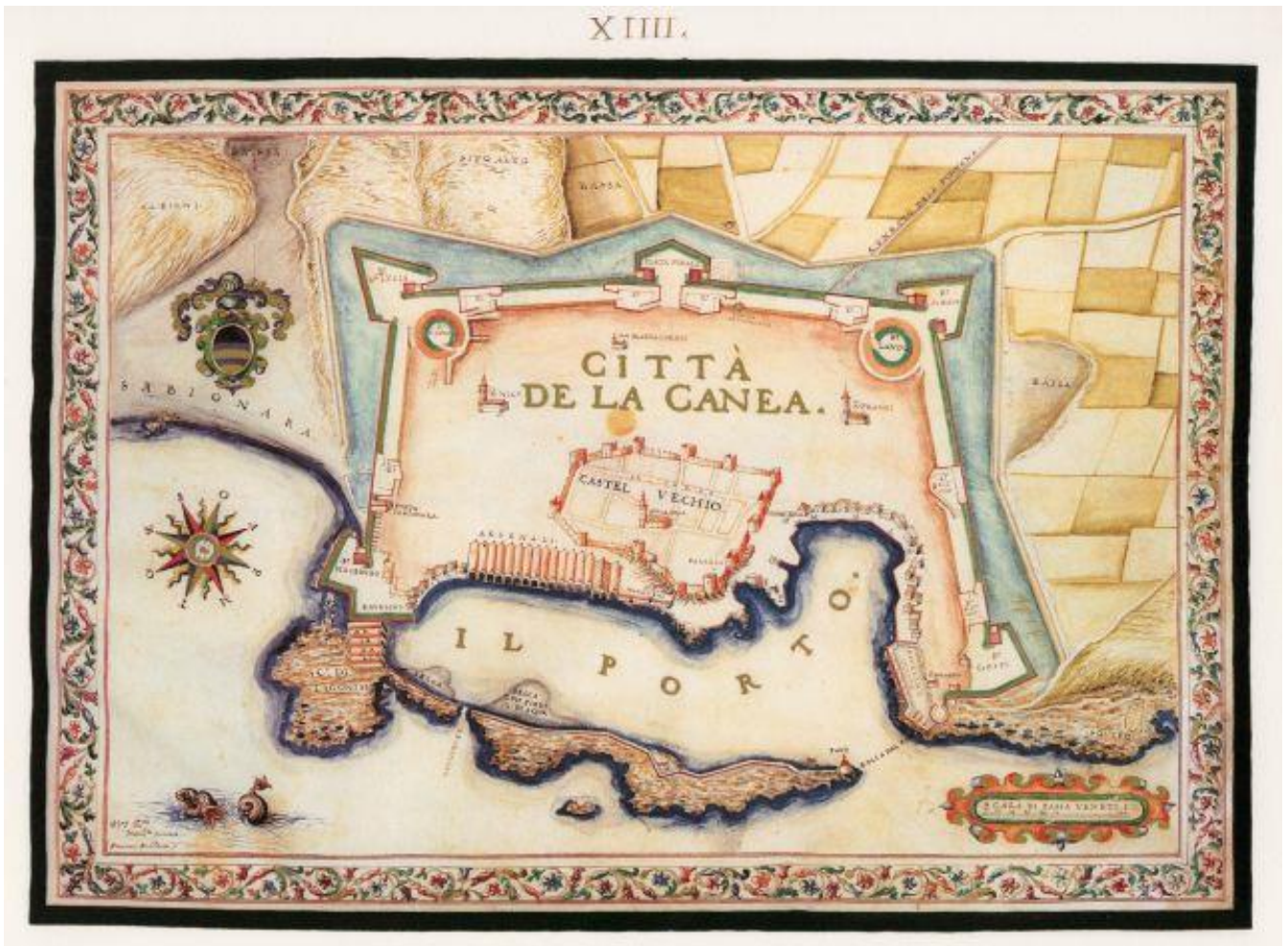
Το 823μ.Χ. καταλήφθηκε και καταστράφηκε από τους Σαρακηνούς και απελευθερώθηκε το 961μ.Χ. από τον Νικηφόρο Φωκά. Μετά την εκδίωξη των Αράβων ο οικισμός ξανακτίστηκε, αλλά παρέμεινε μικρή και ασήμαντη πόλη. Η πόλη αυτή κτίστηκε πάνω σε φυσικό οχυρό λόφο, τον οποίο αργότερα οι Βυζαντινοί μετέτρεψαν σε φρούριο. Στην επέμβαση αυτή των Βυζαντινών, πιθανότατα οφείλεται και η σημερινή του ονομασία «καστέλι» [2]. (Λείψανα οχυρού τείχους, έχουν εντοπιστεί στην ίδια θέση και υπάγονται στην ελληνιστική περίοδο) [1].

Μετά την Τέταρτη Σταυροφορία και τη διανομή των εδαφών της Βυζαντινής αυτοκρατορίας το 1204, η Κρήτη δίδεται στον Ιταλό Βονιφάτιο, Μαρκήσιο του Μομφερά, ο οποίος στις 12 Αυγούστου του ίδιου έτους, υπέγραψε στην Αδριανούπολη συμφωνία αγοραπωλησίας με την Ενετική Δημοκρατία, με αντίτιμο 75.000 χρυσά φράγκα [3]. Μεσολαβούν αγώνες κατά του Κόμη της Μάλτας Ερρίκου Πεσκατόρε και τους συμμάχους του Γενοβάτες, που διεκδικούσαν το νησί. Τελικά, η Κρήτη περιέρχεται στα χέρια των Ενετών το 1212, ενώ η κατάληψη των Χανίων οριστικοποιείται στα 1252, όταν οι Ενετοί κατόρθωσαν να καταπνίξουν τις επαναστάσεις των ντόπιων κατοίκων [1].

Καθώς η εξάπλωση της Οθωμανικής αυτοκρατορίας στο χώρο της Ανατολικής Μεσογείου ήταν ραγδαία, έγινε φανερό ότι η Κρήτη αποτέλεσε ένα από τους κυριότερους στόχους λόγω της σημαντικής στρατηγικής της θέσης. Για το λόγο αυτό αποφασίζεται και προχωρεί με εντατικό ρυθμό η θωράκιση της με νέα οχυρωματικά έργα στις πόλεις και άλλα ευαίσθητα σημεία, κυρίως στα παράλια. Οι Βενετοί φροντίζουν να δημιουργήσουν ένα σύστημα άμυνας, όχι μόνο των ευαίσθητων και ατελώς οχυρωμένων αστικών κέντρων, αλλά και των κοντινών σε αυτά στρατηγικών σημείων, από τα οποία θα μπορούσε να επιχειρηθεί εχθρική επίθεση [1]



Μαζί με την πόλη οχυρώνεται και το λιμάνι, το οποίο εντάσσεται στον οχυρωματικό περίβολο και κλείνει τη βόρεια πλευρά του. Αναφέρονται συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης του λιμανιού ενώ κατασκευάζονται σταδιακά νεώρια για τη στάθμευση και επισκευή των πλοίων του στόλου κατά τους χειμερινούς μήνες. Ωστόσο, υπήρχαν ατέλειες και αδυναμίες στις οχυρώσεις οι οποίες συντέλεσαν στην κατάληψη της πόλης από τους Τούρκους [1].



Εικόνα 1: Απεικόνιση της πόλης των Χανίων από τον F. BASILICATA (1618).

## 1.2 Φρούριο Φιρκά

Το φρούριο Φιρκά, που διατηρεί το τούρκικο όνομά του (Firka = στρατώνας), βρίσκεται στη δυτική πλευρά του λιμανιού και κτίστηκε για να προστατεύει την είσοδο του λιμανιού. Μια αλυσίδα από το Φιρκά μέχρι τη βάση του Φάρου έκλεινε το λιμάνι σε περίπτωση πολιορκίας. Οι κανονιοθυρίδες στη βάση και τις επάλξεις του φρουρίου, ήταν στραμμένες προς την είσοδο του λιμανιού και την οχυρωμένη νησίδα Θοδωρού (Turlulu), με την οποία ήταν σε άμεση οπτική ανταπόκριση. Εσωτερικά ο χώρος ήταν διαμορφωμένος με κατάλληλα κτίσματα σε στρατώνες και αποθήκες πολεμικού υλικού. Στο φρούριο ήταν η έδρα του στρατιωτικού διοικητή της πόλης. Τα κτίρια της δυτικής πτέρυγας είναι διαμορφωμένα σε δυο ορόφους με θολοσκέπαστα δωμάτια, από τα οποία ορισμένα στον όροφο έχουν ενοποιηθεί με μεγάλα τόξα και συνδέονται με μεγάλη αίθουσα, της οποίας το χώρο διευρύνουν ακόμα περισσότερο. Η επέμβαση αυτή, έργο του Προβλεπτή της Κυδωνίας Alvisé Bragadin, σύμφωνα με τη χρονολογημένη επιγραφή στο μεγάλο μανιεριστικό θύρωμα, έγινε το 1620: «ALOYSIUS BRAGADEUS PROVISO CYDONIAE . M. DCXX. » [1].



Εικόνα 2: Το Φρούριο του Φιρκά στις αρχές του αιώνα (ΦΩΤ. Π. ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ)

Από τη σημερινή είσοδο του φρουρίου μέχρι το μέσο περίπου της αυλής, σημειώνεται στους χάρτες μια μεγάλη δεξαμενή, που συγκέντρωνε τα νερά από τις στέγες και η οποία ανακαλύφθηκε σε πρόσφατες, σχετικά, ανασκαφικές εργασίες. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας ο Φιρκάς χρησιμοποιήθηκε ως στρατώνας και φυλακή, όπως και στα χρόνια της Γερμανικής κατοχής. Στο γωνιακό πυργίσκο – σκοπιά του φρουρίου, υψώθηκε συμβολικά την 1 Δεκεμβρίου 1913 η σημαία της Ένωσης της Κρήτης με την Ελλάδα [1].

Σε επαφή με το Φιρκά σώζεται το μισό περίπου ενός κυκλικού πύργου από την αρχική οχύρωση του λιμανιού, που κατασκευάστηκε από τους Γενοβέζους στις αρχές του 13<sup>ου</sup> αιώνα. Ο πύργος ενσωματώθηκε στις μεταγενέστερες οχυρώσεις [1].





Εικόνα 3: Φρουρίου Φιρκά (ενετικό λιμάνι) [62].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

### *2.1 Ιστορική εξέλιξη Κονιαμάτων*

Στην αρχαιότητα τα κονιάματα που χρησιμοποιούνταν για την κατασκευή κτισμάτων αποτελούσαν μίγμα μιας συνδετικής κονιάς ή συνδυασμό συνδετικών υλών και φυσικών ή τεχνητών αδρανών, κυρίως άμμο και χαλίκια. Υπήρχαν και περιπτώσεις στις οποίες η χρήση πρόσθετων ήταν αναγκαία για τη βελτίωση του κονιάματος. Τα πρόσθετα τα οποία χρησιμοποιούσαν για την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων ήταν κυρίως οργανικά φυτικής και ζωικής προέλευσης όπως για παραδείγματα το άχυρο, ρίζες φυτών και τρίχες ζώων. Επίσης, υλικά οργανικής προέλευσης όπως αυγά και αίμα ήταν δυνατόν να βελτιώσουν την πλαστικότητα του μίγματος.

Είναι επίσης γνωστό, ότι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως συνδετική ύλη για την παραγωγή κονιαμάτων είναι η λάσπη (πηλός). Η πρώτη χρήση της χρονολογείται στη 8η χιλιετία π.Χ. στη Μεσοποταμία και τη Βαβυλωνία, όπου χρησιμοποιούνταν ως κονίαμα λάσπη αναμεμιγμένη με άχυρο ή καλάμια. Στην Ελλάδα εμφανίζεται μέσα στην 6η χιλιετία π.Χ. στους Νεολιθικούς οικισμούς στο Σέσκλο και στο Διμήνι. [5].

Στην αρχαία Αίγυπτο η λάσπη χρησιμοποιούνταν στα κονιάματα αρμών για την ένωση τούβλων, τα οποία κατασκευάζονταν επίσης από λάσπη, ενώ για κατασκευές από πέτρα γινόταν χρήση γυψοκονιαμάτων, όχι τόσο ως κονίαμα αρμού, αλλά περισσότερο σαν λιπαντικό μέσο για πιο ακριβή τοποθέτηση των λίθινων δομικών υλικών. Η χρήση του γύψου στην Μέση Ανατολή εκτιμάται ότι διήρκεσε πάνω από 4000 χρόνια [4, 5]

Ασφαλτικές κονιές εμφανίζονται από το 3000 π.Χ. στη Μεσοποταμία ως κονιάματα αρμών, ενώ φαίνεται ότι η διαδικασία όπτησης του ασβεστόλιθου ήταν γνωστή στην περιοχή από το 2450 π.Χ. Στην περίοδο του Ναβουχοδονόσορ στη Βαβυλώνα οι άσφαλτοι αντικαθίστανται από κονιάματα υδράσβεστου, στα οποία προστίθενται πηλός, στάχτες, άσφαλτος κ.ά.. Η περίοδος κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά άσβεστος στα κονιάματα δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη, αν και πιθανές ημερομηνίες μπορούν να βρεθούν από ιστορικές πηγές. Για παράδειγμα ο Davey υποστηρίζει ότι πιθανότερη ημερομηνία είναι το 2450 π.Χ., αφού τότε χρονολογείται μια ασβεστοκάμιнос που βρέθηκε σε ναό των Σουμέριων στην περιοχή του σημερινού Ιράκ [5,6]

Η συστηματική χρήση της άσβεστου στην αρχαία Ελλάδα εμφανίζεται παράλληλα με εκείνη των ποζολάνων και τοποθετείται στην Αρχαϊκή-Κλασσική Εποχή. Σε περιοχές που μπορούσε να βρεθεί φυσική ποζολάνη (κοντά σε ηφαίστεια) ξεκίνησε η αξιοποίηση του υλικού αυτού ως πρόσθετο σε ασβετοκονιάματα, αφού παρατηρήθηκε ότι βελτιώνει την υδραυλικότητά τους. Η θηραϊκή γη αποτελούσε το πλέον διαδεδομένο ποζολανικό υλικό στην αρχαία Ελλάδα. Μελέτες σε δεξαμενή νερού στην Κάμειρο της Ρόδου (500 π.Χ.) έδειξαν ότι οι τοίχοι του ήταν κατασκευασμένοι από ποζολανικό τσιμέντο. Παρόμοια κονιάματα συναντούνται στην Δήλο, την Θήρα και το Λαύριο[5, 6, 7].

Στην Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία (από τον 2ο αιώνα π.Χ. μέχρι τον 3ο μ.Χ.) στις κατασκευές επικρατούσαν κονιάματα από υδραυλική άσβεστο και ποζολάνη. Οι Ρωμαίοι βρήκαν κοντά στον Βεζούβιο την δική τους πηγή φυσικής ποζολάνης την επονομαζόμενη ‘Pulvis Puteolanus’ που σημαίνει σκόνη από την περιοχή Puteoli (ή Pozzuoli), στην οποία η ποζολάνη οφείλει το όνομά της. Την εποχή αυτή χρησιμοποιήθηκαν κεραμάλευρο ( σκόνη κεραμικού) και θραύσματα κεραμικού ως βελτιωτικό της υδραυλικότητας και όχι μόνο. Τα νέα αυτά υλικά είχαν μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η σκόνη χρησιμοποιούνταν κυρίως σε επίχρισματα και κονιάματα υποστρώματος σε δάπεδα (για τα ανώτερα στρώματα), ενώ τα θραύσματα με μεγάλο μέγεθος κόκκων αξιοποιούνταν σε τοίχους, ανίδες και θεμέλια που βρίσκονταν σε περιβάλλον με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Οι Ρωμαίοι διέδωσαν την αξιοποίηση των υλικών αυτών στην υπόλοιπη Ευρώπη, τη Βόρεια Αφρική και την Δυτική Ασία. Σύμφωνα με τον Βιτρούβιο- ο οποίος ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να κατηγοριοποιήσει τις χρήσεις και τον τρόπο κατασκευής κονιαμάτων- το κονίαμα για οικοδομική χρήσεις αποτελούνταν από άσβεστο και άμμο σε αναλογία 1:3 ή από άσβεστο, άμμο και θραύσματα κεραμικού σε αναλογία 1:2:1. Στη Βυζαντινή περίοδο η χρήση κεραμάλευρου και κεραμικών θραυσμάτων επεκτάθηκε. Τα κονιάματα της περιόδου είχαν μια χαρακτηριστική κοκκινωπή χροιά και παρουσίαζαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο νερό [5, 6, 8].

Κατά περίοδο του Μεσαίωνα τα κονιάματα που χρησιμοποιούνταν συνήθιζαν να είναι κυρίως ασβεστιτικά, στα οποία εμπεριέχονταν φυσικά αδρανή και σπασμένα κεραμίδια, καθώς και ποζολάνη, σε ορισμένες περιπτώσεις, αλλά για την παραγωγή

τους χρησιμοποιούνταν πρώτες ύλες χαμηλής ποιότητας, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Οι Αναγεννησιακές μελέτες αναβίωσαν τις ιδέες του Βιτρούβιου πάνω στην επιλογή και επεξεργασία των πρώτων υλών, με ελάχιστες διαφοροποιήσεις στις αναλογίες και την εφαρμογή. Τον 19ο αιώνα επικρατούσαν ακόμη τα παραδοσιακά υλικά, αλλά πλέον ξεκίνησε να δίδεται βάση στην ανάλυση της σύστασης και την σωστή επεξεργασία και εφαρμογή. Χάρη στις μελέτες της γαλλικής εταιρίας τσιμέντου Vicat υπήρχαν πλέον τα κατάλληλα επιστημονικά όργανα, αλλά και οι παράμετροι για ευκολότερη διάκριση αερικών και υδραυλικών κονίων, που μέχρι τότε γίνονταν μόνο εμπειρικά. Μέχρι και τις αρχές του 20ου αιώνα στις κατασκευές χρησιμοποιούνταν διάφορα είδη κονιαμάτων, ανάλογα με τον τόπο και το είδος του κτιρίου. Τα σπίτια κατασκευάζονταν κυρίως από κονίαμα με βάση άσβεστο ή πηλό ή συνδυασμό των δύο, ενώ σε σημαίνοντα κτίρια τα κονιάματα ήταν υψηλότερης ποιότητας με βάση την άσβεστο και περιείχαν ποζολάνη [5,6].

Στο τέλος του 20ου αιώνα στις κατασκευές επικρατεί το τσιμέντο Portland που αποτελείται από ασβεστοπυριτικές ενώσεις, όπως  $C_3S(Ca_3SiO_5)$  και  $C_2S(Ca_2SiO_4)$ , κονιοποιημένα αδρανή και νερό. Το Portland αποτελεί ένα πολύ ισχυρό κονίαμα γι' αυτό και είναι μέχρι και σήμερα το πλέον διαδεδομένο κονίαμα της οικοδομικής βιομηχανίας. Κονιάματα που παράγονταν πριν την εμφάνιση του τσιμέντου Portland στον κατασκευαστικό τομέα, αναφέρονται ως ιστορικά κονιάματα [5, 6].

## 2.2 Γενικά

Το κονίαμα είναι μίγμα για το οποίο χρησιμοποιούνται:

- I. Κονίες (ασβέστης  $(Ca(OH)_2)$  σε μορφή πολτού ή υδράσβεστος, τσιμέντο, γύψος και ρητίνες ή μαγνησιούχα συνδετικά), οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους για κονιάματα με συνδυασμένες ιδιότητες.
- II. Αδρανή υλικά, συνήθως ασβεστολιθική ή χαλαζιακή άμμος (φυσικής και τεχνητής προέλευσης), μπορεί όμως να είναι και διογκωμένη άργιλος, ελαφρόπετρα, περλίτης, θραύσματα κεραμικών και άλλα. Τα αδρανή θα πρέπει να είναι καθαρά, απαλλαγμένα από βλαβερές ουσίες και συμβατά με τις κονίες που θα αναμιχθούν.
- III. Νερό, το οποίο χρησιμοποιείται στα κονιάματα θα πρέπει να είναι πόσιμο ή από κατάλληλες πηγές, διαυγές, απαλλαγμένο από χημικές ουσίες, κυρίως από θειικά.

Επίσης, τα κονιάματα αποτελούν το συνδετικό υλικό μεταξύ των άλλων οικοδομικών υλικών και παράλληλα καλύπτουν και προστατεύουν τις κάθετες επιφάνειες των κτιρίων. Τα κονιάματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες και διακρίνονται [9]:

- Ανάλογα με την χρήση τους σε: κονιάματα τοιχοποιίας (συγκόλλησης), κονιάματα επιχρισμάτων, κονιάματα δαπέδων (πλήρωσης ή εξομάλυνσης), επισκευαστικά αρμοκονιάματα, στεγανωτικά κονιάματα, θερμομονωτικά κονιάματα, πυρίμαχα κονιάματα.
- Ανάλογα με τη σύνθεση τους σε: πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, τσιμεντοκονιάματα, ασβεστοτσιμεντοκονιάματα, γυψοκονιάματα, ασβεστογυψοκονιάματα, μαρμαροκονιάματα, κονιάματα ρητινών.
- Ανάλογα με τον μέγιστο κόκκο της άμμου σε: λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα.
- Ανάλογα με την συνεκτικότητα και την κατεργασία τους σε: μαλακά η σφιχτά, ρευστά, πεταχτά, ενέματα.
- Ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής τους σε: εργοταξιακά και εργοστασιακά (έτοιμα κονιάματα).
- Ανάλογα με την αντοχή τους που καθορίζεται από τον τύπο και την ποσότητα της συνδετικής κονιάς σε: μικρής αντοχής (έως 5MPa), μεσαίας αντοχής (από 5 έως 10 MPa) και μεγάλης αντοχής (πάνω από 10 MPa).
- Ανάλογα με την μορφή και την φάση εφαρμογής τους σε: ξηρό κονίαμα (το ομοιογενές μίγμα όλων των υλικών του κονιάματος εκτός του νερού), νωπό κονίαμα (το πλήρες αναμιγμένο – ξηρό κονίαμα και νερό – και έτοιμο προς χρήση κονίαμα) και σκληρυμένο κονίαμα ( το κονίαμα μετά την εφαρμογή του).
- Ανάλογα με τον τρόπο σύνθεσής τους διακρίνονται σε: σχεδιασμένο κονίαμα και κονίαμα με συγκεκριμένη σύνθεση.
- Ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης που εξαρτάται από το είδος της κονιάς σε: υδραυλικά και αερικά.
- Ανάλογα με την πυκνότητά τους σε: ελαφριά (έως 1500 Kg/m<sup>3</sup>) και βαριά (πάνω από 1500 Kg/m<sup>3</sup>).

Οι ιδιότητες και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων εξαρτώνται από τη φύση των αδρανών και του συνθετικού υλικού. Οι κονίες παρουσιάζουν μια εξέλιξη και διαφοροποίηση στον χρόνο και ταξινομούνται σε αερική άσβεστο και υδραυλική άσβεστο. Συγκεκριμένα, η αερική άσβεστος είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), που λαμβάνεται με όπτηση του ασβεστόλιθου CaCO<sub>3</sub> σε θερμοκρασία 800 – 1000°C. Η ενυδάτωση ή σβέση της ασβέστου η οποία παράγει υδράσβεστο, επικαλείται κατά την εξώθερμο αντίδραση:  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ . Η σκλήρυνση της υδρασβέστου γίνεται με τη βοήθεια του CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας, κατά την αντίδραση:  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Η υδραυλική άσβεστος παρασκευάζεται με όπτηση (1000-1200°C) ασβεστολιθικών πετρωμάτων με αυξημένη περιεκτικότητα σε οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου, μεγαλύτερη από 10 – 15%.

Τέλος τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων, ειδικά το πορώδες, η κοκκομετρική κατανομή των αδρανών συστατικών καθώς και η φύση των αδρανών και κονιάς συνδέονται τόσο με την ανθεκτικότητά τους στο χρόνο όσο και την προσβολή από εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες [10].

Οι σημαντικότερες κατηγορίες κονιαμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως είναι τα κονιάματα τοιχοποιίας, δαπέδων, επιχρισμάτων και τα επισκευαστικά.

## *2.3 Σημαντικότερες Κατηγορίες Κονιαμάτων*

### *2.3.1 Κονιάματα Τοιχοποιίας ή Συγκόλλησης*

Τα κονιάματα τοιχοποιίας αποτελούν τα συγκολλητικά στοιχεία μεταξύ των δομικών υλικών στην τοιχοποιία, τα οποία είναι απαραίτητο να γεμίζουν τους αρμούς μεταξύ των λίθων και να δημιουργούν μια ικανή σύνδεση για αντοχές σε εξωτερικές δυνάμεις καθώς επίσης και να παρουσιάζουν στεγανότητα με σκοπό την προστασία των αρμών των λίθων από καιρικές επιδράσεις.

### *2.3.2 Κονιάματα Δαπέδων*

Ως κονιάματα δαπέδων χαρακτηρίζονται εκείνα τα δομικά στοιχεία τα οποία τοποθετούνται πάνω σε μια δομική υπόβαση ή πάνω σε ένα διαχωριστικό ή μονωτικό στρώμα. Χρησιμοποιούνται σαν κονιάματα πλήρωσης, δηλαδή σαν κονιάματα τελικής στρώσης, καθώς επίσης και ως ενδιάμεσα. Τα κονιάματα δαπέδων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την σύνθεση τους σε κονιάματα ανυδρίτη, ασφαλικά κονιάματα, οξυχλωριούχου μαγνησίου και τσιμεντούχα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως.

### *2.3.3 Κονιάματα Επιχρισμάτων*

Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται ως επιχρίσματα αποτελούν στρώση νωπού κονιάματος που χρησιμοποιείται σε τοίχους ή ταβάνια και οροφές. Οι ιδιότητες τους αποκτούνται αφού στερεοποιηθούν πάνω στο δομικά στοιχεία στα οποία χρησιμοποιούνται και τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από τον τύπο της κονίας ή των κονιών, από τις αναλογίες καθώς και το πάχος των στρώσεων. Οι ιδιότητες τους διαμορφώνονται και επηρεάζονται από το είδος των αδρανών και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τους.

Για να γίνει η επιλογή του επιχρίσματος που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να εξετασθούν τα εξής:

- Η φύση και οι συνθήκες του υποστρώματος
- Η φύση και οι συνθήκες του περιβάλλοντος
- Οι απαιτούμενες αποχρώσεις για την τελική εμφάνιση του επιχρίσματος
- Η αντοχή του
- Η αντίσταση στην υγρασία και στην θερμότητα

Η εφαρμογή των επιχρισμάτων σε δομικά στοιχεία ωφελεί στην προστασία τους από την υγρασία, τις θερμοκρασιακές μεταβολές, καθώς και στην βελτίωση τις πυροπροστασίας, ενώ χωρίζονται στις εξής κατηγορίες α) Γενικής χρήσης, β) Ελαφροβαρή, γ) Έγχρωμα εξωτερικά επιχρίσματα, δ) Επιχρίσματα μιας στρώσης για εξωτερική χρήση, ε) Ανακαίνισης, στ) Θερμομονωτικά.

#### *2.3.4 Επισκευαστικά Κονιάματα*

Η διάκριση των κονιαμάτων σε επισκευαστικά δεν είναι σαφής και περιγράφεται με μια ευρεία γκάμα υλικών (μίγματα κονιών+ αδρανών) που χρησιμοποιούνται στην επισκευή και αποτελεί ένα σημαντικό κλάδο του δομικού τομέα. Στην επισκευή των κατασκευών διακρίνουμε δύο τύπων επεμβάσεων:

- Αποκατάσταση της στατικής επάρκειας του φέροντος οργανισμού ενός κτίσματος που έχει πληγεί (π.χ. από σεισμό) και δεν παρέχει ασφάλεια ή ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας για άλλη χρήση ή για μεγαλύτερη αντισεισμική ασφάλεια
- Αποκατάσταση της λειτουργικότητας της κατασκευής και της εξασφάλισης της διάρκειας ζωής της από φθορές τοπικές ή εκτεταμένες λόγω χρόνου ή άλλων εγγενών ή εξωγενών αιτίων που δεν ελήφθησαν υπόψη στο σχεδιασμό του έργου.

Επιπλέον, οι κατασκευές διακρίνονται σε αυτές που έχουν φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα και σ' αυτές από τοιχοποιία. Στις τελευταίες ανήκουν και τα μνημεία καθώς και τα ιστορικά κτίρια στα οποία η συνδετική κονία βασίζεται στην άσβεστο. Τα επισκευαστικά κονιάματα που εφαρμόζονται συχνότερα στη διεθνή πρακτική είναι τα παρακάτω:

- Ενέματα (τσιμεντενέματα ή ρητινοενέματα), για την πλήρωση των ρωγμών.
- Εκτοξευόμενο κονίαμα/σκυρόδεμα, για τη συμπλήρωση διατομών από τις οποίες έχει χαλαρώσει και απομακρυνθεί το υπάρχον υλικό ή ακόμα και την ενίσχυση των διατομών με προσθήκη οπλισμού και επικάλυψης (μανδύες).



- Τροποποιημένα με πολυμερή κονιάματα/σκυροδέματα, για την αύξηση της αδιαπερατότητας εκτεταμένων επιφανειών σκυροδέματος (καταστρώματα γεφυρών), που παρουσιάζουν βλάβες λόγω φθοράς από το χρόνο ή από ειδική χρήση ή επιζητείται αυξημένη υγρομόνωση.

Πρέπει να αναφερθεί ότι πριν από οποιαδήποτε επιλογή υλικού είναι αναγκαίο να είναι γνωστά τα αίτια από τα οποία προκλήθηκαν οι ζημιές. Η διάγνωση της παθολογίας του έργου αποτελεί το πρώτο βήμα κατά το οποίο καταγράφονται με λεπτομέρεια όλα τα στοιχεία (κλιματολογικό ή άλλα) που συνυπάρχουν και τα οποία λαμβάνονται σημαντικά υπόψη στη επιλογή του κονιάματος επισκευής [11].

## 2.4 Συνδετική Ύλη Κονιαμάτων (Κονία)

Συνδετική ύλη ή κονία καλείται κάθε κονιοποιημένο υλικό που με κατάλληλη προεργασία ( π.χ. όταν αναμιχθεί με νερό) μπορεί να γίνει πλαστικό και να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες. Το υλικό αυτό στερεοποιείται βαθμιαία, ώσπου να σχηματισθεί σκληρή και συμπαγής μάζα, δηλαδή μετά από ορισμένο χρόνο πήγνυται και σκληρύνεται [12]. Οι κονίες παράγονται κατά το πλείστον με βιομηχανικές επεξεργασίες. Όσο λεπτότερη είναι η σκόνη, τόσο καλύτερα αντιδρά με το νερό και εμφανίζει ταχύτερα τις ιδιότητές της.

Οι βασικές πρώτες ύλες των κονιών, με εξαίρεση την γύψο, είναι ασβεστολιθικά, αργιλικά και πυριτικά πετρώματα, οι ηφαίστειες γαίες και οι σκωρίες των υψικαμίνων, καθώς επίσης και οι ιπτάμενες τέφρες των καμινάδων. Τα βασικά συστατικά των κονιών είναι η άσβεστος ( $\text{CaO}$ ), το οξειδίο του μαγνησίου ( $\text{MgO}$ ), τα τριοξείδια του αργιλίου και του σιδήρου ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) και η πυριτία ( $\text{SiO}_2$ ). Τα ανωτέρω συστατικά των κονιών αντιδρούν με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ή μόνο με το νερό και στη συνέχεια πήγνυνται και σκληρύνονται. Η ποικιλία των κονιών και κονιαμάτων είναι μεγάλη, εξαρτωμένη κυρίως από τις επιτόπιες συνθήκες κάθε χώρας, συχνά δε και των διαμερισμάτων αυτής. Εξαιρέσεις αποτελούν οι τεχνητές κονίες portland και τα σκυροκονιάματα.

Οι περισσότερες συνδετικές ύλες γίνονται πλαστικές και εμφανίζουν συγκολλητικές ιδιότητες, όταν αναμιχθούν με νερό. Στερεοποιούνται είτε επειδή εξατμίζεται το νερό που περιέχουν, όπως π.χ. συμβαίνει στην πηλοκονία, ή επειδή προκαλούνται χημικές αντιδράσεις, όπως π.χ. συμβαίνει με την άσβεστο και το τσιμέντο. Άλλες κονίες, όπως π.χ. οι ασφαλικές, γίνονται πλαστικές όταν θερμανθούν, και σκληραίνουν όταν ψυχθούν [12].

### 2.4.1 Κατηγορίες Κονιών

Οι κονίες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή τους και ανάλογα με τον τρόπο πήξης και σκλήρυνσης (στερεοποίησης) [13].

α) Ανάλογα με την προέλευση

- Φυσικές κονίες.

Βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς οποιαδήποτε κατεργασία π.χ. η ποζολάνη (θηραϊκή γη). Οι ποζολάνες είναι φυσικές και τεχνητές κονίες. Περιέχουν κατά το μεγαλύτερο ποσοστό οξείδιο του πυριτίου (πυριτία) και σε μικρότερα ποσοστά περιέχουν οξείδιο του αργιλίου, του σιδήρου, του ασβεστίου και μαγνησίου. Το οξείδιο του πυριτίου βρίσκεται και σε κρυσταλλική και σε άμορφη κατάσταση, πού είναι και η ενεργός μορφή του [14]. Οι **φυσικές ποζολάνες** ή ηφαιστειες γαίες είναι εκείνες που προήλθαν από τη δράση των ηφαιστειακών εκρήξεων. **Τεχνητές ποζολάνες** είναι εκείνες που προήλθαν από τεχνητές εργασίες όπως και οι ασβεστοποιημένες άργιλοι που προέρχονται από το ψήσιμο των αργίλων ( $600-900^{\circ}\text{C}$ ).

- Τεχνητές κονίες.

Για την δημιουργία τεχνητών κονιών είναι απαραίτητο το να υπάρξει εξωτερική κατεργασία και σε συνδυασμό με τη χρήση φυσικοχημικών μεθόδων απομονώνονται από άλλα υλικά. Για παράδειγμα το τσιμέντο και ο ασβέστης αποτελούν κονίες τέτοιου τύπου.

β) Ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται

- Αερικές.

Ξηραίνονται ή πήζουν μόνο όταν έλθουν σ' επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα και αυτό γίνεται με την βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) της ατμόσφαιρας. Αντιπροσωπευτικός τύπος είναι η άσβεστος. Χρησιμοποιούνται σε επιφανειακές κατασκευές. Μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμη και οι αερικές κονίες που έχουν σκληρυνθεί [12].

- Υδραυλικές

Μπορούν να στερεοποιηθούν μέσα στο νερό. Η ιδιότητα που έχουν οι κονίες αυτές να στερεοποιούνται μέσα στο νερό, καλείται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική σύστασή τους. Αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι η τραχεία γύψος, η υδραυλική άσβεστος, οι ασφατοκονίες και οι τεχνητές κονίες Portland (τα τσιμέντα). Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που βρίσκονται σε συνεχή ή περιοδική επαφή με το νερό [12].

## 2.5 Τα Αδρανή Υλικά στα Κονιάματα

Τα αδρανή υλικά οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι παραμένουν χημικώς αδρανή, σε αντίθεση με την κονία και το νερό. Τα αδρανή υλικά σε ένα κονίαμα συνδέονται και συγκολλούνται μεταξύ τους με τη συμβολή της κονίας και συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του τελικού προϊόντος (κονιάματος) [13].

Καταλαμβάνουν, όμως, ένα μεγάλο τμήμα του συνολικού όγκου του μίγματος του κονιάματος και επομένως τα χαρακτηριστικά τους θα επηρεάζουν την απόδοση και τις ιδιότητες τόσο του νωπού όσο και του σκληρυμένου κονιάματος. Οι ιδιότητες όπως χημική αδράνεια, γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής και ανθεκτικότητα είναι σημαντικές, μεγαλύτερο ρόλο όμως για τις ιδιότητες του κονιάματος παίζουν το σχήμα και η διαβάθμιση των λεπτόκοκκων αδρανών[15].

Σε θεωρητικό επίπεδο, οποιοδήποτε υλικό το οποίο έχει μια αξιόλογη αντοχή, επαρκή πρόσφυση καθώς και χημική ανεκτικότητα με την κονία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανή υλικό. Ως αδρανή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πετρώματα τα οποία είτε συλλέγονται τεχνικά είτε όπως ακριβώς βρίσκονται στη φύση.

### 2.5.1 Κατηγορίες Αδρανών Υλικών

Τα αδρανή υλικά μπορούμε να τα ταξινομήσουμε τόσο ανάλογα με την προέλευσή τους όσο και ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους.

- Ανάλογα με την προέλευσή τους σε:

**Φυσικά Αδρανή:** Προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό των στερεών πετρωμάτων, λαμβάνονται απ' ευθείας από το περιβάλλον και ειδικά από ορισμένους τόπους, όπου έχουν συγκεντρωθεί με την ενέργεια φυσικών δυνάμεων (νερό και άνεμος) και χρησιμοποιούνται κατά κανόνα χωρίς οποιαδήποτε επεξεργασία. Σε σπάνιες περιπτώσεις, όταν δηλαδή τα υλικά αυτά προορίζονται για έργα που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, μπορεί να εγκατασταθούν μηχανικά κόσκινα για την ταξινόμηση των υλικών κατά το μέγεθος των κόκκων τους, καθώς και μηχανές πλύσεως για τον καθαρισμό τους από επιβλαβείς ουσίες όπως άλατα, πηλός, οργανικές ουσίες κλπ.

Τα φυσικά αδρανή αποτελούνται από κόκκους στρογγυλούς και γωνιώδεις με στρογγυλεμένες ακμές, βρίσκονται σε αφθονία στις παραλίες των θαλασσών, στις κοίτες των ποταμών, σε εναποθέσεις μέσα στη γη και στις ερήμους.

Ανάλογα με την σύστασή τους διακρίνονται σε χαλαζιακά, ασβεστολιθικά, κλπ.. Η χαλαζιακή άμμος που προέρχεται από παραλίες, είναι η πιο κατάλληλη για την κατασκευή δομικών υλικών, είναι σκληρή ανθεκτική στις καιρικές συνθήκες και καθαρή χωρίς ξένες προσμίξεις, εκτός από το αλάτι. Η ποταμίσια άμμος περιέχει αρκετή

ποσότητα αργιλικών υλικών και πρέπει όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε σκυροδέματα ή κονιάματα να πλυθεί για να αποβάλει ένα μέρος από τις αργιλικές αυτές προσμίξεις.

**Τεχνητά Αδρανή:** Προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό με μηχανική θραύση των λίθων. Ο τεμαχισμός με μηχανικά μέσα γίνεται στα λατομεία με κατάλληλο μηχανολογικό εξοπλισμό ανάλογα με την κοκκομετρία (θραυστήρας με σιαγόνες, περιστροφικός θραυστήρας).

Τα τεχνητά αδρανή έχουν μεγαλύτερη ποικιλία ως προς το μέγεθος των κόκκων, από εκείνα που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό. Επίσης είναι περισσότερο ομοιογενή, επειδή προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα και οι ακμές τους είναι γωνιώδεις, ενώ οι επιφάνειές τους τραχείς γιατί έχουν υποστεί κυλινδρισμό. Οι διαστάσεις των τεχνητών άμμων κυμαίνεται, από 0.25mm ως 7mm. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων διακρίνονται σε:

- A) Άμμο με μέγεθος κόκκων από 1 mm ως 7mm.
- B) Ψιλή άμμο με μέγεθος κόκκων κάτω από 1 mm.

- Ανάλογα με το μέγεθος κόκκων του σε:

A) Άμμος: Για να χαρακτηριστεί ένα υλικό άμμος, πρέπει οι κόκκοι του να είναι μεγαλύτεροι από 0.25mm και μικρότεροι από 7mm. Αδρανές υλικό με μέγεθος κόκκων μικρότερο από 0.25mm ονομάζεται παιπάλη ή άλευρο.

B) Χαλίκια ή Σκύρα: Το μέγεθος των κόκκων τους κυμαίνεται μεταξύ 7mm και 70mm. Χαλίκια συνήθως ονομάζονται τα αδρανή, που προέρχονται από φυσικό τεμαχισμό (φυσικά αδρανή), ενώ σκύρα όσα προέρχονται από τεχνητό τεμαχισμό

### 2.5.2 Χαρακτηριστικά των Αδρανών Υλικών

Τα κύρια χαρακτηριστικά των αδρανών υλικών που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος είναι:

- η αντοχή τους, δηλαδή η αντοχή του μητρικού πετρώματος
- η καθαρότητα, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών
- το σχήμα (μορφή) των κόκκων
- η κοκκομετρική διαβάθμιση των κόκκων
- η πρόσφυση με την κονία
- η χημική συμπεριφορά τους με τα άλλα συστατικά του κονιάματος, του σκυροδέματος ή με ουσίες που μπορεί να διεισδύσουν μέσα στο τελικό προϊόν κατά την διάρκεια της ζωής του (θαλασσινό νερό, καυσαέριο κλπ.).

## 2.6 Το Νερό στα Κονιάματα

Μετά την κονία και τα αδρανή, το νερό αποτελεί το τρίτο σημαντικό συστατικό των κονιαμάτων. Το νερό και η κονία είναι τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος. Παίρνει μέρος σε μία σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν (με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων) στην πήξη και σκλήρυνση του μείγματος. Για το λόγο αυτό πρέπει να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερα συστατικά που μπορεί να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις.

Το νερό επιδρά διπλά στα κονιάματα. Ένα μέρος, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος, καταναλώνεται για τις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την πήξη της κονίας (άσβεστος, τσιμέντο), δηλαδή για το σχηματισμό ένυδρων χημικών ενώσεων. Το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει για τη διαβροχή των κόκκων των αδρανών και την αύξηση της πλαστικότητας του κονιάματος. Το δεύτερο αυτό μέρος επιδρά στις ιδιότητες του κονιάματος. Μικρή ποσότητα δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δύσκολο στο να κατεργαστεί, αλλά με αυξημένη μηχανική αντοχή και στεγανότητα. Αντίθετα, μεγάλη ποσότητα το κάνει πλαστικό ως υδαρές και εύκολο στο να κατεργαστεί, αλλά συγχρόνως, ελαττώνει την αντοχή του και τη στεγανότητά του. Επομένως, το νερό σε κατάλληλη ποσότητα είναι απαραίτητο για να δώσει στο κονίαμα την απαιτούμενη πλαστικότητα.

Επιπλέον, η ποσότητα του νερού παίζει σημαντικό ρόλο στη μηχανική αντοχή του κονιάματος. Όταν δεν είναι επαρκής, παραμένει μια ποσότητα κονίας ανενεργή, με αποτέλεσμα να έχουμε μερική μόνο σύνδεση των αδρανών. Όταν η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, δεν απορροφάται από την κονία και τα αδρανή, αλλά μένει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού. Το αρνητικό σ' αυτή την περίπτωση είναι ότι μετά την εξάτμιση του νερού δημιουργούνται πόροι και κοιλότητες μειώνοντας τη συνοχή και τις αντοχές του κονιάματος.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας νερού σε ένα κονίαμα, πρέπει να ληφθούν υπόψη διάφοροι παράγοντες. Κάποια ποσότητα απορροφάται και ενώνεται χημικά με την κονία, ενώ κάποια άλλη διαβρέχει τα αδρανή ή τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή το κονίαμα κατά την εφαρμογή του. Τέλος, πρέπει να υπολογίζεται η ποσότητα που μένει αναπόφευκτα ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού και εκείνη που εξατμίζεται κατά την παρασκευή, διάστρωση και πήξη.

## 2.7 Παράγοντες που οδηγούν στη διάβρωση κονιαμάτων

Η φθορά του κονιάματος με το πέρασμα του χρόνου, οφείλεται στην υποβάθμιση των επιμέρους υλικών από τα οποία αποτελείται. Η υποβάθμιση των υλικών οδηγεί σιγά σιγά σε μείωση της ποιότητας και της αντοχής του κονιάματος. Οι διεργασίες της υποβάθμισης ασκούν πίεση στα δομικά υλικά με αποτέλεσμα να επηρεάζουν τις

φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες τους. Η με μη συμβατά υλικά συντήρησης, οδηγεί τόσο σε κακό αισθητικό αποτέλεσμα όσο και σε πλήρη φθορά του κονιάματος. Όλα τα υλικά υφίστανται υποβάθμιση, άλλα βραχυπρόθεσμα και άλλα μακροπρόθεσμα [16]

### *2.7.1 Η Παρουσία Υγρασίας στα Κονιάματα*

Η υγρασία είναι ένας παράγοντας που παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στους τρόπους αποσύνθεσης ενός κονιάματος. Απουσία υγρασίας, θα ήταν πολύ μικρή η υποβάθμιση των κονιαμάτων [16]

Η υγρασία μπορεί να προκαλέσει βλάβη στο κονίαμα με δύο τρόπους: είτε άμεσα, είτε έμμεσα, υποβοηθώντας άλλους παράγοντες που μπορεί να ευθύνονται για τη φθορά του κονιάματος. Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, ο βαθμός που θα επηρεάσει η υγρασία το κονίαμα εξαρτάται από το πορώδες του κονιάματος. Υπάρχουν τρεις τρόποι με τους οποίους εναποτίθεται η υγρασία στο κονίαμα: η συμπύκνωση των υδρατμών, η τριχοειδής ανύψωση και η βροχόπτωση [17]

Η συμπύκνωση εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του κονιάματος. Η τριχοειδής δράση είναι ο κύριος παράγοντας μεταφοράς της υγρασίας στο εσωτερικό του κονιάματος, που είναι συνέπεια της επιφανειακής τάσης. Με τη βροχόπτωση εναποτίθεται νερό (υγρασία) στην επιφάνεια των μνημειακών και γενικότερα των κατασκευών και η δράση της εξαρτάται από τους κλιματικούς παράγοντες αλλά και από το ίδιο το υλικό [18]. Γίνεται επίσης αντιληπτό, ότι η βροχή παρασύρει και μεταφέρει στα δομικά υλικά τα διαλυμένα όξινα αέρια που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα.

### *2.7.2 Η Επίδραση της Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης στα Κονιάματα*

Η ατμοσφαιρική ρύπανση τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί σε πολύ μεγάλο ποσοστό, όμως όπως έχει δείξει ο Brimblecombe (1991), αποτελούσε παράγοντα υποβάθμισης της πολιτιστικής κληρονομιάς από την αρχαιότητα [19].

Πολλές μελέτες έχουν γίνει σχετικά με ρύπους όπως τα οξείδια του θείου και του αζώτου, τα οποία διαλύονται στο νερό, οδηγώντας σε ένα όξινο διάλυμα το οποίο αντιδρά με τα ασβεστούχα υλικά. Σε αστικές κυρίως περιοχές η ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνει τα ποσοστά των οξειδίων του θείου και του αζώτου. Η καύση ορυκτών καυσίμων για παράδειγμα, όπως ο άνθρακας ή το πετρέλαιο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο οδηγεί στην παραγωγή διοξειδίου του θείου. Το ανθρακικό ασβέστιο που υπάρχει στο κονίαμα μετασχηματίζεται σε γύψο, ο οποίος πολλές φορές είναι περισσότερο διαλυτός από το ανθρακικό ασβέστιο.

### 2.7.3 Διαλυτά Άλατα στα Κονιάματα

Τα τελευταία χρόνια, έχει αυξηθεί το επιστημονικό ενδιαφέρον πάνω στο φαινόμενο της φθοράς των οικοδομικών υλικών, ειδικότερα στο ημιτελώς κατανοητό θέμα της διάβρωσης από άλατα. Η αντίδραση των αλάτων με την είδη υπάρχουσα υγρασία στα πετρώματα παράγει μια ενδιαφέρουσα σειρά από διαβρώσεις όπως, Tafoni (μικρά σπήλαια, σε κοκκώδη συνήθως πετρώματα, με στρογγυλεμένες εισόδους και λεία κοίλα τοιχώματα, που συχνά συνδέονται και είναι δικτυωμένα. Μπορούν να βρεθούν σε όλους τους τύπους κλίματος, αλλά είναι πιο άφθονα σε παλιρροιακή περιοχές και ημι-άνυδρες και ξηρές ερήμους), πέτρινα βάθρα καθώς και ‘‘κηρήθρες’’.

Η διάβρωση οικοδομικών υλικών από άλατα μπορεί να είναι εξίσου καταστροφική, είναι ευρέως αναγνωρισμένη ως ένας από τους πρωτογενείς παράγοντες στην αλλοίωση της ιστορικής αρχιτεκτονικής, των κατασκευών σε αρχαιολογικούς χορούς και αρχαιολογικών αντικειμένων. Η κατανόηση και η εύρεση τρόπων για την αντιμετώπιση της καταστροφής που προκαλείται από τα άλατα έχει μεγάλη σημασία για τη διατήρηση του υλικού της πολιτιστικής κληρονομιάς. Επιπλέον, καταστροφές σε θεμέλια σύγχρονων κτιρίων που έχουν προκληθεί από άλατα, έχουν πρόσφατα αποτελέσει το αντικείμενο διαφορών που οδηγούν σε πολλών εκατομμυρίων διακανονισμούς και αποφάσεις. Η διάβρωση από άλατα είναι αναμφισβήτητα μια διαδικασία με μεγάλες πολιτιστικές και οικονομικές συνέπειες. Τα άλατα, είναι γνωστό, ότι προκαλούν βλάβες στα πορώδη υλικά μέσω της παραγωγής και της καταπόνησης από την κρυσταλλοποίηση των αλάτων στους πόρους. Τα άλατα μπορούν να βλάψουν πετρώματα και άλλα οικοδομικά υλικά μέσα από ένα φάσμα μηχανισμών. Η ανάπτυξη κρυσταλλικών αλάτων εντός των πόρων του κονιάματος μπορεί να δημιουργήσει τάσεις επαρκείς ώστε να ξεπεραστεί η εφελκυστική αντοχή του κονιάματος. Τα άλατα προέρχονται άλλοτε από ανέμους που πνέουν από παραθαλάσσιες περιοχές και μεταφέρονται στην τοιχοποιία με την ανερχόμενη υγρασία και άλλοτε από την ατμοσφαιρική ρύπανση [16].

Όπως αναφέρει ο Henriques (2004), οι βλάβες από τα άλατα οφείλονται σε μεγάλο βαθμό σε δύο μηχανισμούς, στην κρυστάλλωση των αλάτων από το διάλυμα και στην ενυδάτωση των αλάτων. Όλα τα άλατα είναι ικανά να προκαλέσουν βλάβες κρυστάλλωσης, ενώ οι βλάβες λόγω ενυδάτωσης προκαλούνται από άλατα τα οποία μπορεί να υπάρχουν σε περισσότερες από μία κατάσταση ενυδάτωσης όπως το θειικό νάτριο. Οι Everett (1961) και Snethlage & Wendler συνδέουν τη φθορά που προκαλείται στο κονίαμα με το πορώδες του, ενώ οι Rossi – Manaresi & Tucci (1991) με την κατανομή του μεγέθους των πόρων. Υπάρχουν και άλλες απόψεις (Charola 2003), όπου συνδέουν το βαθμό της βλάβης με τη φύση του αλάτος. Υπάρχουν επίσης μελέτες που αφορούν την κρυστάλλωση των αλάτων από πολύπλοκα ιοντικά διαλύματα υπό συνθήκες θερμοδυναμικής ισορροπίας σε ένα πορώδες σύστημα [20, 21, 22, 23].

Το φαινόμενο της κρυστάλλωσης αλάτων αποτελεί συνήθως χαρακτηριστικό στις επιφάνειες των κτιρίων. Οι φθορές που οφείλονται στην κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων μπορούν να εμφανιστούν στα δομικά υλικά είτε με τη μορφή εξανθήσεων είτε με τη μορφή κρυπτο-εξανθήσεων. Στην πρώτη περίπτωση, η ανάπτυξη και η απόθεση των κρυστάλλων πραγματοποιείται στην επιφάνεια του λίθου. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος στην επιφάνεια υπερβαίνει το ρυθμό εξάτμισης. Στην περίπτωση της εκδήλωσης κρυπτοεξανθήσεων, η ανάπτυξη των κρυστάλλων πραγματοποιείται στο εσωτερικό των πόρων του λίθου, με ταυτόχρονη απόθεση του διαλύτη του διαλύματος άλατος εντός των πόρων. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου, σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος άλατος στην επιφάνεια είναι μικρότερος από το ρυθμό εξάτμισης. Αυτή η εκδοχή θεωρείται η πιο επικίνδυνη εκ των δύο, καθώς οδηγεί σε ανάπτυξη πίεσης στα τοιχώματα των πόρων του λίθου, ανάλογα με το είδος του άλατος, το μέγεθος και την κατανομή των πόρων του υλικού. Η ανάπτυξη των κρυστάλλων στο εσωτερικό των πόρων, συνεπάγεται τη μεταφορά ιόντων στην επιφάνεια των κρυστάλλων. Εκεί λαμβάνουν χώρα διάφορες επιφανειακές αντιδράσεις (ρόφηση, επιφανειακή πυρήνωση, επιφανειακή διάχυση, αφυδάτωση, ιοντανταλλαγή) που οδηγούν στην ενσωμάτωση του ιόντος στο κρυσταλλικό πλέγμα. Η πίεση που ασκείται, μπορεί να διακριθεί σε πίεση κρυστάλλωσης και πίεση ενυδάτωσης. Δεν είναι εξακριβωμένο ποιος από τους δύο τύπους πίεσης είναι κύρια υπεύθυνος για τη φθορά που προκαλείται [58].

Οι τύποι διαλυτών αλάτων είναι οι εξής:

Θεικά: Εκείνο που συναντάται πιο συχνά είναι ο τεναδρίτης ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Ο αρκανίτης ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) είναι πολύ σπάνιος και μπορεί να βρεθεί σαν δευτερεύον συστατικό μαζί με το ανθρακικό νάτριο. Το θεικό μαγνήσιο σε διαφορετικές καταστάσεις ενυδάτωσης είναι επίσης πολύ σπάνιο. Τα συγκεκριμένα άλατα προέρχονται από: α) υπόγεια νερά, β) θαλασσινό νερό (σε παραθαλάσσιες περιοχές συναντάται μαζί με μεγάλες ποσότητες χλωριούχων και μικρές ποσότητες θεικού μαγνησίου) και γ) την ατμοσφαιρική ρύπανση. Τα θεικά είναι λιγότερο διαλυτά και ευκίνητα, συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα άλατα και κατά συνέπεια μετακινούνται μέσα στους πόρους των υλικών κατά την αρχική φάση σχηματισμού τους όσο βρίσκονται δηλαδή ακόμη στο διάλυμα.

Ο τύπος και η εμφάνιση των εξανθήσεων, συνδέονται με τη φύση της κρυστάλλωσης των αλάτων και τους ρυθμούς εξάτμισης. Για παράδειγμα, το θεικό νάτριο ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) συχνά προκαλεί λευκές και μαλακές εξανθήσεις, ενώ το θεικό ασβέστιο ( $\text{CaSO}_4$ ) ξηρές αποθέσεις, σε μορφή γύψου, οι οποίες είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθούν [58].

Χλωριούχα: Τα πιο συνηθισμένα χλωριούχα άλατα είναι ο αλίτης ( $\text{NaCl}$ ), ο συλβίνης ( $\text{KCl}$ ) και ο ανταρκτίτης ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). Δύο είναι οι κύριοι τρόποι εισχώρησής τους στα υλικά: α) από το υπέδαφος μέσω της αναρριχόμενης υγρασίας



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

Παρόλα αυτά, υπάρχουν ακόμα πολλά άλυτα ζητήματα που σχετίζονται με τη διάβρωση από άλατα, που κυμαίνονται από τις λεπτομέρειες για τους μηχανισμούς διάβρωσης μέχρι τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του υποστρώματος, του περιβάλλοντος και τον τύπο αλάτων και στην επίδραση αυτής της διαδικασίας στο χώρο και στην οικοδομική πέτρα[24].

#### *2.7.4 Βιολογική Δραστηριότητα και Κονιόματα*

Όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία, η βιολογική δραστηριότητα προκαλεί με πιο αργούς ρυθμούς βλάβη σε σχέση με την ατμοσφαιρική ρύπανση ή τα άλατα στα κονιόματα. Η βιολογική δραστηριότητα, λόγω ανάπτυξης κυανοβακτηρίων, φυκιών, λειχηνών, βρύων κ.ά., σχετίζεται τόσο με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όσο και με τις φυσικοχημικές ιδιότητες των υλικών στα οποία επιδρούν [25].

Τα βακτήρια, εμπίπτουν σε δύο ομάδες: τα αυτότροφα βακτήρια τα οποία αντλούν άνθρακα από το διοξείδιο του άνθρακα με την ενέργειά τους να προέρχεται από το φως και τα ετερότροφα τα οποία χρησιμοποιούν οργανικές ενώσεις του υλικού για να αντλήσουν άνθρακα. Μερικοί ερευνητές έχουν σημειώσει μεγάλο αριθμό βακτηρίων σε σαθρά υλικά σε σύγκριση με μικρότερους αριθμούς σε υλικά καλής ποιότητας καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα βακτήρια προκαλούν την υποβάθμιση. Άλλοι ερευνητές πιστεύουν ότι το ήδη υποβαθμισμένο υλικό παρουσιάζει ένα προτιμώμενο ενδιαίτημα για τα βακτήρια. [16].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

### 3.1 Γενικά

Η συντήρηση των μνημείων, είναι έργο συνεργασίας πολλών ειδικοτήτων, όπως Χημικών Μηχανικών, Χημικών, Συντηρητών και ειδικευμένων Μαρμαροτεχνητών, ως προς τις μεθόδους, τα υλικά και την εκτέλεση, με την σύμφωνη γνώμη Αρχαιολόγων ή ειδικευμένων Αρχιτεκτόνων, μόνο ως προς την τελική υφή της επιφάνειας και την αισθητική και ιστορική συνέπεια. Ως προς τον χαρακτηρισμό των πετρωμάτων, χρειάζεται επίσης Γεωλόγος, και βέβαια η καταπολέμηση των μικροοργανισμών πρέπει να γίνεται από βιολόγους [26].

Η συντήρηση (conservation) περιλαμβάνει τις εξής σωστικές επεμβάσεις:

- Τη «δομική συντήρηση (εννοούνται οι στατικές επεμβάσεις)
- Τη «συντήρηση της επιφάνειας», η οποία περιλαμβάνει:
  - ✓ Τον καθαρισμό (cleaning),
  - ✓ Τη στερέωση (consolidation),
  - ✓ Την προστασία (protection)
  - ✓ Την τεχνητή πατίνα (artificial patina).

Για όποιες από τις ενέργειες δομικής συντήρησης ή συντήρησης της επιφάνειας και αν πρόκειται, θα πρέπει τα υλικά που επιλέγονται να είναι καλύτερα από τα μη επιβλαβή και όχι τα λιγότερο βλαβερά. Θα πρέπει λοιπόν οι μέθοδοι και τα υλικά που επιλέγονται να πληρούν τις εξής αρχές [26]:

- Τα υλικά πρέπει να μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν, όποτε εμφανιστεί κάποια παρενέργεια, χωρίς να αφήνουν φθορές στην επιφάνεια.
- Τα υλικά δεν πρέπει να αλλάζουν το χρώμα, την αρχαιολογική αξία, και γενικότερα την εμφάνιση του μνημείου
- Τα υλικά πρέπει να είναι ανθεκτικά στο χρόνο, δηλαδή να μην διαβρώνονται εύκολα, να μην αλλάζει το χρώμα τους, να μην ρηγματώνονται, και να μην χάνουν τη συνάφειά τους με τα γειτονικά νέα ή παλιά υλικά.
- Τα υλικά αυτά θα πρέπει να είναι απολύτως συμβατά με τα υπόλοιπα δομικά υλικά, προκειμένου να μην τους δημιουργούν παρενέργειες, με τους εξής τρόπους:
  - ✓ Πρέπει να έχουν ουδέτερο  $\text{PH}=7$ . Διότι εάν το  $\text{PH}$  των υλικών  $< 7$ , είναι όξινα και θα διαλύσουν όλα τα δομικά υλικά., ενώ εάν το  $\text{PH}$  των υλικών  $> 8$ , είναι αλκαλικά και διαλύσουν πολλά φυσικά υλικά ή προσμίξεις, π.χ.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .
  - ✓ Δεν πρέπει να υδρολύονται γιατί δημιουργούν όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον, ούτε πρέπει να υδρολύονται τα προϊόντα αντίδρασής τους με το γύψο.

- ✓ Δεν πρέπει να διογκώνονται.
- ✓ Πρέπει ο συντελεστής θερμικής διαστολής τους να είναι παραπλήσιος με το συντελεστή θερμικής διαστολής των παρακείμενων υλικών.
- ✓ Δεν πρέπει να προσβάλλονται από το υπεριώδες φως.
- ✓ Δεν πρέπει να έλκουν αιωρούμενα σωματίδια
- ✓ Δεν πρέπει να αποτελούν ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη αποικιών μικροοργανισμών.
- ✓ Πρέπει να έχουν τις κατάλληλες μηχανικές αντοχές και σκληρότητα, που να είναι όμως παραπλήσιες με των παρακείμενων δομικών υλικών.
- ✓ Δεν πρέπει να προσβάλλονται εύκολα από τους ρυπαντές.
- ✓ Δεν πρέπει να είναι επιβλαβή κατά την τοποθέτησή τους για την υγεία των συντηρητών και των επισκεπτών.
- ✓ Πρέπει να είναι φιλικά προς το περιβάλλον.

### 3.2 Στερεωτικά Υλικά

Η αύξηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα δομικά υλικά επιτάχυνε σημαντικά τις διαδικασίες φθοράς στα μνημεία και τις ιστορικές κατασκευές, γεγονός που έχει συμβάλει στην όλο και μεγαλύτερη ανάπτυξη της ερευνητικής δραστηριότητας προς την κατεύθυνση των επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης των μνημείων, καθώς επίσης και την αύξηση του ενδιαφέροντος του επιστημονικού τομέα για την παραγωγή νέων συμβατών υλικών [27]. Οι εφαρμογές στερεωτικών υλικών τις τελευταίες δεκαετίες αφορούν κυρίως τη χρήση ακρυλικών υλικών, βινυλο-οξικών, αιθυλοπυριτικών, πολυσιλοξάνιων, πολυουρεθάνων, εποξεικών ρητίνων [28]. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, η χρήση συνθετικών πολυμερών υλικών λειτούργησε ως καταλυτικός παράγοντας που επιτάχυνε διάφορες χημικές διεργασίες, με άμεση συνέπεια την εμφάνιση μεγάλων αλλαγών στα έργα τέχνης όπως αποσυνδέσεις, ή αποφλοιώσεις των επιφανειών [29].

Τα ανθρακικά πετρώματα, όπως είναι ο ασβεστόλιθος και το μάρμαρο, χρησιμοποιούνται ευρέως από αρχαιοτάτων χρόνων ως δομικά υλικά στο χώρο της αρχιτεκτονικής. Δεδομένου ότι τέτοιου τύπου λίθοι είναι επιδεκτικοί σε διάφορους μηχανισμούς διάβρωσης, (π.χ. κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων, κύκλους ψύξης θέρμανσης, διογκώσεις αργιλικών ενώσεων [32], η ανάπτυξη αποτελεσματικών υλικών στερέωσης για ανθρακικά πετρώματα αποτελεί βασικό στόχο όσον αφορά στην διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς. Για την ενίσχυση αυτού του είδους των λίθων σήμερα χρησιμοποιούνται ανόργανα υλικά ασβεστιτικής κυρίως σύστασης, πολυμερή και πυριτικά στερεωτικά υλικά (αλκοξυσιλάνια) [30, 31].

Τα υλικά αυτά δημιουργήθηκαν με σκοπό την προστασία δομικών υλικών από διαβρώσεις που δέχονται είτε από περιβαλλοντικούς, είτε από ατμοσφαιρικούς παράγοντες.

Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή ενός στερεωτικού υλικού είναι [32]:

- Η ενίσχυση και προστασία των δομικών υλικών για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Να παρουσιάζουν ικανοποιητικό βάθος διείσδυσης.
- Να παρουσιάζουν φυσικοχημική και μηχανική συμβατότητα με τα δομικά υλικά
- Να μην παρουσιάζουν μικρορωγμές και συρρίκνωση κατά την εξάτμιση των διαλυτών.
- Να αλλάζουν την κατανομή των πόρων των δομικών υλικών ούτως ώστε να περιορίζεται η διάβρωση από τα άλατα χωρίς όμως να μειώνεται η διαπερατότητα των υδρατμών
- Να μην αλλάζουν το χρώμα των δομικών υλικών.
- Να παρουσιάζουν μεγάλο χρόνο ζωής.

### *3.2.1 Ανόργανα Στερεωτικά Υλικά*

Τα ανόργανα στερεωτικά υλικά που χρησιμοποιούνται στη στερέωση περιλαμβάνουν κυρίως διάφορες ανόργανες ενώσεις του πυριτίου, όπως πυριτικά αλκάλια και φθοριοπυριτικά, καθώς επίσης και υδροξείδια αλκαλικών γαιών, όπως υδροξείδιο του ασβεστίου, του στροντίου και του βαρίου. Η δράση των ανόργανων στερεωτικών υλικών έγκειται στη βελτίωση της συνοχής του λίθου μέσω της εναπόθεσης ανόργανων σωματιδίων που λειτουργούν ως συνδετικό υλικό ανάμεσα στους κόκκους του διαβρωμένου λίθου [33]. Τα περισσότερα ανόργανα στερεωτικά σχηματίζουν μία λευκή αδιάλυτη φάση μέσα στα κενά και τους πόρους του λίθου, είτε λόγω της κατακρήμνισης κάποιου άλατος, είτε από τη χημική αντίδραση με το λίθο. Ωστόσο, η εφαρμογή ανόργανων στερεωτικών δεν έχει δώσει ιδιαίτερα ικανοποιητικά αποτελέσματα και πολλές φορές έχει οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού φθοράς των λίθων [34, 35].

Μερικές από τις αιτίες της χαμηλής απόδοσής τους είναι η τάση τους να σχηματίζουν σκληρές κρούστες, ο σχηματισμός διαλυτών αλάτων ως παραπροϊόντων, η ανάπτυξη κατακρημνισμένων κρυστάλλων και η αμφισβητήσιμη ικανότητά τους να συνδέουν τους κόκκους του υλικού. Η ύπαρξη χημικής συγγένειας ανάμεσα στο διαβρωμένο υλικό και στο υλικό πληρώσεως, προκειμένου η σύνθεση της σχηματιζόμενης φάσης να πλησιάζει εκείνη του μητρικού υλικού, θεωρείται σημαντική παράμετρος όσον αφορά στο βαθμό απόδοσης των στερεωτικών υλικών [36, 37].

### 3.2.2 Οργανικά Στερεωτικά Υλικά

Τα οργανικά πυριτικά στερεωτικά υλικά (αλκοξυσιλάνια) ενδείκνυνται για την στερέωση ψαμμιτών που περιέχουν ενώσεις του πυριτίου, καθώς η δράση τους έγκειται στο σχηματισμό και την ενσωμάτωση ενώσεων πυριτικής σύστασης στο εσωτερικό των πόρων του λίθου.

Τα αλκοξυσιλάνια είναι μια οικογένεια μονομερών μορίων, τα οποία όταν έρχονται σε επαφή με το νερό (είτε μέσω της ατμοσφαιρικής υγρασίας, είτε μέσω της περιεχόμενης υγρασίας στους λίθους) υποβάλλονται σε αντιδράσεις υδρόλυσης, έτσι ώστε οι αιθοξυ-ομάδες ( $-\text{OC}_2\text{H}_5$ ) αντικαθίσταται σταδιακά από ομάδες υδροξυλίου ( $-\text{OH}$ ). Στη συνέχεια, καθώς οι ομάδες υδροξυλίου διαφορετικών μορίων ξεκινούν να αλληλεπιδρούν, τα μόρια υπόκεινται σε αντιδράσεις συμπύκνωσης με αποτέλεσμα το σχηματισμό πυριτίας ή αλκυλοπολυσιλοξανίου, υπό τη μορφή πηκτώματος (silica gel) [28,32,].

### 3.2.3 Τα νάνο – υλικά ως Στερεωτικά Υλικά

Η νάνο-δομή των κρυσταλλικών φάσεων από κοινού με το μέσο διασποράς αποτελούν μια κρίσιμη παράμετρο για την αποτελεσματικότητα της στερέωσης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία [38], το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζει σημαντικά την δραστικότητα και την διεισδυτική ικανότητα των στερεωτικών στο πορώδες δίκτυο του λίθου. Τα ανόργανα νάνο-σωματίδια μπορούν να παραχθούν με δυο διαφορετικές θεμελιώδεις διαδικασίες, είτε με διάσπαση (break-down), είτε με επαγωγικές μεθόδους (bottom-up). Όταν το ζητούμενο τελικό προϊόν είναι ο σχηματισμός μικρής ποσότητας ανόργανων νάνο-σωματιδίων, τότε η κατακρήμνιση των στερεών κατά την υγρή φάση (αντίδραση μεταξύ δυο ή περισσότερων αναμειγμένων διαλυμάτων) αντιπροσωπεύει μια αξιόπιστη μέθοδο. Με στόχο τον καλύτερο σχηματισμό των σωματιδίων ο βαθμός υπερκορεσμού, ο οποίος επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένης και της πίεσης και της θερμοκρασίας, θα πρέπει να είναι υψηλός. Αυτές οι τεχνικές παράμετροι αν επιλεγούν καταλλήλως επιτρέπουν τον έλεγχο του μεγέθους των νάνο-σωματιδίων. Ο απώτερος σκοπός είναι η προετοιμασία σωματιδίων συγκεκριμένης πολύ-διασκορπισιμότητας με ένα όριο διαρροής ανεκτό.

Παράλληλα με την σύνθεση των νάνο-σωματιδίων η προετοιμασία ενός κολλοειδούς συστήματος για στερεωτικούς σκοπούς απαιτεί τη σταθερή διασπορά τους. Συστήματα ομογενοποίησης με υπερήχους χρησιμοποιούνται συνήθως για την επίτευξη μιας σχετικά σταθερής διασποράς. Επίσης, όσον αφορά τον διαλύτη, σε γενικές γραμμές διαλύτες με χαμηλή επιφανειακή τάση ευνοούν τη διείσδυση των

νάνο-σωματιδίων στο πορώδες του υποστρώματος, ενώ διαλύτες με υψηλό σημείο βρασμού τείνουν να παραμένουν στους πόρους αναστέλλοντας τη διαδικασία σταθεροποίησης - gelling του στερεωτικού, η οποία λαμβάνει χώρα κατά την ξήρανση [39].

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες πάνω στα νάνο-υλικά και πιο συγκεκριμένα έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες για την χρήση αυτών ως στερεωτικά υλικά. Τα αποτελέσματα των ερευνών αυτών οδήγησαν στην επιλογή των δυο στερεωτικών υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, το Υδατικό SurfaPore Fx και το Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx).

#### *A) Υδατικό SurfaPore Fx*

Το Υδατικό SurfaPore Fx είναι ένα υδατικό εναιώρημα λειτουργικών νανοσωματιδίων οξαλικού ασβεστίου. Αποτελεί ένα στερεωτικό υγρό επιφανειακής εφαρμογής για τη σταθεροποίηση σαθρών οικοδομικών επιφανειών. Είναι ένα καινοτόμο υβριδικό νάνο-υλικό για την ενίσχυση των μηχανικών αντοχών των οικοδομικών επιφανειών και τη σταθεροποίηση των σαθρών, ευαίσθητων επιφανειών που εφαρμόζεται σε οποιαδήποτε επιφάνεια για να ενισχύσει την αντοχή της.

Είναι ένα υδατικό εναιώρημα λειτουργικών νάνο-σωματιδίων όπου λόγω του σχήματος, του μεγέθους και του διαλυτικού μέσου (νερού), διεισδύουν σε μεγάλο βάθος των δομικών επιφανειών, έως και 20mm (πορώδης επένδυση πέτρας). Μετά την εφαρμογή, τα νάνο-σωματίδια "αγκυρώνουν" χημικά στην επιφάνεια εφαρμογής και επιπλέον σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ τους με αποτέλεσμα την ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων των αποσαθρωμένων ή "ευαίσθητων" επιφανειών. Ο ανόργανος χαρακτήρας των νάνο-σωματιδίων εξασφαλίζει τη χημική συμβατότητα και την ευκολία εφαρμογής με τα δομικά υλικά. Το Υδατικό SurfaPore FX δε φράζει τους πόρους αλλά υποστηρίζει μηχανικά τις μικρορηγματώσεις και την "ασυνέχεια" των υλικών. Έτσι, η φυσική εμφάνιση, το πορώδες και η διαπνοή των τροποποιημένων επιφανειών παραμένουν ανεπηρέαστα [40].

#### *B) Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx)*

Στηριζόμενοι στα βασικά χαρακτηριστικά της προστατευτικής πατίνας των μνημείων, συντέθηκε επιτυχώς ένα στερεωτικό νάνο-υλικό για την αντιμετώπιση της αποσάθρωσης επιφανειών στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, το οποίο έχει περάσει πλέον στη βιομηχανική παραγωγή. Το υλικό αυτό είναι το Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx).

Η σύσταση του Αλκοολούχου SurfaPore Fx (SiOx) από πυριτία και οξαλικό ασβέστιο, εμπνεύστηκε από καλοδιατηρημένες επιφάνειες μνημείων και μηχανισμούς της φύσης, συνδυάζοντας καινοτομία, αποδοτικότητα και πολλαπλές εφαρμογές. Η παρουσία νάνο-σωματιδίων οξαλικού ασβεστίου στο πηκτωμα, προσφέρει προστασία

και στερέωση στα δομικά υλικά, λόγω της ελάχιστης διαλυτότητας του οξαλικού ασβεστίου στο νερό, της χημικής συνάφειάς του με τα δομικά υλικά και της ικανότητάς του να διεισδύει βαθιά στο εσωτερικό τους [41].

Μετά από αναλύσεις και εφαρμογές που έγιναν στο εργαστήριο, με στόχο την αποτίμηση της δράσης και της στερεωτικής του εφαρμογής συμπεράθηκε ότι, το νάνο-υλικό  $\text{SiO}_x$  έχει μικρό ιξώδες επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο μεγάλο βάθος διείσδυσης. Το συγκεκριμένο υλικό δεν παρουσιάζει μικρορωγμές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως στερεωτικό δομικών υλικών ενώ παράλληλα παρουσιάζει μεγάλη χημική συμβατότητα με τα δομικά υποστρώματα. Για τη σύνθεση του χρησιμοποιήθηκαν μη τοξικοί διαλύτες και αντιδραστήρια έτσι το στερεωτικό αυτό υλικό μπορεί να εφαρμοστεί επιτυχώς με ποικίλους τρόπους σε διάφορα δομικά υποστρώματα [59,60].

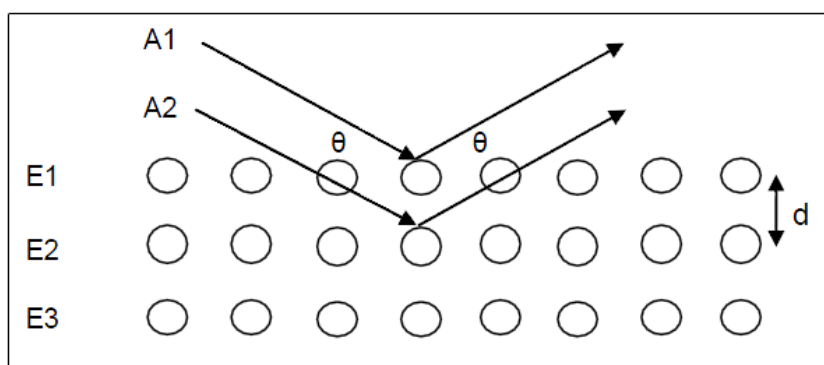
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων κονιαμάτων, επιχρισμάτων και λίθων χρησιμοποιήθηκαν αξιόπιστες αναλυτικές τεχνικές όπως η Υπέρυθρη Φασματοσκοπία, περιθλασιμετρίας ακτίνων - X, Φθορισμομετρία ενεργειακής διασποράς ακτίνων - X και η Θερμική ανάλυση. Οι αρχές λειτουργίας των εν λόγω τεχνικών περιγράφονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

### 4.1 Περιθλασιμετρία Ακτίνων – X (XRD)

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτίνων - X (X - Ray Diffraction, XRD) είναι μια αξιόπιστη ποιοτική και ποσοτική μέθοδος προσδιορισμού κρυσταλλικών ενώσεων στερεών δειγμάτων.

Η περιθλασιμετρία ακτίνων - X εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της σκέδασης των ακτίνων - X μετά από αλληλεπίδραση τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων. Όταν η σκέδαση των ακτίνων - X λαμβάνει χώρα στο οργανωμένο περιβάλλον του κρυστάλλου, προκαλείται συμβολή των σκεδαζόμενων ακτίνων λόγω του ότι οι αποστάσεις μεταξύ των κέντρων σκέδασης είναι του ίδιου μεγέθους με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Αυτό το είδος σκέδασης παρουσιάζει έντονα φαινόμενα περίθλασης των ακτίνων X, δηλαδή ενισχυμένη ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας προς συγκεκριμένες διευθύνσεις.



Εικόνα 4: Ανάκλαση ακτίνων – X στα πλεγματικά επίπεδα ενός κρυστάλλου

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτίνων – X διέπεται από το νόμο του Bragg:

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

όπου,

n : τάξη ανάκλασης



$\lambda$  : μήκος κύματος

$\theta$ : γωνία πρόσπτωσης

$d$  : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Στην περιθλασιμετρία ακτινών – X, το ζητούμενο μέγεθος είναι το  $d$ , γνωστό μέγεθος το  $\lambda$  και το μετρούμενο μέγεθος το  $2\theta$ .

Από την καταγραφή της έντασης των περιθλώμενων ακτινοβολιών και των γωνιών περίθλασης λαμβάνεται το φάσμα περίθλασης του δείγματος το οποίο συγκρίνεται με κρυσταλλογραφικά δεδομένα αναφοράς επιτρέποντας την ταυτοποίησή του.

#### 4.2 Φασματοσκοπία Υπερύθρου με σχηματισμό Fourier (FT - IR)

Η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη ενός δείγματος παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη σύστασή του. Η φασματοσκοπία υπέρυθρου (Infrared spectroscopy, IR) βασίζεται στην απορρόφηση ακτινοβολίας της ύλης στην υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και χαρακτηρίζεται ως μία από τις σημαντικότερες αναλυτικές τεχνικές χαρακτηρισμού της μοριακής σύνταξης και ταυτοποίησης οργανικών ενώσεων [42].

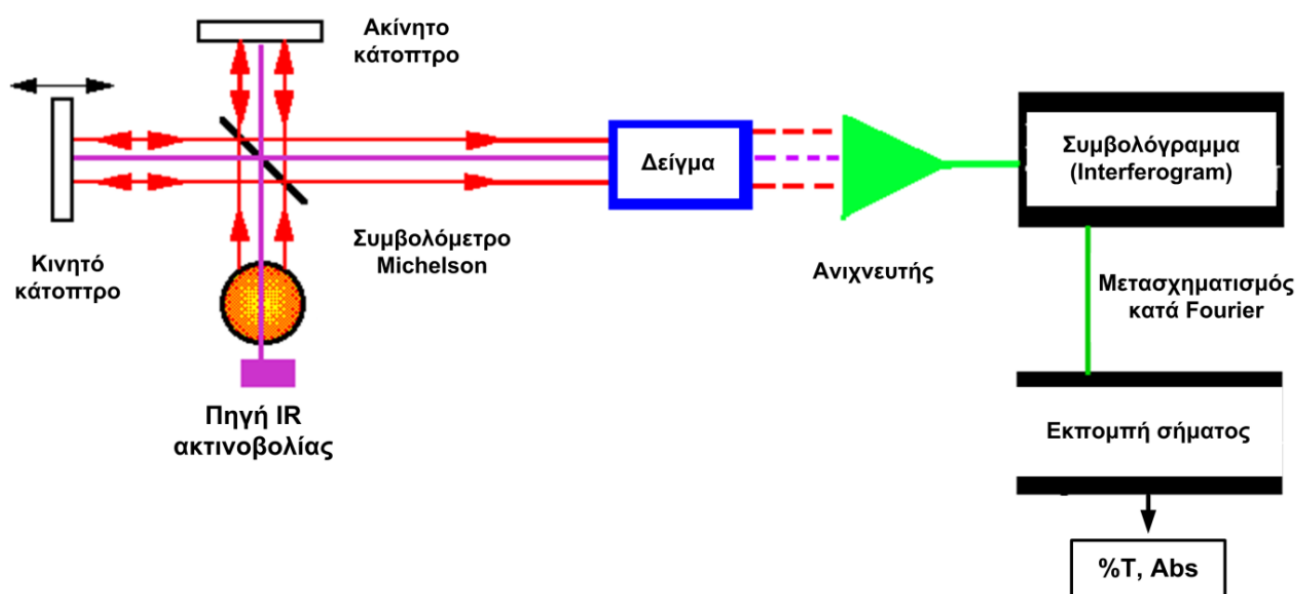
Η υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εκτείνεται από το ορατό μέχρι τα μικροκύματα και περιλαμβάνει ακτινοβολίες των οποίων οι κυματαριθμοί κυμαίνονται από  $12.800$  έως  $10\text{cm}^{-1}$ . Η πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενη περιοχή του υπέρυθρου φάσματος είναι αυτή που καλύπτεται από το μέσο υπέρυθρο, από  $400$  έως και  $4000\text{cm}^{-1}$ .

Η υπέρυθρη ακτινοβολία, λόγω της μικρής της ενέργειας, δεν προκαλεί ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις αλλά διεγέρσεις μεταξύ διαφόρων ενεργειακών σταθμών δόνηση και περιστροφής των μορίων, ενώ το μόριο παραμένει στη θεμελιώδη ενεργειακή του κατάσταση. Ένα μόριο είναι ικανό να απορροφήσει υπέρυθρη ακτινοβολία μόνο στην περίπτωση που μπορεί να μεταβληθεί η διπολική του ροπή κατά τη διάρκεια της δόνησης και η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα τη δονητική ή την περιστροφική κίνησή του [42, 43]. Γνωρίζοντας τον αριθμό των ατόμων του μορίου και την γεωμετρία του είναι δυνατόν να υπολογισθεί ο αριθμός των βασικών δονήσεων του μορίου [44]. Οι ταινίες απορρόφησης του φάσματος οδηγούν στην ταυτοποίηση των χημικών ενώσεων. Η παρουσία μεγάλου αριθμού ταινιών απορρόφησης σε παρατηρούμενο φάσμα το καθιστά αρκετά πολύπλοκο αλλά η πολυπλοκότητα αυτή προσδίδει ιδιαίτερο και μοναδικό χαρακτήρα στην τεχνική IR, η οποία επιτρέπει την ταυτοποίηση ενώσεων με μεγάλη αξιοπιστία.

Μέχρι τη δεκαετία του '80 τα περισσότερα όργανα μετρήσεων υπέρυθρου βασιζόνταν σε φράγματα διασποράς της ακτινοβολίας. Αυτά τα όργανα σήμερα κατά ένα μεγάλο μέρος έχουν αντικατασταθεί από φασματοφωτόμετρα με μετασχηματισμό Fourier

(Fourier Transform Infrared, FT - IR) λόγω της βελτιωμένης ταχύτητας, αξιοπιστίας και ευχρηστίας τους.

Τα κλασικά φασματοφωτόμετρα υπέρυθρου απαρτίζονται από: την πηγή της ακτινοβολίας, την κυψελίδα του δείγματος, τον μονοχρωμάτορα και τον ανιχνευτή σήματος. Τα ευρέως πλέον χρησιμοποιούμενα όργανα υπέρυθρης φασματοσκοπίας υπέρυθρου είναι εκείνα στα οποία ο μονοχρωμάτορας έχει αντικατασταθεί από συμβολόμετρο Michelson (Interferometer). Στα όργανα αυτά η υπέρυθρη ακτινοβολία υφίσταται το φαινόμενο της συμβολής μέσω του συμβολομέτρου, το οποίο όπως φαίνεται και στην Εικόνα (χ), αποτελείται από έναν διαιρέτη ακτινοβολίας και δυο, κάθετα μεταξύ τους, κάτοπτρα. Η διερχόμενη από το δείγμα ακτινοβολία συλλέγεται από τον ανιχνευτή. Τελικά. Το λαμβανόμενο σήμα (συμβολόγραμμα) μετασχηματίζεται κατά Fourier σε τυπικό φάσμα IR.



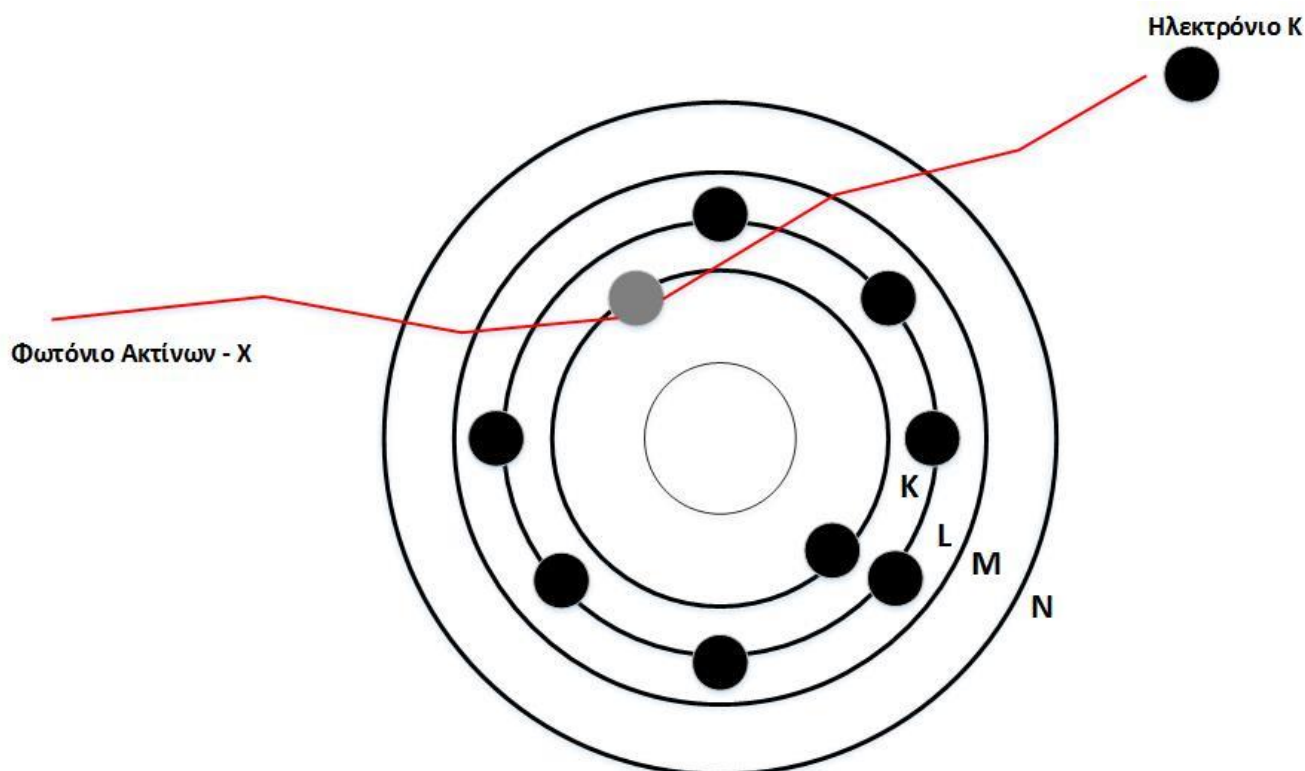
Εικόνα 5: Διάταξη υπέρυθρου φασματοφωτόμετρου με μετασχηματισμό κατά Fourier (FT-IR) [61]

#### 4.3 Φθορισμομετρία ενεργειακής διασποράς ακτίνων X (ED-XRF)

Στη φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων - X, φωτόνια εκπέμπονται από μια πηγή και χτυπάνε το προς εξέταση δείγμα. Μια τυπική διάταξη της μεθόδου, περιλαμβάνει μια πηγή πρωτογενούς ακτινοβολίας και ένα σύστημα ανίχνευσης δευτερεύουσας ακτινοβολίας του δείγματος.

Κατά την ακτινοβολήση, η διεγείρουσα δέσμη ακτίνων X προσπίπτει στο δείγμα προκαλώντας την απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από την εσωτερική ατομική στοιβάδα – σειρά K. Η διαδικασία στην οποία οι ακτίνες X απορροφώνται από το άτομο μεταφέροντας όλη τους την ενέργεια σε ένα εσωτερικό ηλεκτρόνιο ονομάζεται φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η εκπομπή ηλεκτρονίων συμβαίνει μόνον όταν η προσπίπτουσα ακτινοβολία που απορροφά είναι κατάλληλης ενέργειας, δηλαδή εάν η

ενέργεια των φωτονίων ( $h\nu$ ) είναι μεγαλύτερη ή ίσης της ενέργειας δεσμού των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στα εσωτερικά ενεργειακά επίπεδα. Η πλήρωση της οπής που δημιουργείται, επιτυγχάνεται με την μετάπτωση ηλεκτρονίων των εξωτερικών στιβάδων – σειρά 4L, M και N συνοδεύεται από εκπομπή χαρακτηριστικής ακτινοβολίας (ακτίνες - X) ή και ηλεκτρονίων Auger. Οι εκπεμπόμενες ακτίνες X που εκπέμπονται από αυτή τη διαδικασία ονομάζονται ακτινοβολία φθορισμού. Η ενέργεια του εκπεμπόμενου φωτονίου είναι ίση με τη διαφορά ενέργειας των επιπέδων που εμπλέκονται στη μετάπτωση.



Εικόνα 6: Ιοντισμός της στιβάδας K από ένα φωτόνιο ακτίνων X.

Επειδή κάθε στοιχείο του περιοδικού πίνακα έχει συγκεκριμένη ενεργειακή διαφορά ανάμεσα στα επίπεδα που καταλαμβάνονται από ηλεκτρόνια, εκπέμπει ακτίνες X χαρακτηριστικής ενέργειας. Επίσης, η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται, καθορίζεται από την ποσότητα ενός στοιχείου στο δείγμα. Έτσι, στο φάσμα ακτίνων - X του δείγματος που υποβάλλεται στην ως άνω διαδικασία εμφανίζεται μια σειρά χαρακτηριστικών ενεργειακών κορυφών η θέση των οποίων οδηγεί στην ταυτοποίηση των στοιχείων που περιέχονται στο δείγμα (ποιοτική ανάλυση), ενώ η ένταση τους είναι χαρακτηριστική της συγκέντρωσης του στοιχείου που αναλύεται (ημιποσοτική ή ποσοτική ανάλυση).

#### 4.4 Θερμική Ανάλυση (TA)

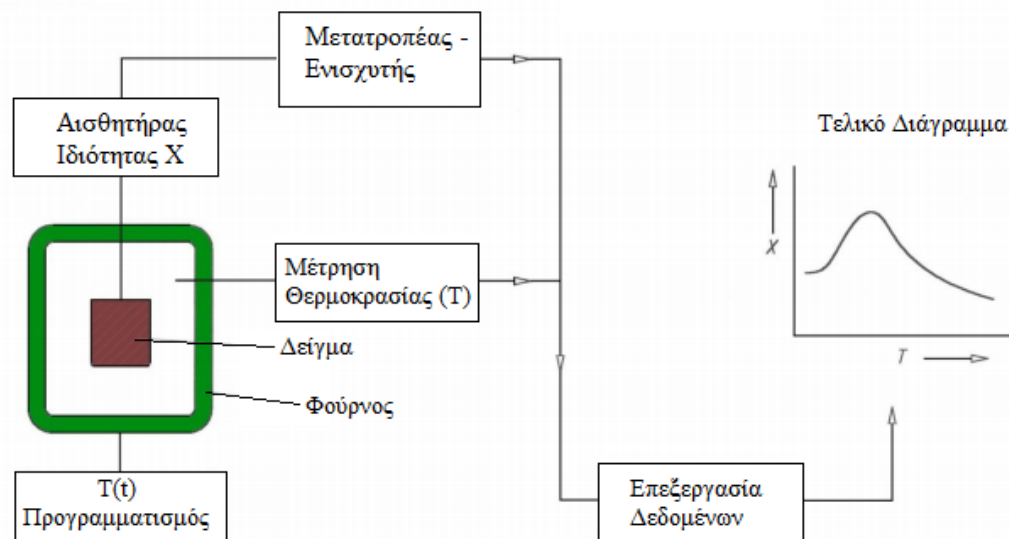
Η θερμική ανάλυση (Thermal Analysis, TA) περιλαμβάνει μια ομάδα τεχνικών στις οποίες καταγράφεται κάποια φυσική ιδιότητα μιας ουσίας συναρτήσει της θερμοκρασίας, όταν αυτή μεταβάλλεται κατά έναν προγραμματισμένο τρόπο. Οι αναλυτικές αυτές τεχνικές βρίσκουν εφαρμογή στον ερευνητικό και στον βιομηχανικό τομέα, τόσο για ποιοτικό όσο και για ποσοτικό έλεγχο [43].

Στις θερμικές αναλυτικές τεχνικές συγκαταλέγονται περισσότερες από 12 επιμέρους τεχνικές οι οποίες διαφέρουν ως προς την ιδιότητα που καταγράφεται. Οι ευρύτερα χρησιμοποιημένες αναλυτικές τεχνικές είναι: η θερμοσταθμική ανάλυση (Thermogravimetry, TGA), η διαφορική θερμική ανάλυση (Differential Thermal Analysis, DTA) και η διαφορική θερμιδομετρία σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry, DSC) [43]. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν η θερμοσταθμική και η διαφορική θερμική ανάλυση (TGA και DTA).

Η θερμοσταθμική ανάλυση, TGA, βασίζεται στην συνεχή καταγραφή της μάζας του δείγματος συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου και καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον. Το προκύπτον διάγραμμα της μεταβολής της μάζας συναρτήσει του χρόνου καλείται θερμογράφημα (thermogram) ή καμπύλη θερμικής διάσπασης (thermal decomposition curve). Η μεταβολή της μάζας που προκύπτει αφορά τόσο αντιδράσεις διάσπασης ή οξείδωσης όσο και φυσικές διεργασίες όπως εξάτμιση, εξάχνωση και εκρόφηση [43, 45].

Κατά την διαφορική θερμική ανάλυση, DTA, καταγράφεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και ενός υλικού αναφοράς συναρτήσει της θερμοκρασίας. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το δείγμα και η ουσία αναφοράς να θερμαίνονται ομοιόμορφα με συγκεκριμένο θερμοκρασιακό πρόγραμμα. Η διαφορική θερμική ανάλυση παρακολουθεί τις ενεργειακές μεταβολές οι οποίες συνοδεύονται από μεταβολή της ενθαλπίας, χωρίς όμως να είναι αναγκαία και η μεταβολή της μάζας. Οι μεταβολές αυτές προκύπτουν κατά την πραγματοποίηση φυσικών διεργασιών ή χημικών μεταβολών. Μέσω της διαφορικής θερμικής ανάλυσης μελετάται η θερμική συμπεριφορά ουσιών και καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός των σημείων βρασμού, τήξεως και διάσπασης ουσιών [43, 45].

Στην Εικόνα 7 παρουσιάζεται σχηματικά ο τρόπος λειτουργίας και χρήσης ενός θερμικού αναλυτή. Μία κλασική διάταξη αποτελείται από: (α) αναλυτικό ζυγό, (β) φούρνο, (γ) σύστημα διαβίβασης αερίου ώστε να εξασφαλίζεται αδρανής ή δραστική ατμόσφαιρα και (δ) ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω του οποίου ελέγχονται οι παράμετροι διεξαγωγής των αναλύσεων αλλά και η καταγραφή/επεξεργασία των λαμβανόμενων σημάτων.

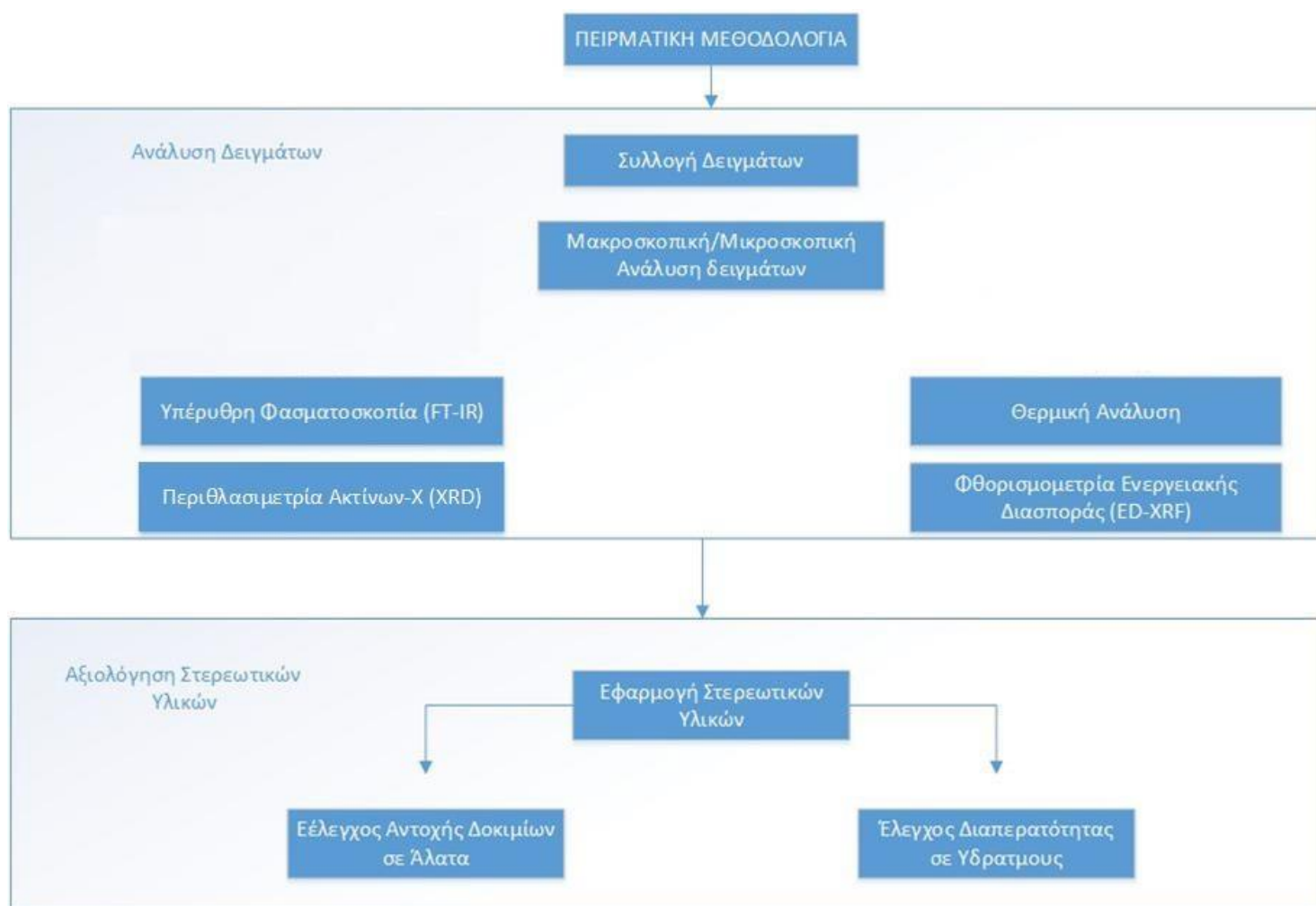


Εικόνα 7: Σχηματικό διάγραμμα διάταξης θερμικού αναλυτή [46].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Για την εκπόνηση του πειραματικού μέρους της παρούσας διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε συστηματική συλλογή δειγμάτων κονιαμάτων – επιχρισμάτων και λίθων από το μνημείο (Τοίχος Φιρκά και Γενοβέζικο Πύργο) με βάση περιοχές με διαφορετικούς βαθμούς διάβρωσης και δομικά υλικά με διαφορετικά μακροσκοπικά χαρακτηριστικά.

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζονται τα στάδια της πειραματικής διαδικασίας που πραγματοποιήθηκε για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

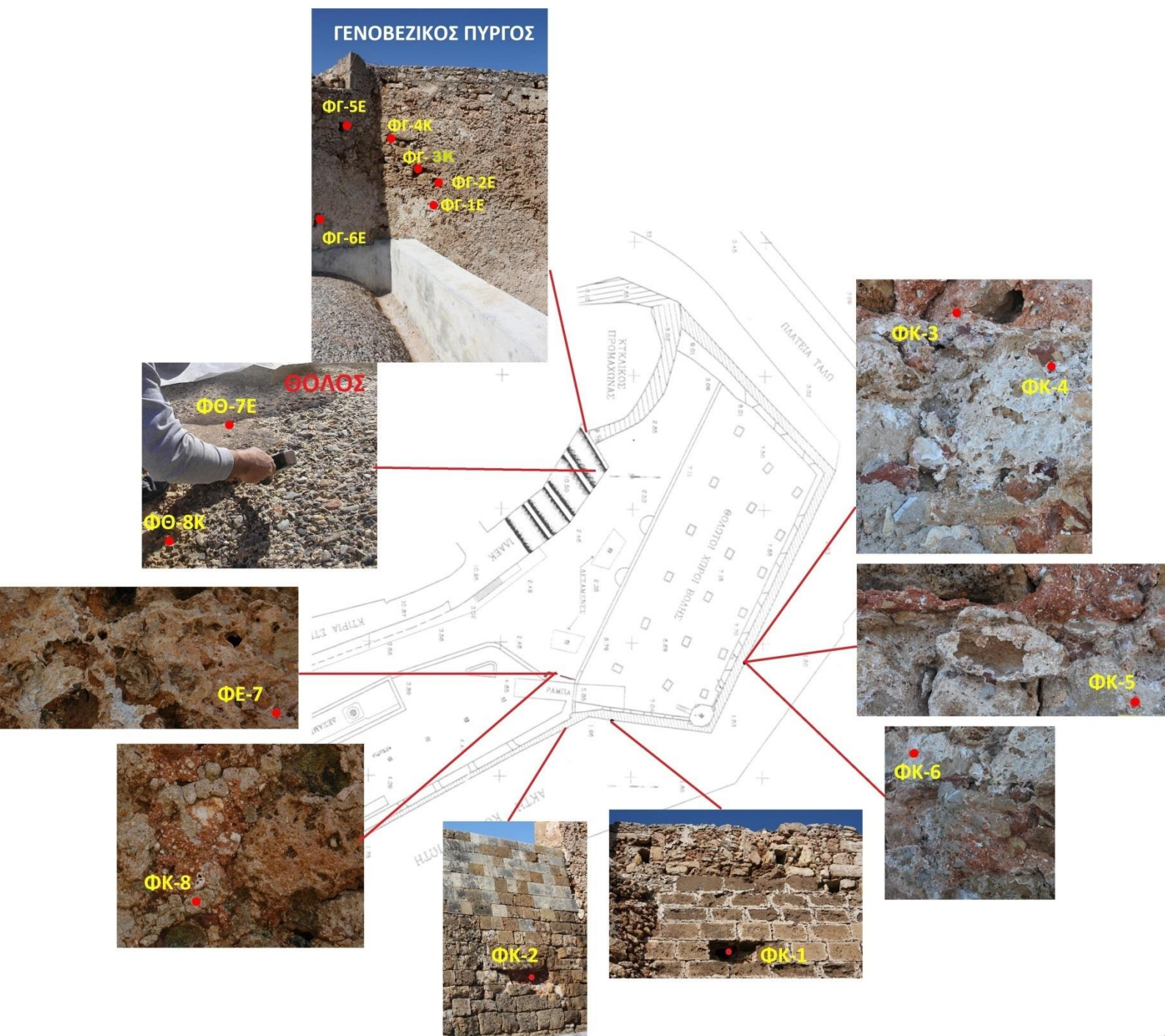


**Σχήμα 1:** Στάδια πειραματικής διαδικασίας

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η κάτοψη του χώρου η οποία συμπεριλαμβάνει τα σημεία δειγματοληψίας. Όπως φαίνεται και στο σχήμα συλλέχτηκαν συνολικά 16 δείγματα (κονιάματα – επιχρίσματα) και δυο λίθοι οι οποίοι συλλέχτηκαν από το εσωτερικό του Φρουρίου και είχαν χρησιμοποιηθεί στην αρμολόγηση των κονιαμάτων ΦΚ1 και ΦΚ2 αντίστοιχα. Από τα 16 δείγματα που συλλέχτηκαν

επιλέχθηκαν τα 6 όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, ως τα πιο χαρακτηρίστηκα με σκοπό να αναλυθούν.





Σχήμα 2: Κάτοψη χώρου – Θέσεις δειγματοληψίας κονιαμάτων/επιχρισμάτων





Σχήμα 3: Κάτοψη χώρου – Θέσεις δειγματοληψίας των προς ανάλυση κονιαμάτων/επιχρισμάτων

Τα κονιάματα – επιχρίσματα και λίθοι μελετήθηκαν αρχικά μακροσκοπικά και στη συνέχεια ακολούθησε η συστηματική μικροσκοπική, χημική, ορυκτολογική και φυσικομηχανική μελέτη τους με τη βοήθεια κατάλληλων αναλυτικών τεχνικών.

Η ποιοτική χημική ανάλυση των δειγμάτων έγινε με τη μέθοδο της υπέρυθρης φασματοσκοπίας (FT-IR) και με την φθορισμομετρία ενεργειακής διασποράς ακτίνων Χ. Για την υπέρυθρη φασματοσκοπία χρησιμοποιήθηκαν προζυγισμένα δείγματα, ώστε σε συνδυασμό με την ανάλυση πρότυπων δειγμάτων να εξαχθούν συμπεράσματα ποσοτικής ανάλυσης. Για την ποσοτική χημική ανάλυση των δειγμάτων εφαρμόστηκε αρχικά θερμική ανάλυση (DTA – TGA) με σκοπό τον

προσδιορισμό των ανθρακικών συστατικών, και των χημικά ενωμένων υδροξυλίων (OH) και νερού (H<sub>2</sub>O), που μετέπειτα αποτελούν τα βασικά συστατικά για την εκτίμηση των δεικτών υδραυλικότητας των κονιαμάτων, σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία [46-57]. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των στοιχείων και ιχνοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε επίσης η μέθοδος φθορισμομετρία ενεργειακής διασποράς ακτίνων – X (ED – XRF). Η ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων – επιχρισμάτων επιβεβαιώθηκε μέσω της περιθλασιμετρίας ακτίνων - X (XRD). Με τις παραπάνω τεχνικές η χημική και ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων διασταυρώθηκαν και επιβεβαιώθηκαν.

Η μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με σκοπό την καλύτερη δυνατή μελέτη και διάκριση κόνιας και αδρανών. Αρχικά, βρέθηκαν αντιπροσωπευτικά τμήματα για το κάθε δείγμα που συλλέχθηκε ξεχωριστά, και στη συνέχεια δημιουργήθηκαν οι στιλπνές τομές των τμημάτων αυτών εγκιβωτισμένων σε ειδική ρητίνη (Εικόνα 8).



**Εικόνα 8:** Στιλπνές τομές δειγμάτων

Τέλος, η κοκκομετρική διαβάθμιση των κονιαμάτων – επιχρισμάτων προσδιορίστηκε τόσο με την χρήση κοσκίνων (ASTM E 11 – 70, κόσκινα διαμέτρων: 4.5, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.125 και 0.063 mm), όσο και μέσω της μικροσκοπικής μελέτης (Εικόνα 9) των δειγμάτων με την τοποθέτηση κλίμακας πάνω στις φωτογραφίες που λάβαμε. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων της μικροσκοπικής και μακροσκοπικής μελέτης των κονιαμάτων παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 6 της παρούσας διπλωματικής εργασίας.



**Εικόνα 9:** Οπτικό μικροσκόπιο σε σύνδεση με φωτογραφική μηχανή

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης των δειγμάτων εφαρμόστηκαν στερεωτικά νάνο - υλικά (Υδατικό SurfaPore Fx και αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx)) σε δοκίμια Αλφά και σε Ασβεστοκονιάματα και ελέγχτηκε η αποτελεσματικότητά τους.

### *5.1 Μέθοδοι Αξιολόγησης Στερεωτικών Υλικών*

Οι πειραματικές διαδικασίες που περιγράφονται στα επόμενα υποκεφάλαια πραγματοποιήθηκαν με σκοπό την αξιολόγηση της σταθερότητας και της προστατευτικής δράσης των στερεωτικών νάνο - υλικών SurfaPore Fx (Υδατικό) και Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx).

### 5.1.1 Εφαρμογή Στερεωτικών Υλικών

Αρχικά, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι πειραματικές διαδικασίες του ελέγχου αντοχής σε άλατα καθώς και του ελέγχου διαπερατότητας σε υδρατμούς, επιλέχθηκαν κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια Αλφά καθώς και κυλινδρικά Ασβεστοκονιάματα. Η επιλογή του ασβεστόλιθου Αλφά σαν υποστρώματα βασίστηκε στην ευρεία χρήση του στον τομέα της αρχιτεκτονικής κατασκευής. Ο ασβεστόλιθος που επιλέχθηκε, ανήκει στην κατηγορία των βιοκλαστικών ασβεστόλιθων προερχόμενος από την περιοχή του Ρεθύμνου και περιέχει περίπου 95% ασβεστιτικών συστατικών ενώ το υπόλοιπο 5% αφορά πυριτικά συστατικά κυρίως χαλαζία. Ο εν λόγω ασβεστόλιθος χρησιμοποιείται συνήθως για διακοσμητικές εφαρμογές, λόγω της μαλακής του υφής που επιτρέπει την εύκολη κατεργασία του. Τα Ασβεστοκονιαμάτα αποτελούν μίγμα ασβέστη, άμμου και νερού σε αναλογία 1 προς 2 ή 3, στη δική μας περίπτωση η αναλογία είναι 1 προς 3 με χρήση υδραυλικής άσβεστου και χαλαζιακής άμμου αντίστοιχα. Η επιλογή των ασβεστοκονιαμάτων για τις εφαρμογές μας πραγματοποιήθηκε λόγω της ευρείας χρήσης των ασβεστοκονιαμάτων στην οικοδομική, ως συνδετικό υλικό καθώς επίσης και για την επίχριση στις επιφάνειες τοίχων.

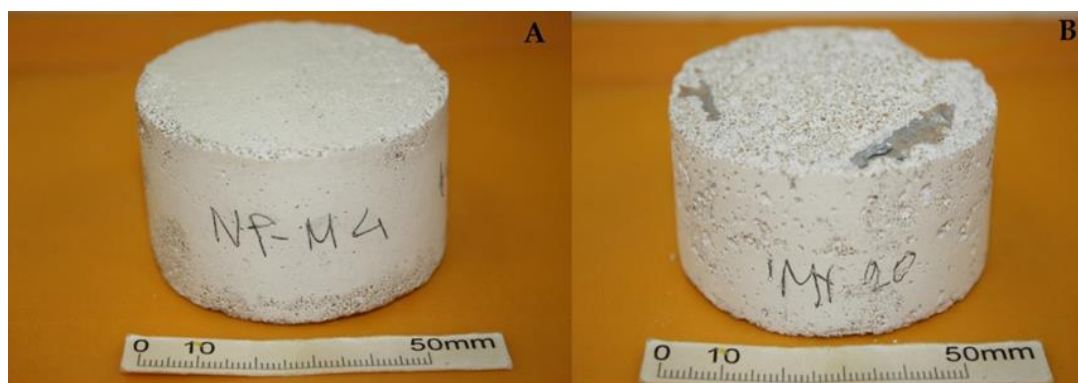
Στη συνέχεια, τα δοκίμια ξεπλύθηκαν με άφθονο νερό ούτως ώστε να απομακρυνθούν τυχόν ξένες ύλες που είχαν επικαθίσει. Τέλος, τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 100 °C για να στεγνώσουν και να απομακρυνθεί όλη η υγρασία από το εσωτερικό τους. Τα δοκίμια αφέθηκαν σε ξηραντήρα μέχρι να κρυώσουν και να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος και στη συνέχεια να πραγματοποιηθούν οι εφαρμογές των στερεωτικών νάνο - υλικών.

Οι εφαρμογές στα δοκίμια για το έλεγχο αντοχής σε άλατα είχαν πραγματοποιηθεί σε παλιότερες έρευνες ως εξής:

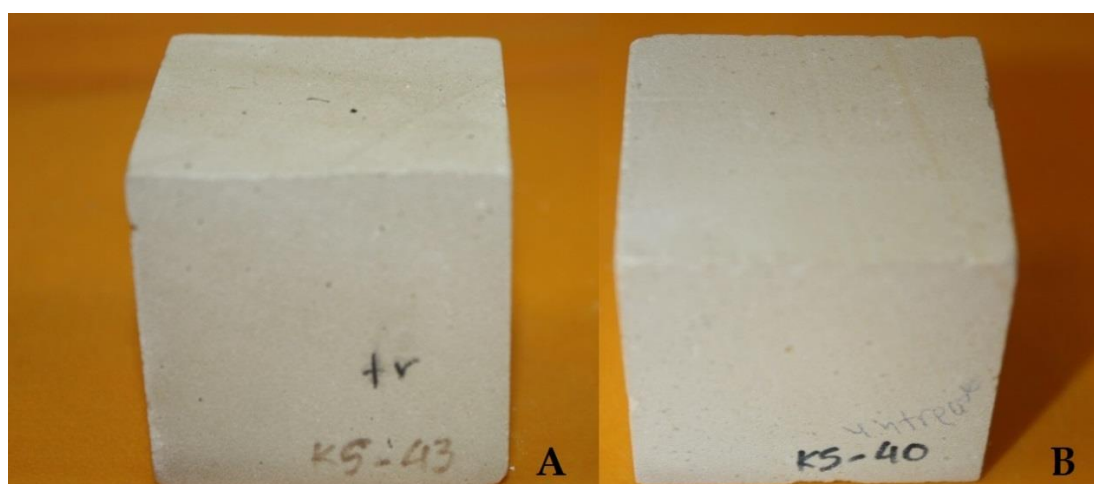
- Υδατικό SurfaPore Fx

Η εφαρμογή του Υδατικού SurfaPore Fx έγινε με απλή επάλειψη με τη χρήση πινέλου σε όλες τις πλευρές των δοκιμίων. Οι επαλείψεις με πινέλο επαναλήφθηκαν μέχρι η επιφάνεια του υποστρώματος να παραμείνει υγρή για 1 min.





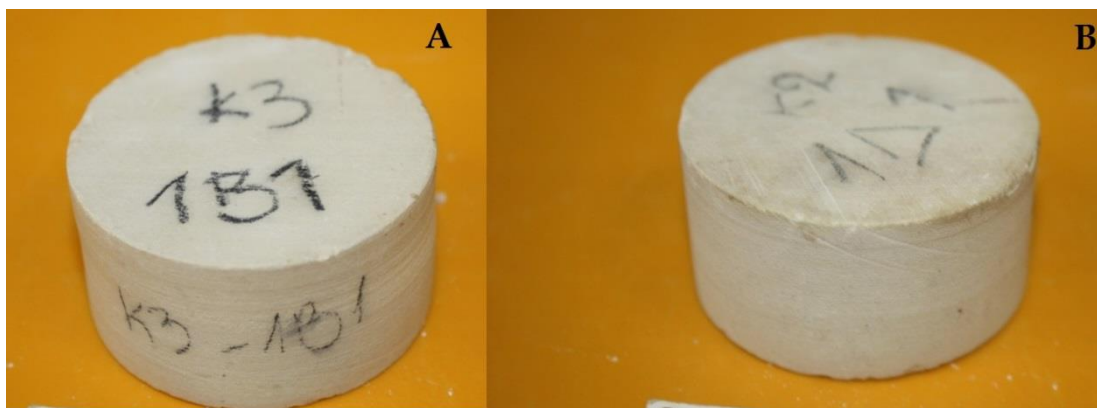
Εικόνα 10: Ασβεστοκονιάματα πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Υδατικό SurfaPore Fx, (Β) μη επεξεργασμένο.



Εικόνα 11: Δοκίμια Αλφά πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Υδατικό SurfaPore Fx, (Β) μη επεξεργασμένο

- Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx)

Η εφαρμογή του Αλκοολούχου SurfaPore Fx (SiOx) έγινε με απλή επάλειψη με τη χρήση πινέλου και σε όλες τις πλευρές των δοκιμίων. Κατά τη διάρκεια των εφαρμογών με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) ψεκάστηκαν 2 έως 3 φορές με ISP και τοποθετήθηκαν σε εξωτερικό χώρο μέχρι να στεγνώσουν.



**Εικόνα 12:** Δοκίμια Αλφά πριν από την πειραματική διαδικασία: (Α) επεξεργασμένο με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) , (Β) μη επεξεργασμένο

Για τον έλεγχο διαπερατότητας υδρατμών, επιλέχθηκαν 5 κυλινδρικά ασβεστοκονιάματα διαστάσεων 5.5 x 1.5 cm και 5 κυλινδρικά δοκίμια Αλφά διαστάσεων 5 x 1.5 cm. Σε 3 κυλινδρικά ασβεστοκονιάματα και σε 3 κυλινδρικά δοκίμια Αλφά έγινε εφαρμογή του Υδατικού SurfaPore Fx όπως φαίνεται στην Εικόνα 13 και Εικόνα 14 αντίστοιχα στο εργαστήριο. Στα υπόλοιπα δοκίμια δεν εφαρμόστηκε κάποιο στερεωτικό υλικό με σκοπό να δούμε την αντίδρασή των υλικών και των στερεωτικών και στις δύο περιπτώσεις και να τα συγκρίνουμε. Η εφαρμογή στα δοκίμια για την συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία έγινε με απλή επάλειψη με τη χρήση πινέλου στην «πάνω» πλευρά των δοκιμίων, πιο συγκεκριμένα σε εκείνη από την οποία θα διέφευγαν οι υδρατμοί.



Εικόνα 13: Εφαρμογή Υδατικού SurfaPore Fx σε Ασβεστοκονιάματα



Εικόνα 14: Εφαρμογή Υδατικού SurfaPore Fx σε δοκίμια Αλφά

Τέλος, όλα τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε συνθήκες δωματίου και παρέμειναν εκεί μέχρι να στεγνώσουν και να εξατμιστεί πλήρως ο διαλύτης. Για τον λόγο αυτό τα δοκίμια ζυγίζονταν συστηματικά μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους τους ( $\pm 0.01$  g). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ποσότητα του προϊόντος που εφαρμόστηκε σε όλα τα υποστρώματα ήταν η λιγότερο δυνατή, ούτως ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία κορεσμένου στρώματος (film) στην επιφάνειά τους.

## 5.2 Μέθοδος Αξιολόγησης Αντοχής σε Άλατα

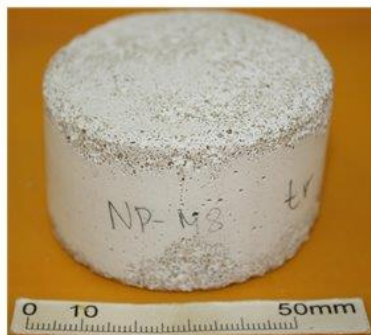
Στη συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία ελέγχθηκε η αντοχή σε άλατα θεικού νατρίου κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx δοκιμίων Αλφά και Ασβεστοκονιαμάτων, καθώς και κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx). Επιλέχθηκαν άλατα θεικού νατρίου καθώς η παρουσία υψηλών επιπέδων SO<sub>2</sub> στον αέρα προωθεί τον σχηματισμό διαφόρων μορφών θεικού ασβεστίου. Η παρουσία αυτών των μορφών αλάτων συνήθως οδηγεί σε φαινόμενα εξάνθησης (efflorescence και sub-efflorescence) τα οποία εξαφανίζονται και επανεμφανίζονται ανάλογα με την απουσία ή παρουσία υγρασίας. Οι πιέσεις που δημιουργούνται από την κρυστάλλωση των αλάτων στα τοιχώματα των πόρων του υποστρώματος έχουν σαν αποτέλεσμα την συνεχή αποδυνάμωσή τους και τελικά την οριστική του ρηγμάτωση/καταστροφή [38,39].

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας επιλέχθηκαν 6 κυβικά δοκίμια Αλφά διαστάσεων 4 x 4 cm, 4 κυλινδρικά δοκίμια Αλφά διαστάσεων 2,5 x 4,5 cm και 5 κυλινδρικά ασβεστοκονιάματα διαστάσεων 3 x 5,2 cm για τον έλεγχο αντοχής σε άλατα. Από αυτά χρησιμοποιήθηκαν 2 κυλινδρικά δοκίμια Αλφά στα οποία είχε εφαρμοσθεί το Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx), 3 κυλινδρικά Ασβεστοκονιάματα στα οποία είχε εφαρμοσθεί Υδατικό SurfaPore Fx και 3 κυβικά δοκίμια Αλφά στα οποία είχε εφαρμοσθεί το Υδατικό SurfaPore Fx όπως φαίνεται στα Σχήματα 4-5. Στα υπόλοιπα δοκίμια δεν εφαρμόστηκε κάποιο στερεωτικό νάνο-υλικό με σκοπό να μελετηθούν οι διαφορές και στις δυο περιπτώσεις.

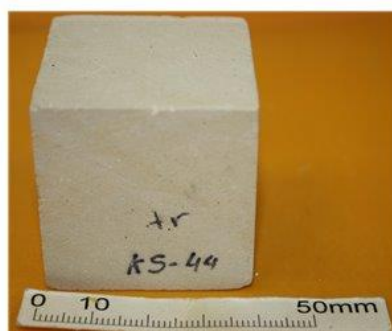


### Κατεργασμένα με SurfaPore Fx

Ασβεστοκονιάματα



Αλφάς



Σχήμα 4: Κατεργασμένα δοκίμια Αλφά/Ασβεστοκονιάματα με Υδατικό SurfaPore Fx

### Κατεργασμένα με SiOx

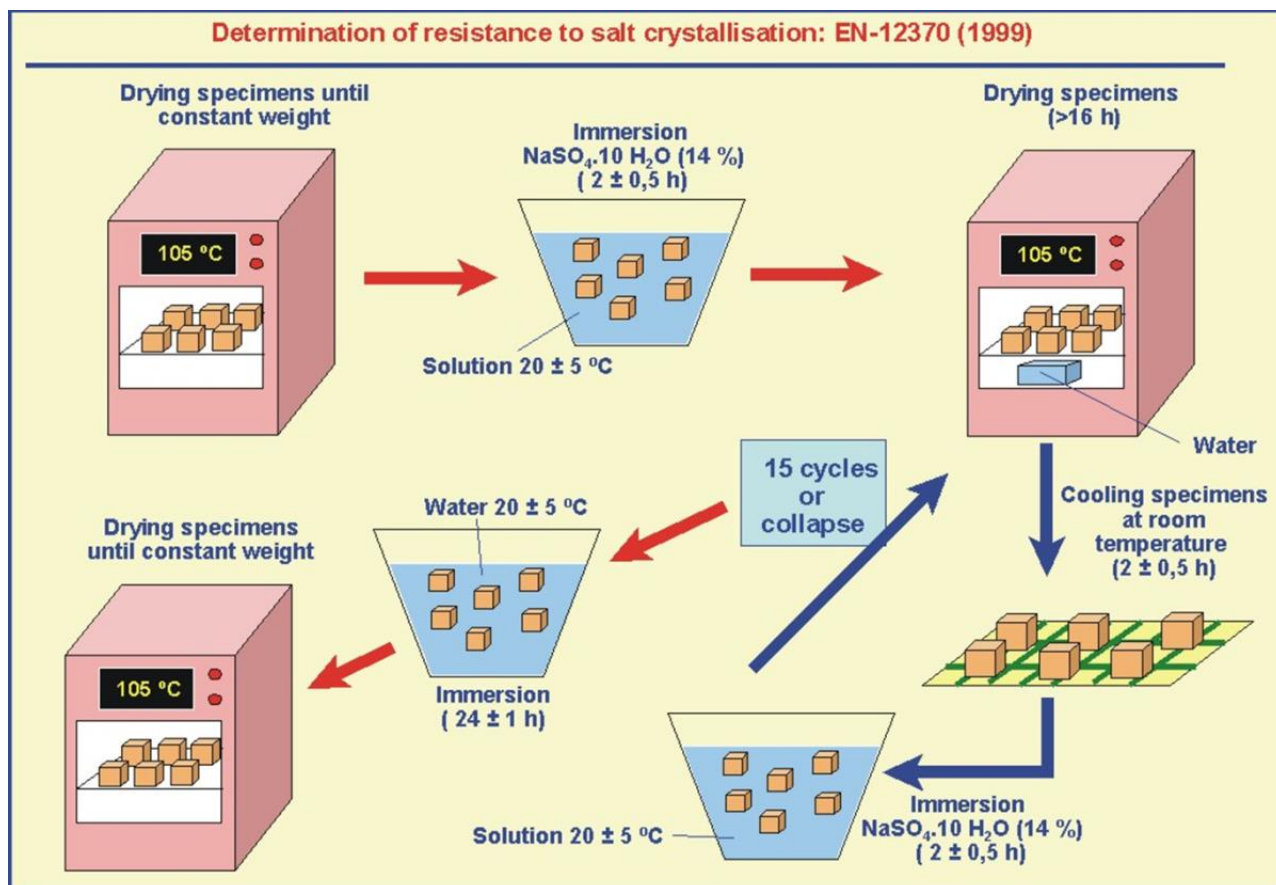
Αλφάς



Σχήμα 5: Κατεργασμένα δοκίμια Αλφά με Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx)

Προκειμένου να αξιολογηθεί η σταθερότητα και η προστατευτική δράση των προϊόντων (SurfaPore Fx και SiOx), πραγματοποιήθηκε μελέτη αντοχής σε άλατα σύμφωνα με το πρότυπο UNI-EN 12370 το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 15. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στο Εργαστήριο ήταν μία τροποποίηση της εν λόγω προτυποποιημένης μεθόδου. Πιο συγκεκριμένα, στη παρούσα πειραματική

διαδικασία τα δοκίμια δεν ήρθαν σε επαφή με το διάλυμα με εμβάπτιση άλλα με τριχοειδή αναρρίχηση μέσω διηθητικού χαρτιού στο οποίο ανά τακτά χρονικά διαστήματα προσθέταμε διάλυμα με σκοπό να διατηρηθεί η υγρασία του [63] .



Εικόνα 15: Απεικόνιση προτύπου EN-12370 (1999) [63]

Η διαδικασία του test κρυστάλλωσης αποτελείται από 20 κύκλους για το Υδατικό SurfaPore Fx και 20 κύκλους για το Αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx), όπου για τον κάθε κύκλο ακολουθήσαμε τα παρακάτω βήματα:

- **Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Αρχικά τα δείγματα ζυγίζονταν πριν από κάθε κύκλο. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε το δεκαένυδρο θεικό άλας με τριχοειδή αναρρίχηση (για 2 ώρες), υπό συνεχή παρακολούθηση (κάθε 30 λεπτά), έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η υγρασία τους.



**Εικόνα 16:** Διαδικασία πειράματος κατά τη διάρκεια του 15ου κύκλου

- **Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρ για 10 ώρες στους 100°C.



**Εικόνα 17:** Φωτογραφία από το ξηραντήρα του εργαστηρίου.

- **Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Τα δείγματα στη συνέχεια εκτέθηκαν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος έως ότου επανέλθουν στην αρχική τους θερμοκρασία και αφού ζυγίστηκαν και φωτογραφήθηκαν, επαναλαμβάνονταν η ίδια διαδικασία για την πραγματοποίηση του επόμενου κύκλου.

Όλα τα δείγματα κατά τη διάρκεια το 15ου κύκλου βυθίστηκαν σε απιονισμένο νερό για 24 ώρες με σκοπό να “ξεπλυθούν” από τα άλατα τα οποία είχαν εγκλωβιστεί στους πόρους τους και την επόμενη μέρα ξεπλύθηκαν πάλι με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν σε ξηραντήριο στους 100°C για 10 ώρες και αφού έμειναν σε συνθήκες εργαστηρίου πραγματοποιήθηκε ο 16ος κύκλος.



**Εικόνα 18:** Εμβάπτιση των δειγμάτων σε απιονισμένο νερό πριν από το 15ο κύκλο και μετά από 24 ώρες.

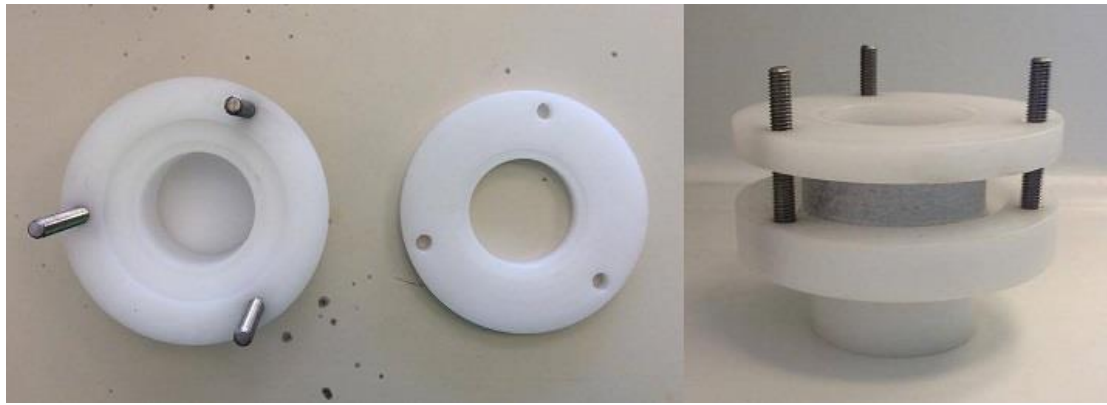
### *5.3 Μέθοδος Ελέγχου Διαπερατότητας Υδρατμών*

Ο έλεγχος της διαπερατότητας σε υδρατμούς κρίνεται απαραίτητος όταν εφαρμόζονται προστατευτικά υλικά σε επιφάνειες δομικών υλικών.

Διαπερατότητα είναι η ιδιότητα των υλικών να διαπερνώνται από αέρια λόγω διαφοράς πίεσης. Ο βασικός νόμος που διέπει τον υπολογισμό της διαπερατότητας είναι ο νόμος του Darcy σύμφωνα με τον οποίο ο ρυθμός ροής ενός ρευστού είναι απευθείας ανάλογος της διαφοράς πίεσης που προκαλεί την ροή.

Η διαπερατότητα σε υδρατμούς κατεργασμένων δοκιμίων μελετήθηκε σύμφωνα με την πρότυπη μεθοδολογία του UNI-EN 15803:2010, σε ειδική συσκευή που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 19.





**Εικόνα 19:** Συσκευή Ελέγχου διαπερατότητας υδρατμών

Η συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια Αλφά καθώς και σε Ασβεστοκονιάματα. Στα Σχήματα 6-7 φαίνονται τα κατεργασμένα και μη κατεργασμένα δοκίμια Αλφά και Ασβεστοκονιάματα αντίστοιχα.



**Σχήμα 6:** Κατεργασμένα και Ακατέργαστα δοκίμια Αλφά με Υδατικό SurfaPore Fx

Κατεργασμένα Ασβεστοκονιάματα  
με SurfaPore Fx



Ακατέργαστα Ασβεστοκονιάματα



**Σχήμα 7:** Κατεργασμένα και Ακατέργαστα Ασβεστοκονιάματα με Υδατικό SurfaPore Fx

Αρχικά, στο κάτω μέρος της συσκευής όπως φαίνεται στην Εικόνα 19 τοποθετήθηκε μικρή ποσότητα νερού, στη συνέχεια όλα τα δοκίμια (επεξεργασμένα και μη) τυλίχθηκαν περιμετρικά με ζελατίνα ώστε να μην διαφύγουν υδρατμοί από τις υπόλοιπες πλευρές των δοκιμίων κατά τη διαδικασία του πειράματος και τοποθετήθηκαν στη συσκευή.

Επίσης, χρησιμοποιήσαμε ένα μη κατεργασμένο δοκίμιο από το κάθε υλικό που ονομάστηκε «τυφλό» στο οποίο δεν είχε εφαρμοστεί στερεωτικό νάνο-υλικό, τυλίχθηκε και αυτό περιμετρικά με ζελατίνα και τοποθετήθηκε στη συσκευή, παρακολουθώντας και τη δική του πρόοδο με σκοπό να δούμε τις απώλειες της συσκευής.

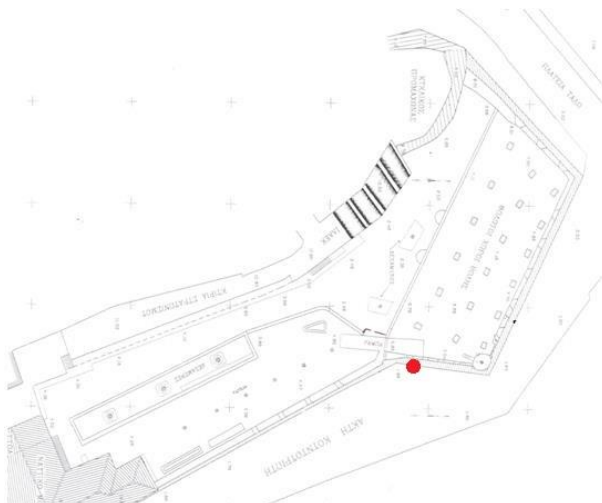
Τέλος, ξεκίνησε η καταγραφή και παρακολούθηση των δοκιμίων καθώς ζυγίζοντουσαν σε καθημερινή βάση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

### *6.1 Μακροσκοπικός Χαρακτηρισμός Δειγμάτων*

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά των δειγμάτων καθώς και τα σημεία δειγματοληψίας τους:

- I. Το **ΦΚ-1** συλλέχθηκε από το ΒΑ τμήμα του εξωτερικού Τείχους του φρουρίου Φιρκά, το οποίο είναι εκτεθειμένο σε θάλασσα και ανέμους, και πιο συγκεκριμένα από σημείο στο οποίο έχει αποκολληθεί λίθος (Εικόνα 20). Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται το αρχικό δείγμα που συλλέχτηκε καθώς και το τελικό δείγμα που χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις στο εργαστήριο.



Εικόνα 20: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-1

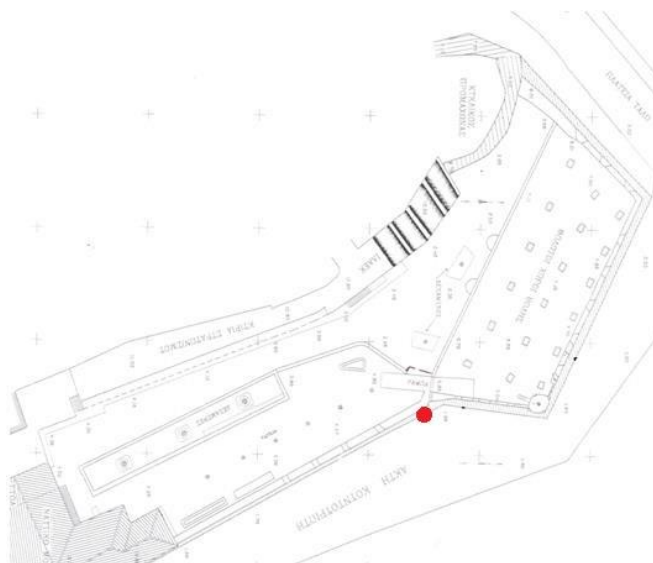


Εικόνα 21: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-1.

Για το δείγμα αυτό υπάρχει μεγάλη βεβαιότητα ότι αντιπροσωπεύει το αρχικό κονίαμα κατασκευής του Φρουρίου, δηλαδή ταυτίζεται με το αυθεντικό Βενετσιάνικο κονίαμα. Μακροσκοπικά είναι εμφανής η λευκή χροιά του δείγματος, η καλή επαφή του με αδρανή, καθώς και η ύπαρξη ασβέστη και σποραδικών λεπτόκοκκων κεραμικών προσμείξεων.



- II. Το **ΦΚ-2** προέρχεται και αυτό από το ΒΑ τμήμα του εξωτερικού μέρους του Τείχους. Η ακριβής θέση δειγματοληψίας του δείγματος φαίνεται στην κάτοψη του χώρου (Εικόνα 22-αριστερά). Η δειγματοληψία και αυτού του δείγματος πραγματοποιήθηκε επίσης από σημείο στο οποίο έχει αποκολληθεί λίθος (Εικόνα 22-δεξιά). Στην Εικόνα 23 από αριστερά προς τα δεξιά παρουσιάζεται το αρχικό δείγμα που συλλέχτηκε καθώς επίσης και το τελικό δείγμα που μελετήθηκε στο εργαστήριο.



Εικόνα 22: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-2

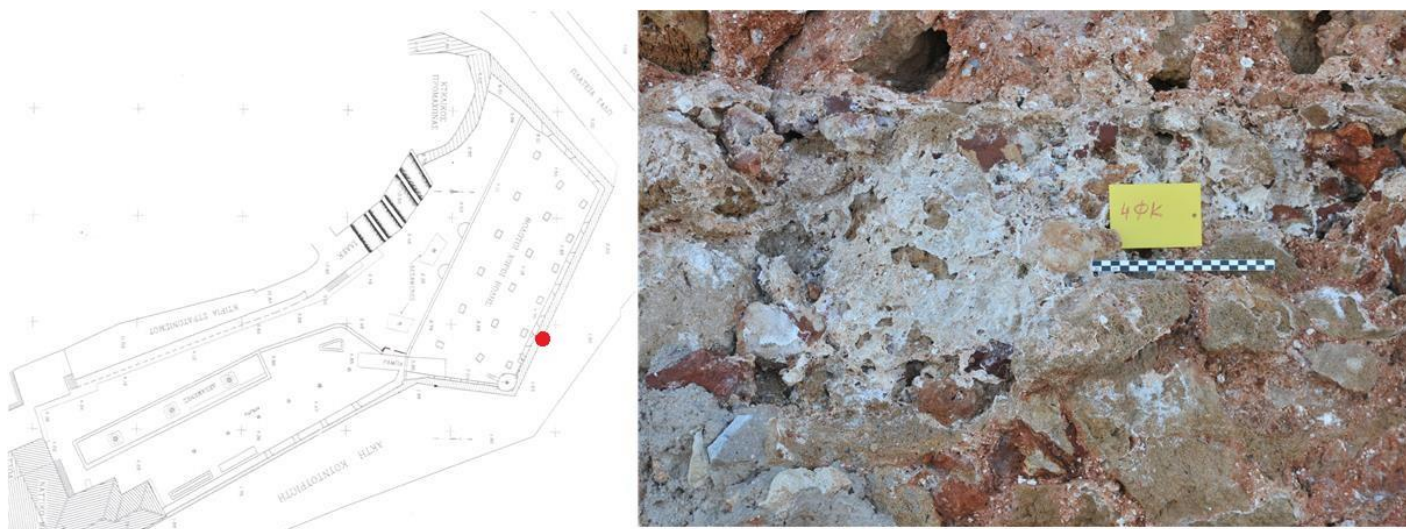


Εικόνα 23: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-2

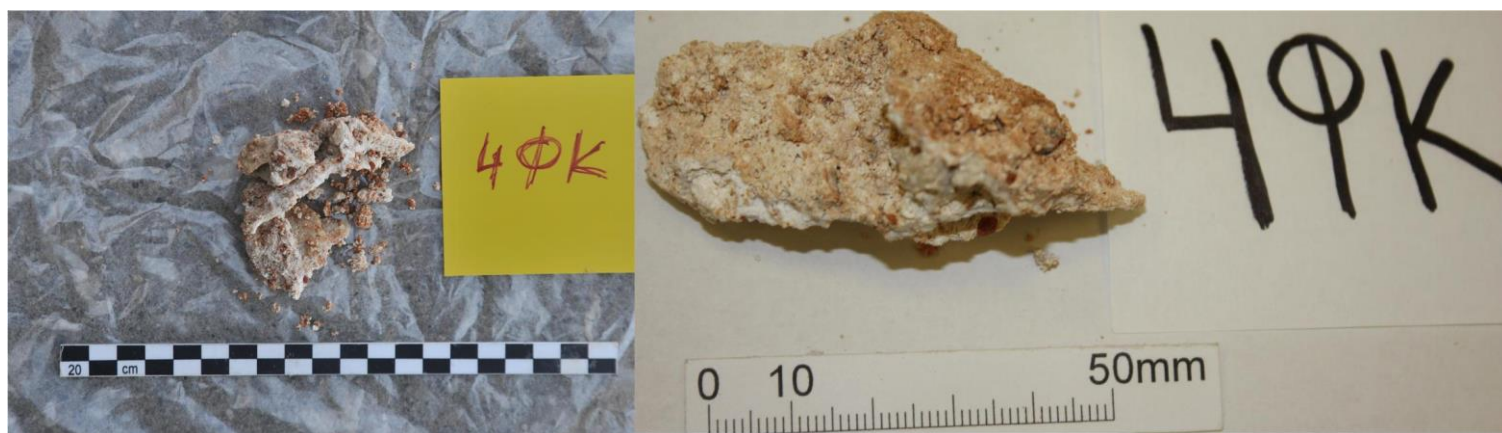
Το κονίαμα ΦΚ-2, καστανοκόκκινου χρώματος, προσομοιάζει τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά Τούρκικων κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα, είναι εμφανής η εκτεταμένη ύπαρξη κεραμικού υλικού με ενσωματωμένες λευκές προσμίξεις. Η δομή του κονιάματος είναι συμπαγής και οι διαφοροποιήσεις στη σκληρότητα των λευκών εγκλείστων πιθανότατα αποδίδεται σε σβώλους ασβεστίτη.



- III. Το **ΦΚ-4** συλλέχθηκε επίσης από το Βόρειο τμήμα του Τείχους όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 24 και οι φωτογραφικές του απεικονίσεις παρουσιάζονται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 24: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΚ-4



Εικόνα 25: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΚ-4

Το εν λόγω κονίαμα έχει έντονο άσπρο χρώμα και ενδεχομένως οφείλεται σε μεταγενέστερη επέμβαση-συντήρηση του Τείχους.

- IV. Το **ΦΓ-2Ε** είναι επίχρισμα το οποίο συλλέχθηκε από τον Γενοβέζικο Πύργο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-2Ε

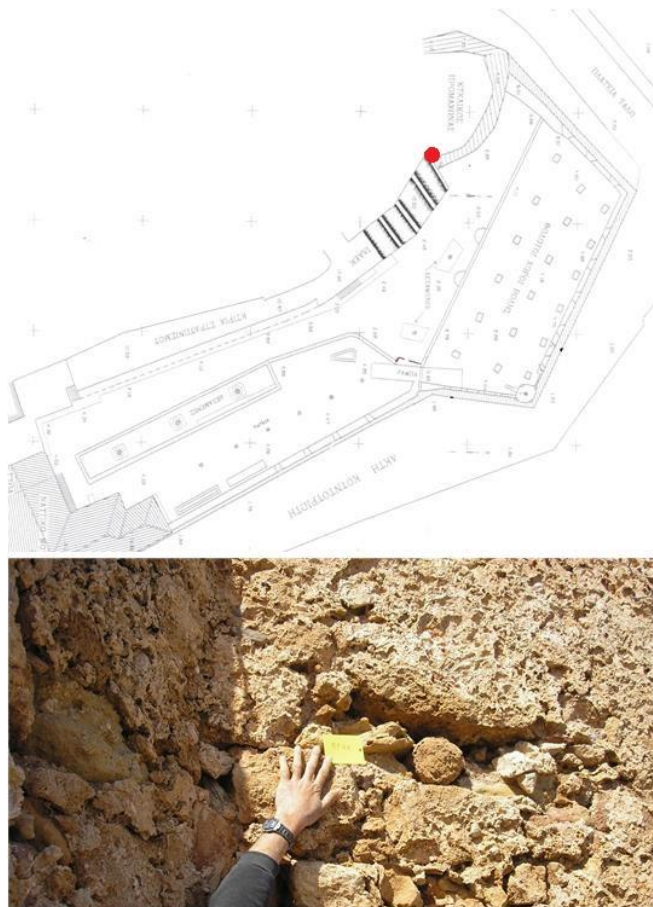


Εικόνα 27: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-2Ε

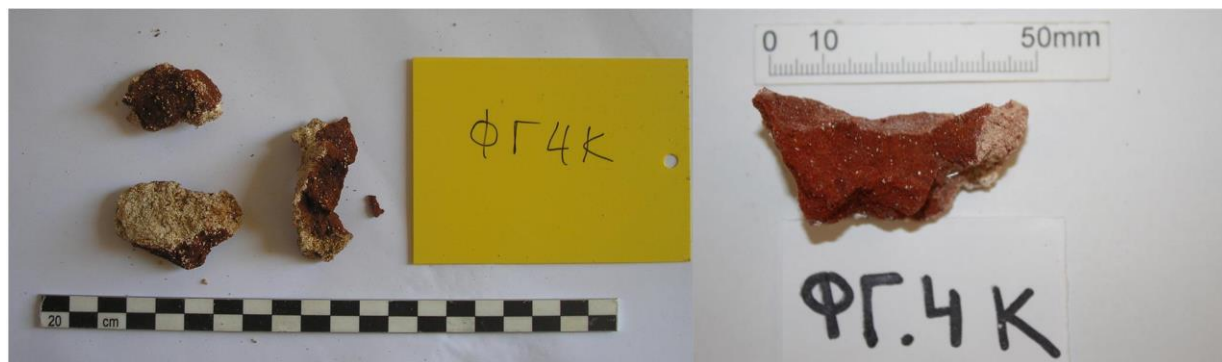
Το επίχρισμα, λευκόφαιου χρώματος, παρουσιάζει συμπαγή δομή, ενώ φαίνεται και μακροσκοπικά η ύπαρξη εγκλωβισμένων κελυφών θαλάσσιων οστράκων στο εσωτερικό του (Εικόνα 27). Η χρήση λεπτόκοκκης πυριτικής άμμου κυριαρχεί στο επίχρισμα ενώ φαίνονται επίσης και εγκλωβισμένοι σβώλοι ασβεστίτη.



- V. Το **ΦΓ-4K** συλλέχθηκε επίσης από τον Γενοβέζικο Πύργο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 28, αλλά από ψηλότερο σημείο σε σχέση με το επίχρισμα ΦΓ-2Ε.



Εικόνα 28: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-4K



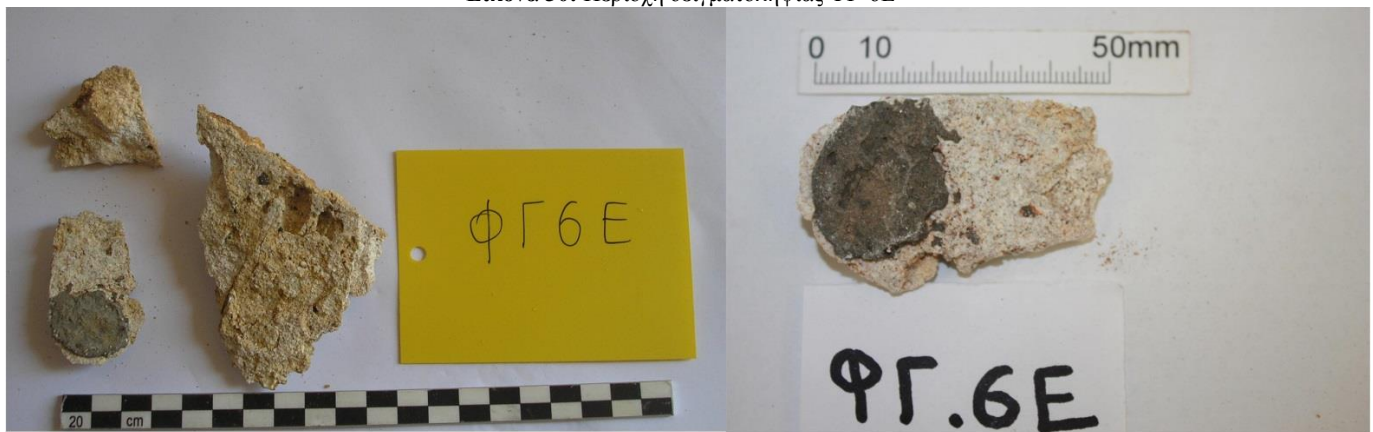
Εικόνα 29: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-4K

Το χρώμα του κονιάματος είναι έντονο ερυθρό λόγω της παρουσίας κεραμικού υλικού. Το κονίαμα ενώ χαρακτηρίζεται συμπαγές, σε λεπτομερέστερη παρατήρηση εξακριβώθηκε ότι παρουσιάζει διαστρωμάτωση η οποία καταλήγει σε επίχρισμα άσπρου χρώματος (Εικόνα 29). Στο ερυθρό στρώμα, όπου κυριαρχεί το κεραμικό υλικό, παρατηρήθηκαν άσπρα στίγματα, τα οποία μπορούν να αποδοθούν στην ύπαρξη ασβέστη.

VI. Το **ΦΓ-6Ε** συλλέχθηκε επίσης από τον Γενοβέζικο Πύργο, ενώ στην Εικόνα 30 διακρίνεται η ακριβής του θέση.



Εικόνα 30: Περιοχή δειγματοληψίας ΦΓ-6Ε



Εικόνα 31: Αρχικό και τελικό δείγμα προς ανάλυση ΦΓ-6Ε

Στο επίχρισμα αυτό παρατηρείται η παρουσία λεπτόκοκκης άμμου καθώς και η ύπαρξη ασβέστη (Εικόνα 31). Το δείγμα έρχεται σε επαφή με λίθο και μακροσκοπικά γίνεται αντιληπτή η καλή διαστρωμάτωση.

- VII. Τα **ΦΛ-1 και ΦΛ-2** είναι λίθοι οι οποίοι είχαν χρησιμοποιηθεί στην αρμολόγηση των κονιαμάτων ΦΚ1 και ΦΚ2 αντίστοιχα (Εικόνα 32). Το ερυθρό χρώμα που ξεχωρίζει προέρχεται από το κονίαμα επαφής. Παρατηρώντας τους λίθους μικροσκοπικά βρέθηκαν και σημεία στα οποία γίνεται φανερή η ύπαρξη ασβέστη και η χρήση λεπτόκοκκης άμμου. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξηγούν και το εξωτερικό χρώμα των λίθων που οφείλεται στο κονίαμα.



Εικόνα 32: Δείγματα λίθων ΦΛ-1 και ΦΛ-2

## 6.2 Μικροσκοπική ανάλυση δειγμάτων και κοκκομετρική διαβάθμιση κονιαμάτων/επιχρισμάτων

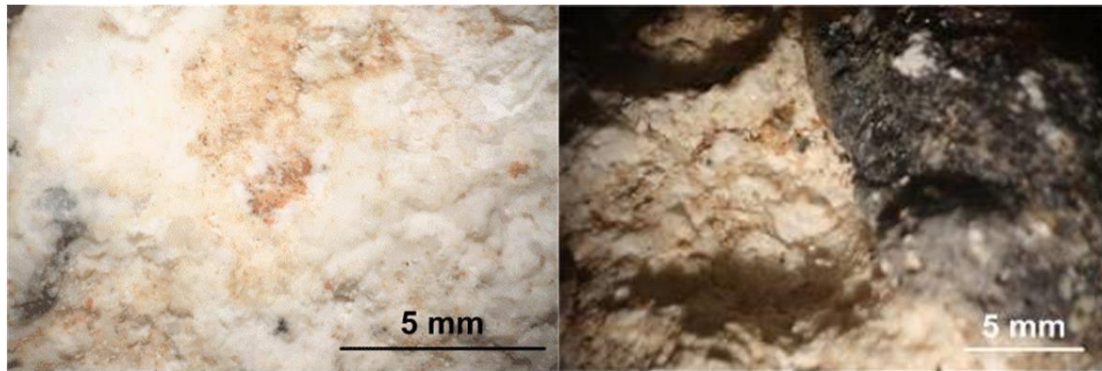
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μικροσκοπικής ανάλυσης των δειγμάτων που συλλέχθηκαν από το Φρούριο Φιρκά καθώς επίσης και η κοκκομετρική διαβάθμιση που έγινε στα δείγματα μέσω της οπτικής μικροσκοπίας και της κοκκομετρικής ανάλυσης.

### 6.2.1 Μικροσκοπική Ανάλυση Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων

Στο υποκεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι φωτογραφίες των δειγμάτων οι οποίες ελήφθησαν με οπτικό μικροσκόπιο καθώς και ο σχολιασμός τους.

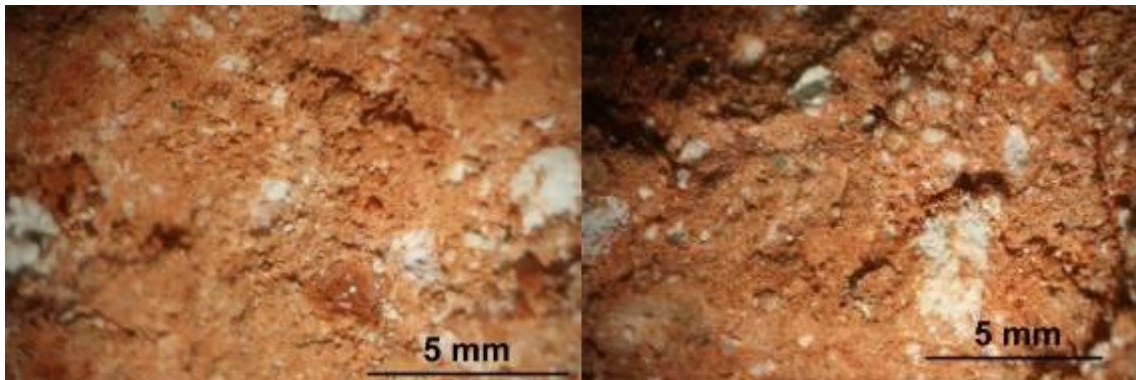
- I. Στην Εικόνα 33 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΚ-1, όπου γίνεται αντιληπτή η καλή επαφή μεταξύ κονίας και λίθου, όπως και η συμπαγής δομή της κονίας.





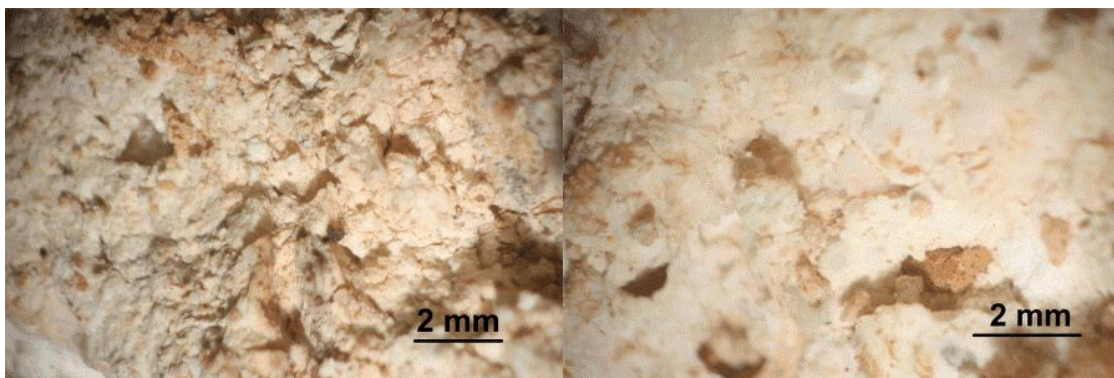
**Εικόνα 33:** Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-1 από οπτικό μικροσκόπιο.

- II. Στην Εικόνα 34 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΚ-2, όπου παρατηρήθηκε εκτεταμένη χρήση λεπτόκοκκου και αδρόκοκκου κεραμικού καθώς και συσσωματώματα ασβέστη τα οποία διαφοροποιούν το κονίαμα αυτό από το ΦΚ-1.



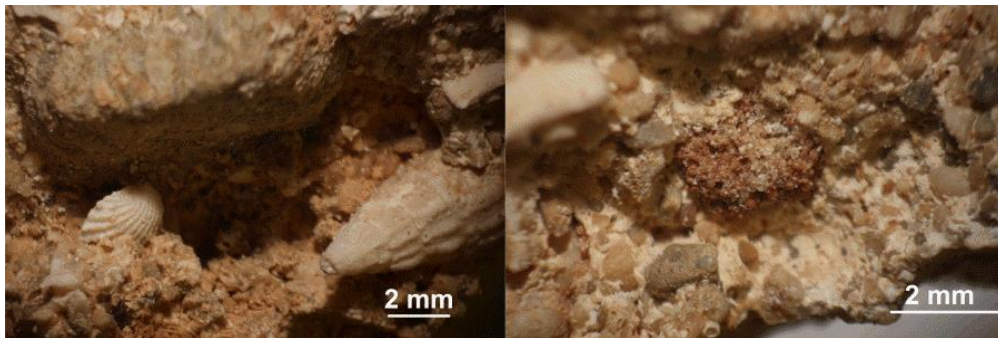
**Εικόνα 34:** Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-2 από οπτικό μικροσκόπιο.

- III. Στην Εικόνα 35 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΚ-4, όπου παρατηρήθηκε ότι το κονίαμα είναι συμπαγές και γίνεται αντιληπτή η καλή συγκόλληση και επαφή μεταξύ αδρανών και κονίας.



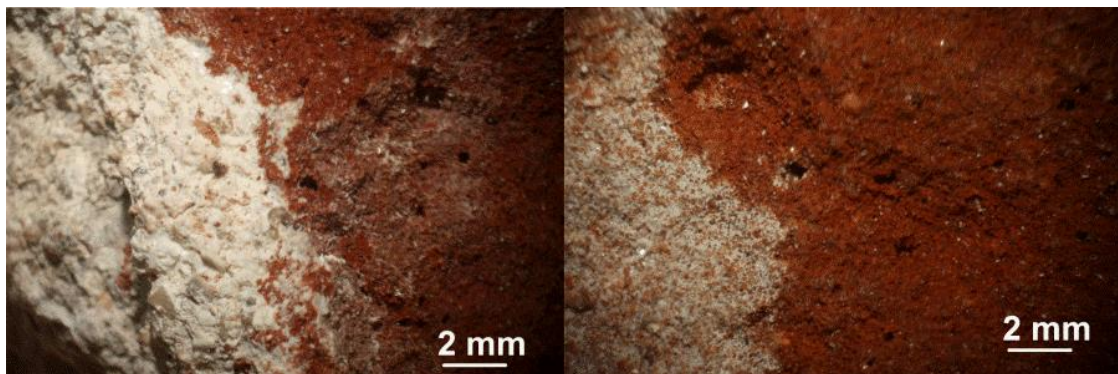
**Εικόνα 35:** Φωτογραφίες δείγματος ΦΚ-4 από οπτικό μικροσκόπιο.

- IV. Στην Εικόνα 36 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-2Ε, όπου στο συγκεκριμένο επίχρισμα γίνεται αντιληπτή η χρήση θαλάσσιας άμμου από τα κελύφη οστράκων που υπάρχουν στη μάζα του κονιάματος.



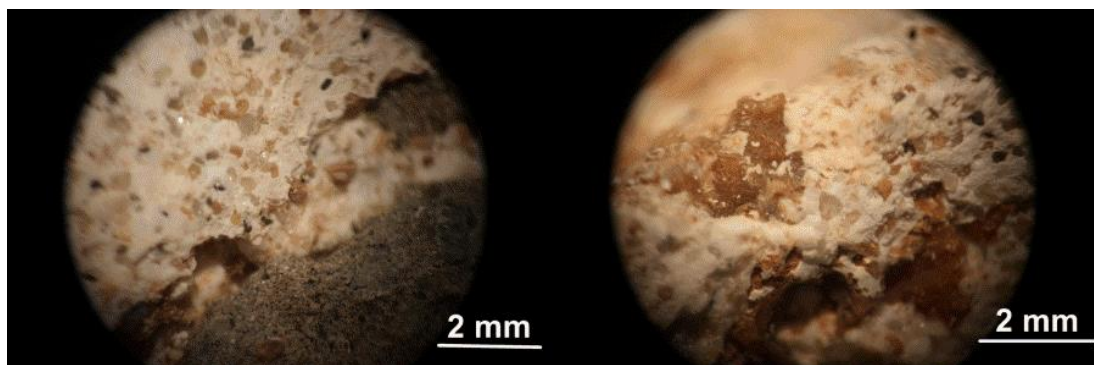
Εικόνα 36: Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-2Ε από οπτικό μικροσκόπιο.

- V. Στην Εικόνα 37 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-4Κ. Στο συγκεκριμένο δείγμα είναι εμφανής η καλή επαφή που υπάρχει μεταξύ της κονιάς και του κεραμικού, το οποίο έχει εμποτιστεί και αντιδράσει με τον ασβέστη.



Εικόνα 37: Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-4Κ από οπτικό μικροσκόπιο.

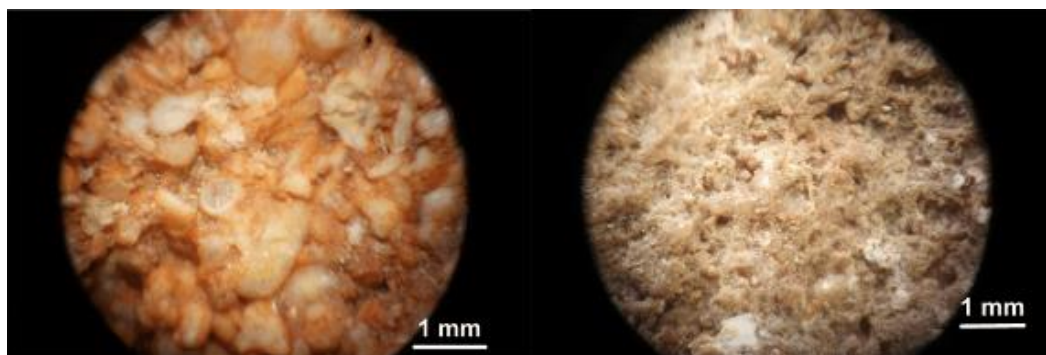
- VI. Στην Εικόνα 38 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-6Ε. Στο συγκεκριμένο δείγμα γίνεται αντιληπτή η καλή επαφή μεταξύ κονιάς και αδρανών, τόσο λεπτόκοκκων, όσο και με τμήματα κεραμικών και λίθου.



Εικόνα 38: Φωτογραφίες δείγματος ΦΓ-6Ε από οπτικό μικροσκόπιο.

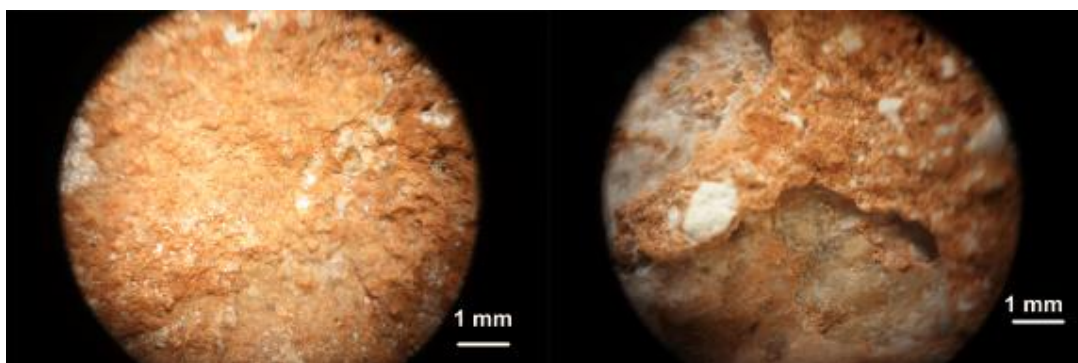


- VII. Στην Εικόνα 39 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες του δείγματος ΦΛ-1. Στην εικόνα στα αριστερά μπορούμε να δούμε τα υπολείμματα κονιάματος στον κοκκώδη ασβεστόλιθο.



Εικόνα 39: Φωτογραφίες δείγματος ΦΛ-1 από οπτικό μικροσκόπιο.

- VIII. Στην Εικόνα 40 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες του δείγματος ΦΛ-2, όπου και στις δυο εικόνες γίνονται αντιληπτά τα υπολείμματα κονιάματος. Συγκεκριμένα όμως, στην εικόνα που βρίσκεται στα δεξιά φαίνονται και τα τμήματα του ασβεστόλιθου.



Εικόνα 40: Φωτογραφίες δείγματος ΦΛ-2 από οπτικό μικροσκόπιο.

### 6.2.2 Κοκκομετρική Διαβάθμιση Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων

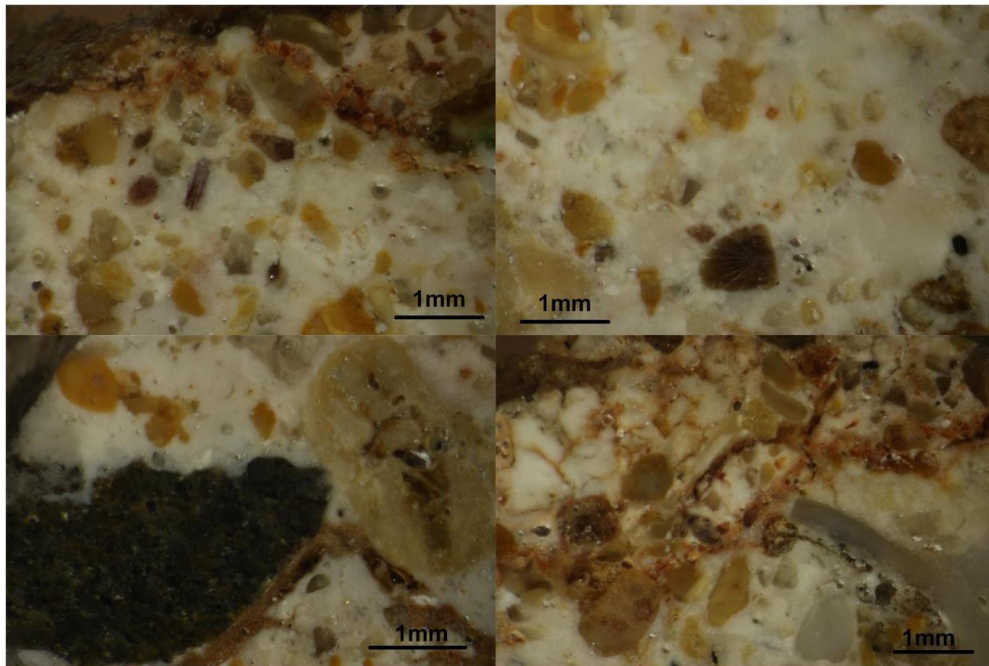
Η κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών των κονιαμάτων-επιχρισμάτων επιτεύχθηκε μέσω της μελέτης των στιλπνών τομών των δειγμάτων, ενώ για τα δείγματα ΦΚ-1 και ΦΚ-2 η ποσότητα που συλλέχθηκε ήταν επαρκής ώστε να πραγματοποιηθεί κοκκομετρική ανάλυση μέσω της διέλευσής τους από κόσκινα συγκεκριμένης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στο υποκεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται μικροσκοπικές φωτογραφίες των στιλπνών τομών των κονιαμάτων-επιχρισμάτων καθώς και ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα χαρακτηρισή τους.



Στην Εικόνα 41 παρουσιάζεται φωτογραφία της στιλπνής τομής του δείγματος ΦΚ-1 μέσω οπτικού μικροσκοπίου, ενώ στην Εικόνα 42 παρουσιάζονται οι φωτογραφίες που λάβαμε μέσω οπτικού μικροσκοπίου από τη στιλπνή τομή του δείγματος ΦΚ-1. Γίνεται αντιληπτό ότι η κονία αποτελείται από ασβεστίτη καθώς επίσης και ότι τα αδρανή στο συγκεκριμένο δείγμα ποικίλουν, από λεπτόκοκκο σποραδικό κεραμικό μέχρι άμμο και τμήματα λίθων.



**Εικόνα 41:** Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-1.



**Εικόνα 42:** Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-1 από οπτικό μικροσκόπιο

**Πίνακας 1:** Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-1.

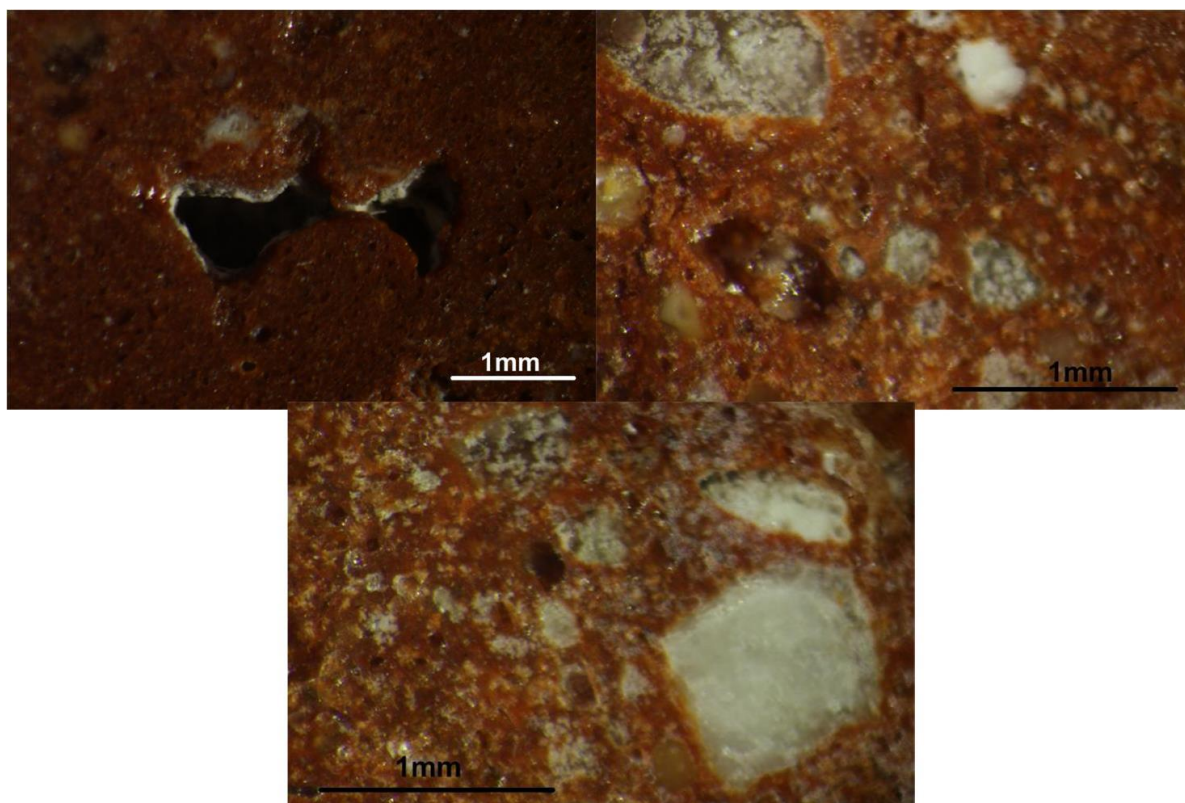
<b>Υλικό</b>	<i>Κονίαμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Λευκόφαιο</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Καλή επαφή με λίθο χρώματος σκούρο γκρί.</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Κόκκοι χαλαζία, κόκκοι ασβεστίτη. Περιέχονται σποραδικά θραύσματα κεραμικών.</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>0,2 έως 0,35 mm: Μαύρα τμήματα λίθων.</i>
	<i>0,1 έως 0,7 mm: Κίτρινα/Καφέ αδρανή από άμμο.</i>
	<i>0,2 έως 3,0 mm: Φαιόλευκα τμήματα από λίθο.</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Συσσωματώματα ασβεστίτη από 0,1 έως 1,5 mm και σποραδικές κεραμικές προσμίξεις.</i>

**Παρατηρήσεις:** Πιθανότατα το συγκεκριμένο δείγμα να αντιστοιχεί στο αυθεντικό Βενετσιάνικο κονίαμα.

Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται η φωτογραφία της στιλπνής τομής του δείγματος ΦΚ-2 ενώ στην Εικόνα 44 παρουσιάζονται φωτογραφίες των στιλπνών τομών του δείγματος ΦΚ-2 μέσω οπτικού μικροσκοπίου. Στο συγκεκριμένο δείγμα η κονία αποτελείται και πάλι από ασβεστίτη με τη διαφορά ότι έχει γίνει εκτενής χρήση κεραμάλευρου.



**Εικόνα 43:** Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-2



**Εικόνα 44:** Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-2 από οπτικό μικροσκόπιο

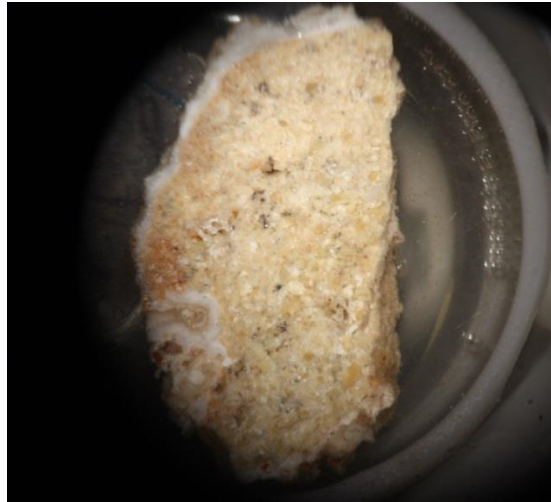
**Πίνακας 2:** Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-2.

<b>Υλικό</b>	<i>Κονίαμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Καστανοκόκκινη χροιά</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Καλή επαφή με όλα τα αδρανή και λίθο</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Κόκκοι χαλαζία, κόκκοι ασβεστίτη. Περιέχονται εκτεταμένα θραύσματα κεραμικών.</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>Πολλά κεραμικά θραύσματα. Μέγεθος αδρανών από 0,1 έως και 1,0 mm.</i>
	<i>0,3 έως 3,5 mm: Μαύρα αδρανή από λίθο.</i> <i>0,2 έως 0,7 mm: Κίτρινα/Καφέ αδρανή από άμμο και κεραμικό.</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Συσσωματώματα ασβεστίτη και σε μεγάλη έκταση κεραμικές προσμίξεις.</i>

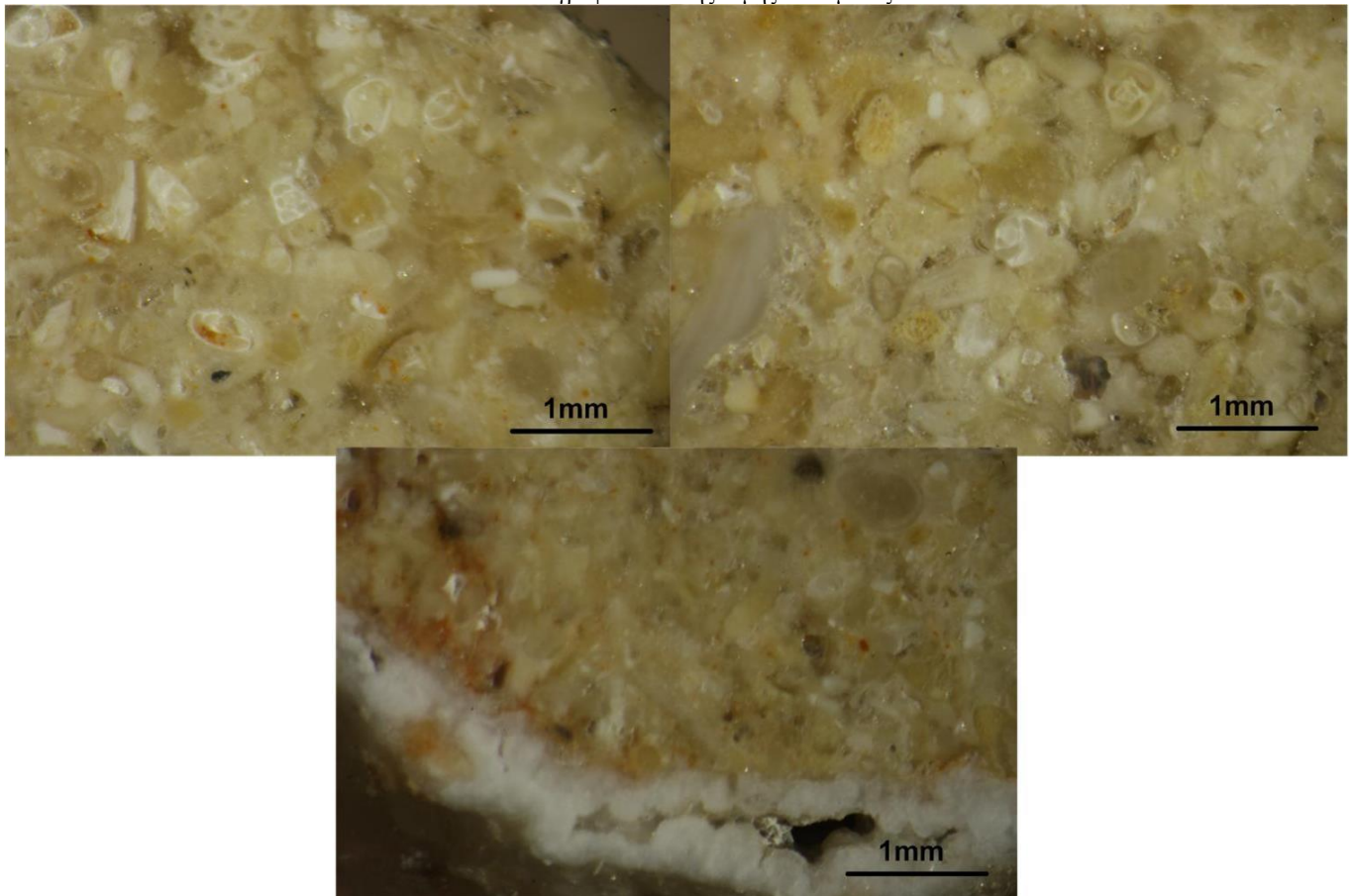
**Παρατηρήσεις:** Παρόμοια μικροσκοπικά χαρακτηριστικά με Τούρκικα κονιάματα.



Στην Εικόνα 45 φαίνεται η φωτογραφία της στιλπνής τομής του δείγματος ΦΚ-4 ενώ στην Εικόνα 46 παρουσιάζονται φωτογραφίες των στιλπνών τομών του δείγματος ΦΚ-4 μέσω οπτικού μικροσκοπίου. Στο συγκεκριμένο δείγμα η κονία είναι ασβεστίτης και τα αδρανή υλικά που περιλαμβάνονται είναι άμμος και τμήματα λίθων.



**Εικόνα 45:** Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΚ-4



**Εικόνα 46:** Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΚ-4 από οπτικό μικροσκόπιο

**Πίνακας 3:** Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΚ-4.

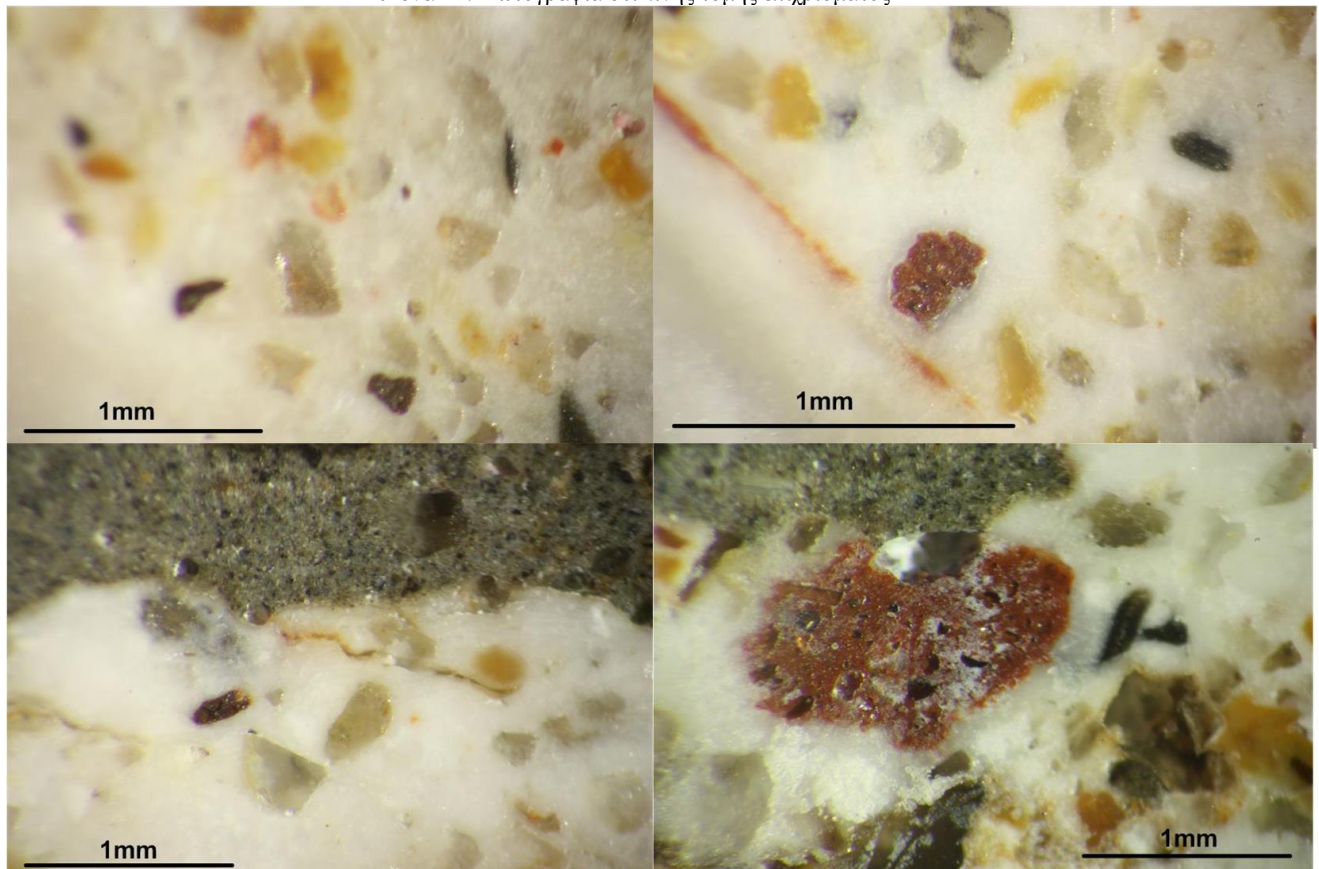
<b>Υλικό</b>	<i>Κονίαμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Λευκόφαιο</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Καλή επαφή του με λίθο χρώματος λευκόφαιου</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Άμμος και τμήματα λίθων</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>0,1 έως 0,9 mm: λευκά αδρανή από τμήματα λίθου</i>
	<i>0,1 έως 1,0 mm: γκρι αδρανή από τμήματα λίθου</i>
	<i>0,1 έως 0,4 mm: κίτρινα αδρανή από άμμο</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Συσσωματώματα ασβεστίτη</i>

**Παρατηρήσεις:** Πιθανότατα το κονίαμα να είναι μεταγενέστερης επέμβασης.

Στην Εικόνα 47 φαίνεται η στιλπνή τομή του δείγματος ΦΓ-2Ε ενώ στην Εικόνα 48 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-2Ε, όπου παρατηρήθηκε ότι στο συγκεκριμένο δείγμα η κονία αποτελείται από ασβεστίτη, καθώς επίσης τα αδρανή που περιέχονται είναι λεπτόκοκκη άμμος με σποραδικά τμήματα κεραμικών και λεπτόκοκκων λίθων.



**Εικόνα 47:** Φωτογραφία στιλπνής τομής επιχρίσματος ΦΓ-2Ε



**Εικόνα 48:** Φωτογραφίες τομών του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε από οπτικό μικροσκόπιο



**Πίνακας 4:** Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΓ-2Ε.

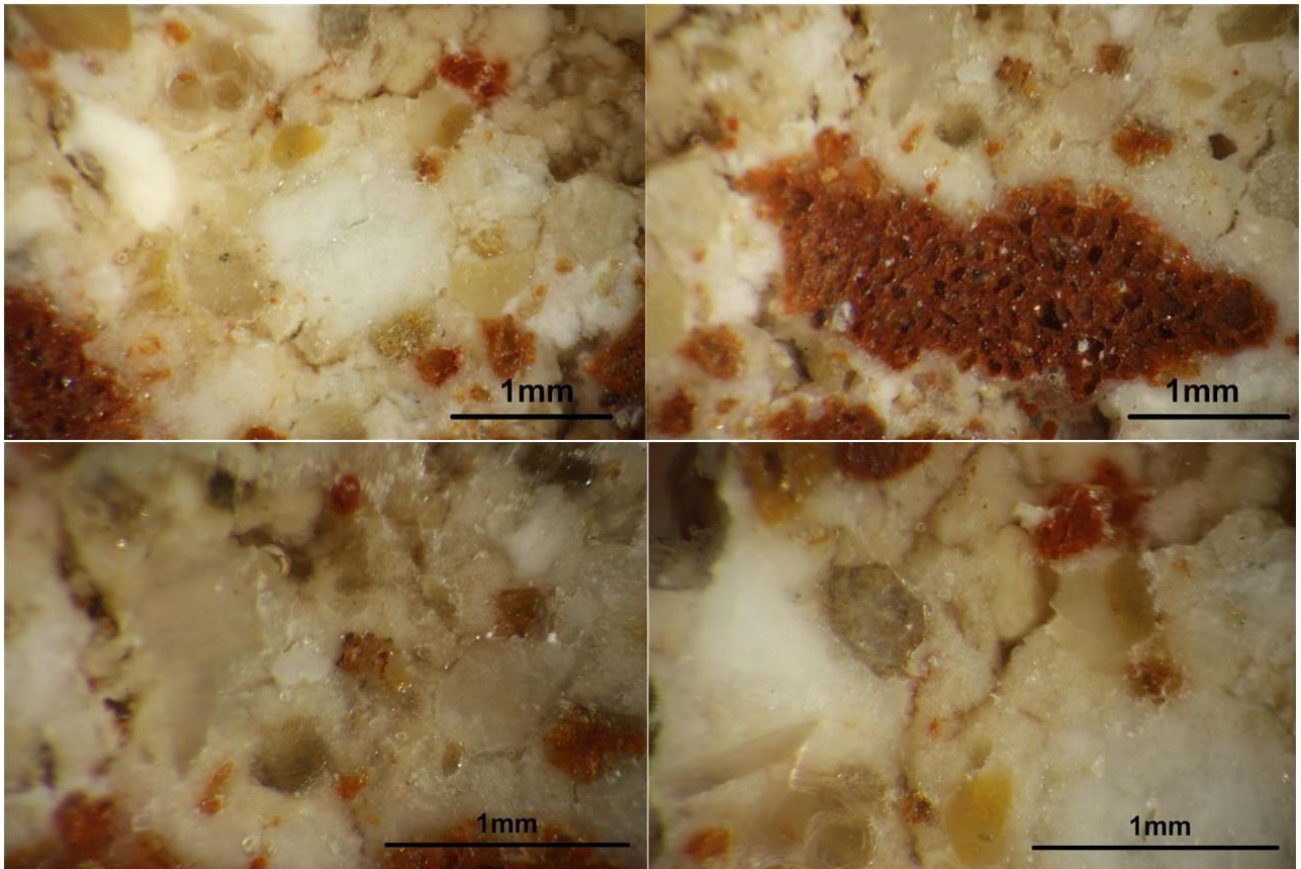
<b>Υλικό</b>	<i>Επίχρισμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Λευκόφαιο</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Καλή επαφή του με λίθο χρώματος λευκόφαιου</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Λεπτόκοκκη πυριτική άμμος, Μέγεθος αδρανών από 0,1 έως και 1,0 mm.</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>0,1 έως 0,4 mm: μαύρα αδρανή από τμήματα λίθου</i>
	<i>0,1 έως 1,4 mm: κεραμικό υλικό</i>
	<i>0,1 έως 0,5 mm: κίτρινα αδρανή από άμμο</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Συσσωματώματα ασβεστίτη και κελύφη θαλάσσιων οστράκων.</i>

**Παρατηρήσεις:** Πρόκειται μάλλον για αυθεντικό επίχρισμα.

Στην Εικόνα 49 φαίνεται η στιλπνή τομή του δείγματος ΦΓ-4Κ ενώ στην Εικόνα 50 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-4Κ από οπτικό μικροσκόπιο, όπου παρατηρήθηκε ότι στο συγκεκριμένο δείγμα η κονία αποτελείται από ασβεστίτη και παρουσιάζει πολύ καλή επαφή με τμήματα κεραμικών διαφορετικών διαστάσεων. Στα αδρανή του συγκεκριμένου δείγματος συγκαταλέγονται άμμος και τμήματα λίθων.



**Εικόνα 49:** Φωτογραφία στιλπνής τομής κονιάματος ΦΓ-4Κ



**Εικόνα 50:** Φωτογραφίες τομών του κονιάματος ΦΓ-4Κ από οπτικό μικροσκόπιο

**Πίνακας 5:** Χαρακτηρίστηκα δείγματος ΦΓ-4Κ.

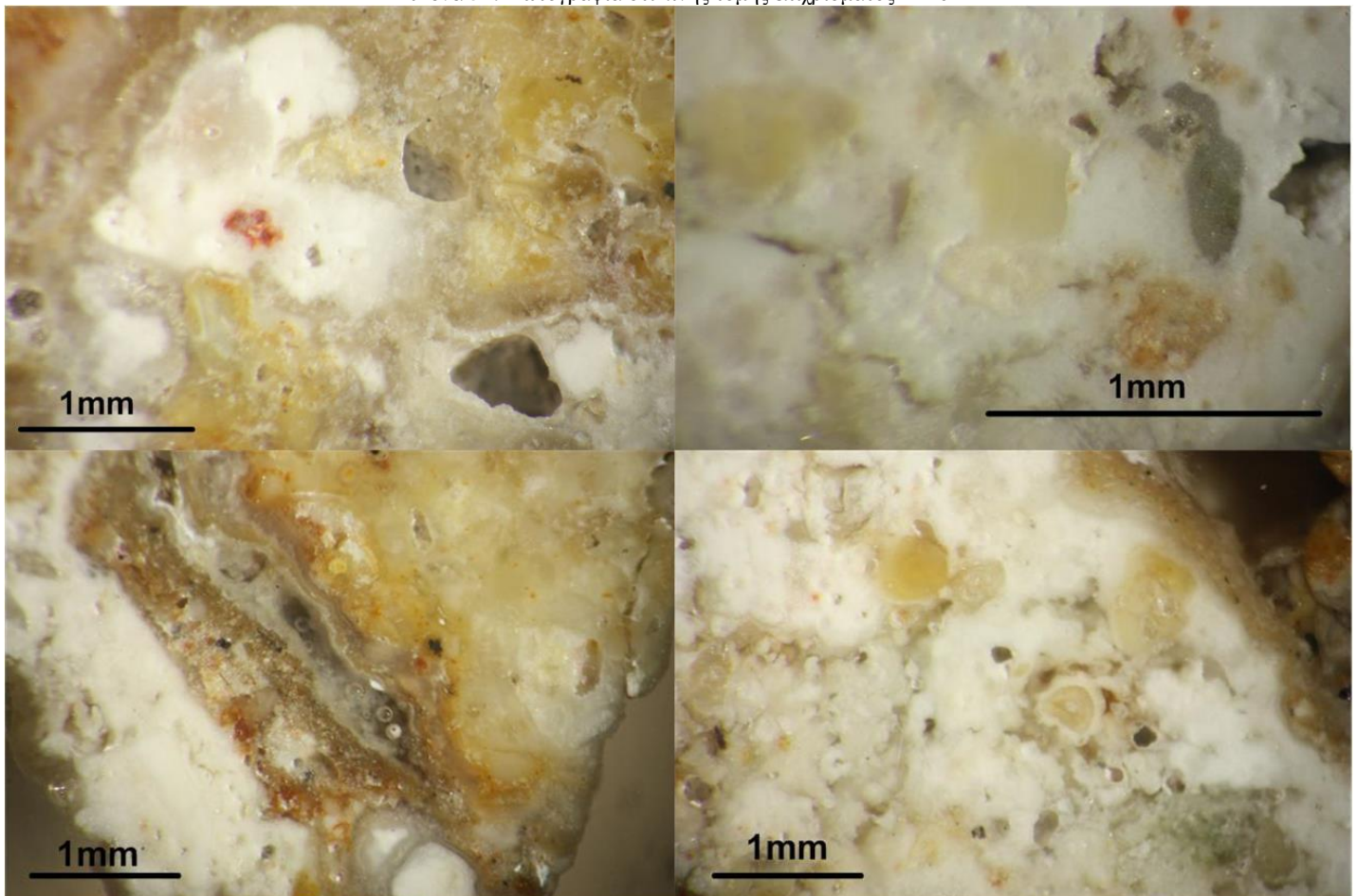
<b>Υλικό</b>	<i>Κονίαμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Καστανοκόκκινο και λευκό</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Διαστρωμάτωση κεραμικού και ασβεστιτικού υλικού</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Λεπτόκοκκη πυριτική άμμος, Μέγεθος αδρανών από 0,1 έως και 1,0 mm.</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>0,1 έως 0,6 mm: υπόλευκα αδρανή από άμμο 0,1 έως 0,4 mm: κίτρινα τμήματα λίθων 1 έως 1,4 mm: τμήματα από σβώλους ασβεστίτη</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Στο κεραμικό υλικό υπάρχουν συσσωματώματα ασβεστίτη με καλή πρόσφυση μεταξύ τους</i>

**Παρατηρήσεις:** Πρόκειται για αυθεντικό κονίαμα.

Στην Εικόνα 51 φαίνεται η στιλπνή τομή του δείγματος ΦΓ-6Ε, ενώ στην Εικόνα 52 παρουσιάζονται φωτογραφίες του δείγματος ΦΓ-6Ε από οπτικό μικροσκόπιο, όπου παρατηρήθηκε ότι στο συγκεκριμένο επίχρισμα η κονία είναι λεπτόκοκκος ασβεστίτης ενώ υπάρχουν και συσσωματώματα από ασβεστίτη. Σε αυτό το δείγμα τα αδρανή ποικίλουν από άμμο και τμήματα λίθων μέχρι κεραμικό υλικό.



Εικόνα 51: Φωτογραφία στιλπνής τομής επιχρίσματος ΦΓ-6Ε



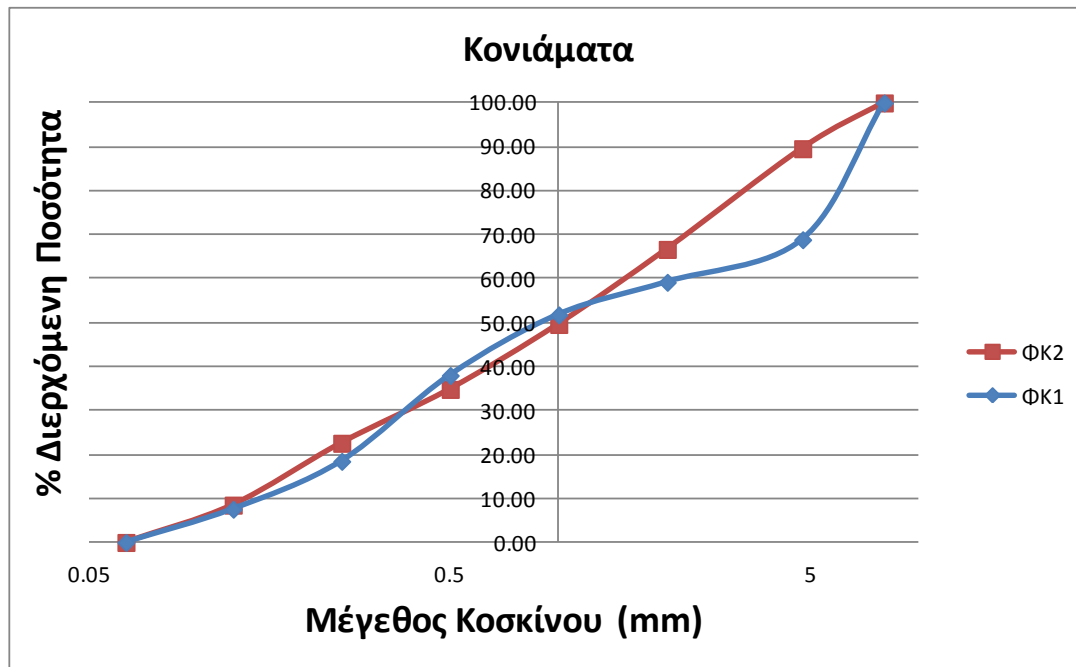
Εικόνα 52: Φωτογραφίες τομών του επιχρίσματος ΦΓ-6Ε από οπτικό μικροσκόπιο

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά δείγματος ΦΓ-6Ε.

<b>Υλικό</b>	<i>Επίχρισμα</i>
<b>Χρώμα</b>	<i>Λευκόφαιο</i>
<b>Στρωματογραφία</b>	<i>Καλή επαφή του με λίθο</i>
<b>Αδρανή</b>	<i>Κόκκοι χαλαζία, κόκκοι ασβεστίτη. Περιέχονται σποραδικά θραύσματα κεραμικών.</i>
<b>Κοκκομετρία αδρανών</b>	<i>0,1 έως 0,3 mm: μαύρα αδρανή από λίθο</i>
	<i>0,1 έως 0,4 mm: κεραμικό υλικό</i>
	<i>0,3 έως 1,8 mm: λευκά/γκρι αδρανή από άμμο</i>
<b>Κονία</b>	<i>Συμπαγής δομή</i>
<b>Εγκλωβισμένα υλικά</b>	<i>Συσσωματώματα ασβεστίτη και σποραδικές κεραμικές προσμίξεις</i>

**Παρατηρήσεις:** Πιθανότατα το συγκεκριμένο δείγμα να είναι αυθεντικό κονίαμα

Στο Σχήμα .8 παρουσιάζεται η κοκκομετρική διαβάθμιση των κονιαμάτων ΦΚ-1 και ΦΚ-2, που προέκυψε από την ανάλυση με την χρήση των κοσκίνων κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης.



Σχήμα 8: Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιαμάτων ΦΚ-1 και ΦΚ-2.

Παρατηρείται η ομοιότητα στην κοκκομετρική διαβάθμιση των εν λόγω κονιαμάτων. Η ύπαρξη αδρόκοκκων αδρανών δικαιολογείται από την χρήση των κονιαμάτων ως κονιάματα δόμησης και πλήρωσης του Τείχους.

### 6.3 Αποτελέσματα Χημικής και Ορυκτολογικής Ανάλυσης Κονιαμάτων/Επιχρισμάτων

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ποιοτικής και στοιχειακής ανάλυσης των δειγμάτων με FTIR και ED-XRF, καθώς και της ορυκτολογικής με XRD των κονιαμάτων-επιχρισμάτων. στα Σχήματα 9 έως και 20 παρουσιάζονται τα φάσματα FTIR και τα διαγράμματα XRD των κονιαμάτων-επιχρισμάτων.

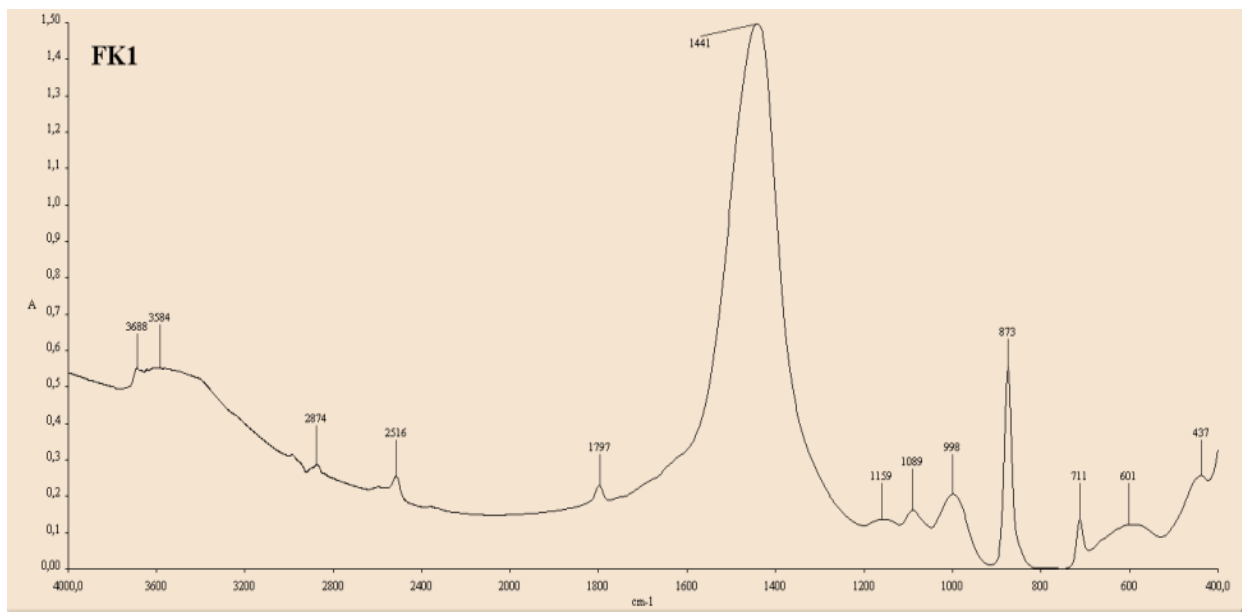
Όπως φαίνεται από τη μελέτη των φασμάτων FTIR, τα κονιάματα-επιχρίσματα είναι κυρίως ασβεστιτικής φύσεως, αλλά είναι έντονη και η παρουσία αργιλοπυριτικών συστατικών.

Ειδικότερα, οι κορυφές  $2514$ ,  $1798\text{ cm}^{-1}$ , οι φασματικές περιοχές  $1420$  έως  $1490\text{ cm}^{-1}$ , και  $874$  και  $712\text{ cm}^{-1}$  αφορούν ασβεστιτικής σύστασης δείγματα, ενώ οι κορυφές των πυριτικών φαίνονται στα  $1081$  και  $469\text{ cm}^{-1}$ .

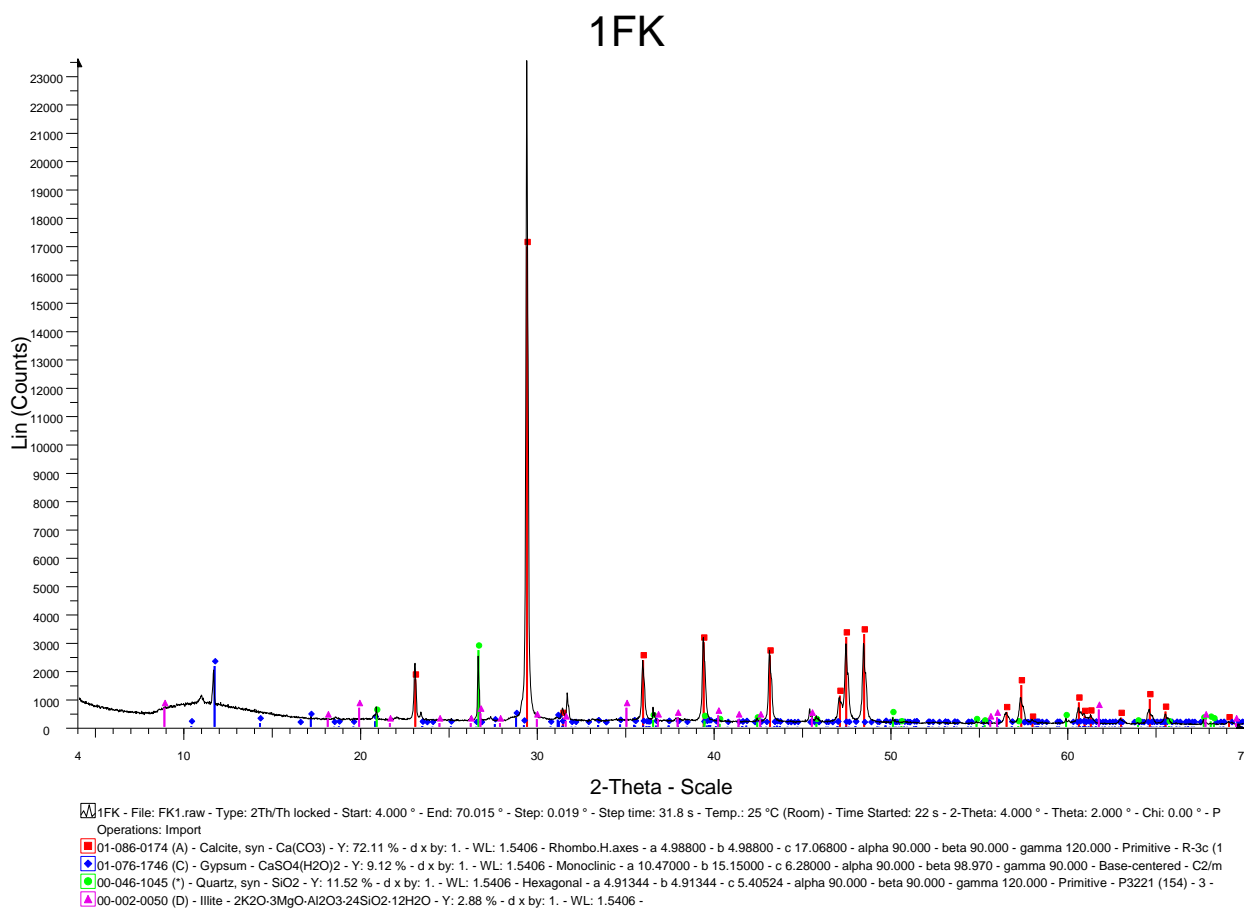
Στα κονιάματα ΦΚ1, ΦΚ2 και ΦΚ4 γίνεται αντιληπτή η παρουσία γύψου με τις χαρακτηριστικές κορυφές του στα:  $3584$ - $3482$ ,  $1620$ - $1626$ ,  $1159$ - $1153$  και  $673$ - $660\text{ cm}^{-1}$ .

Η ύπαρξη γύψου αποδίδεται σε δευτερογενείς αντιδράσεις σχηματισμού από την αλληλοεπίδραση των αλάτων από την θάλασσα και των δομικών υλικών. Αυτό συνδυάζεται και από το γεγονός ότι γύψος ταυτοποιήθηκε στα κονιάματα του εξωτερικού τείχους του Φρουρίου και όχι στα κονιάματα του Γενοβέζικου Πύργου που προστατεύονται καλύτερα από την θαλάσσια επίδραση.

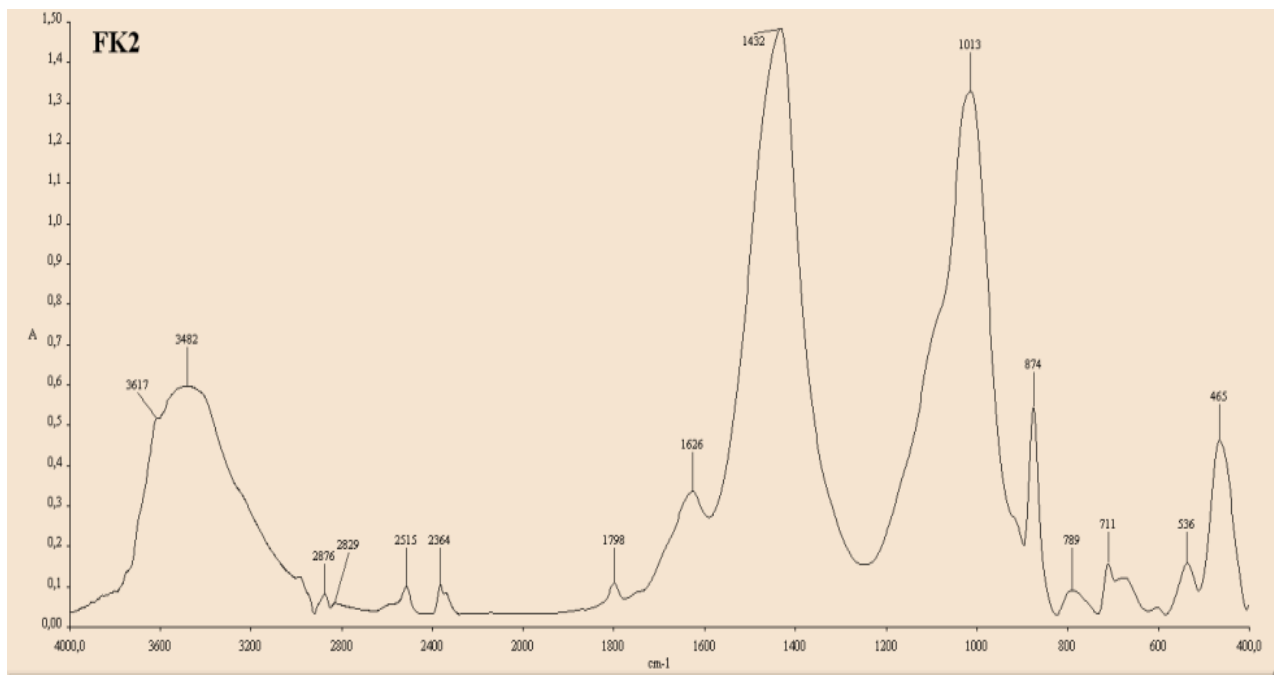




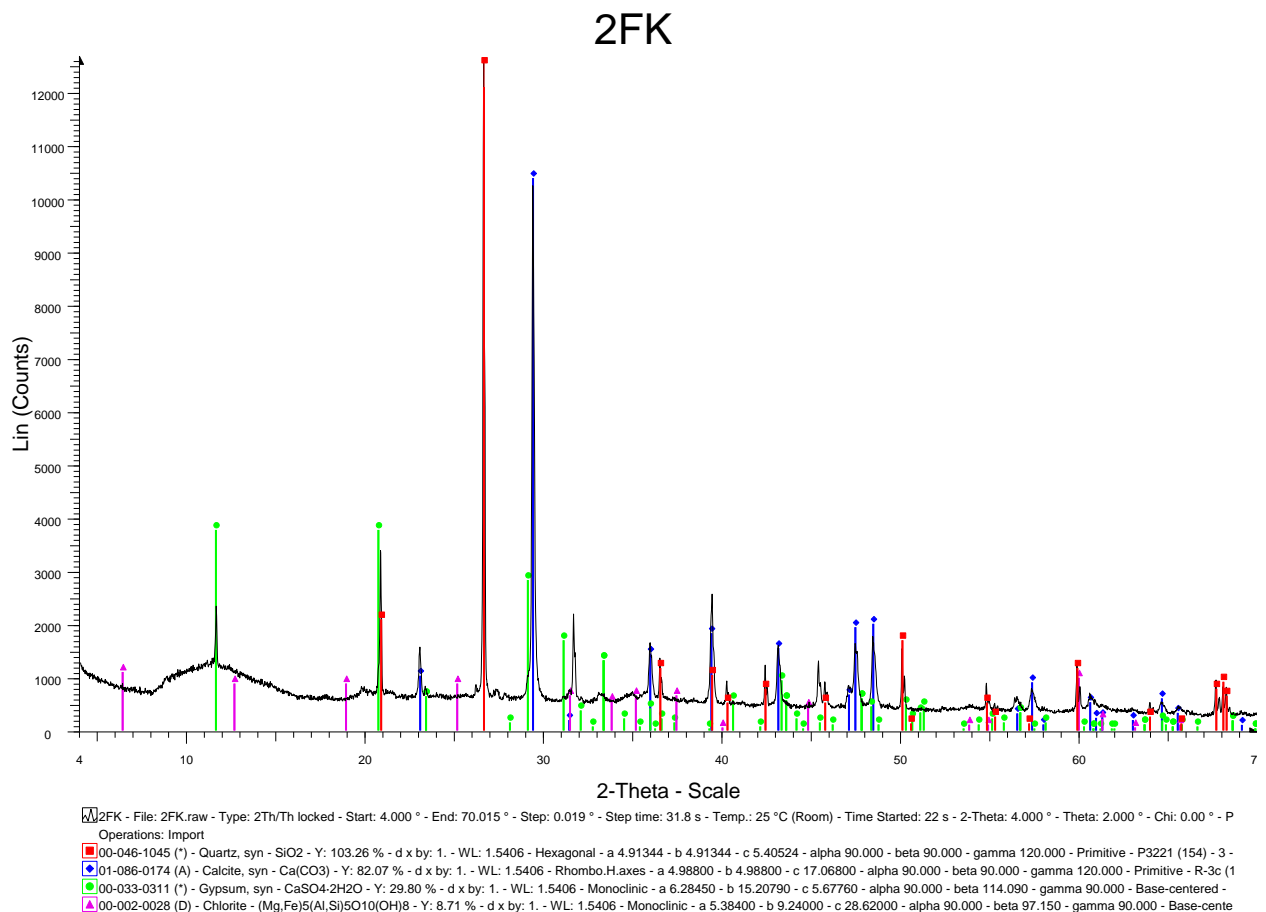
Σχήμα 9: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΚ-1.



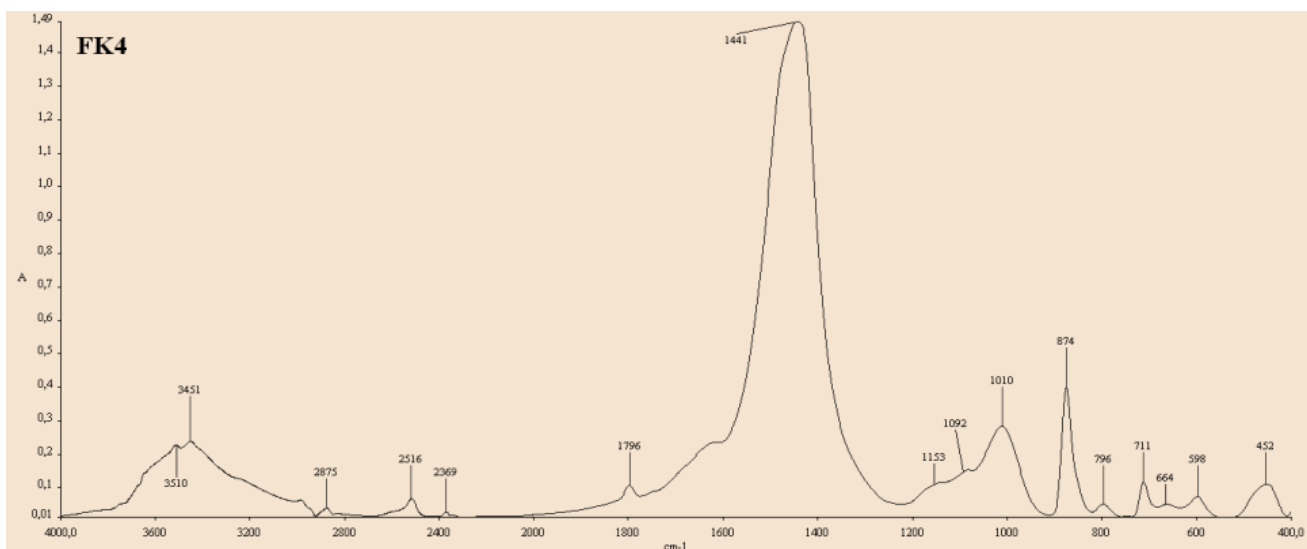
Σχήμα 10: Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-1 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.



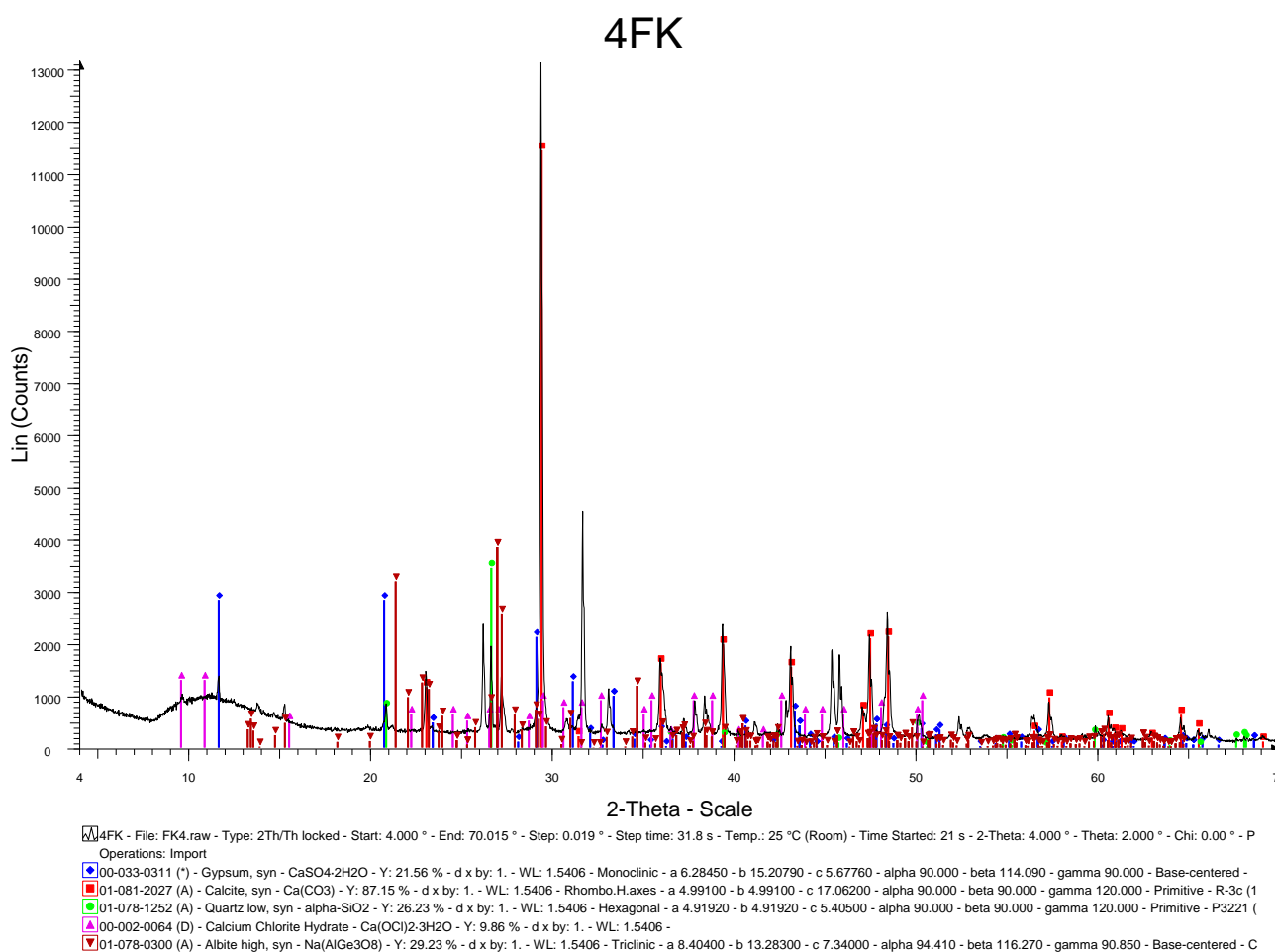
Σχήμα 11: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΚ-2.



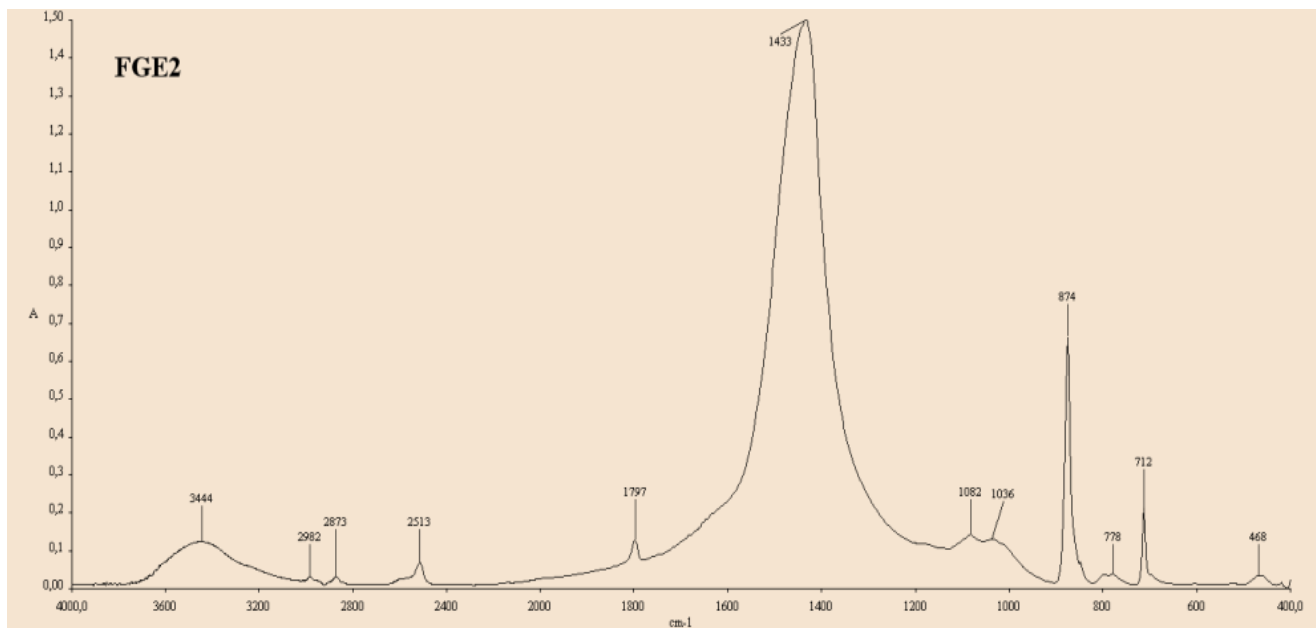
Σχήμα 12: Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-2 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.



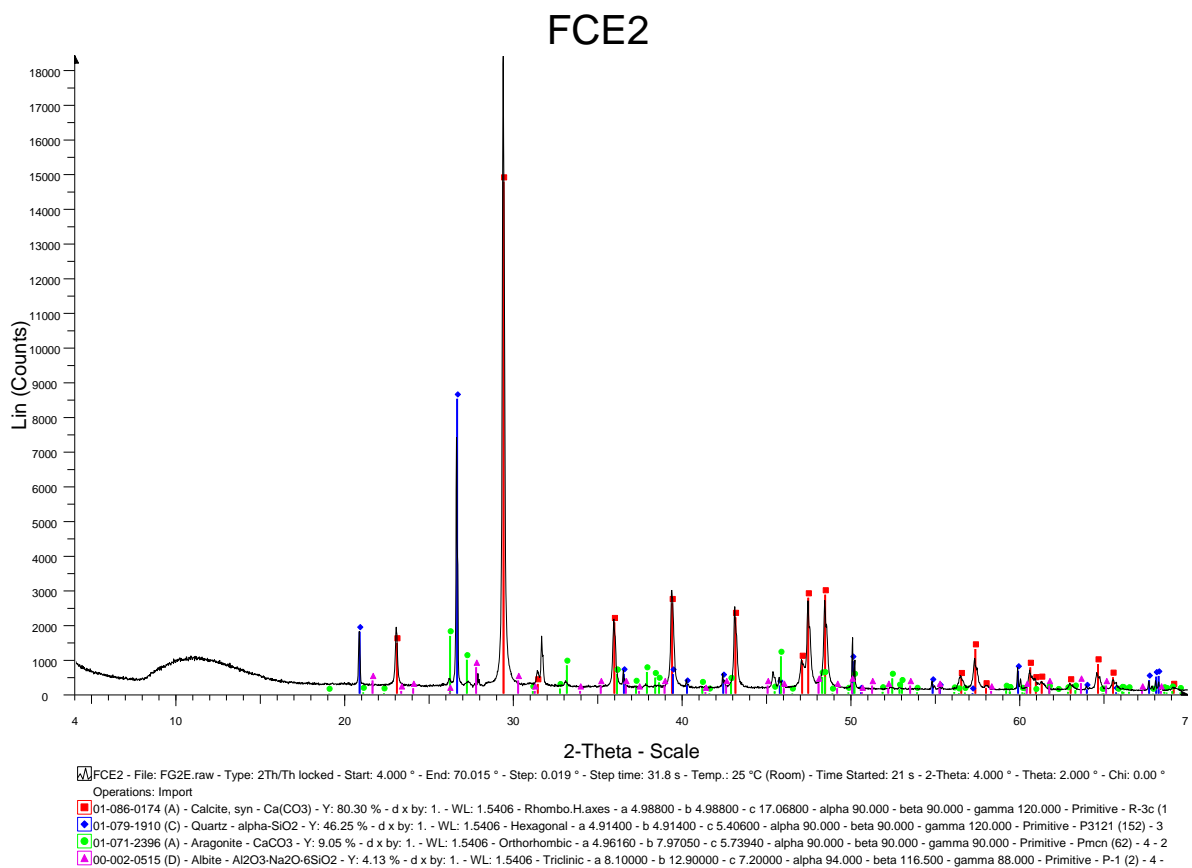
Σχήμα 13: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) κονιάματος ΦΚ-4.



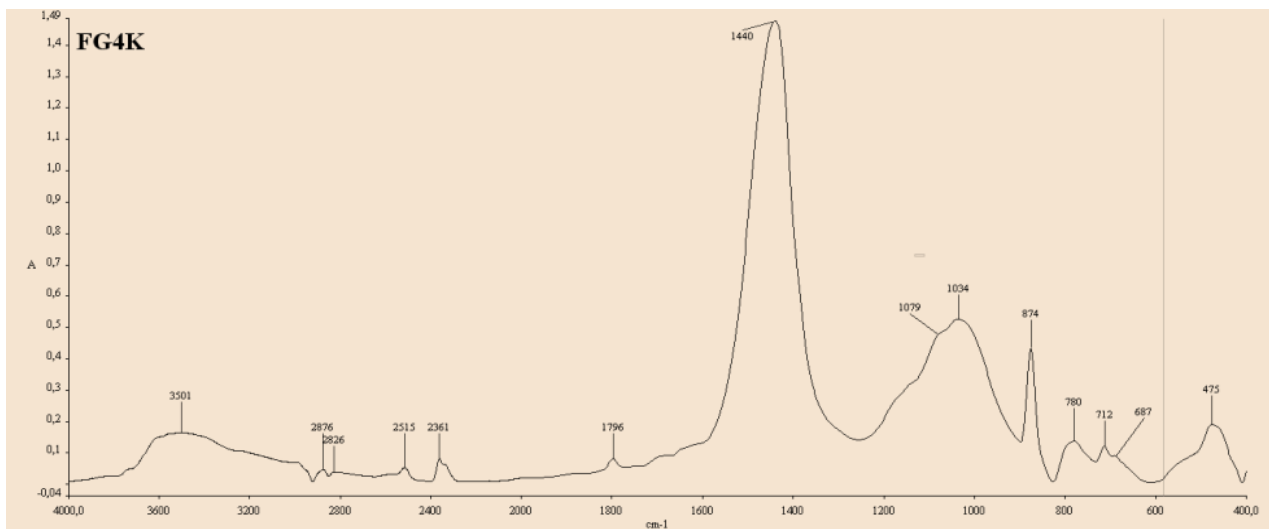
Σχήμα 14: Ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-4 με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.



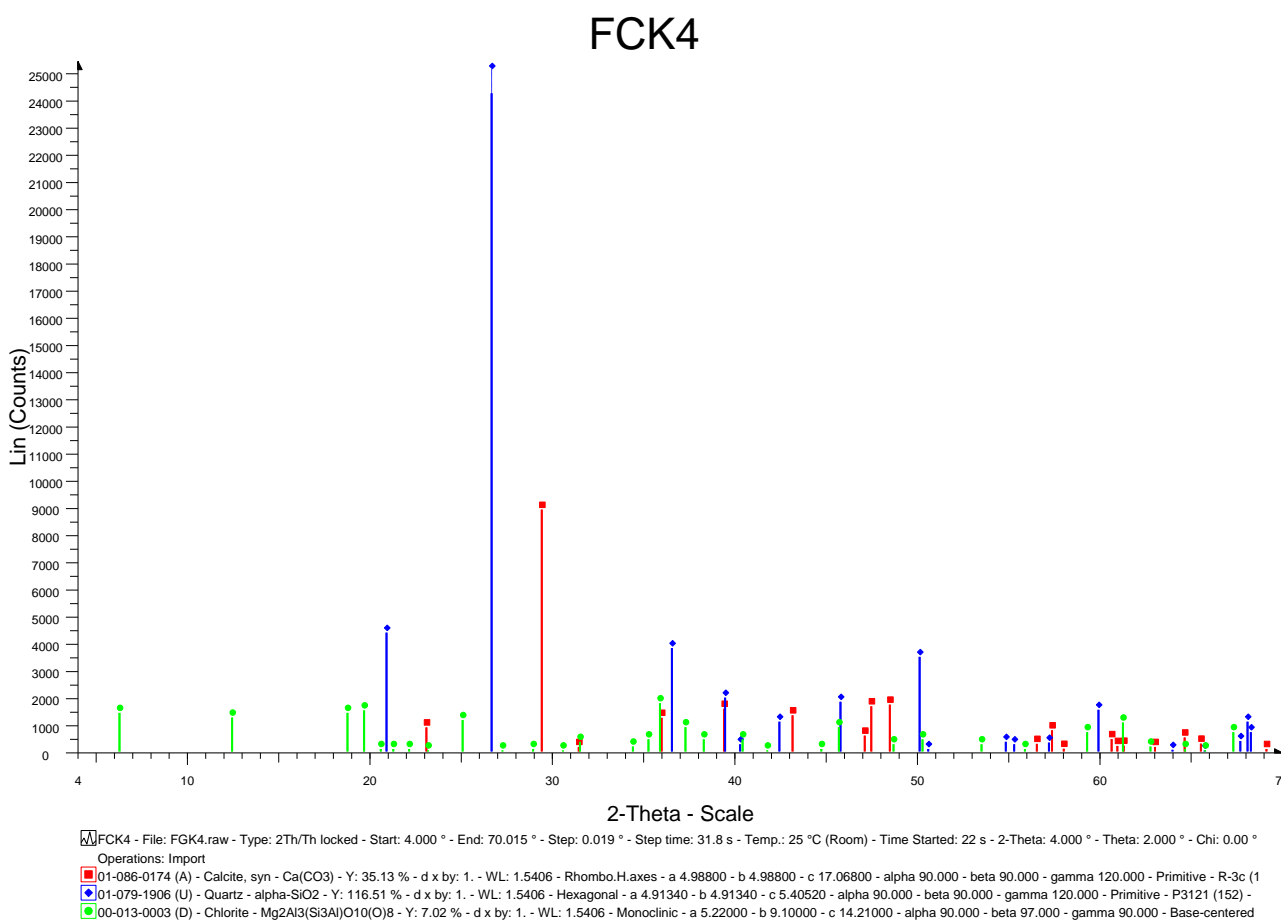
Σχήμα 15: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε.



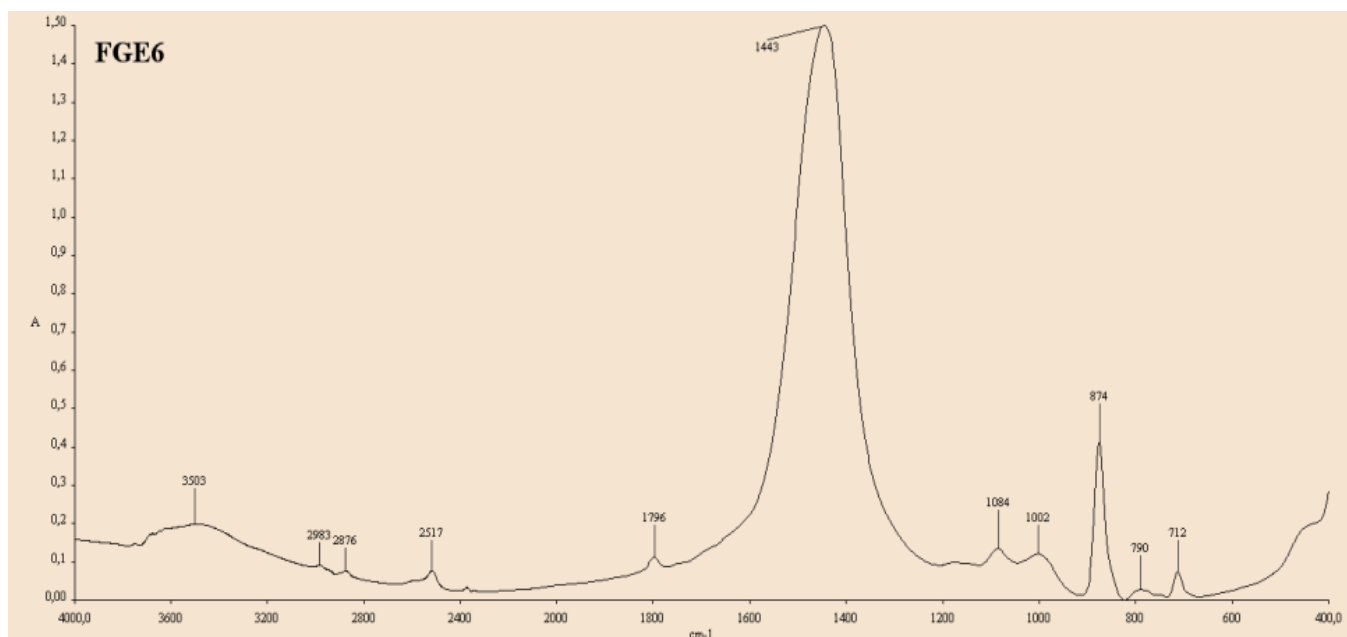
Σχήμα 16: Ανάλυση του επιχρίσματος ΦΓ-2Ε με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.



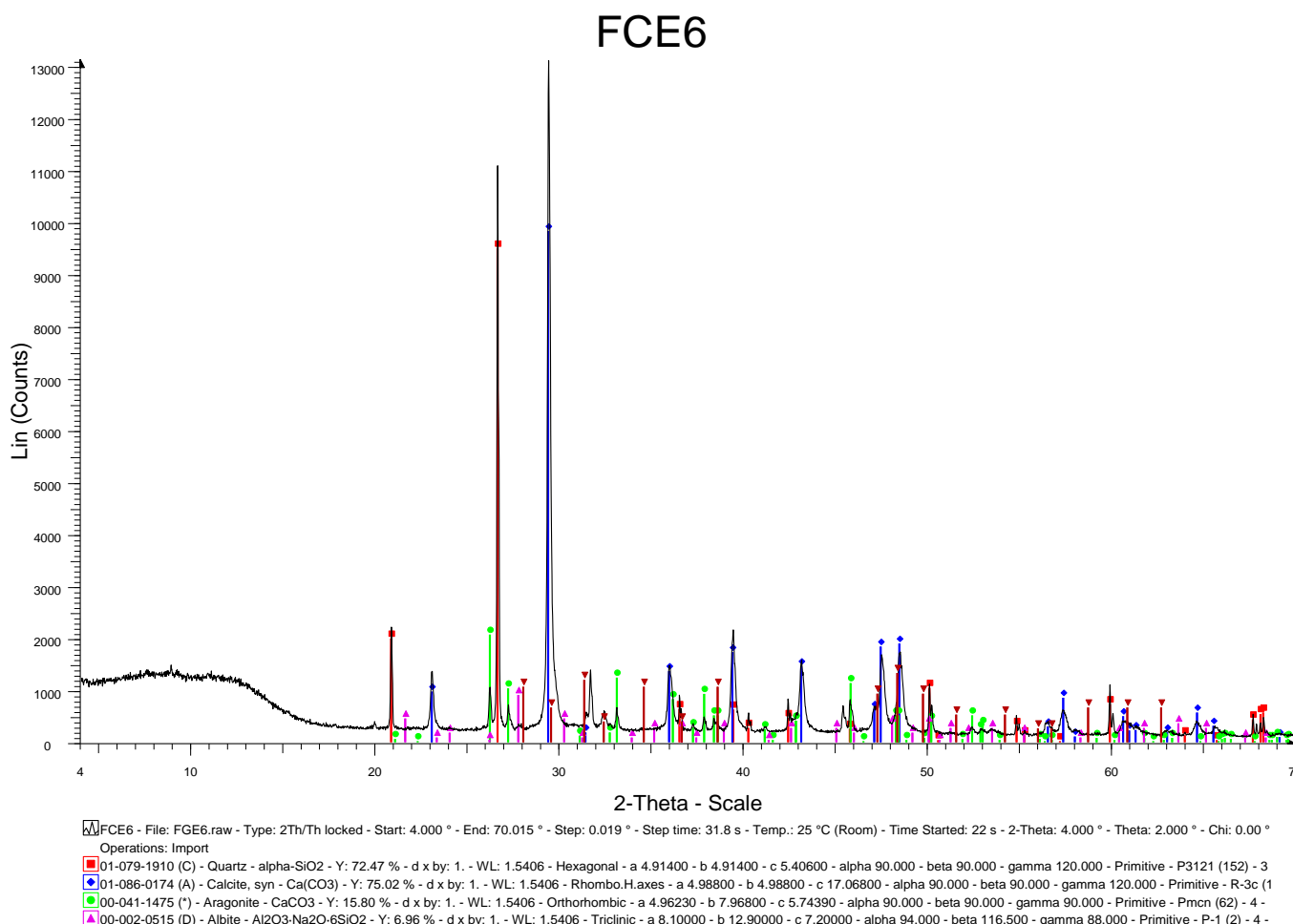
Σχήμα 17: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΓ-4Κ.



Σχήμα 18: Ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-4Κ με περιθλασιμετρία ακτίνων X.



Σχήμα 19: Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του κονιάματος ΦΓ-6Ε.



Σχήμα 20: Ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-6Ε με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.

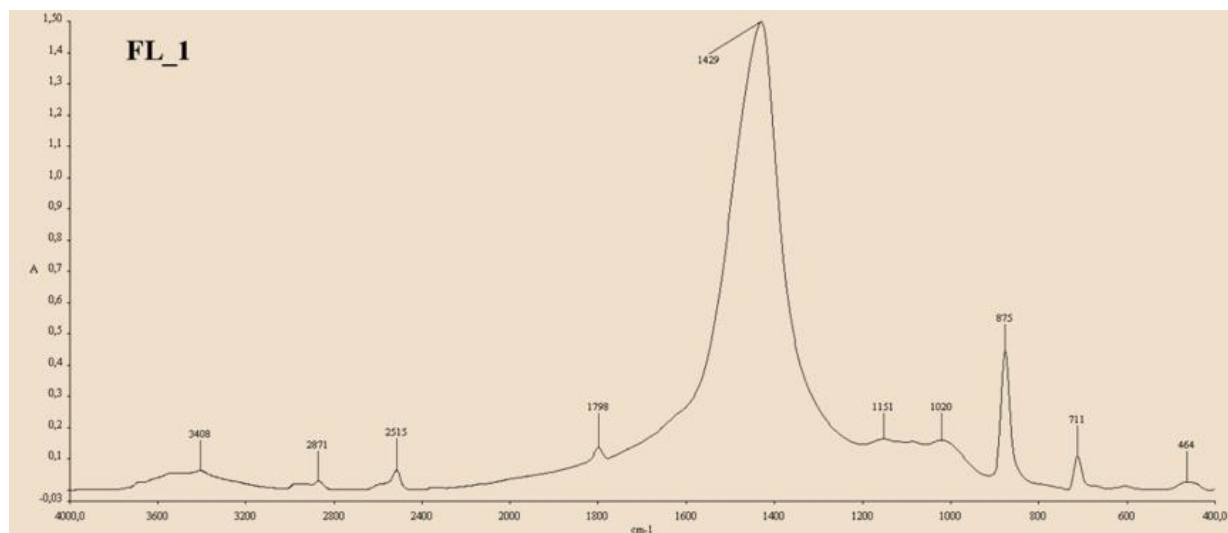


Η ορυκτολογική ανάλυση των κονιαμάτων η οποία προέκυψε από συνδυασμό μελέτης των υπέρυθρων φασμάτων (FT-IR) και από τις αναλύσεις μέσω της περιθλασιμετρίας ακτίνων - Χ (XRD) παρουσιάζεται στον Πίνακα 7.

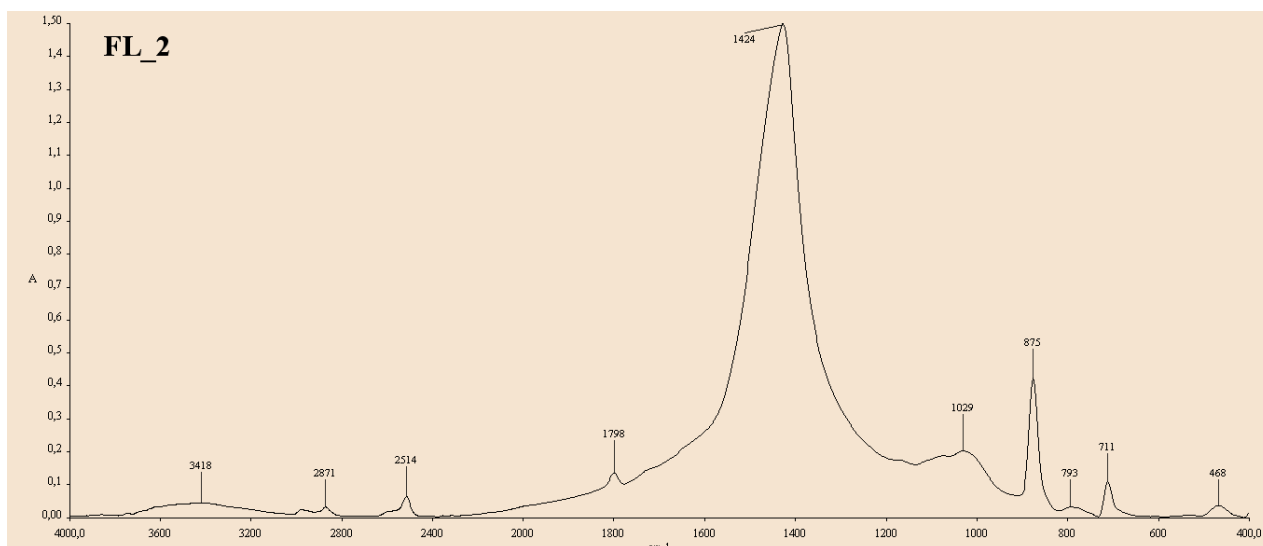
**Πίνακας 7:** Ορυκτολογική σύσταση κονιαμάτων – επιχρισμάτων.

Κονίαμα/Επίχρισμα	Ορυκτολογική σύσταση
<b>ΦΚ1</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψο, Ιλλίτης
<b>ΦΚ2</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψος, Χλωρίτης
<b>ΦΚ4</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψος, Αλβίτης, Χλωρίτης
<b>ΦΓ2Ε</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Αραγωνίτης, Αλβίτης
<b>ΦΓ4Κ</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Χλωρίτης
<b>ΦΓ6Ε</b>	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Αραγωνίτης, Αλβίτης

Στα Σχήματα 21 και 22 παρουσιάζονται τα Φάσματα Υπέρυθρης Φασματοσκοπίας των δύο λίθων.



**Σχήμα 21:** Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FT-IR) του λίθου ΦΛ-1.



**Σχήμα 22:** Υπέρυθρη φασματοσκοπική ανάλυση (FTIR) του λίθου ΦΛ2.

Οι λίθοι αποτελούνται βασικά από ασβεστίτη, σε μικρότερο δε ποσοστό από χαλαζία και αργιλοπυριτικά συστατικά.

Στον Πίνακα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκατοστιαίας στοιχειακής χημικής ανάλυσης των κονιαμάτων-επιχρισμάτων και των λίθων και στον Πίνακα 9 το % αδιάλυτο υπόλειμμα σε HCl 0.1N.

**Πίνακας 8:** Εκατοστιαία στοιχειακή σύσταση κονιαμάτων-επιχρισμάτων και λίθων.

Κονίαμα/Επίχρισμα Λίθος	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl
ΦΚ1	41,27	2,25	4,36	0,29	0,01	0,52	3,13
ΦΚ2	16,42	8,76	3,61	4,73	0,17	0,91	2,55
ΦΚ4	28,60	3,65	5,55	0,91	0,02	0,61	5,69
ΦΓΕ2	43,33	4,91	5,42	0,44	0,02	0,73	2,69
ΦΓΚ4	28,60	11,85	3,70	0,50	0,19	1,08	3,44
ΦΓΕ6	32,71	4,19	3,78	0,56	0,02	0,60	2,02
ΦΛ1	48,69	1,09	3,29	0,56	0,00	0,60	0,25
ΦΛ2	49,29	4,65	5,34	0,81	0,02	0,77	0,17

**Πίνακας 9:** Αδιάλυτο υπόλειμμα κονιαμάτων-επιχρισμάτων και λίθων.

<b>Κονίαμα/Επίχρισμα/Λίθος</b>	<b>% Αδιάλυτο υπόλειμμα σε HCl 0.1N</b>
ΦΚ1	22,64
ΦΚ2	67,05
ΦΚ4	42,61
ΦΓΕ2	19,19
ΦΓΚ4	44,22
ΦΓΕ6	38,95
ΦΛ1	12,20
ΦΛ2	11,02

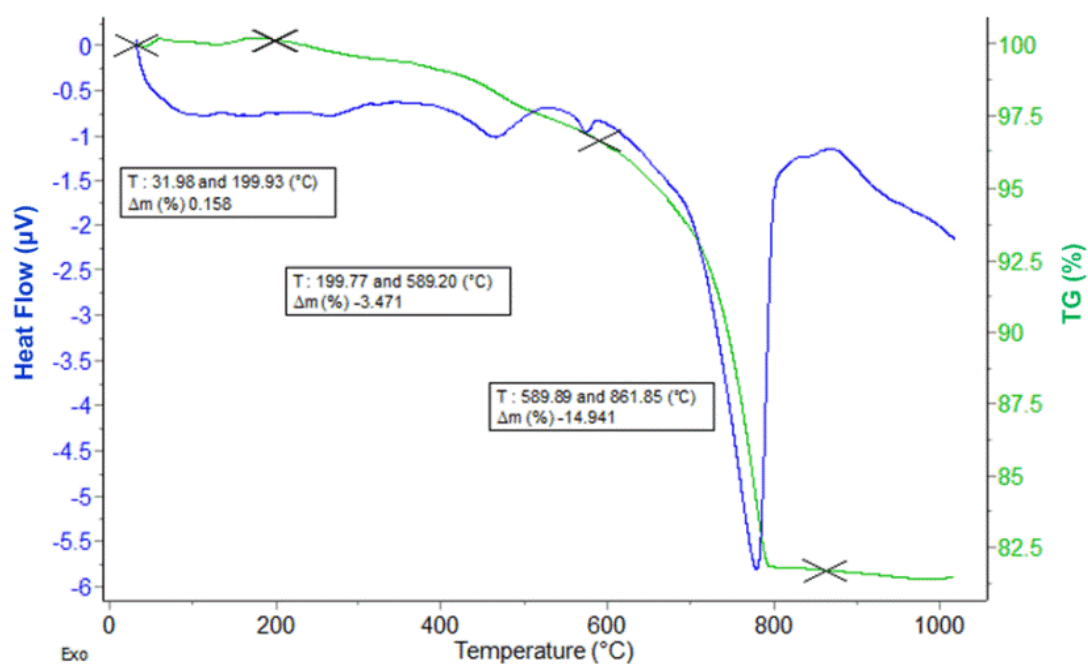
Τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης των Πινάκων 8 και 9 επιβεβαιώνουν την ποιοτική και ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων-επιχρισμάτων και λίθων. Το κονίαμα ΦΚ1 και το επίχρισμα ΦΓΕ2 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη αναλογία σε ασβεστίτη και αποτελούν τα αυθεντικά υλικά δόμησης. Το μεγάλο ποσοστό αργιλοπυριτικών συστατικών του ΦΚ2 προέρχεται από την εκτεταμένη χρήση κεραμικού και εκφράζεται από τα υψηλά ποσοστά οξειδίων πυριτίου, αργιλίου και σιδήρου σε σχέση με τα άλλα κονιάματα. Ειδικά το μεγαλύτερο ποσοστό οξειδίου του σιδήρου του κονιάματος ΦΚ2 υποδεικνύει την εκτεταμένη χρήση κεραμικού. Στα άλλα κονιάματα-επιχρίσματα το εν λόγω οξείδιο υπολογίζεται σε ποσοστό μικρότερο του 1%. Ειδικά στο κονίαμα ΦΓΚ4, το μεγάλο ποσοστό οξειδίου του πυριτίου συνδέεται με την χρήση χαλαζιακής άμμου στα αδρανή συστατικά.

Οι λίθοι ΦΛ1 και ΦΛ2 περιέχουν ευδιάλυτα άλατα σε ποσοστό 4,5 και 2,2%, αντίστοιχα που ταυτοποιούνται βασικά ως θειικά, από την επίδραση της θαλάσσιας διάβρωσης.

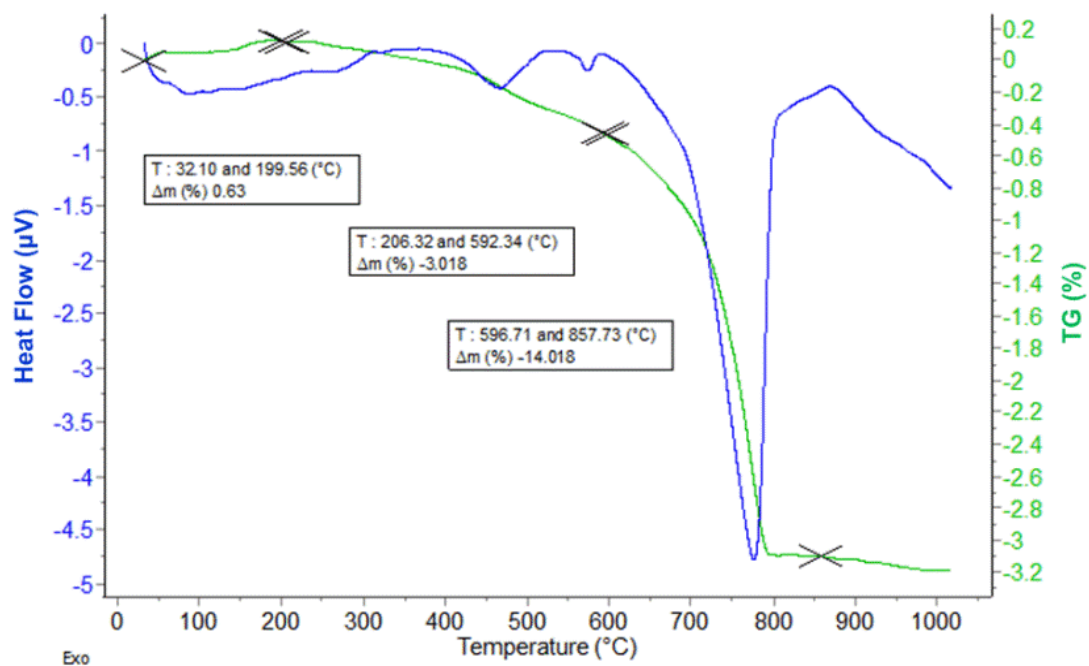
#### *6.4 Αποτελέσματα Θερμικής Ανάλυσης Δειγμάτων*

Τα Σχήματα 23 έως 28 προέκυψαν από τη θερμική ανάλυση των κονιαμάτων με σκοπό τον προσδιορισμό των ανθρακικών μαζί με τα χημικά ενωμένα υδροξύλια (OH) και νερά (H<sub>2</sub>O) που αποτελούν μέρος της δομής των υδραυλικών συστατικών. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι τα δείγματα πριν την θερμική ανάλυση τοποθετήθηκαν στον φούρνο στους 100 °C για 24 ώρες με σκοπό την απομάκρυνση της υγρασίας.

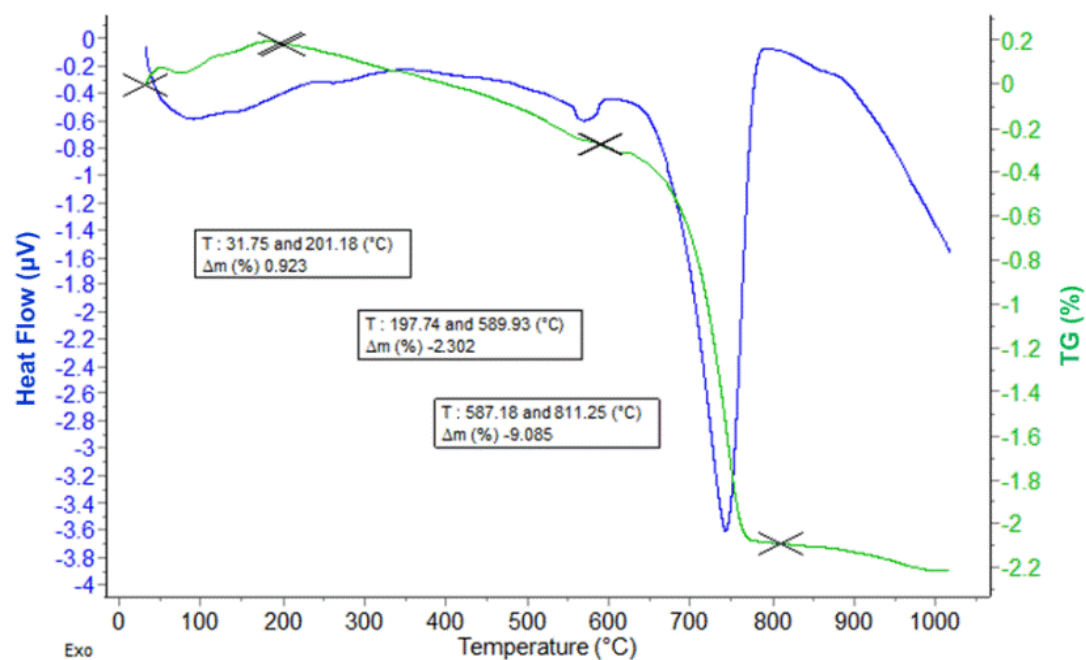
Από τη βιβλιογραφία είναι γνωστό, ότι ενδόθερμες αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στην περιοχή 550 έως 580 °C, χωρίς να συνοδεύονται από απώλεια βάρους, οφείλονται στην μεταβολή από α- σε β- φάση του χαλαζία [64]. Επίσης οι ενδόθερμες αντιδράσεις που πραγματοποιούνται στη θερμοκρασιακή περιοχή 550-650 °C, υποδηλώνουν την ύπαρξη πλαγιόκλαστων [64]. Τέλος, οι απώλειες των φυσικά ενωμένων νερών (physio-adsorbed) συνοδεύονται από ενδόθερμες αντιδράσεις στην περιοχή 40-100 °C. Εάν στην ευρύτερη περιοχή 50-180 °C παρατηρηθούν θερμικές μεταβολές, τότε είναι πολύ πιθανόν να συμμετέχουν και κρυσταλλικές φάσεις χημικά ενωμένου νερού αλλά και νερό των φυλλοπυριτικών ορυκτών στην μετρούμενη απώλεια μάζας [64].



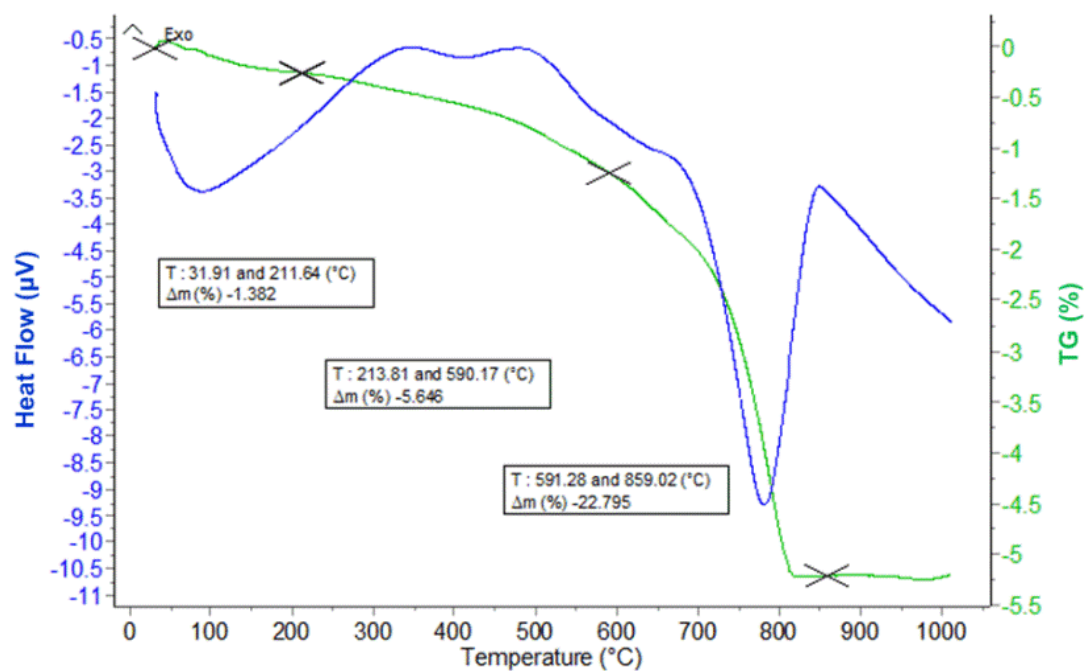
**Σχήμα 23:** Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-1.



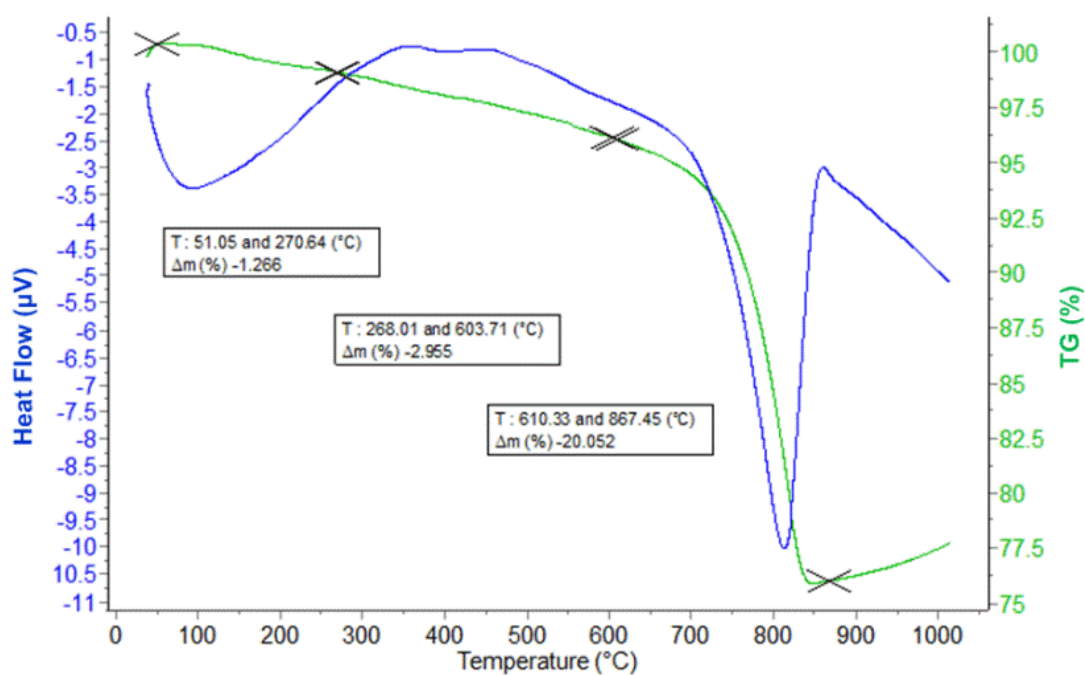
Σχήμα 24: Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-2.



Σχήμα 25: Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΚ-4.

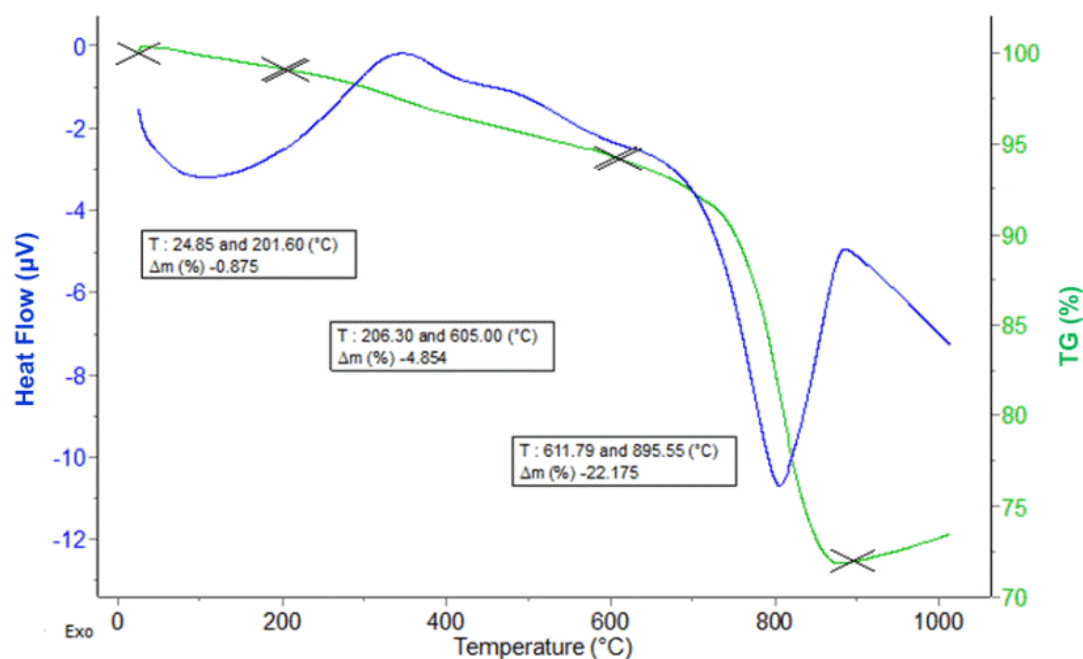


Σχήμα 26: Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-E2.



Σχήμα 27: Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-K4.





**Σχήμα 28:** Θερμική ανάλυση του κονιάματος ΦΓ-E6.

Τα παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζουν δύο βασικές απώλειες μάζας: η μία αφορά στα υδροξύλια (OH-), των οποίων η κορυφή είναι πολύ χαρακτηριστική, ενώ η άλλη στην μετατροπή του ανθρακικού ασβεστίου σε οξείδιο του ασβεστίου και έκλυση CO<sub>2</sub>. Από τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης των δειγμάτων επιβεβαιώνεται η παρουσία ασβεστίτη σε όλα τα δείγματα, καθώς και η αξιοσημείωτη περιεκτικότητά τους σε αργιλοπυριτικά. Το τελευταίο, φαίνεται από την απώλεια βάρους από 200 έως 600 °C (λόγω των OH-). Ο Πίνακας 10 περιέχει την απώλεια βάρους σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές περιοχές, καθώς και τον λόγο CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O, ο οποίος εκφράζει την υδραυλικότητα των δειγμάτων. Υδραυλικά θεωρούνται τα υλικά με τιμή κάτω από 5 και μετρίως υδραυλικά εκείνα με τιμή κάτω από 10. Πιο συγκεκριμένα, όσο μικρότερος είναι ο λόγος CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O τόσο περισσότερα υδραυλικά συστατικά περιέχονται στο δείγμα. Όλα τα υπό εξέταση κονιάματα-επιχρίσματα, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 10 χαρακτηρίζονται ως υδραυλικά, με λιγότερο υδραυλικό να παρουσιάζεται το κονίαμα ΦΓ4Κ.

Τα υδραυλικά συστατικά έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνουν τόσο στον αέρα όσο και σε υγρό περιβάλλον ή ακόμα και μέσα στο νερό. Η ιδιότητα αυτή προσδίδει στα υλικά αυξημένες μηχανικές αντοχές και αντοχή στην διάβρωση από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

**Πίνακας 10:** Αποτελέσματα θερμικής ανάλυσης των δειγμάτων

Δείγμα	Εκατοστιαία απώλεια		CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
	200-600 °C	600-800 °C	
<b>ΦΚ1</b>	3,47	14,94	4,30
<b>ΦΚ2</b>	3,02	14,02	4,67
<b>ΦΚ4</b>	2,30	9,08	3,95
<b>ΦΓ2Ε</b>	5,65	22,79	4,03
<b>ΦΓ4Κ</b>	2,95	20,05	6,79
<b>ΦΓ6Ε</b>	4,85	22,17	4,57

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

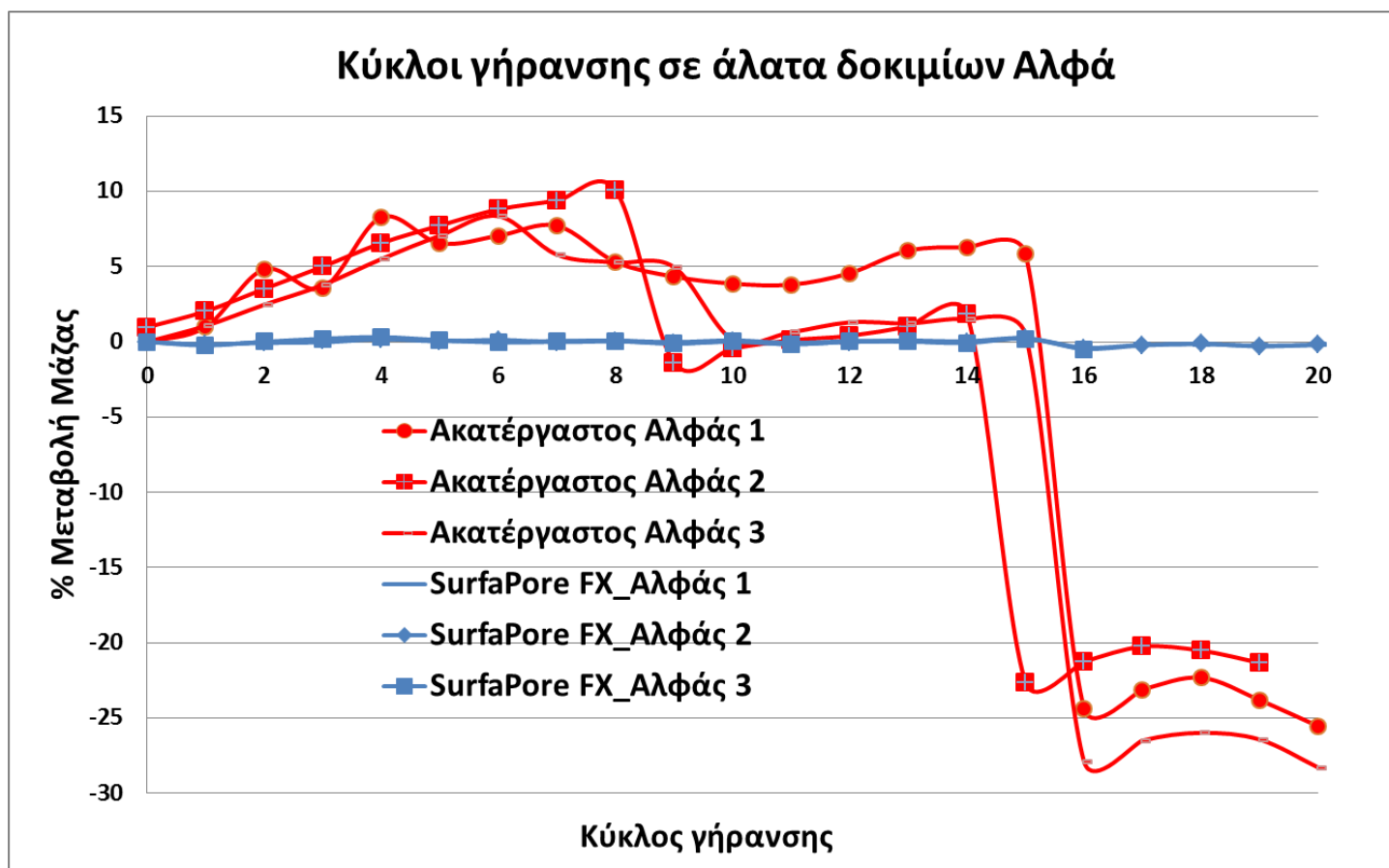
### *7.1 Αποτελέσματα Ελέγχου Ανθεκτικότητας σε Άλατα*

#### *7.1.1 Αποτελέσματα Εφαρμογής Υδατικού SurfaPore Fx*

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης σχετικά με την αντίσταση σε άλατα θειικού νατρίου, ακατέργαστων και κατεργασμένων με υδατικό SurfaPore Fx δοκιμίων Αλφά και Ασβεστοκονιαμάτων.

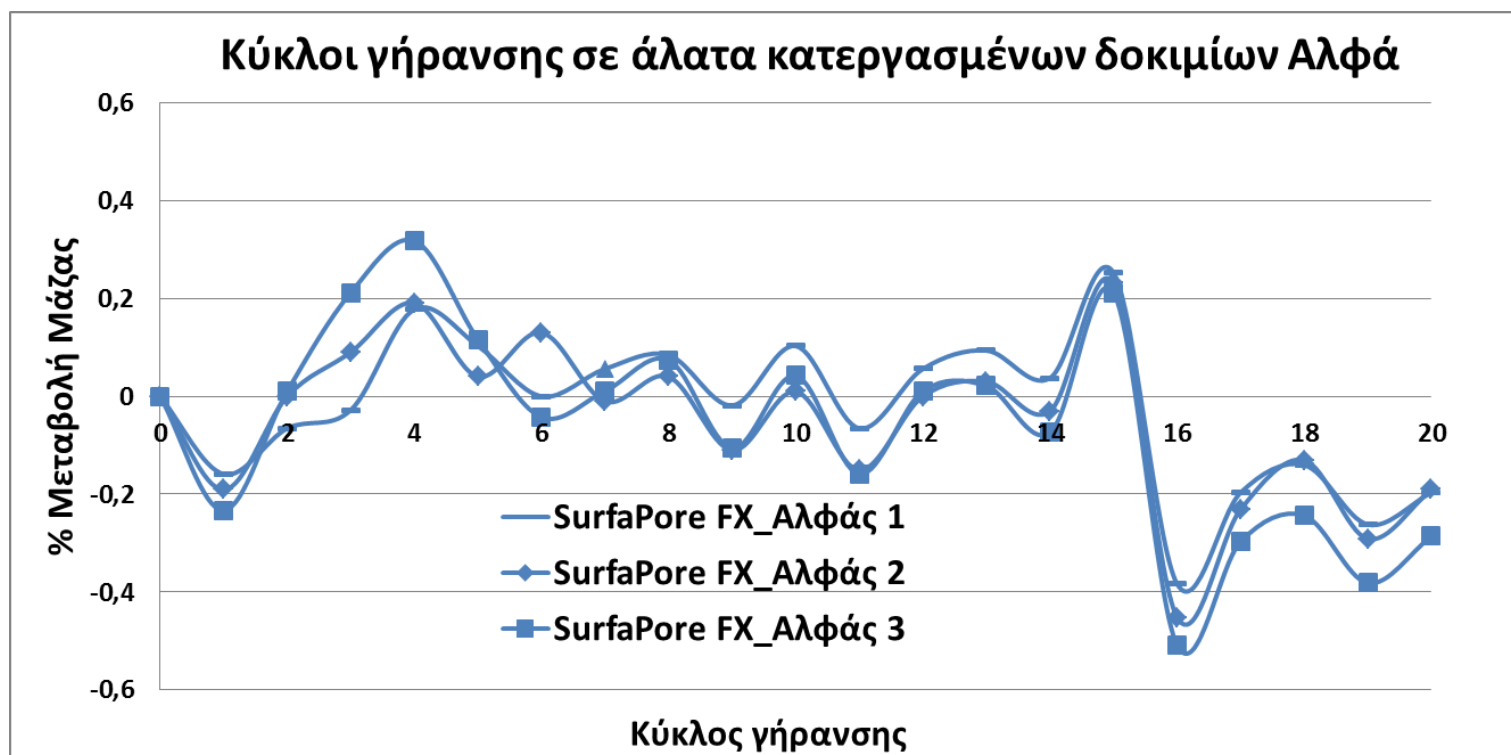
Στα Σχήματα 29-33 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γήρανσης σε άλατα των υποστρωμάτων. Η γήρανση στα δοκίμια Αλφά και τα Ασβεστοκονιάματα έγινε με τριχοειδή αναρρίχηση και φαίνεται ότι τα κατεργασμένα δοκίμια με υδατικό SurfaPore Fx ενισχύουν την αντίσταση των υποστρωμάτων στα άλατα καταδεικνύοντας έτσι την υψηλού βαθμού προστασία.

Πιο συγκεκριμένα, τα δοκίμια Αλφά τα οποία δεν είχαν επεξεργαστεί έχασαν στους 20 κύκλους αλάτων 22 έως και 28% της μάζας τους, ενώ τα αντίστοιχα δοκίμια που είχαν επεξεργαστεί με το υλικό φαίνεται να παρουσιάζουν απώλειες της τάξεως των 0.40 έως 0.45% οι οποίες θεωρούνται αμελητέες.



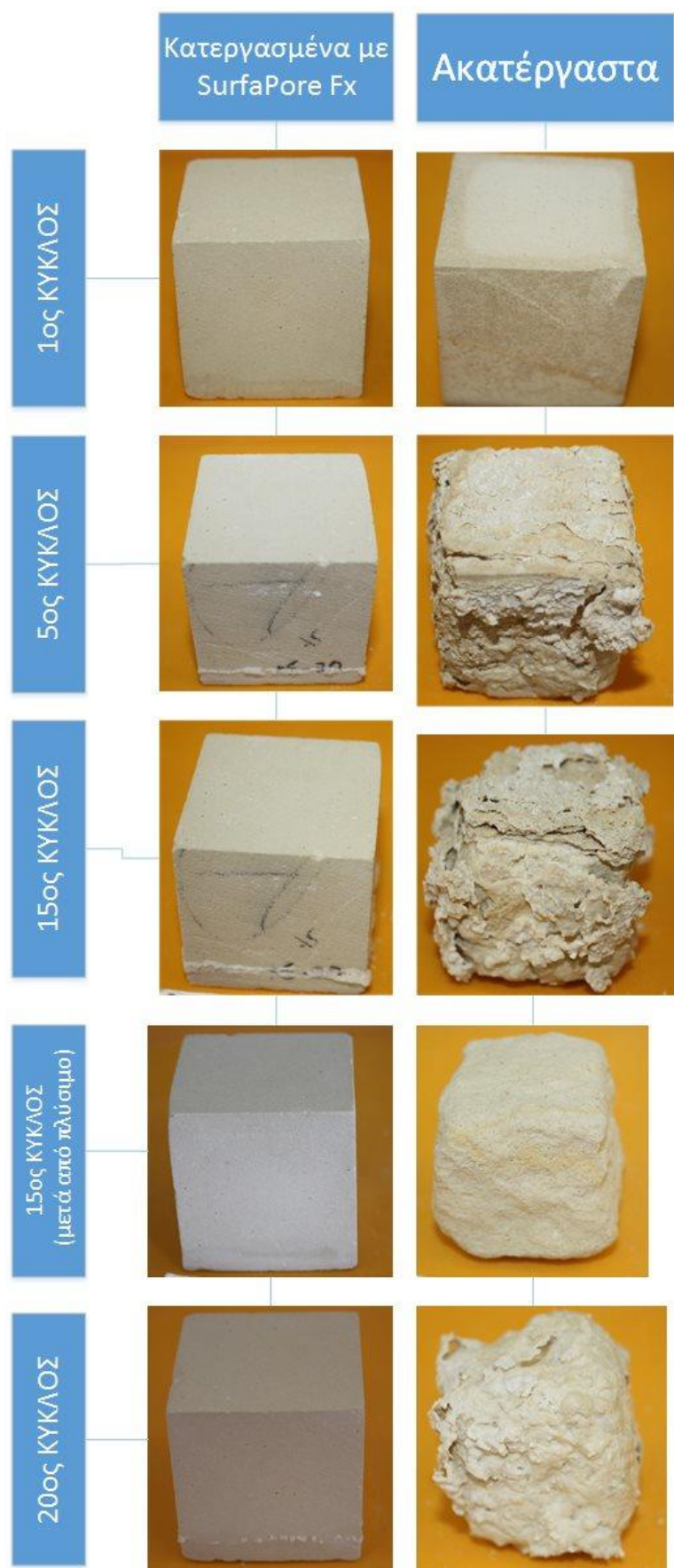
Σχήμα 29: Κύκλοι γήρανσης σε άλατα κατεργασμένων και μη δοκιμίων Αλφά με SurfaPore Fx

Για να φανούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα αποτελέσματα δημιουργήθηκε το διάγραμμα που παρουσιάζεται στη συνέχεια. Στο Σχήμα 30 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μέχρι τον 20<sup>ο</sup> κύκλο των κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά.



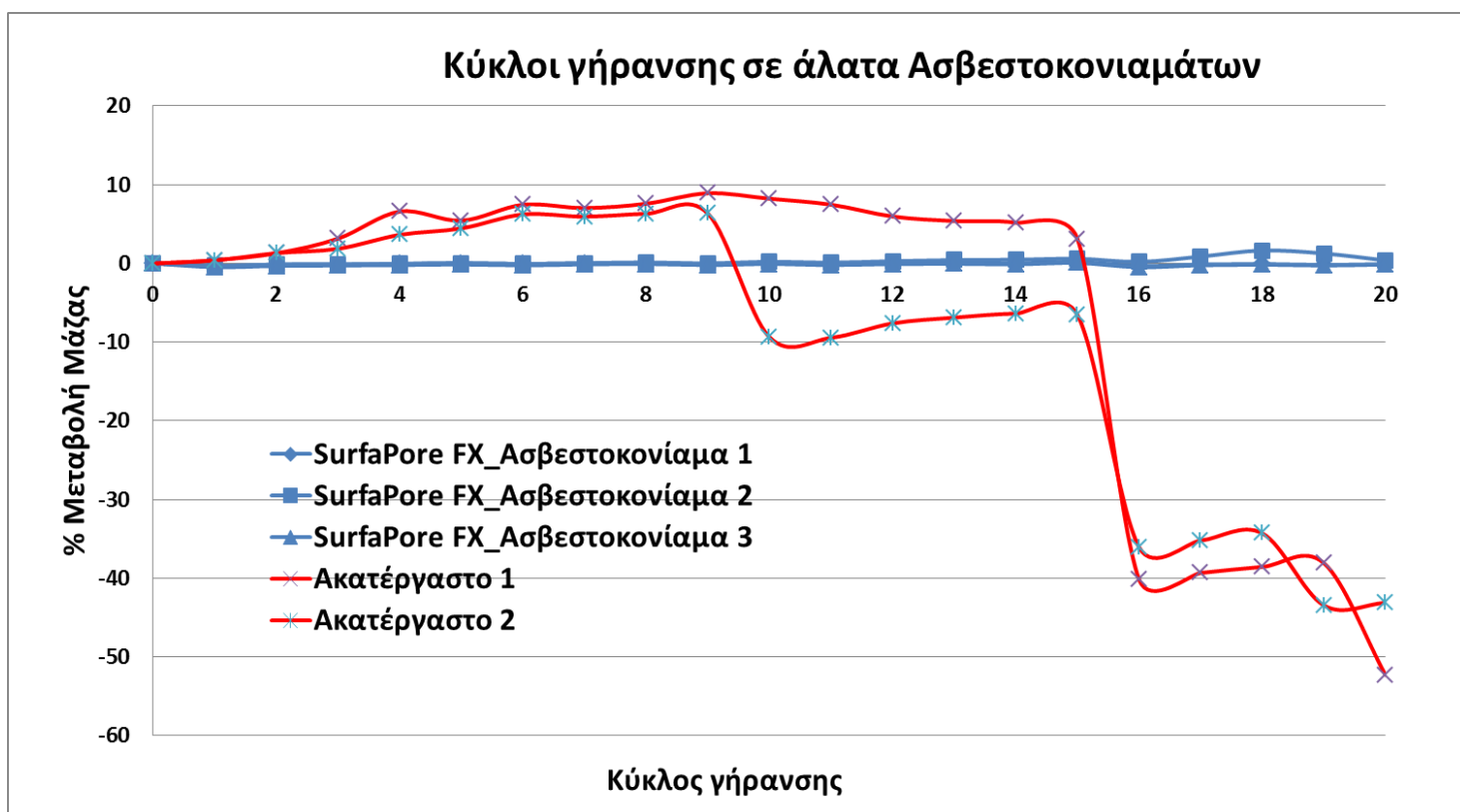
Σχήμα 30: Κύκλοι γήρανσης σε Άλατα κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SurfaPore Fx

Στο Σχήμα 31 παρατίθενται μακροσκοπικές φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντίστασης στα άλατα. Ακόμα και από αυτές τις μακροσκοπικές φωτογραφίες είναι εμφανής η απώλεια υλικού από τα μη κατεργασμένα υλικά σε αντίθεση με τα δοκίμια τα οποία είναι προστατευμένα με το υδατικό SurfaPore Fx.

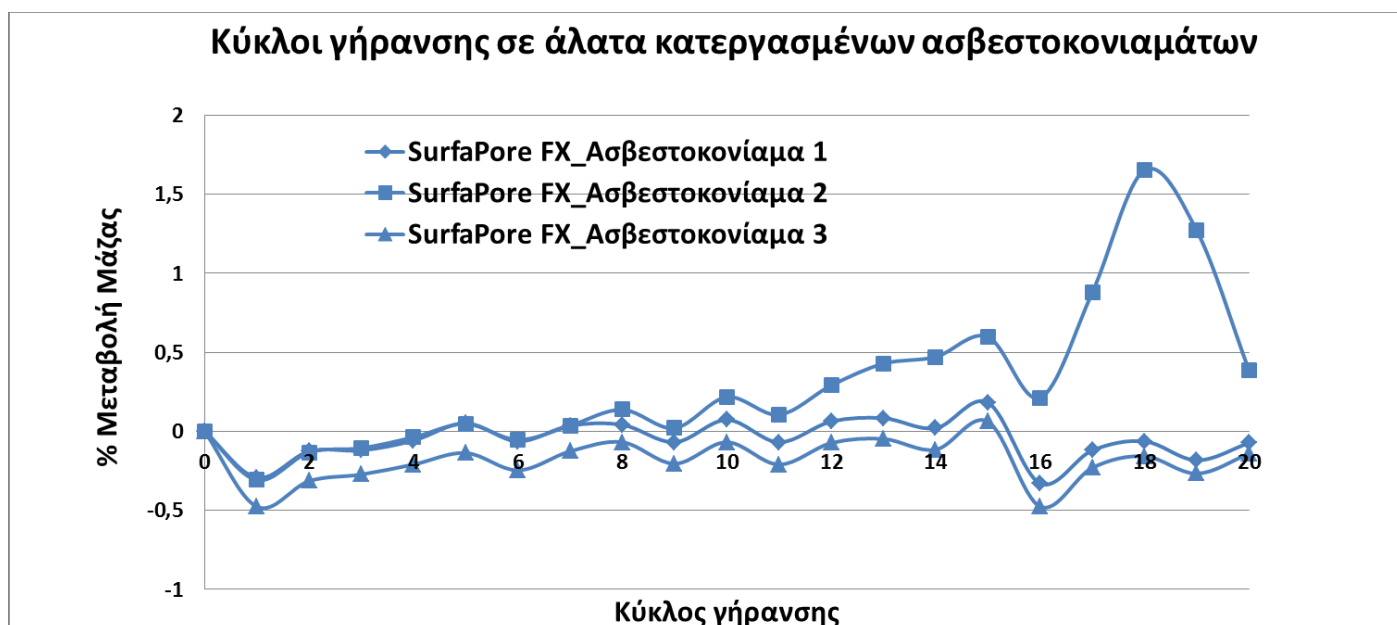


Σχήμα 31: Φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά (κετεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης

Στα Σχήματα 32-34 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα ελέγχου γήρανσης των Ασβεστοκονιαμάτων τα οποία δείχνουν την ίδια σχεδόν συμπεριφορά με τα δοκίμια Αλφά.



Σχήμα 32: Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων και μη ασβεστοκονιαμάτων με SurfaPore Fx.



Σχήμα 33: Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων ασβεστοκονιαμάτων με SurfaPore Fx.



Οι απώλειες της μάζας των μη κατεργασμένων Ασβεστοκονιαμάτων φτάνουν μέχρι και το 50%, ενώ τα κατεργασμένα δοκίμια με υδατικό SurfaPore Fx έδειξαν πολύ καλή αντοχή στην δοκιμή γήρανσης όπου παρατηρήθηκαν μειώσεις κατά 0.50% αλλά και αυξήσεις κατά 1.6%. Οι αλλαγές αυτές επίσης θεωρούνται αμελητέες κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από τις μακροσκοπικές φωτογραφίες του Σχήματος 34.



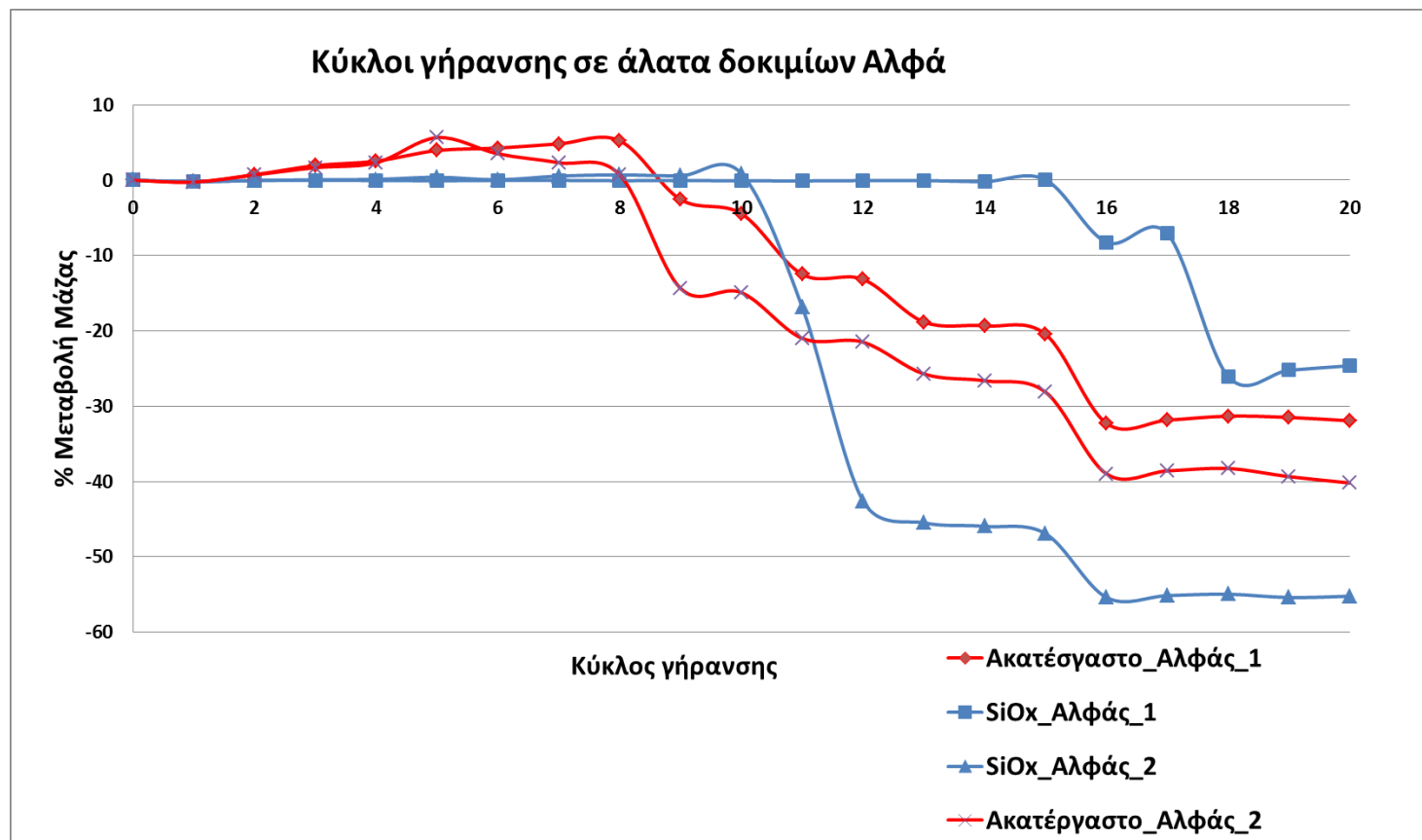
**Σχήμα 34:** Φωτογραφίες ασβεστοκονιαμάτων (κετεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης.

### 7.1.2 Αποτελέσματα Εφαρμογής Αλκοολούχου SurfaPore Fx (SiOx)

Στο υποκεφάλαιο αυτό παρατίθενται τα αποτελέσματα της μελέτης σχετικά με την αντίσταση σε άλατα θειικού νατρίου, ακατέργαστων και κατεργασμένων με αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) δοκιμίων Αλφά.

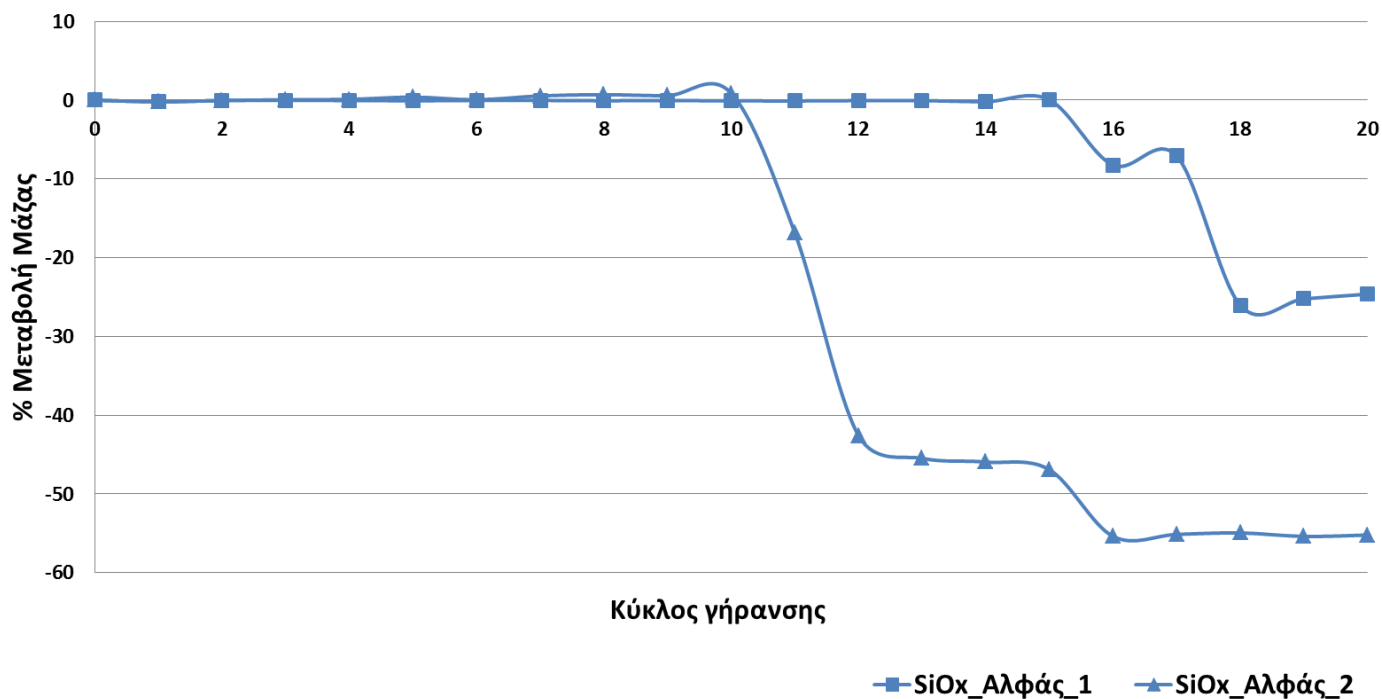
Στα Σχήματα 35-39 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της γήρανσης σε άλατα των υποστρωμάτων. Η γήρανση στα δοκίμια Αλφά έγινε με τριχοειδή αναρρίχηση και φαίνεται ότι τα κατεργασμένα δοκίμια με αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) ενισχύουν την αντίσταση των υποστρωμάτων στα άλατα καταδεικνύοντας έτσι την υψηλού βαθμού προστασία.

Πιο συγκεκριμένα, τα δοκίμια Αλφά τα οποία δεν είχαν υποστεί καμιά επεξεργασία έχασαν στους 20 κύκλους αλάτων έως και 40% της μάζας τους, ενώ τα αντίστοιχα δοκίμια που είχαν επεξεργαστεί με το αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx) φαίνεται να παρουσιάζουν απώλειες οι οποίες θεωρούνται αμελητέες μέχρι και τον 10<sup>ο</sup> κύκλο. Από τον 10<sup>ο</sup> όμως κύκλο, έως και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο παρατηρούμε απώλειες της τάξης του 25 έως και 55% στα κατεργασμένα δοκίμια Αλφά



Σχήμα 35: Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά μέχρι τον 18<sup>ο</sup> κύκλο.

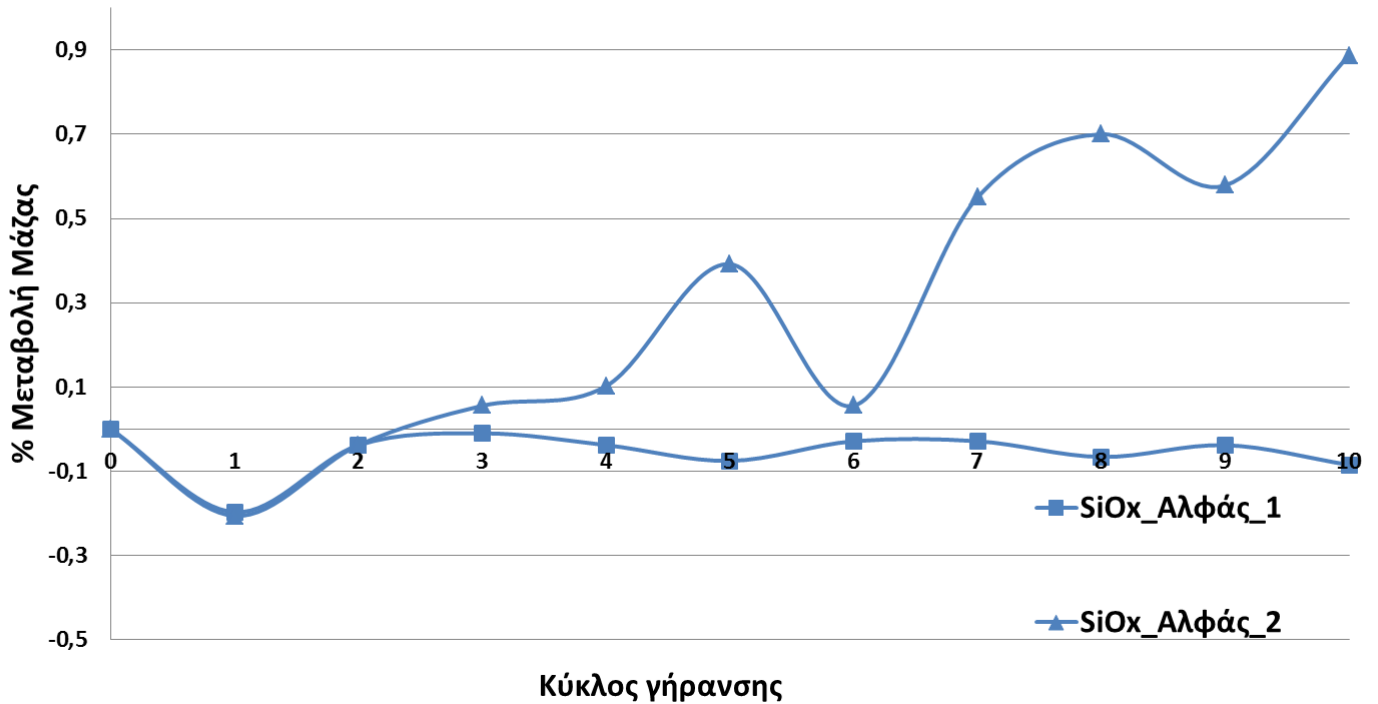
### Κύκλοι γήρανσης σε άλατα κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά



Σχήμα 36: Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SiOx μέχρι τον 20<sup>ο</sup> κύκλο.

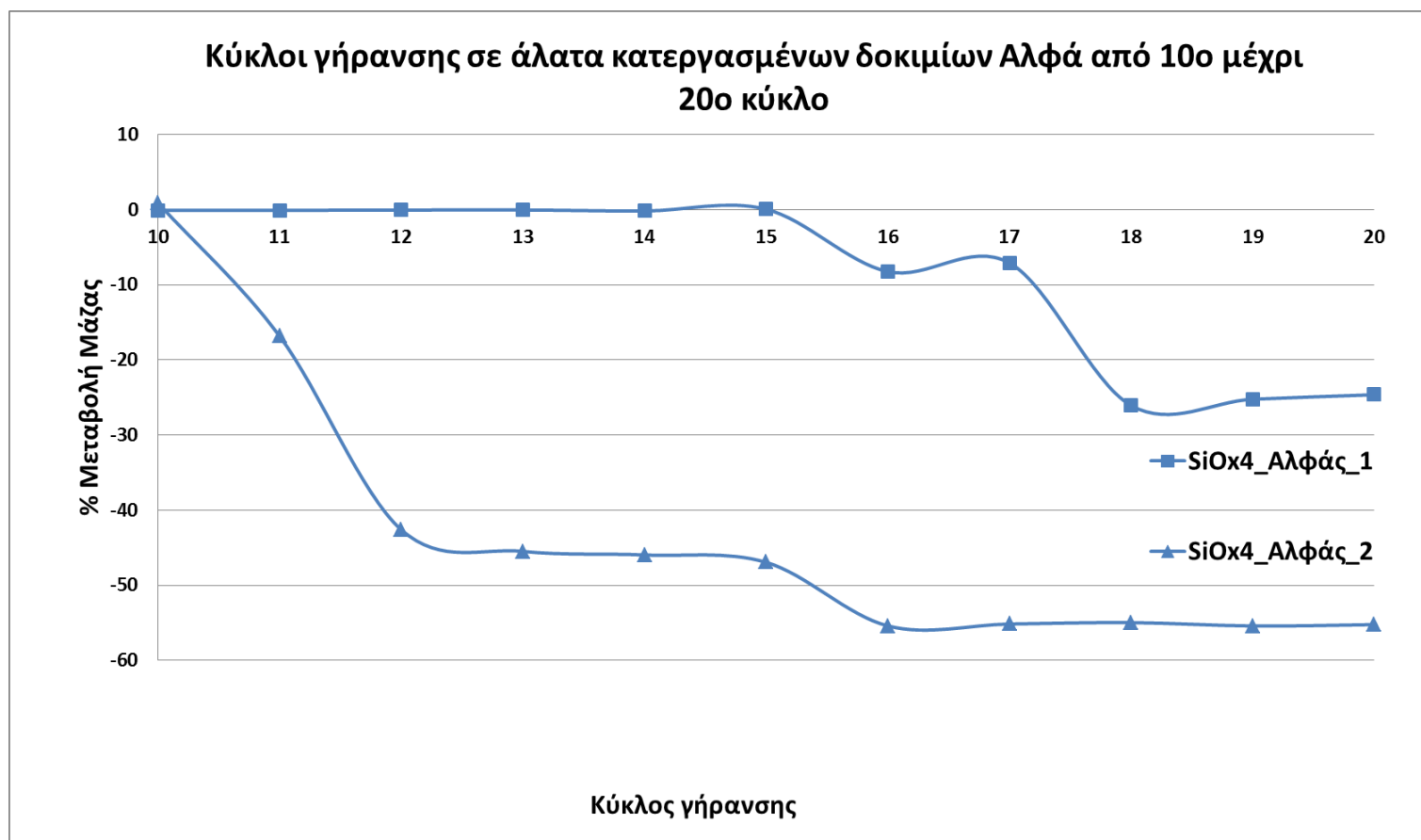
Στο Σχήμα 37 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά μέχρι και τον 10<sup>ο</sup> κύκλο όπου παρατηρούμε αυξήσεις της τάξης του 0.9% και μειώσεις της τάξης του 0.3% οι οποίες θεωρούνται αμελητέες.

### Κύκλοι γήρανσης σε άλατα κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά μέχρι 10ο κύκλο



Σχήμα 37: Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με SiOx μέχρι τον 10<sup>ο</sup> κύκλο.

Στο Σχήμα 38 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας των κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά από τον 10<sup>ο</sup> μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο όπου παρατηρούμε μειώσεις στη μάζα των κατεργασμένων δοκιμίων της τάξης του 25 μέχρι και 55% οι οποίες δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.



**Σχήμα 38:** Κύκλοι γήρανσης κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά από 10<sup>ο</sup> μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο.

Στο Σχήμα 39 παρατίθενται μακροσκοπικές φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντίστασης στα άλατα. Ακόμα και από αυτές τις μακροσκοπικές φωτογραφίες είναι εμφανής η απώλεια υλικού από τα μη κατεργασμένα υλικά σε αντίθεση με τα δοκίμια τα οποία είναι προστατευμένα με το αλκοολούχο SurfaPore Fx (SiOx).





Σχήμα 39: Φωτογραφίες δοκιμίων Αλφά (κετεργασμένων και μη) μέχρι και τον 20<sup>ο</sup> κύκλο γήρανσης

### 7.1.3 Συμπεράσματα Ελέγχου Αντοχής σε Άλατα

Με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον έλεγχο αντοχής μέσω κύκλων γήρανσης σε άλατα ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), τα κατεργασμένα δοκίμια παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην δράση και κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων σε σύγκριση με τα ακατέργαστα. Επίσης, σε όλα τα κατεργασμένα δοκίμια, η απορρόφηση διαλύματος θεικού νατρίου είναι μικρότερη σε σύγκριση με τα ακατέργαστα δοκίμια. Επιπλέον, η εφαρμογή του Υδατικού SurfaPore Fx παρουσίασε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα και αποτελεσματικότητα σε σύγκριση με την εφαρμογή του Αλκοολούχου SurfaPore Fx ( $\text{SiOx}$ ), σε δοκίμια Αλφά..

Τέλος, στους Πίνακες 12 και 13 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά και Ασβεστοκονιαμάτων αντίστοιχα, με Υδατικό SurfaPore Fx, καθώς και των ακατέργαστων δοκιμίων. Ενώ στον Πίνακα 14 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας κατεργασμένων και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά με Αλκοολούχο SurfaPore Fx ( $\text{SiOx}$ ).

**Πίνακας 11:** Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων Ασβεστοκονιαμάτων κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΑΖΑΣ ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ (%)					
ΗΜΕΡΕΣ	Κατεργασμένα Δοκίμια με SurfaPore Fx			Ακατέργαστα Δοκίμια	
	ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ (1)	ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ (2)	ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ (3)	ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ (1)	ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ (2)
5	-0,06	0,05	-0,14	5,45	4,45
10	0,07	0,22	-0,07	8,23	-9,36
15	0,18	0,60	0,06	3,12	-6,54
20	-0,07	0,39	-0,14	-52,28	-43,10

**Πίνακας 12:** Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα

ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΑΖΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΛΦΑ (%)						
ΗΜΕΡΕΣ	Κατεργασμένα Δοκίμια με SurfaPore Fx			Ακατέργαστα Δοκίμια		
	ΑΛΦΑΣ(1)	ΑΛΦΑΣ(2)	ΑΛΦΑΣ(3)	ΑΛΦΑΣ(1)	ΑΛΦΑΣ(2)	ΑΛΦΑΣ(3)
5	0,10	0,04	0,12	6,55	6,56	7,06
10	0,10	0,01	0,04	3,87	-1,38	0,15
15	0,25	0,23	0,21	5,85	1,85	0,49
20	-0,20	-0,19	-0,29	-25,54	-21,32	-28,28

**Πίνακας 13:** Μεταβολές μάζας (%) κατεργασμένων με Αλκοολούχο SurfaPore Fx και μη κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά κατά τη διάρκεια ελέγχου αντοχής σε άλατα

<b>ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΜΑΖΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΛΦΑ (%)</b>				
	<b>Κατεργασμένα Δοκίμια με Αλκοολούχο SurfaPore Fx</b>		<b>Ακατέργαστα Δοκίμια</b>	
<b>ΗΜΕΡΕΣ</b>	<b>ΑΛΦΑΣ(1)</b>	<b>ΑΛΦΑΣ(2)</b>	<b>ΑΛΦΑΣ(1)</b>	<b>ΑΛΦΑΣ(2)</b>
<b>5</b>	-0,07	0,40	3,94	5,65
<b>10</b>	-0,08	0,89	-4,45	-14,92
<b>15</b>	0,05	-46,94	-20,47	-28,15
<b>20</b>	-24,63	-55,23	-31,94	-40,20

## 7.2 Αποτελέσματα Ελέγχου Διαπερατότητας Υδρατμών

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης σχετικά με την διαπερατότητα σε υδρατμούς των κατεργασμένων με Υδατικό SurfaPore Fx δοκιμίων Αλφά και Ασβεστοκονιαμάτων σε σύγκριση με τα ακατέργαστα δοκίμια Αλφά και τα Ασβεστοκονιάματα.

Όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 5.1.1, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή του υδατικού SurfaPore Fx σε 3 δοκίμια Αλφά και σε 3 Ασβεστοκονιάματα. Σκοπός ήταν να προσδιοριστεί το ποσοστό του στερεωτικού νάνο- υλικού που παρέμεινε στα δομικά υλικά πριν ξεκινήσει η διαδικασία του ελέγχου διαπερατότητας σε υδρατμούς και αφού είχε εξατμισθεί ο διαλύτης (σταθεροποίηση). Τα δοκίμια ζυγίστηκαν και δημιουργήθηκαν οι Πίνακες 14-15 που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

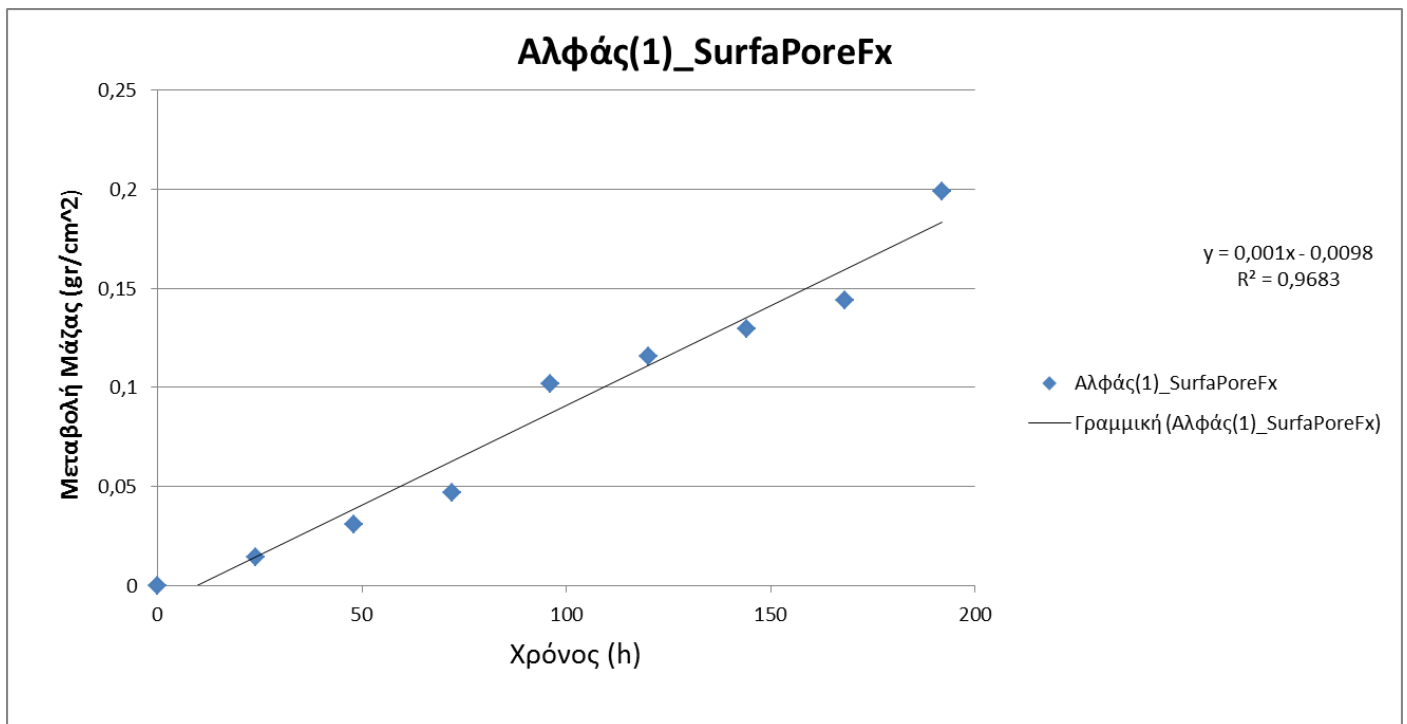
**Πίνακας 14:** Ποσοστό Υδατικού SurfaPore Fx που συγκρατήθηκε σε δοκίμια Αλφά

<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>	<b>ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (gr)</b>	<b>ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (gr)</b>	<b>ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΘΗΚΕ (gr)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>
<b>Αλφάς(1)</b>	64.66	68.33	65.77	1.72
<b>Αλφάς(2)</b>	64.11	68.32	65.34	1.92
<b>Αλφάς(3)</b>	68.29	72.15	69.45	1.70

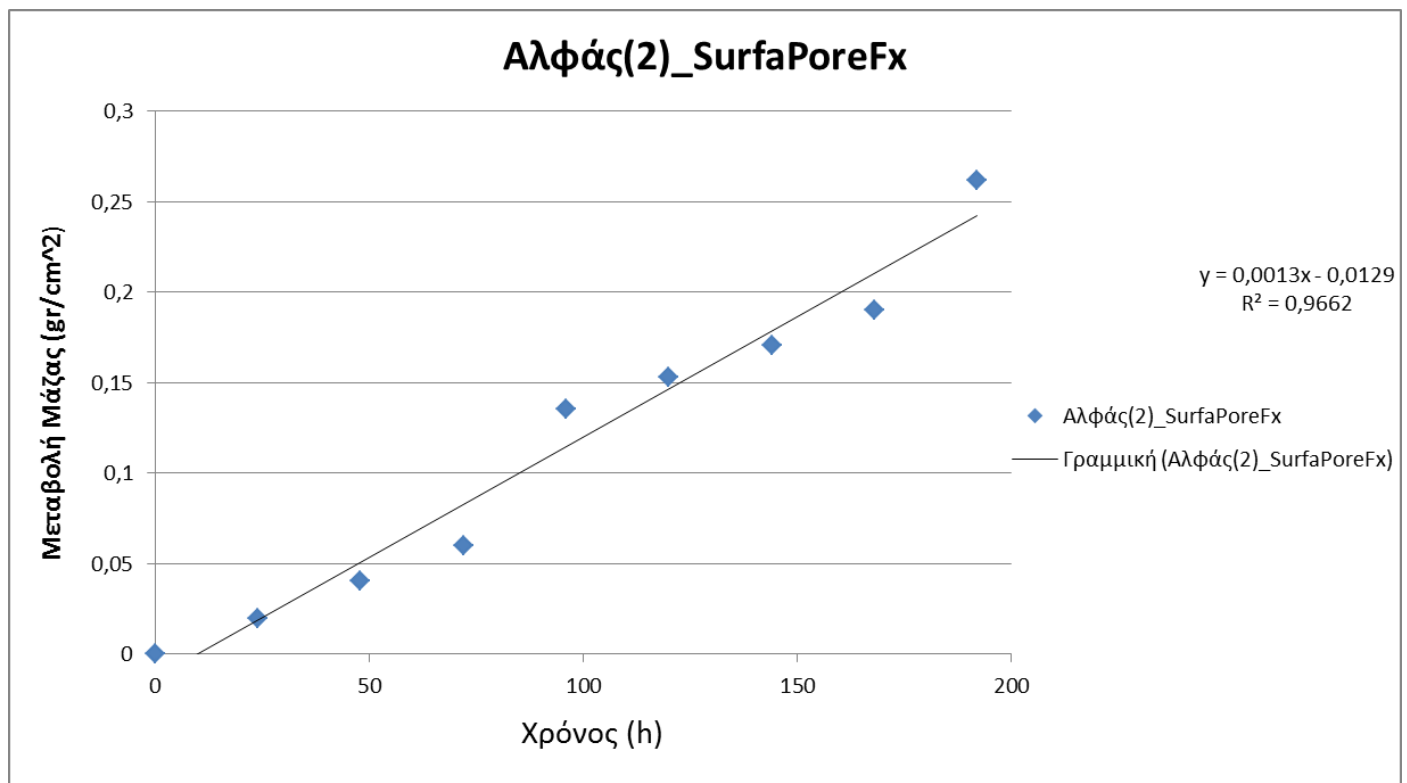
**Πίνακας 15:** Ποσοστό Υδατικού SurfaPore Fx που συγκρατήθηκε σε Ασβεστοκονιάματα

<b>ΔΟΚΙΜΙΟ</b>	<b>ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (gr)</b>	<b>ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ (gr)</b>	<b>ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΘΗΚΕ (gr)</b>	<b>ΠΟΣΟΣΤΟ (%)</b>
<b>Ασβεστοκονίαμα (1)</b>	83.23	86.64	84.31	1.30
<b>Ασβεστοκονίαμα (2)</b>	88.92	92.08	89.94	1.15
<b>Ασβεστοκονίαμα (3)</b>	87.64	90.44	88.32	0.78

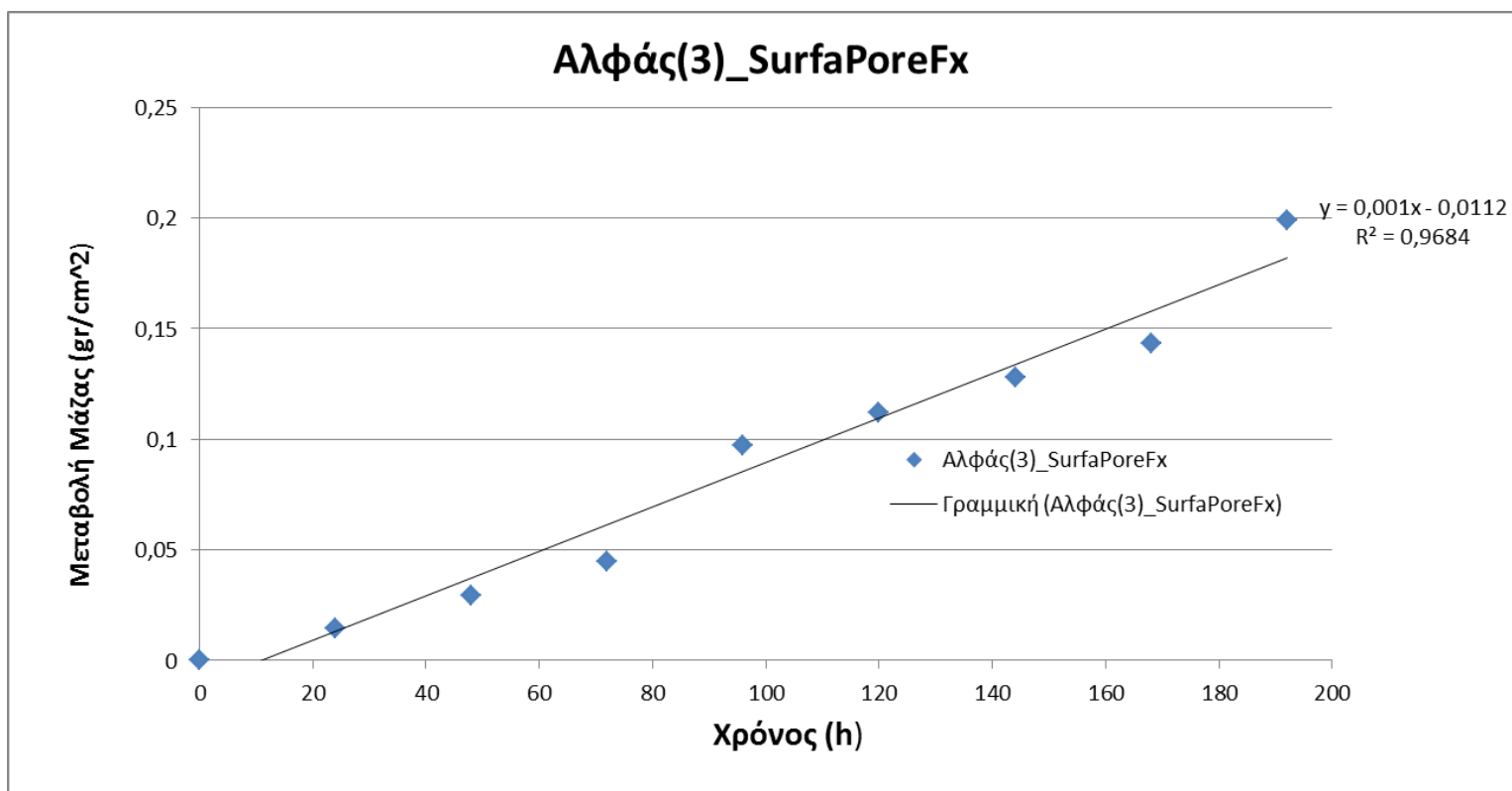
Στα Σχήματα 40-44 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας δοκιμίων Αλφά σε σχέση με το χρόνο.



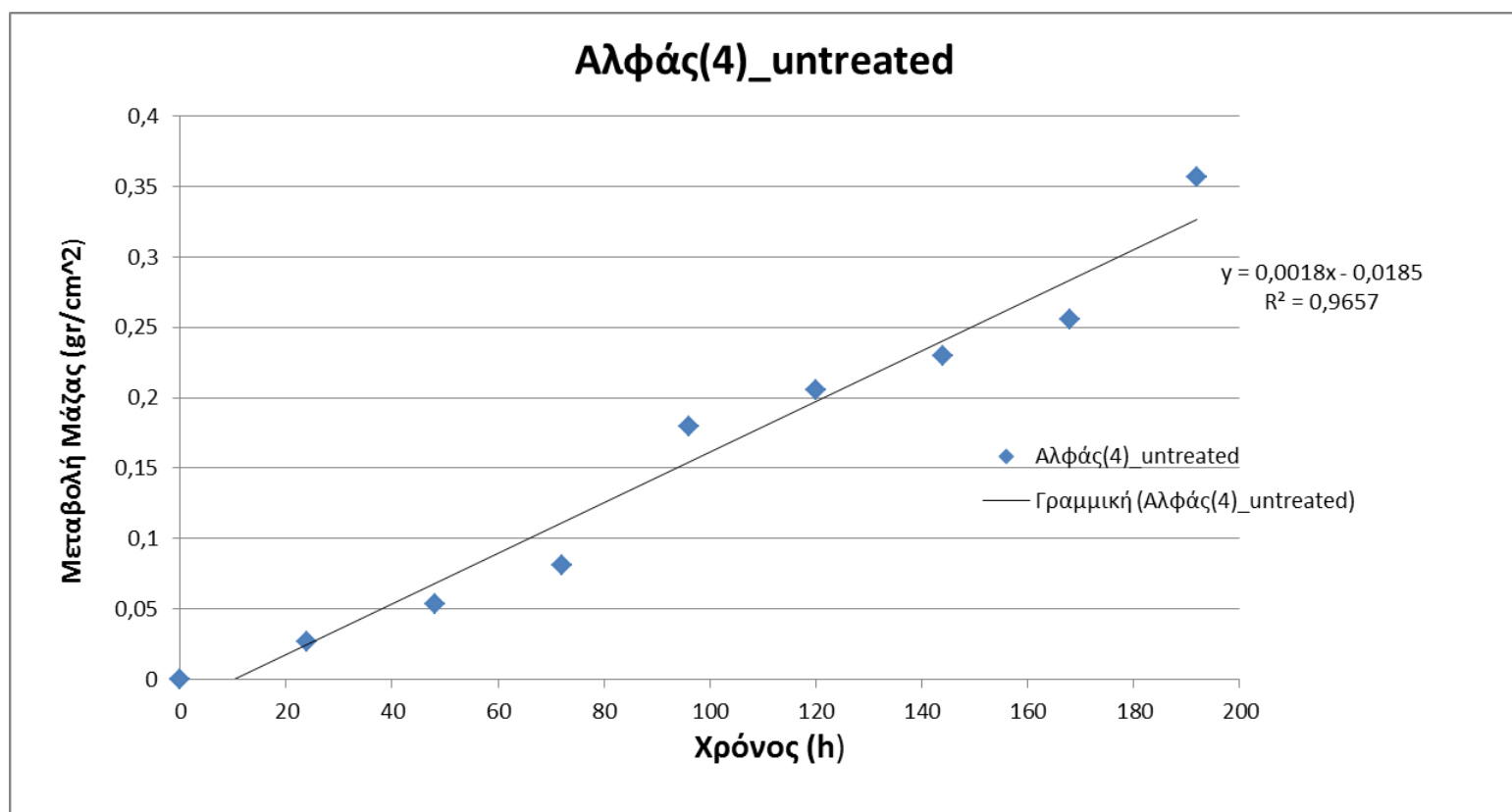
**Σχήμα 40:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(1) με Υδατικό SurfaPore Fx



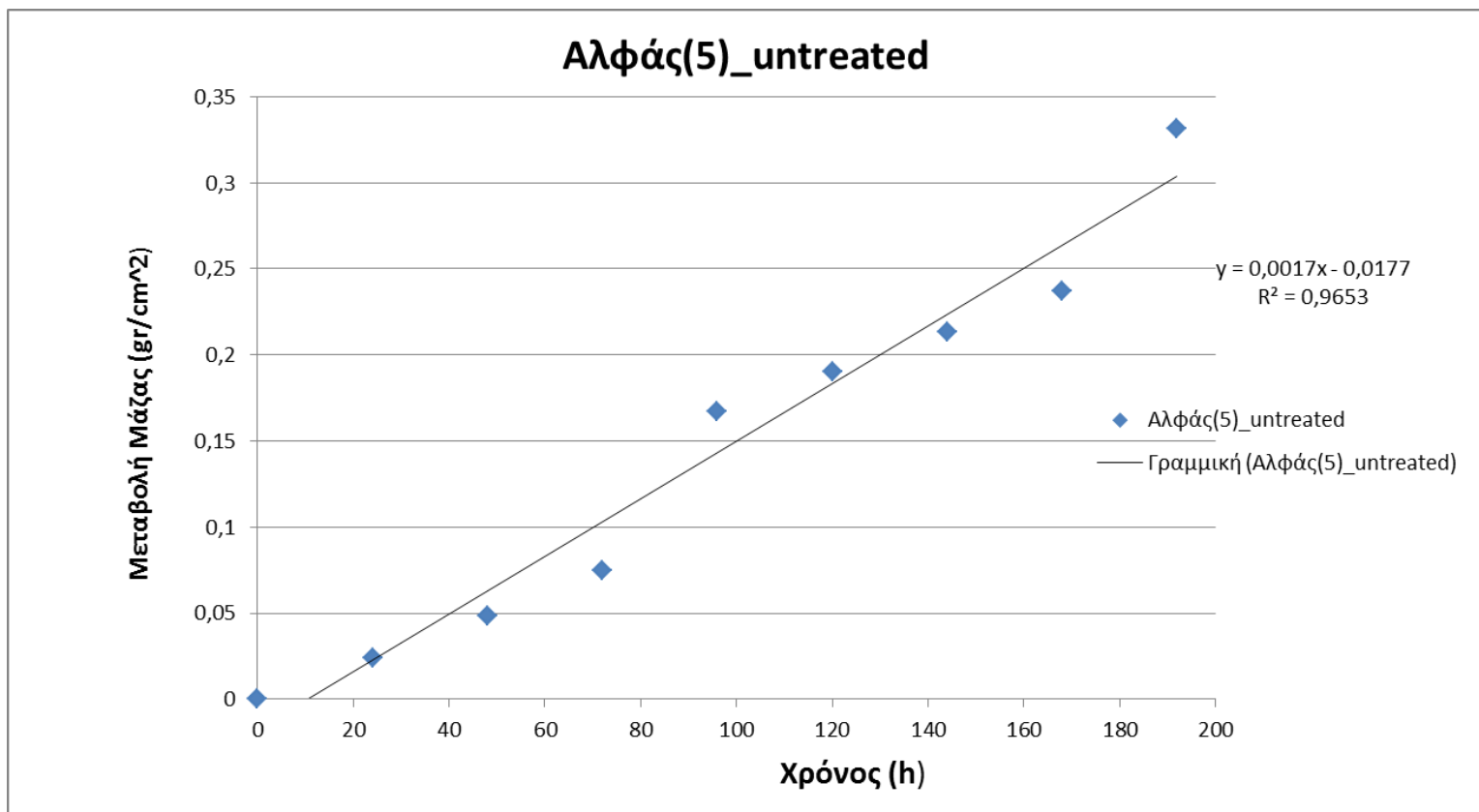
**Σχήμα 41:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(2) με Υδατικό SurfaPore Fx



Σχήμα 42: Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου δοκιμίου Αλφά(3) με Υδατικό SurfaPore Fx



Σχήμα 43: Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου δοκιμίου Αλφά(4)



**Σχήμα 44:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου δοκιμίου Αλφά(5)

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται οι συντελεστές διαπερατότητας σε υδρατμούς όπως υπολογίσθηκαν από την κλίση της ευθείας, για το κάθε κατεργασμένο δοκίμιο Αλφά, καθώς επίσης και η (%) μείωση διαπερατότητας για το κάθε ένα.

**Πίνακας 16:** Συντελεστής διαπερατότητας και (%) μείωση διαπερατότητας κατεργασμένων δοκιμίων Αλφά

ΔΟΚΙΜΙΟ	Συντελεστής Διαπερατότητας	% Μείωση Διαπερατότητας
<b>Αλφάς(1)[treated]</b>	0,0010	-42
<b>Αλφάς(2)[treated]</b>	0,0013	-24
<b>Αλφάς(3)[treated]</b>	0,0010	-42

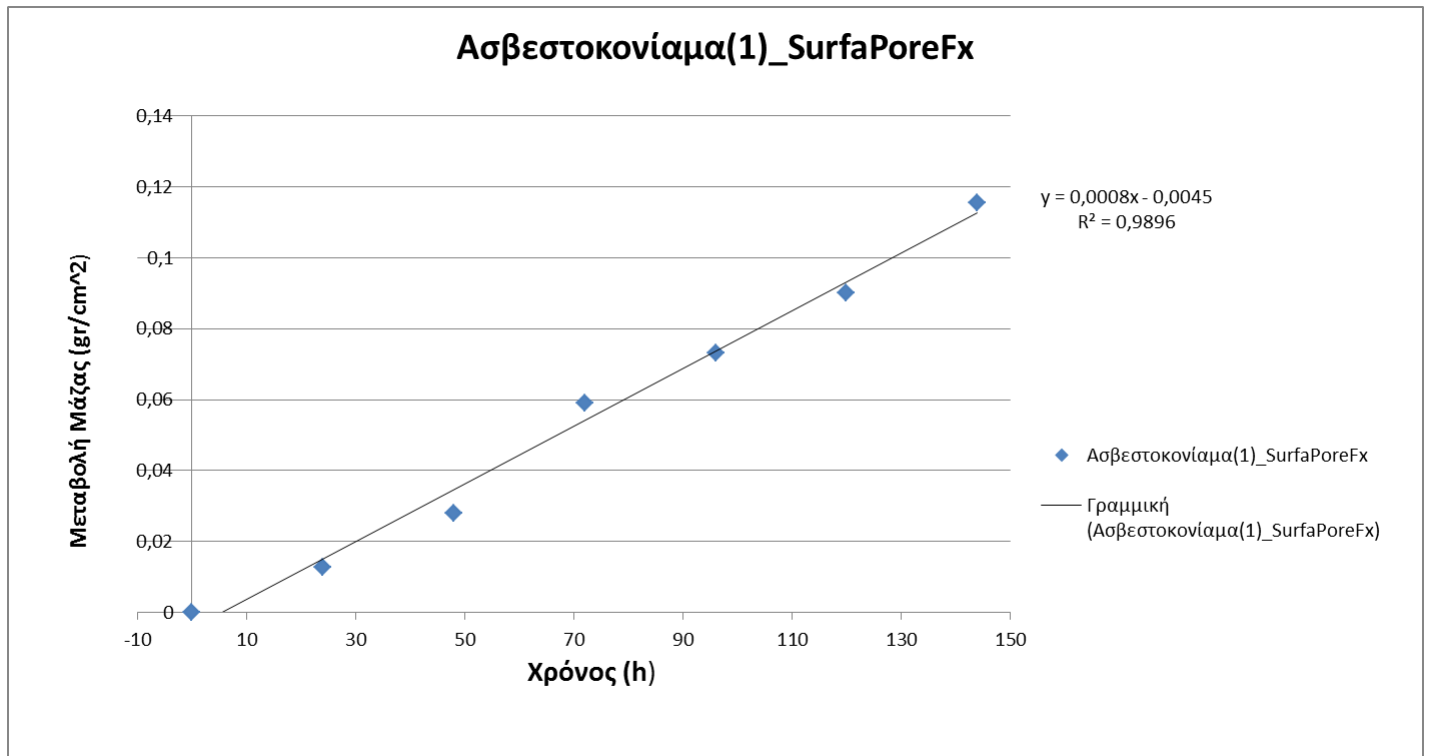
Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται οι συντελεστές διαπερατότητας σε υδρατμούς όπως υπολογίσθηκαν από την κλίση της ευθείας, για το κάθε ακατέργαστο δοκίμιο Αλφά.

**Πίνακας 17:** Συντελεστής διαπερατότητας ακατέργαστων δοκιμίων Αλφά

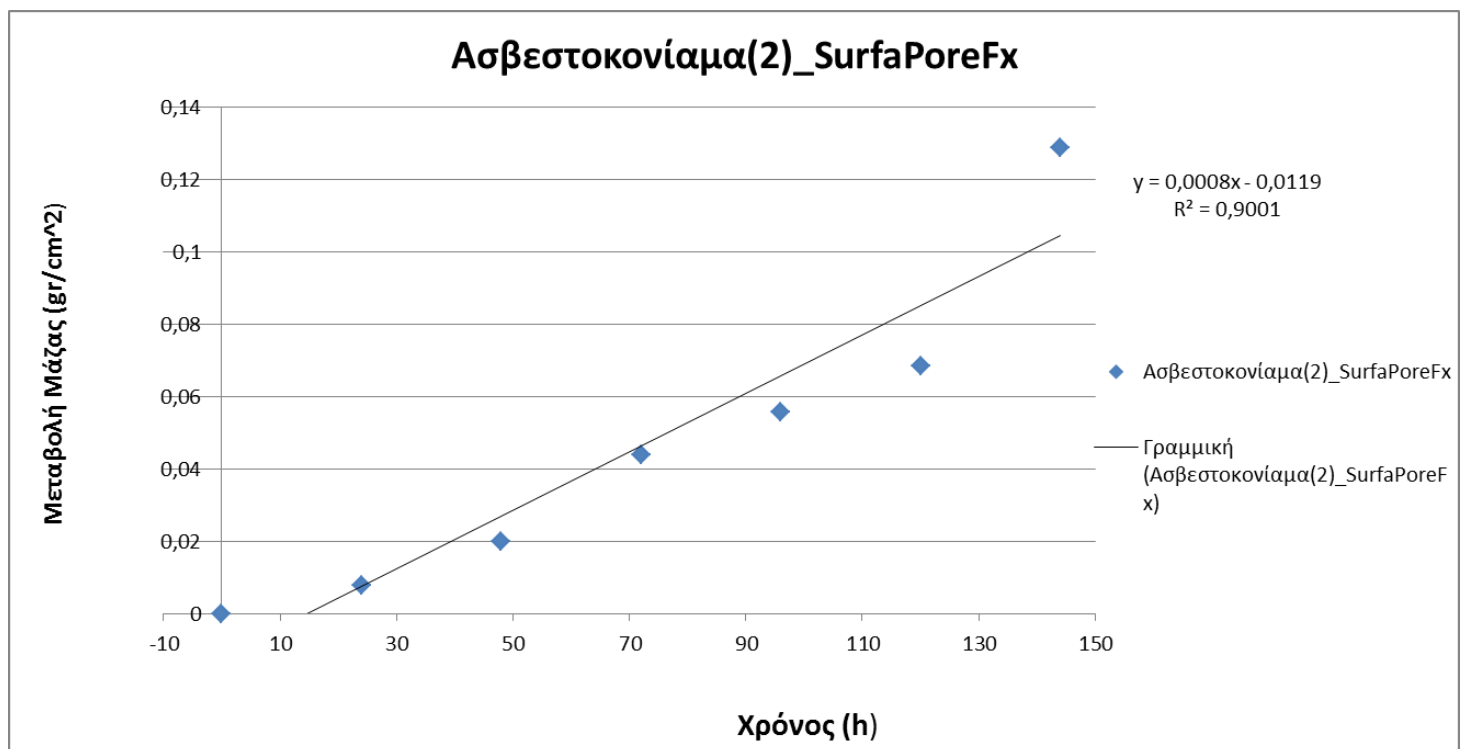
ΔΟΚΙΜΙΟ	Συντελεστής Διαπερατότητας
<b>Αλφάς(3)[untreated]</b>	0,0018
<b>Αλφάς(4)[untreated]</b>	0,0017



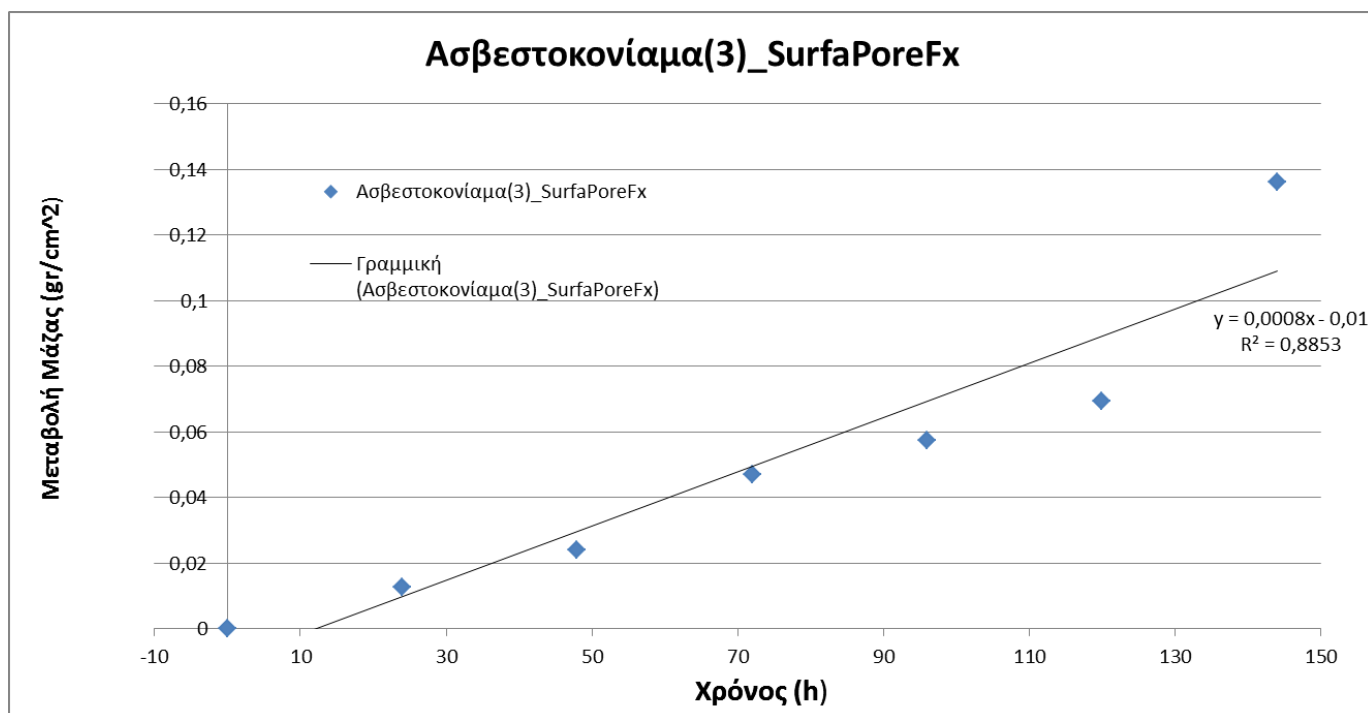
Στα Σχήματα 45-49 παρουσιάζονται οι μεταβολές της μάζας Ασβεστοκονιάματων σε σχέση με το χρόνο.



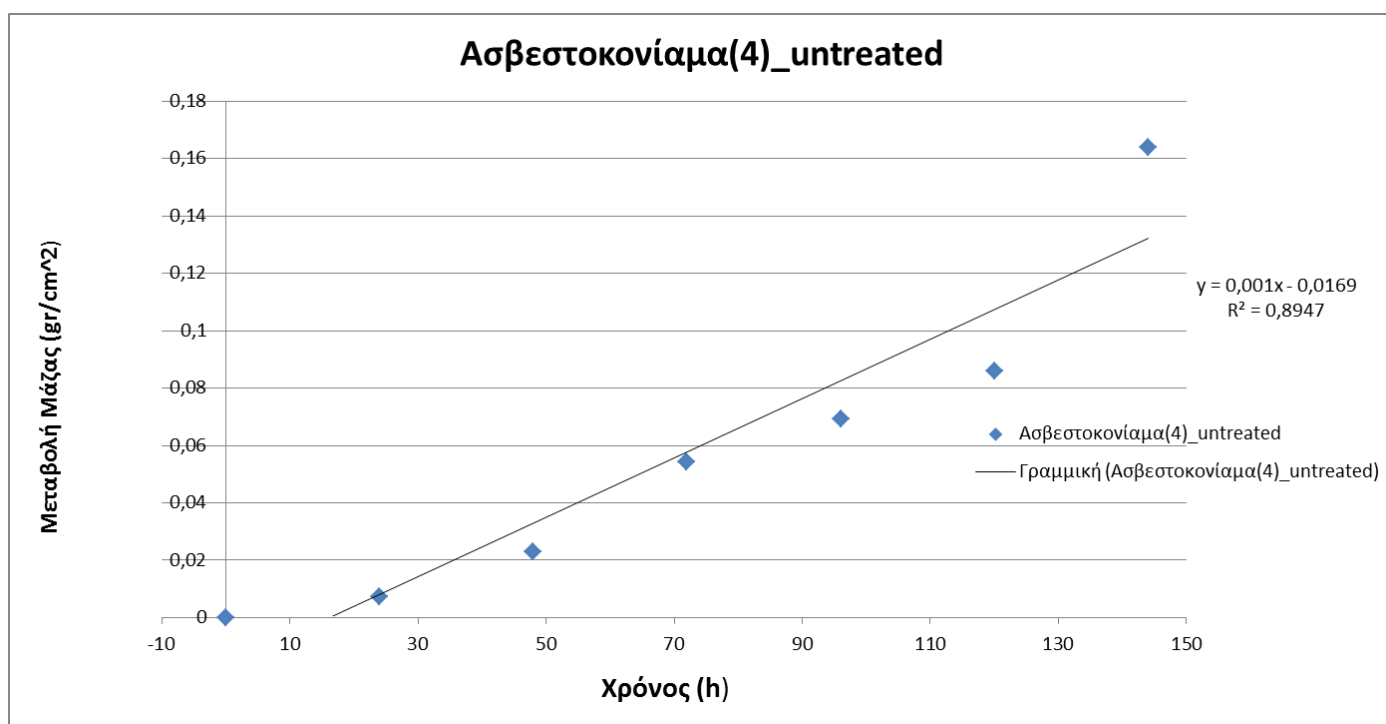
**Σχήμα 45:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(1) με Υδατικό SurfaPore Fx



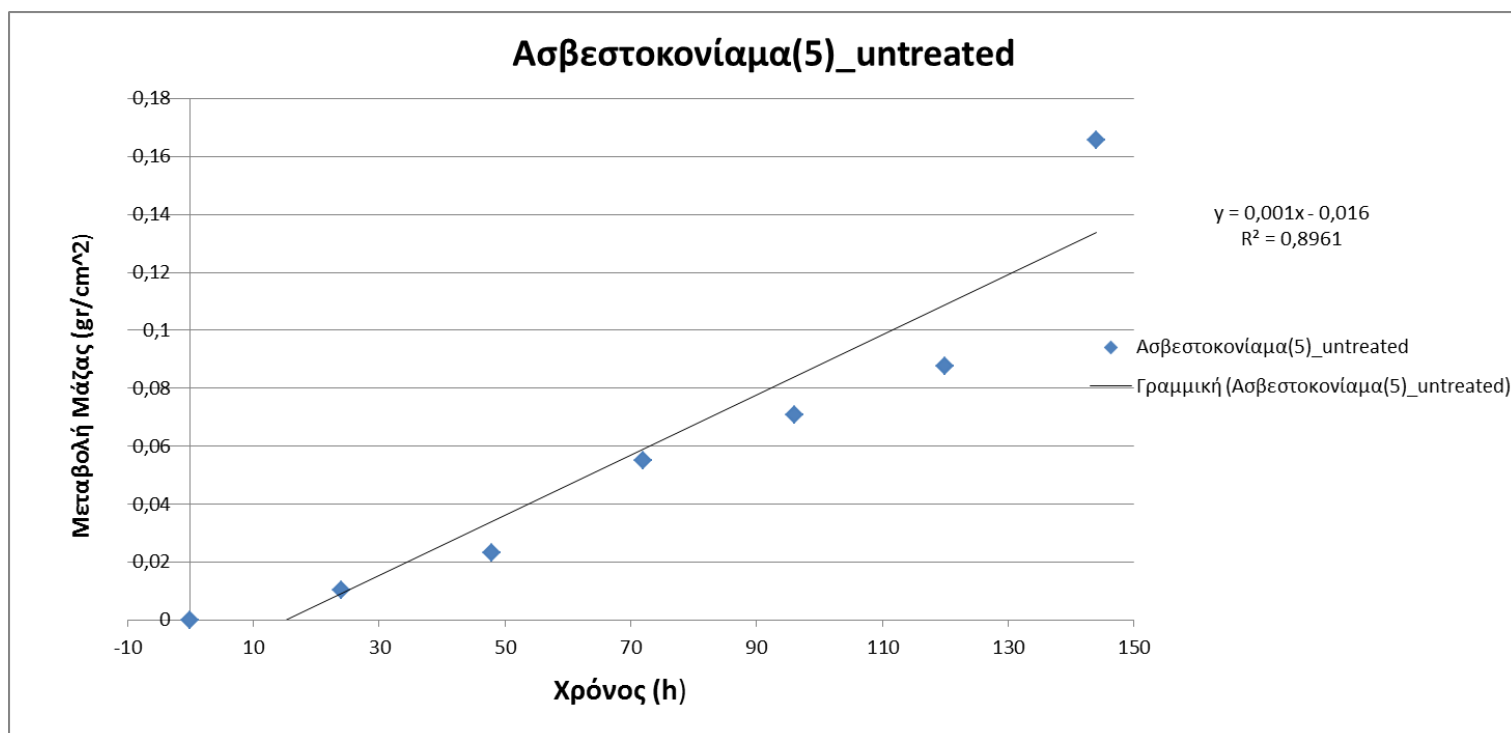
**Σχήμα 46:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(2) με Υδατικό SurfaPore Fx



Σχήμα 47: Διάγραμμα μεταβολής μάζας κατεργασμένου Ασβεστοκονιάματος(3) με Υδατικό SurfaPore Fx



Σχήμα 48: Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου Ασβεστοκονιάματος(4)



**Σχήμα 49:** Διάγραμμα μεταβολής μάζας ακατέργαστου Ασβεστοκονιάματος(5)

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζονται οι συντελεστές διαπερατότητας σε υδρατμούς όπως υπολογίστηκαν από την κλίση της ευθείας, για το κάθε κατεργασμένο με Υδατικό SurfaPore Fx ασβεστοκονίαμα, καθώς επίσης και η (%) μείωση διαπερατότητας για το κάθε ένα.

**Πίνακας 18:** Συντελεστής διαπερατότητας και (%) μείωση διαπερατότητας κατεργασμένων Ασβεστοκονιαμάτων με Υδατικό SurfaPore Fx

ΔΟΚΙΜΙΟ	Συντελεστής Διαπερατότητας	% Μείωση Διαπερατότητας
<b>Ασβεστοκονίαμα(1)[treated]</b>	0,00081	-22
<b>Ασβεστοκονίαμα(2)[treated]</b>	0,00081	-22
<b>Ασβεστοκονίαμα(3)[treated]</b>	0,00083	-20

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται οι συντελεστές διαπερατότητας σε υδρατμούς όπως υπολογίστηκαν από την κλίση της ευθείας, για το κάθε ακατέργαστο δοκίμιο Αλφά

**Πίνακας 19:** Συντελεστής διαπερατότητας ακατέργαστων ασβεστοκονιαμάτων

ΔΟΚΙΜΙΟ	Συντελεστής Διαπερατότητας
<b>Ασβεστοκονίαμα(4)[untreated]</b>	0,001
<b>Ασβεστοκονίαμα(5)[untreated]</b>	0,001

### 7.2.1 Συμπεράσματα Ελέγχου Διαπερατότητας σε Υδρατμούς

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρήθηκε ότι οι τιμές του συντελεστή διαπερατότητας για τα δοκίμια Αλφά κυμαίνονται από  $10 \cdot 10^{-4}$  έως  $18 \cdot 10^{-4}$ , ενώ στα Ασβεστοκονιάματα από  $8 \cdot 10^{-4}$  έως  $10 \cdot 10^{-4}$ . Οι διαφορές ανάμεσα στα δυο είδη δοκιμίων, πιθανότατα, οφείλονται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά της μικροδομής τους, όπως για παράδειγμα το πορώδες.

Παρατηρείται επίσης, μείωση της διαπερατότητας σε υδρατμούς στα κατεργασμένα δοκίμια με Υδατικό SurfaPore Fx, τόσο στα δοκίμια Αλφά όσο και στα Ασβεστοκονιάματα.. Πιο συγκεκριμένα, η διαπερατότητα στα κατεργασμένα δοκίμια Αλφά μειώθηκε μέχρι και 42%, ενώ στα κατεργασμένα Ασβεστοκονιάματα μειώθηκε μέχρι και 22%. Η διαφορά αυτή πιθανότατα οφείλεται λιγότερο στην ποσότητα του στερεωτικού νάνο-υλικού που εφαρμόστηκε στα δοκίμια, καθώς όπως φαίνεται και στους Πίνακες 17-18 τα δοκίμια Αλφά συγκράτησαν το 1.92% του στερεωτικού υλικού ενώ τα Ασβεστοκονιάματα το 1.30%, αλλά μάλλον συνδέεται με την διάμετρο των πόρων του Αλφά που είναι μικρότερη από την αντίστοιχη των κονιαμάτων.

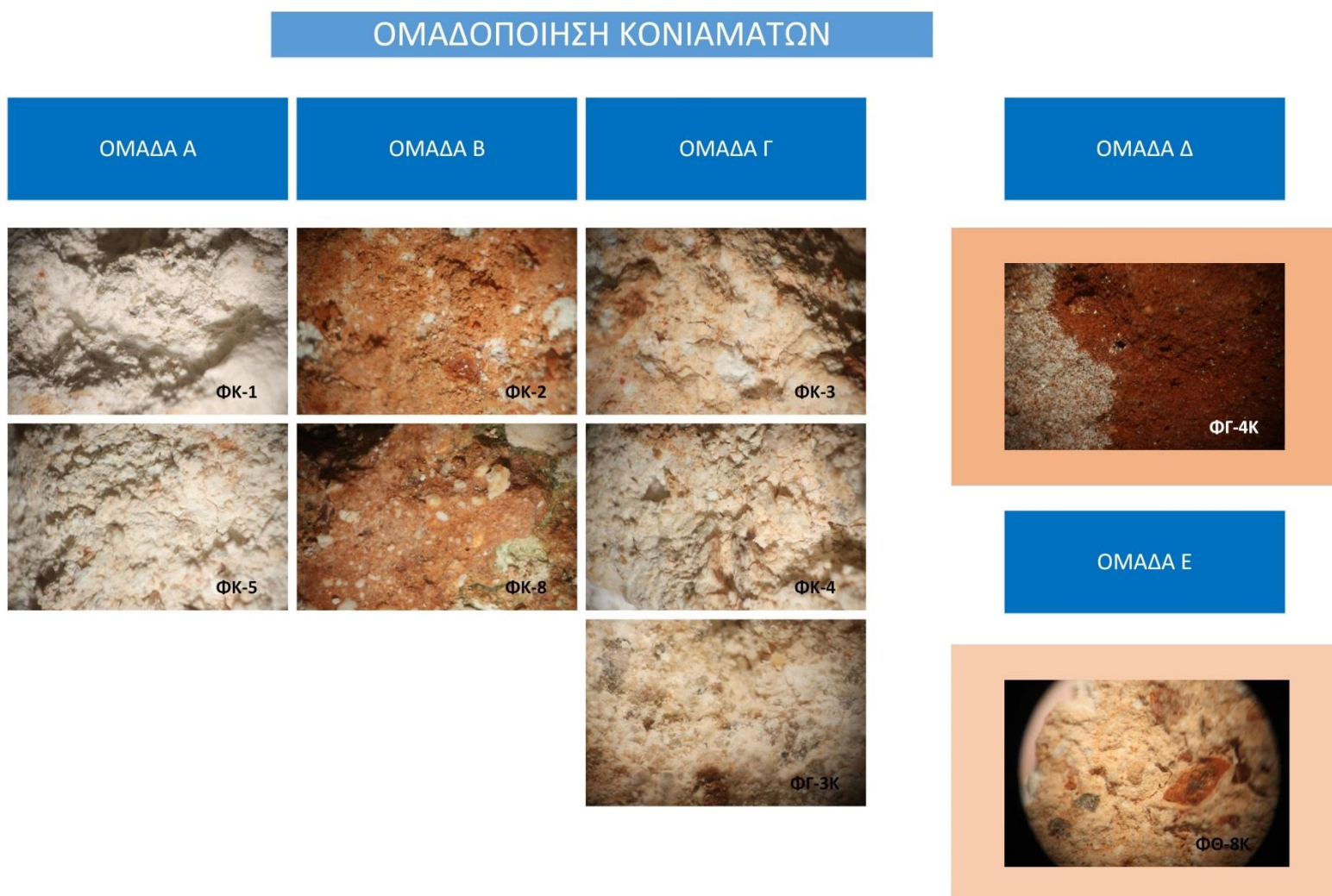
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ/ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 8.1 Ομαδοποίηση των Κονιαμάτων και Επιχρισμάτων

Με την βοήθεια των αναλύσεων που έγιναν στα δείγματα τα οποία συλλεχτήκαν από το Φρούριο Φιρκά και το Γενοβέζικο Πύργο πραγματοποιήθηκε και η ομαδοποίηση τους η οποία παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο.

Συνολικά, από το Φρούριο Φιρκά και το Γενοβέζικο Πύργο συλλέχτηκαν 9 κονιάματα, 7 επιχρίσματα και 2 λίθοι.

**Μακροσκοπικά** και με τη βοήθεια του οπτικού μικροσκοπίου τα κονιάματα ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με το χρώμα τους αλλά και την κατανομή των κόκκων τους όπως φαίνεται στο Σχήμα 50.



Σχήμα 50: Μακροσκοπική ομαδοποίηση κονιαμάτων

Η ομάδα (Δ) δημιουργήθηκε, όπως φαίνεται και στην εικόνα του δείγματος ΦΓ-4Κ του Σχήματος 49, διότι δεν μπορούσε να συγκριθεί με κανένα από τα υπόλοιπα δείγματα. Το συγκεκριμένο δείγμα έχει έντονο ερυθρό χρώμα και πιθανότατα να οφείλεται στη χρήση κεραμάλευρου ως κονία, κάτι το οποίο είναι χαρακτηριστικό των οθωμανικών κονιαμάτων.

Το δείγμα ΦΘ-8Κ θα μπορούσε να ενσωματωθεί στην Ομάδα (Β) ή στην Ομάδα (Γ) επιλέχθηκε όμως να κατηγοριοποιηθεί σε μια διαφορετική ομάδα (Ομάδα Ε) καθώς το χρώμα του και η κατανομή των αδρανών του είναι διαφορετικές από των υπόλοιπων ομάδων. Παρόλα αυτά βρίσκεται μεταξύ των ομάδων (Β) και (Γ).

Η Ομάδα (Α) αποτελείται από λευκού χρώματος κονιάματα, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 49. Το άσπρο χρώμα των συγκεκριμένων δειγμάτων, πιθανότατα, οφείλεται στη χρήση υδραυλικής άσβεστου κάτι το οποίο αποτελεί χαρακτηριστικό των ενετικών κονιαμάτων.

Η Ομάδα (Β) αποτελείται κυρίως από ερυθρού χρώματος κονιάματα, πιθανότατα αυτό οφείλεται στη χρήση κεραμικών για αδρανή ή κεραμάλευρου στην κονία, κάτι το οποίο όπως προαναφέρθηκε αποτελεί χαρακτηριστικό των οθωμανικών κονιαμάτων. Στο Σχήμα 51 παρατηρούμε ότι οι θέσεις δειγματοληψίας των δυο δειγμάτων δεν συμπίπτουν η μία με την άλλη έτσι πιθανότατα τα δύο αυτά δείγματα να προέρχονται από επισκευές που πραγματοποιήθηκαν στο Φρούριο Φιρκά από Οθωμανούς.



Σχήμα 51: Σημεία δειγματοληψίας της Ομάδας (Β)



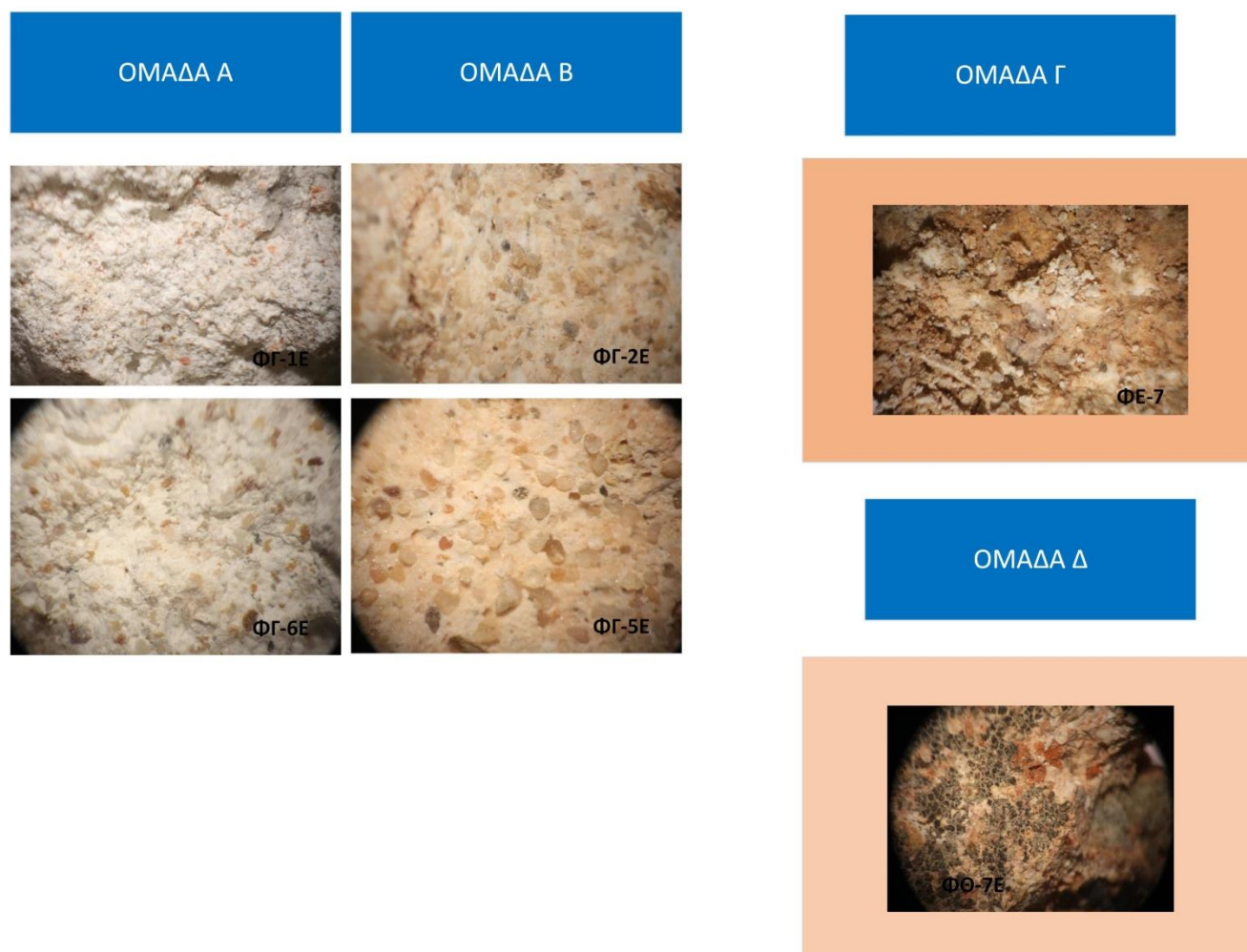
Η Ομάδα (Γ) των κονιαμάτων αποτελείται από τα δείγματα ΦΚ-3, ΦΚ-4 τα οποία συλλέχθηκαν από το Φρούριο Φιρκά, και το δείγμα ΦΓ-3Κ το οποίο συλλέχθηκε από το Γενοβέζικο πύργο. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 52 τα σημεία από τα οποία συλλέχθηκαν τα δυο πρώτα δείγματα δεν συμπίπτουν με το σημείο δειγματοληψίας του τρίτου, παρόλα αυτά και λόγω της ομοιότητας τους πιθανότατα το δείγμα ΦΓ-3Κ να αποτελεί δείγμα από επισκευή που πραγματοποιήθηκε στο Γενοβέζικο πύργο, καθώς ο πύργος βρισκόταν εκεί πριν τη δημιουργία του φρουρίου και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δικαιολογηθεί το ερυθρό χρώμα του δείγματος.



Σχήμα 52: Σημεία δειγματοληψίας της Ομάδας (Γ) των κονιαμάτων

Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η **μακροσκοπική ομαδοποίηση** που πραγματοποιήθηκε στα επιχρίσματα τα οποία συλλέχθηκαν από το Φρούριο Φιρκά και τον Γενοβέζικο Πύργο. Τα αποτελέσματα της ομαδοποίησης αυτής φαίνονται στο Σχήμα 53.

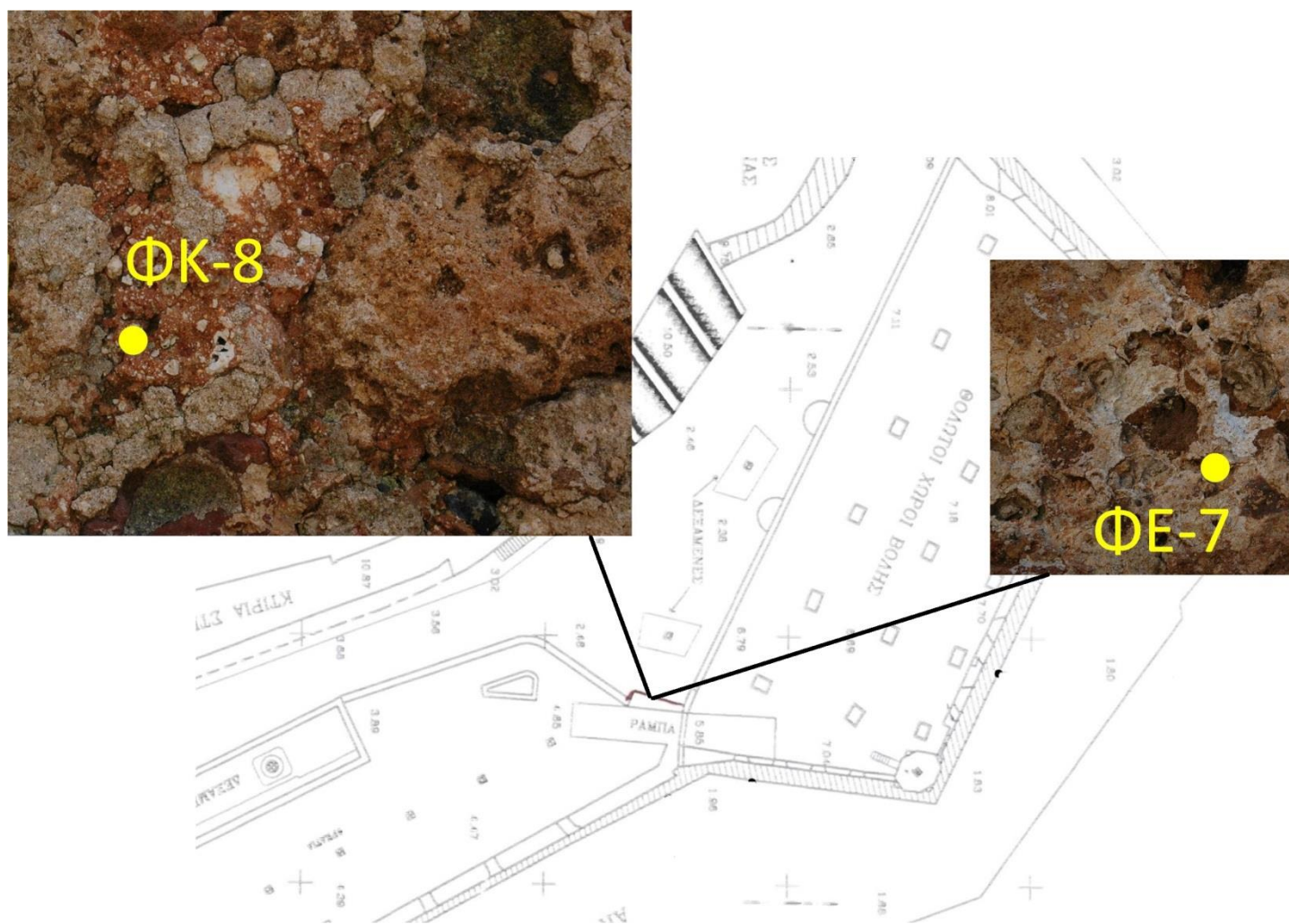
## ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ



**Σχήμα 53:** Μακροσκοπική ομαδοποίηση επιχρισμάτων

Η Ομάδα (Β) των επιχρισμάτων πιθανότατα να αποτελεί συνέχεια της Ομάδας (Γ) των κονιαμάτων καθώς όπως φαίνεται και στα Σχήματα 50 και 53 η κοκκομετρία καθώς και η απόχρωσή τους πλησιάζουν η μία την άλλη. Το ίδιο μπορεί να παρατηρηθεί και για τις Ομάδες (Α) των επιχρισμάτων και κονιαμάτων.

Επίσης, το δείγμα της Ομάδας (Γ) των επιχρισμάτων (ΦΕ-7) είναι πολύ πιθανό να αποτελεί συνέχεια του κονιάματος ΦΚ-8 της Ομάδας (Β) των κονιαμάτων και αυτό μπορούμε να το συμπεράνουμε όχι μόνο αν τα παρατηρήσουμε μακροσκοπικά, αλλά και από το γεγονός ότι συμπίπτουν τα σημεία δειγματοληψίας τους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 54.



Σχήμα 54: Σημεία δειγματοληψίας των δειγμάτων ΦΚ-8 και ΦΕ-7

Επίσης, πραγματοποιήθηκαν ομαδοποιήσεις σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης των δειγμάτων (XRD), της θερμικής ανάλυσης των δειγμάτων (TA) καθώς επίσης και με βάση τα φάσματα της μεθόδου FT-IR. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση και θερμική ανάλυση σε όλα τα δείγματα αλλά μόνο σε εκείνα που θεωρήθηκαν χαρακτηριστικά και φαίνονται στο Σχήμα 3, ενώ η ομαδοποίηση σύμφωνα με τα φάσματα που προέκυψαν από τη μέθοδο FT-IR πραγματοποιήθηκε στα περισσότερα δείγματα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της **ορυκτολογικής ανάλυσης**, η οποία πραγματοποιήθηκε στα δείγματα τα οποία θεωρήθηκαν ως τα πιο χαρακτηριστικά, παρατηρήθηκε η παρουσία ασβεστίτη και χαλαζία σε όλα τα δείγματα. Από εκεί και πέρα οι ομάδες που προέκυψαν είναι οι ακόλουθες:

#### ΟΜΑΔΑ Α(1)

- ΦΚ-1, ΦΚ-2, τα οποία πέρα από ασβεστίτη και χαλαζία περιέχουν και γύψο. Ενώ οι διαφορές τους είναι ότι το ΦΚ-1 περιέχει και ιλλίτη ενώ στο ΦΚ-2 εμπεριέχεται και χλωρίτης.



#### ΟΜΑΔΑ Β(1)

- ΦΓ-2Ε, ΦΓ-6Ε, τα οποία πέρα από ασβεστίτη και χαλαζία όπως προαναφέρθηκε περιέχουν και αραγωνίτη καθώς και αλβίτη.

#### ΟΜΑΔΑ Γ(1)

- ΦΓ-4Κ, το οποίο είχε και χλωρίτη

#### ΟΜΑΔΑ Δ(1)

- ΦΚ-4, το οποίο είχε και χλωρίτη καθώς και αλβίτη.

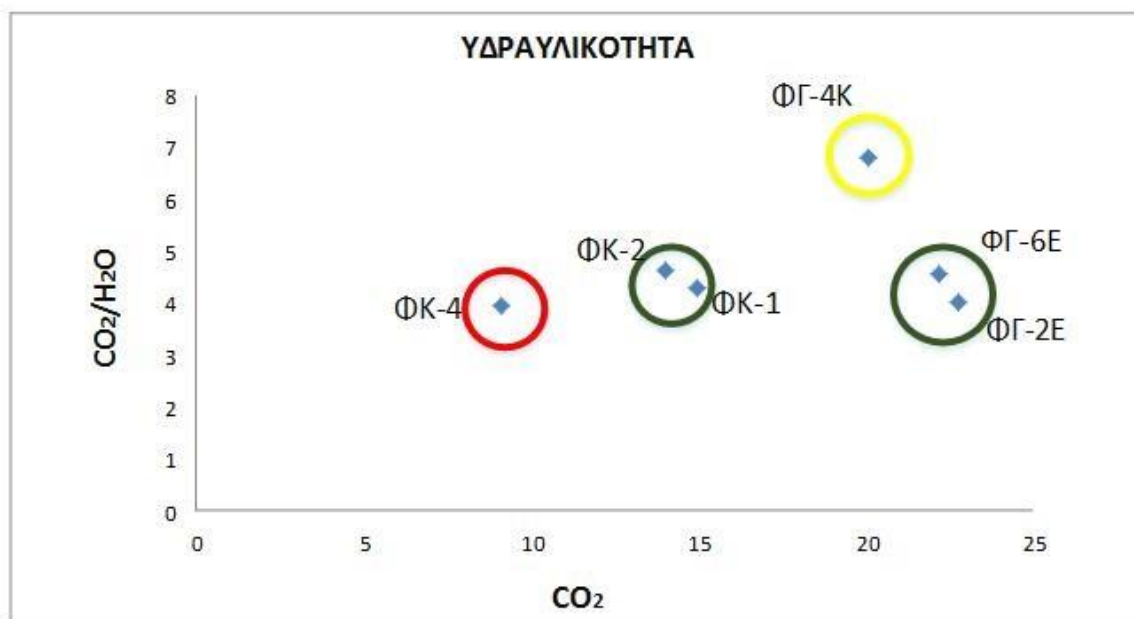
Στη συνέχεια, και με βάση τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη **θερμική ανάλυση** τα δείγματα που αναλύθηκαν μπορούν να ομαδοποιηθούν με βάση την υδραυλικότητά τους. Από το Σχήμα 55 οι ομάδες που προέκυψαν είναι οι εξής:

#### ΟΜΑΔΑ Α(2)

- **μετρίως υδραυλικά** ( $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} < 10$ ), όπου στη συγκεκριμένη ομάδα ανήκει μόνο το ΦΓ-4Κ.

#### ΟΜΑΔΑ Β(2)

- **υδραυλικά** ( $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O} < 5$ ), όπου στη συγκεκριμένη ομάδα ανήκουν όλα τα υπόλοιπα δείγματα. Πιο συγκεκριμένα τα δείγματα, ΦΚ-1, ΦΚ-2, ΦΚ-4, ΦΓ-2Ε και ΦΓ-6Ε. Τα δείγματα αυτά χωρίστηκαν σε δύο υποκατηγορίες, την κατηγορία Β(2i) στην οποία ανήκει το δείγμα ΦΚ-4 με δείκτη 3.95, το οποίο είναι και το πλέον υδραυλικό, και τέλος την κατηγορία Β(2ii) στην οποία ανήκουν τα υπόλοιπα δείγματα με δείκτες από 4.03 έως 4.67.



Σχήμα 55: Διάγραμμα υδραυλικότητας δειγμάτων και ομαδοποίηση τους με βάση αυτή

Ο τρόπος που ομαδοποιήθηκαν τα δείγματα με βάση την υδραυλικότητά τους μπορεί να δικαιολογηθεί από την ομαδοποίηση που έγινε με βάση την ορυκτολογική τους σύσταση όπως φαίνεται στο Σχήμα 56.

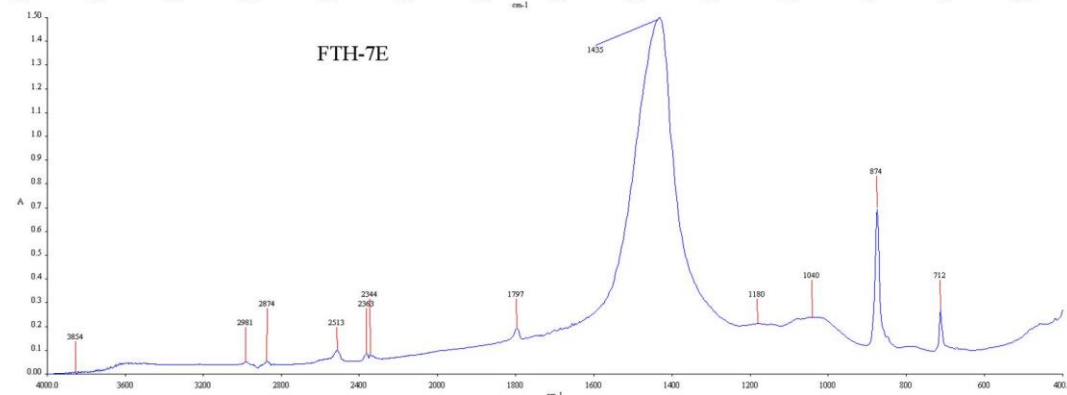
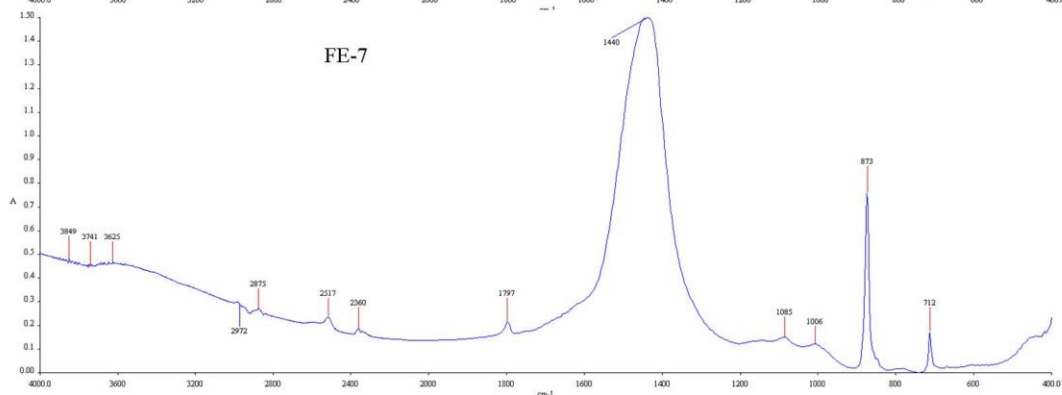
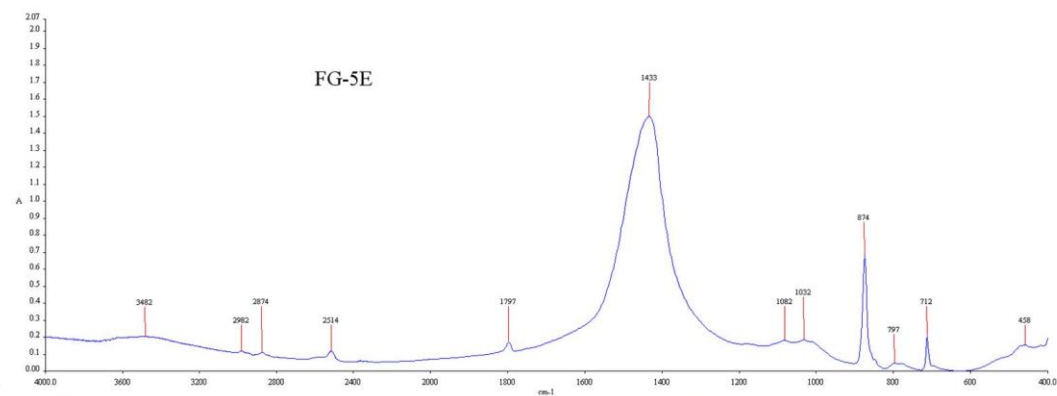
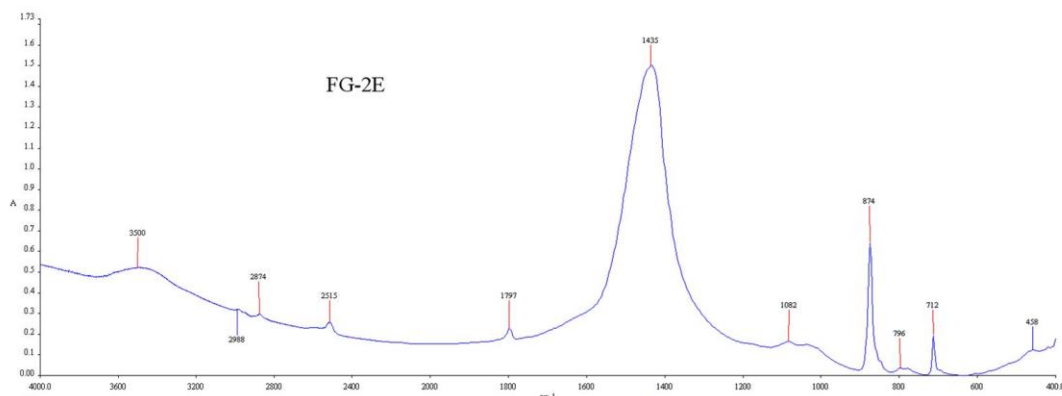
	Κονίαμα/Επιχρίσμα	Ορυκτολογική σύσταση
Υδραυλικά →	ΦΚ1	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψο, Ιλλίτης
	ΦΚ2	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψος, Χλωρίτης
Υδραυλικό →	ΦΚ4	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Γύψος, Αλβίτης, Χλωρίτης
Υδραυλικό →	ΦΓ2Ε	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Αραγωνίτης, Αλβίτης
Μετρίως Υδραυλικό →	ΦΓ4Κ	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Χλωρίτης
Υδραυλικό →	ΦΓ6Ε	Ασβεστίτης, Χαλαζίας, Αραγωνίτης, Αλβίτης

**Σχήμα 56:** Ομαδοποίηση δειγμάτων με βάση την ορυκτολογική σύσταση και την υδραυλικότητα

Τέλος, από την **ανάλυση FT-IR** που πραγματοποιήθηκε στα περισσότερα δείγματα που συλλέχτηκαν από του Φρούριο Φιρκά και το Γενοβέζικο Πύργο προέκυψαν οι ομάδες που παρουσιάζονται στα Σχήματα 56-61 με παρόμοια φάσματα μεταξύ των δειγμάτων.

Αρχικά στα Σχήματα 57-58 παρουσιάζονται οι Ομάδες των επιχρισμάτων.

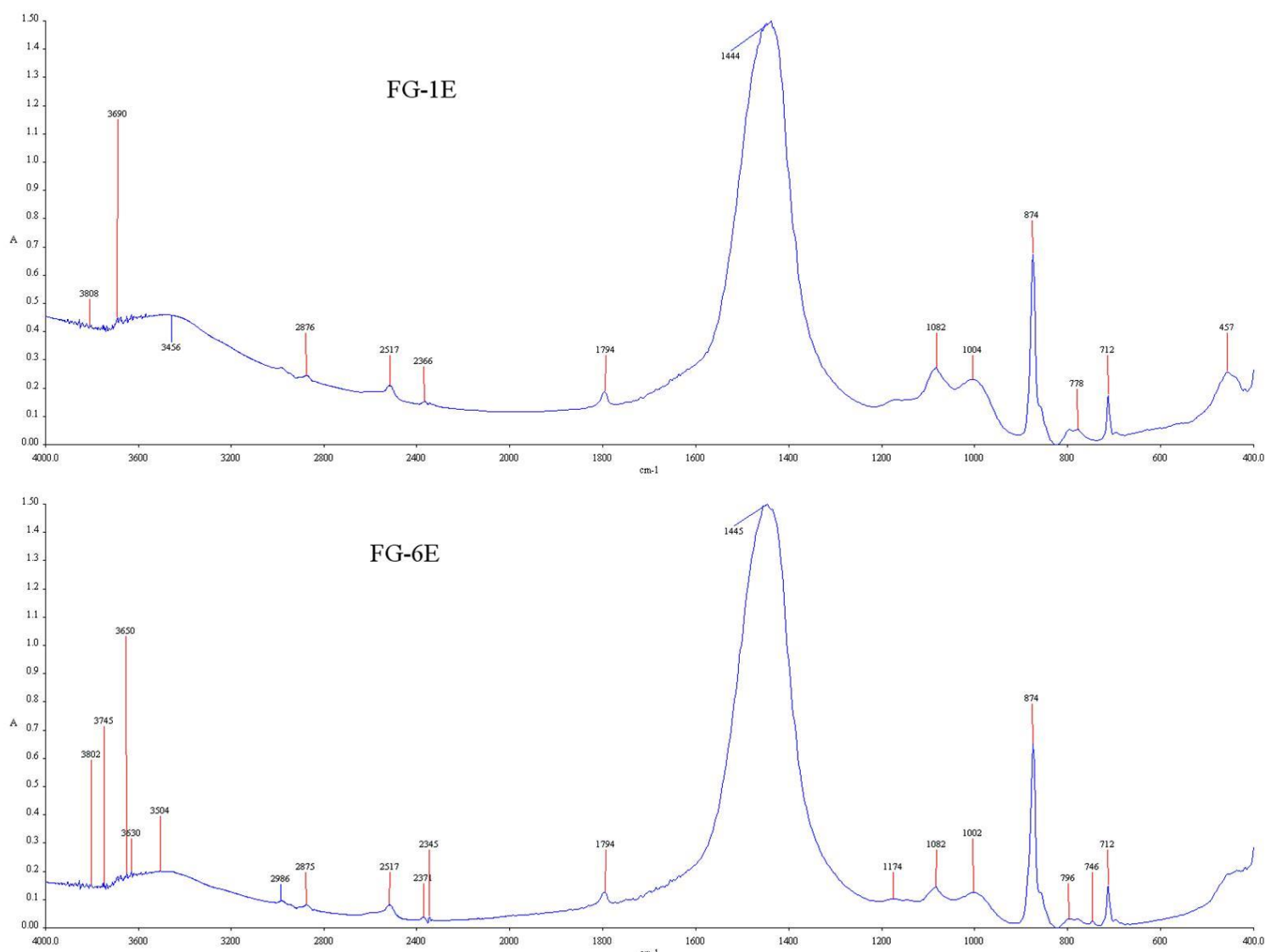
## ΟΜΑΔΑ Α (ΦΑΣΜΑΤΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ)



Σχήμα 57: Φάσματα υπέρυθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Α) των επιχρισμάτων



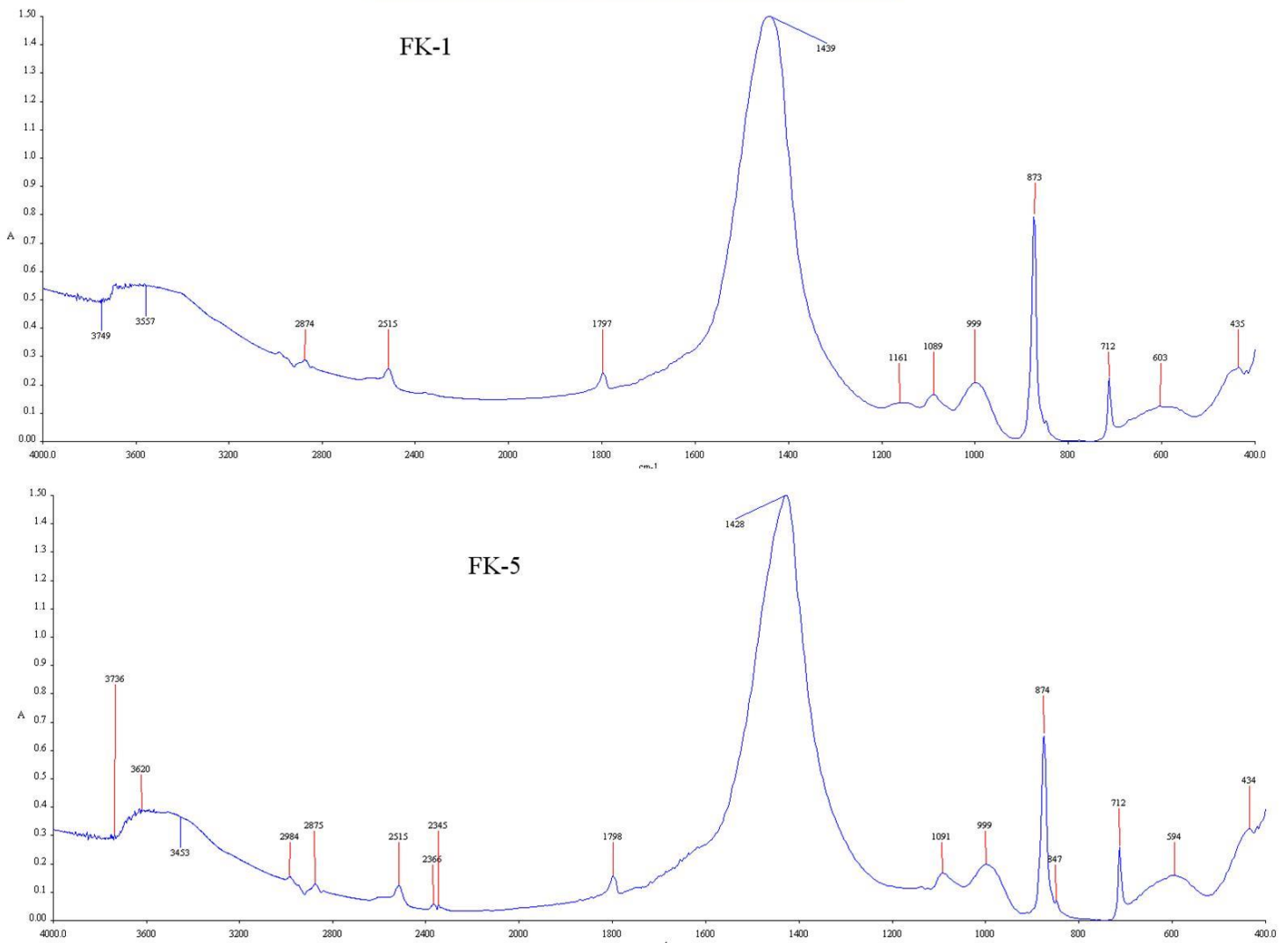
## ΟΜΑΔΑ Β (ΦΑΣΜΑΤΑ ΕΠΙΧΡΙΣΜΑΤΩΝ)



**Σχήμα 58:** Φάσματα υπέρυθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (B) των επιχρισμάτων

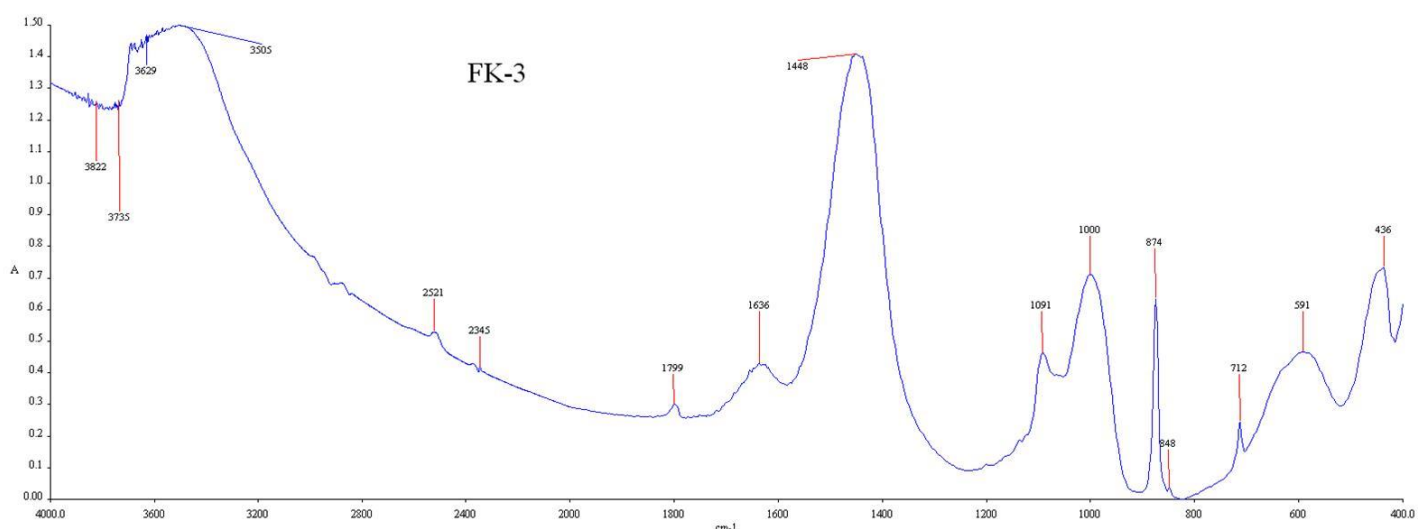
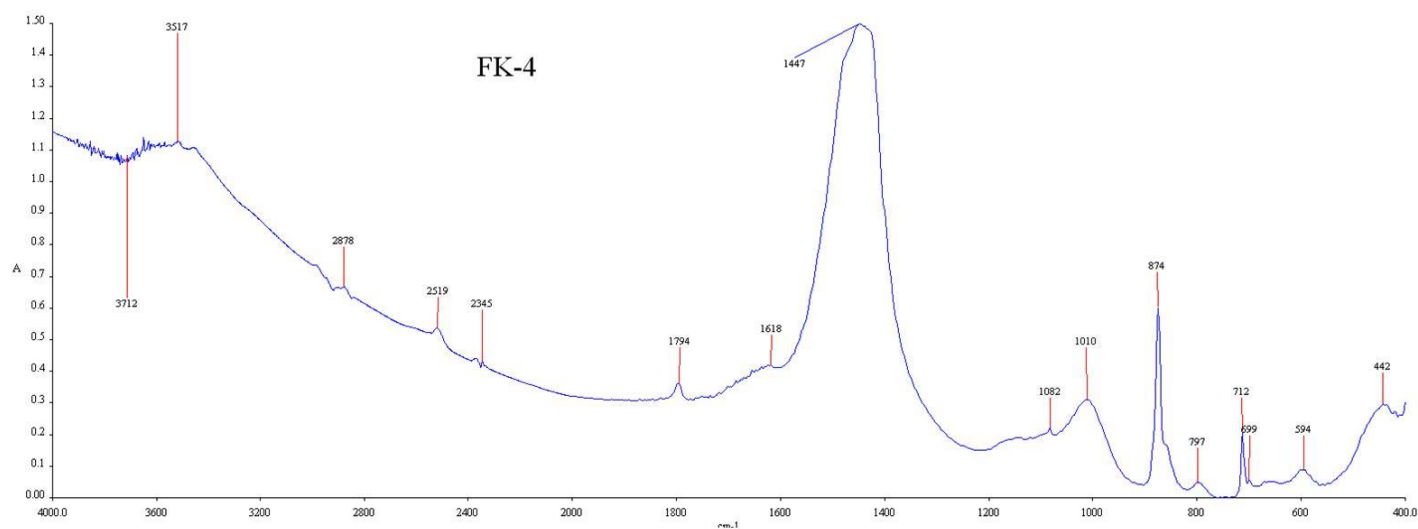
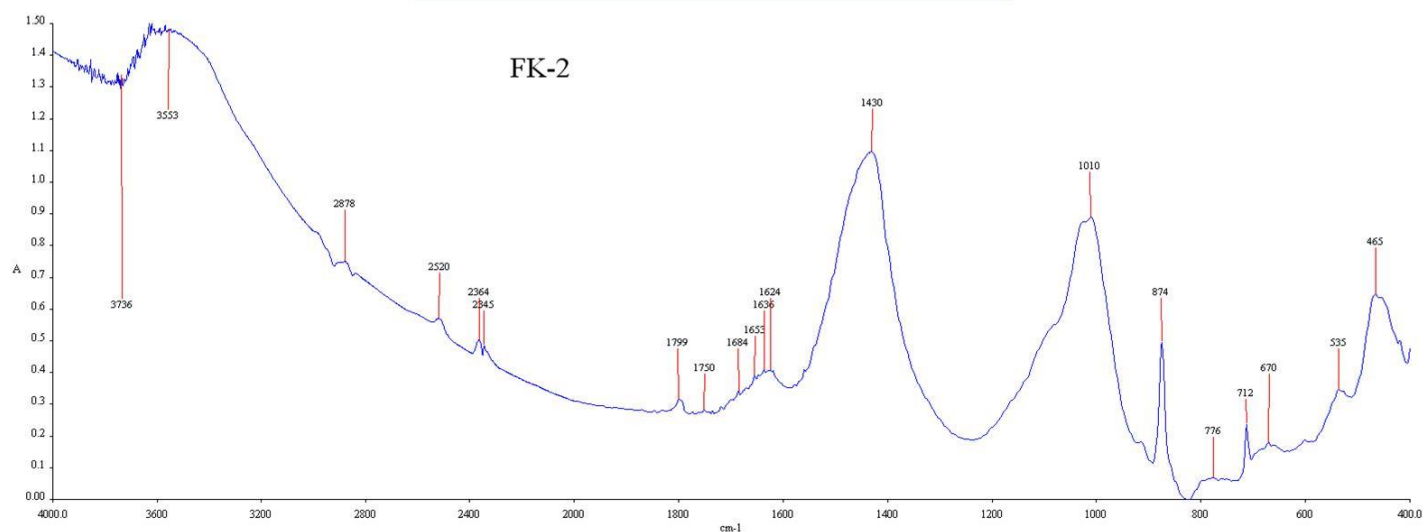
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ομάδες που δημιουργήθηκαν σύμφωνα με τα φάσματα που πήραμε από τα δείγματα κονιαμάτων του Φρουρίου Φιρκά και του Γενοβέζικου Πύργου (Σχήματα 59-62).

## ΟΜΑΔΑ Α (ΦΑΣΜΑΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ)



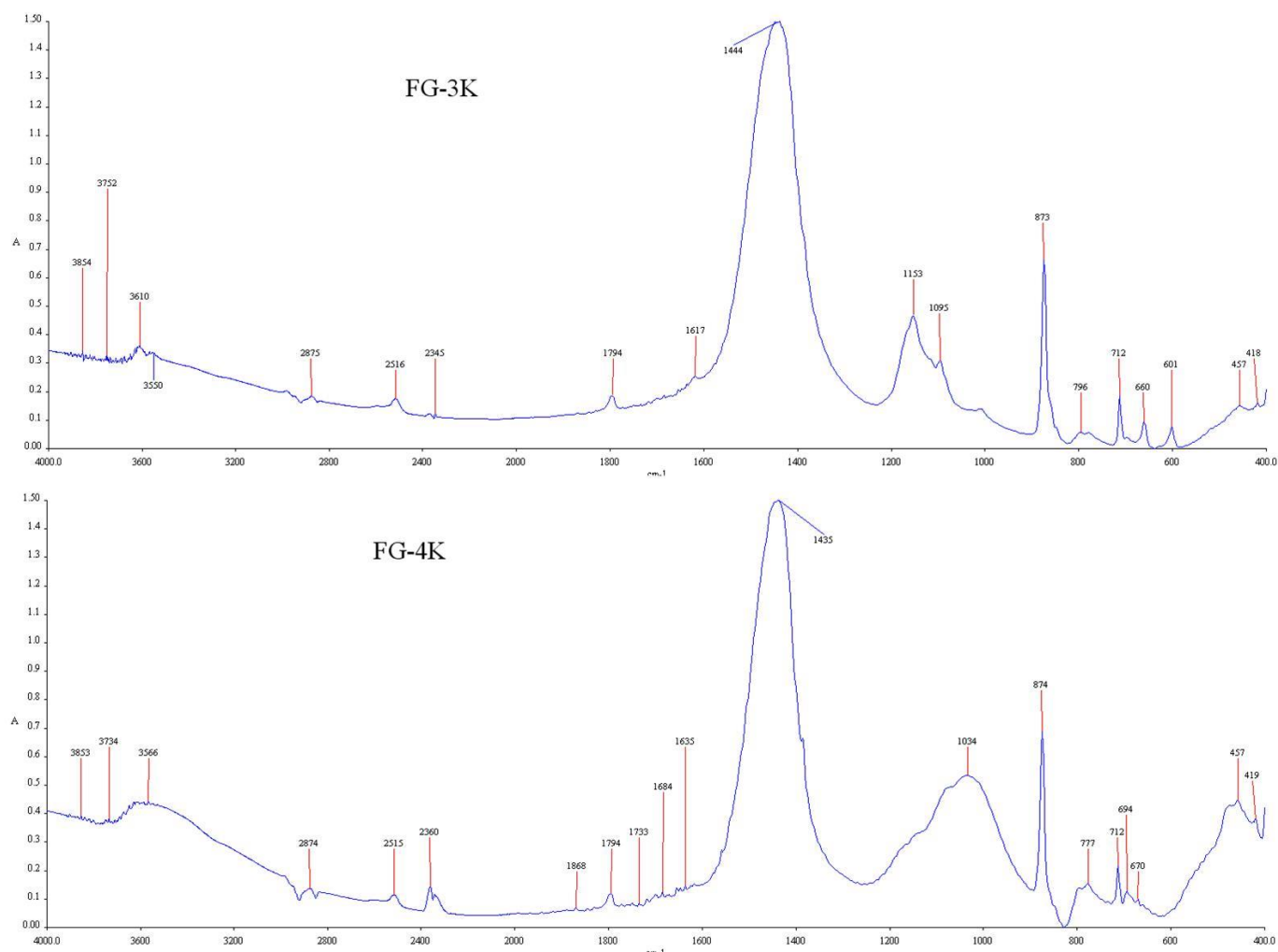
**Σχήμα 59:** Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Α) των κονιαμάτων

## ΟΜΑΔΑ Β (ΦΑΣΜΑΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ)



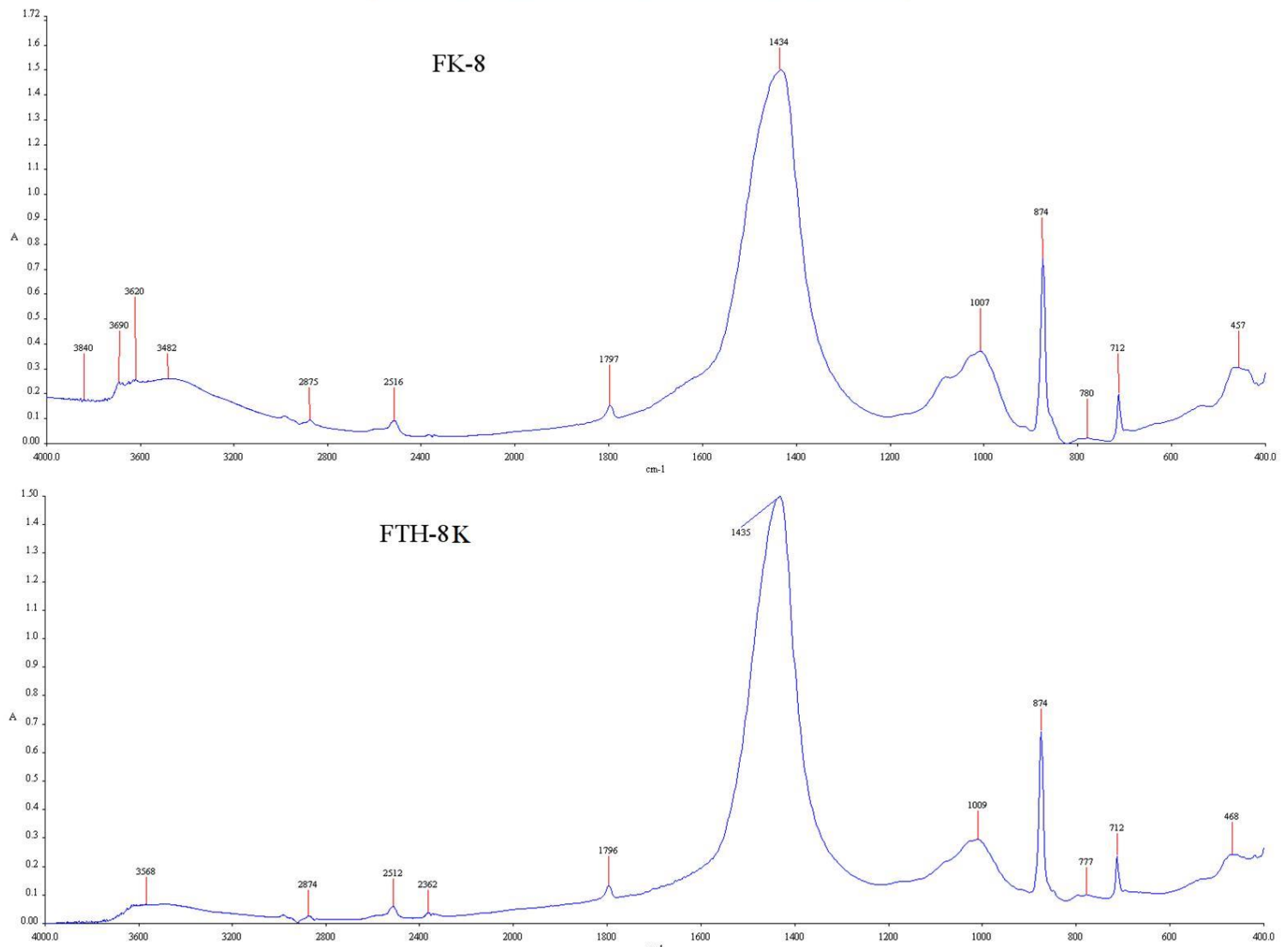
**Σχήμα 60:** Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (B) των κονιαμάτων

ΟΜΑΔΑ Γ  
(ΦΑΣΜΑΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ)



Σχήμα 61: Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Γ) των κονιαμάτων

## ΟΜΑΔΑ Δ (ΦΑΣΜΑΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ)



Σχήμα 62: Φάσματα υπερύθρων φασματοσκοπικών αναλύσεων της Ομάδας (Δ) των κονιαμάτων

## 8.2 Συμπεράσματα

Είναι γενικά γνωστό και αποδεκτό ότι η χρήση ασύμβατων υλικών δημιουργεί επιπρόσθετες φθορές στα μνημεία αντί να επιλύουν τα αρχικά προβλήματα. Οι αναλύσεις κονιαμάτων στοχεύουν στην αναγνώριση των υπαρχόντων υλικών και πρώτων υλών, προκειμένου να προταθούν συμβατά υλικά στις εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης του Τείχους του Φρουρίου Φιρκά και του Γενοβέζικου Πύργου. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης των κονιαμάτων έδειξαν ότι πρόκειται για μίγματα ασβεστιτικών και αργιλοπυριτικών συστατικών. Η περιεκτικότητα των ασβεστιτικών συστατικών, η οποία οφείλεται τόσο στα ασβεστολιθικά αδρανή όσο και στην ασβεστιτική κονία, είναι υψηλή. Σημαντική είναι επίσης και η ποσότητα του χαλαζία σε όλα τα δείγματα.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των φυσικοχημικών, ορυκτολογικών και μηχανικών αναλύσεων συντέθηκαν αρχικά στο εργαστήριο επισκευαστικά κονιάματα με συμβατές πρώτες ύλες με τα παλαιά κονιάματα. Τα κονιάματα τα οποία συντέθηκαν στο εργαστήριο εξετάστηκαν ως προς τις μηχανικές τους αντοχές. Επιπρόσθετα, στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν και συνθέσεις στις οποίες προστέθηκε κεραμάλευρο κατάλληλης κοκκομετρίας ώστε να επιτευχθεί ο χρωματισμός των κονιαμάτων και να υπάρξει χρωματική εναρμόνιση των λίθων του μνημείου και του νέου αρμολογήματος.

Στη συνέχεια και με βάση τα αποτελέσματα πραγματοποιήθηκαν 2 συνθέσεις και εφαρμογές (5/5/2015 και 18/5/2015) στο χώρο του μνημείου.

Τέλος, και με σκοπό την συντήρηση όχι μόνο των νεότερων επεμβάσεων αλλά και των ήδη υπαρχόντων μνημείων πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος αντοχής σε άλατα θεικού νατρίου σε Ασβεστοκονιάματα αλλά και σε δοκίμια Αλφά, καθώς επίσης και ο έλεγχος διαπερατότητας σε υδρατμούς των ίδιων δομικών υλικών με εφαρμογές νάνο-υλικών που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, όσων αφορά των έλεγχο αντοχής σε άλατα με την εφαρμογή υδατικού SurfaPore Fx και αλκοολούχου SurfaPore Fx (SiOx), γίνεται αντιληπτή η προστατευτική δράση που έχουν τα συγκεκριμένα νάνο-υλικά όταν εφαρμοστούν πάνω σε δομικά υλικά, όπως είναι τα δοκίμια Αλφά και τα Ασβεστοκονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη πειραματική διαδικασία. Πιο αποτελεσματικό παρόλα αυτά αποδείχθηκε να είναι το υδατικό SurfaPore Fx όταν εφαρμοστεί σε δοκίμια Αλφά. Με σκοπό να προσδιοριστεί η διαπερατότητα των κατεργασμένων αυτών δομικών υλικών με υδατικό SurfaPore Fx πραγματοποιήθηκε και έλεγχος διαπερατότητας σε υδρατμούς. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου αυτού καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι κυρίως στα δοκίμια Αλφά έπρεπε να εφαρμοστεί ακόμη πιο μικρή ποσότητα από το υδατικό SurfaPore Fx με στόχο να αυξηθεί η περατότητα του συγκεκριμένου δομικού υλικού.



## *BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ*

- [1] Μ. Ανδριανάκης, ‘Η Παλιά Πόλη των Χανίων’, ΑΔΑΜ
- [2] Γ. Χρηστάκης, Ιστορικά οχρωματικά Μνημεία της Κρήτης (330πΧ-1898), Ηράκλειο: Κρητικά Γράμματα, 2004
- [3] Γ. Τσιβής, ΧΑΝΙΑ 1252-1940, Αθήνα: Γνώση, 1993
- [4] Α. Moropoulou, Α. Bakolas, S. Anagnostopoulou, ‘Composite Materials in Ancient Structures’, Cement and Concrete Composites, 27 (2005)
- [5] Vasiliki Pachta, Maria Stefanidou, Stavroula Konopisi, Ioanna Papayianni, ‘Technological Evolution of Historic Structural Mortars, Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA
- [6] Jan Elsen, Ozlem Cizer, Ruben Snellings, ‘Highlights and Breakthroughs Lessons from a lost technology: The secrets of Roman concrete’, American Mineralogist, Volume 98, pages 1917-1918, 2013
- [7] Ioanna Papayianni, Vasiliki Pachta, Maria Stefanidou, ‘Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the 106 archaeological site of Dion’, Construction and Building Materials, 40 (2013) 84- 92
- [8] Σοφία Ηλ. Αναγνωστοπούλου, ‘Μεθοδολογία Αποτίμησης του Ρόλου των Αδρανών για τον Επιτελεστικό Σχεδιασμό Κονιαμάτων Αποκατάστασης’, Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2012
- [9] Ν.Λίτινας, ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008
- [10] Νόνη Μαραβελάκη, ‘Φθορά και Συντήρηση Δομικών Υλικών Μνημείων & Αρχιτεκτονικών Επιφανειών’, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2012
- [11] Ευστράτιος Λιονάκης, ‘Μελέτη Σύνθεσης Κονιαμάτων με Νανο-Υλικά και Ιπτάμενη Τέφρα’, Διπλωματική Διατριβή Μεταπτυχιακού Διπλώματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2011
- [12] Βιαζής Γ., (2001), «Τεχνολογία των δομικών υλικών». Αθήνα
- [13] Μωχάμεντ Μ., (1996), «Παρασκευή νέων κονιαμάτων με παραδοσιακά υλικά για εφαρμογές συντήρησης ενετικών μνημείων-Μελέτη της συμβατότητας των δομικών λίθων, της αντοχής και της θαλάσσιας διάβρωσής τους», Μεταπτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά

- [14] Frey H., Herrmann A., Kuhn V., Lillich J., Nestle H., Nutsch W., Schulz P., Waibel H., Werner H., (1996), «Τεχνολογία δομικών υλικών», Επιμέλεια έκδοσης στα ελληνικά Μηλιωρίτσας E.Germany
- [15] Ράκα Σ., (2002), «Μελέτη παλαιών και νέων κονιαμάτων του Ιερού Ναού Αγίου Πέτρου Δομηνικανών Ηρακλείου και εκτίμηση της ανθεκτικότητας τους σε θαλάσσια διάβρωση με τη βοήθεια συστήματος αλατονέφωσης», Διπλωματική εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
- [16] Price, C. (1996), Stone Conservation, An Overview of Current Research. The Getty Conservation Institute, U.S.A
- [17] Gamuffo D., (1995), Science of the Total Environment
- [18] Amoroso, G., Fassina, V. (1983), Stone Decay and Conservation Materials Science Monographs 11, Elsevier Science, Amsterdam
- [19] Brimblecombe, P. (1991), History of Air Pollution and Deterioration of Heritage. In Weathering and Air Pollution
- [20] Everett D., (1961), The Thermodynamics of Frost Damage to Porous Solids. Transactions of the Faraday Society
- [21] Snethlage R., Wendler E. (1991), Surfactants and Adherent Silicon Resins. New Protective Agents for Natural Stone. In materials Issues in Art and Archaeology
- [22] Rossi-Manaresi R., Tucci A (1991), Pore Structure and the Disruptive or Cementing Effect of Salt Crystallization in Various Types of Stone. Studies in Conservation
- [23] Charola A., (2004), Stone Deterioration in Historic Building and Monuments, 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm, Sweden
- [24] Eric Doehne, "Salt Weathering: A Selective Review", The Getty Conservation Institute, Los Angeles, CA, U.S.A
- [25] Krumbein W, Urtzi, C., Diakumaku, S., Petersen, K., Warscheid, T, (1993), Interactions of Microbes with Consolidants and Biocides used in the Conservation of Rocks and Mural Paintings. In Conservation of Stone and Other Materials
- [26] Θ. Ν. Σκουλικίδης, «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων», Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2000
- [27] M.R. Escalante, R.J. Flatt, G.W. Scherer, D. Tsiourva and A. Moropoulou, "Particle - modified consolidants", 5th International Symposium on the Conservation of monuments in the Mediterranean Basin, Seville, Spain, 2000, pp. 425-429

- [28] G. Wheeler, "Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone", Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2005
- [29] A.P. Ferreira Pinto, J. Delgado Rodrigues, "Stone consolidation: The role of treatment procedures", *Journal of Cultural Heritage* 9 (2008) 38-53
- [30] E.M. Winkler, "Stone in architecture - Properties, durability", Springer, New York, 1997
- [31] K.L. Gauri, J.K. Bandyopadhyay, "Carbonate stone: Chemical behavior, durability and conservation", Wiley Interscience, New York, 1999.
- [32] G.W. Scherer, G.S. Wheeler, "Silicate Consolidants for Stone", *Key Engineering Materials* 391 (2009) 1-25
- [33] L. Lazzarini, M.L. Tabasso, "Il Restauro della pietra", CEDAM, Padova, 1986
- [34] A.R. Warnes, "Building Stones: Their Properties, Decay, and Preservation", Ernest Benn Ltd., London, 1926
- [35] A.P. Laurie, C. Ranken, "The Preservation of Decaying Stone", *Journal of the Society of the Chemical Industry* 37 (1918) 137T-147T
- [36] A. Moropoulou, Th. Tsiourva, G. Biscontin, A. Bakolas, P. Michailidis, E. Zendri, "Evaluation of consolidation treatments of porous stones - Application on the Medieval City of Rhodes", 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Conference Proceedings, edited by A. Moropoulou, F. Fezza, E. Kollias and I. Papachristodoulou, Technical Chamber of Greece, Rhodes, Vol. 3, 1997, pp. 239-256
- [37] A. Moropoulou, P. Theoulakis, Th. Tsiourva, G. Haralampopoulos, "Compatibility evaluation of consolidation treatments in monuments scale", PACT, Journal European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology 59 (2000) 209-230
- [38] P. Baglioni, R. Giorgi, "Soft and hard nanomaterials for restoration and conservation", *Journal of cultural heritage, The Royal Society of Chemistry* 2 (2006)
- [39] D. Chelazzi, G. Poggi, Y. Jaidar, N. Toccafondi, R. Giorgi, P. Baglioni, "Hydroxide nanoparticles for cultural heritage: consolidation and protection of wall paintings and carbonate materials", *Journal of Colloid and Interface Science* 392 (2012)
- [40] <http://nanophos.com/gre/proion/surfapore/surfapore-fx-detail>
- [41] Αναστασία Βεργανελάκη , «Βιο-μιμητικά, βιο-διασπώμενα νανο-σύνθετα και μη τοξικά προϊόντα για βελτιωτικές επεμβάσεις σε δομικά υλικά», «Το Πολυτεχνείο Κρήτης ερευνά» - Ημέρες γνωριμίας με την Έρευνα στο Πολυτεχνείο Κρήτης

- [42] Θ. Χατζηιωάννου και Μ. Κουμπάρης, "Ενόργανη Ανάλυση." Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 1990
- [43] A.Skoog, F. Holler and T. Nieman, "Αρχές Ενόργανης Ανάλυσης" Απόδοση στα Ελληνικά Καραγιάννης Μ.Ι., Ευσταθίου Κ.Η, Χανιωτάκης Ν., Εκδόσεις Κωσταράκη, Αθήνα, 2002
- [44] B. Stuart, "Infrared SpectroscopyQ Fundamentals and Applications" West Sussex: John Wiley & Sons, 2004
- [45] M. Brown, "Introduction to Thermal Analysis Techniques and Applications" Kluwer Academic Publishers, 2001
- [46] Περικλής Ακρίβος, ‘‘Φυσικές Μέθοδοι στην Ανόργανη Χημεία-Θερμική Ανάλυση’’. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- [47] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Galanos, I. Doganis, N. Kallithrakas-Kontos, "Physico-chemical characterization of mortars as a tool in studying specific hydraulic components: application to the study of ancient Naxos aqueduct", Applied Physics A: Materials Science & Processing, Volume 104, Issue 1, 2011, pp. 335-348.
- [48] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, A. Moropoulou, "Physico-chemical Study of Cretan Ancient Mortars", Cement and Concrete Research, 33/5, 2003, pp. 651-661
- [49] P. Maravelaki-Kalaitzaki, "Hydraulic lime-mortars with siloxane for waterproofing historic masonry", Cement and Concrete Research, 37(2), 2007, pp. 283-290.
- [50] A. Moropoulou, P. Maravelaki-Kalaitzaki, M. Borboudakis, A. Bakolas, P. Michailidis, M. Chronopoulos, "Historic mortars technologies in Crete and guidelines for compatible restoration mortars", PACT, Journal of the European Study Group on Physical, Chemical, Biological and Mathematical Techniques Applied to Archaeology, Ed. G. Biscontin, A. Moropoulou, M. Erdik, J. Delgado Rodrigues, Publ. Technical Chamber of Greece, Athens, vol. 55, 1998, pp. 55-72.
- [51] G. Biscontin, A. Bakolas, E. Zendri, P. Maravelaki, "Microstructural characteristics of historical Venetian mortars", Conservation of Stone and Other Materials, edited by M.J. Thiel, RILEM UNESCO, Publ. E&FN SPON, Chapman & Hall, Paris, vol. 2, 1993, pp. 178-185.
- [52] Galanos A., Doganis I., Maravelaki-Kalaitzaki P., Kallithrakas-Kontos N., Hydraulic Mortars and Plasters at the Ancient Aqueduct of Naxos, Greece, 11th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 15-20/9/2008, Torun, Poland, pp. 627-634.
- [53] A. Galanos, I. Doganis, P. Maravelaki-Kalaitzaki, N.Kallithrakas-Kontos, Investigation for Durable Cast Stone Mortars for Use in a Marine Environment, 11th

International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, 15-20/9/2008, Torun, Poland, pp. 1223-1230.

[54] E Aggelakopoulou, A Bakolas, A. Moropoulou (2011) Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries. *Applied Clay Science*, Volume 53, 15–19.

[55] P.Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou. (2005). Hydraulic lime mortars for the restoration of historic mansory in Crete. *Cement and Concrete Research*, 1577-1586.

[56] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Galanos, N. Kallithrakas-Kontos. (2010). Physicochemical characterization of mortars as a tool in studying srecific hydraulic components:application to the study of ancient Naxos aqueduct. *Materials Science & Processing* , 335-348.

[57] P. Maravelaki-Kalaitzaki, Z. Agioutantis, E. Lionakis, M. Stavroulaki, & V. Perdikatsis, (2013), Physico-chemical and Mechanical Characterization of Hydraulic Mortars Containing Nano-Titania for Restoration Applications, *Cement and Concrete Composites*, Volume 36, pp. 33-41.

[58] Ευαγγελία Ξυνοπούλου, «Τροποποιημένα Σωματιδιακά Σύνθετα Υλικά ως Συμβατά και Επιτελεστικά Υλικά Επεμβάσεων Στερέωσης», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2015

[59] A. Verganelaki, C. Kapridaki and P. Maravelaki-Kalaitzaki, “Modified Tetraethoxysilane with Nanocalcium Oxalate in One-Pot Synthesis for Protection of Building Materials”, *Materials for Cultural Heritage Lab*, School of Architectural Engineering, Technical University of Crete, University Campus, 73100 Chania, Greece

[60] A. Verganelaki, C. Kapridaki, and P. Maravelaki-Kalaitzaki, “Modified Tetraethoxysilane with Nanocalcium Oxalate in One-Pot Synthesis for Protection of Building Materials”, *Materials for Cultural Heritage Lab*, School of Architectural Engineering, Technical University of Crete, University Campus, 73100 Chania, Greece

[61]<http://online.sfsu.edu/trautman/chem452/ftir2.gif>

[62] <http://www.kastra.eu/castlegr.php?kastro=firka>

[63] Luís Pinho, Farid Elhaddad, Dario S. Facio, Maria J. Mosquera, “A novel TiO<sub>2</sub>–SiO<sub>2</sub> Nanocomposite converts a very friable stone into a self-cleaning building material”, *Departamento de Química-Física, Facultad de Ciencias, Campus Universitario Río San Pedro, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real, Cádiz, Spain*

[64] A. Moropoulou, A. Bakolas, K. Bisbikou (1995).”Thermal analysis as a method of characterizing ancient mortars”, *Thermochimica Acta* , 743-753.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΚΑΡΤΕΛΕΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

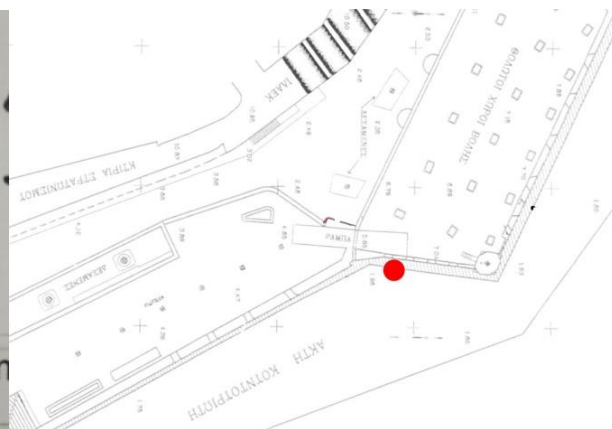
### ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ1

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ1



#### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

#### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ ΒΑ-Εξωτερικό  
τμήμα φρουρίου

#### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο

#### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

#### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

#### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από σημείο που λείπει λίθος



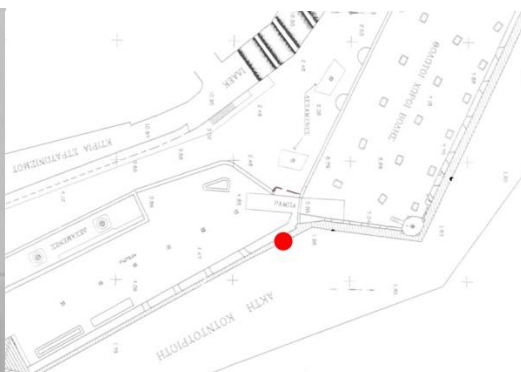
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ2

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ2



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ ΒΑ εξωτερικό  
τμήμα φρουρίου

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από  
σημείο που λείπει λίθος.

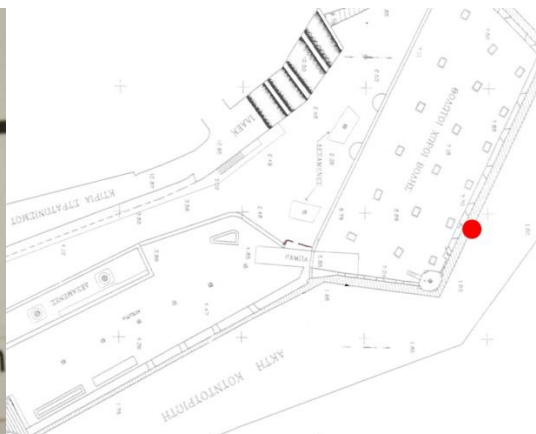
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ4

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ4



**Είδος κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

**Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

**Θέση δειγματοληψίας:**

- ☒ Βόριο-Εξωτερικό  
τμήμα φρουρίου

**Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

Το κονίαμα προέρχεται από σημείο που λείπει λίθος.

**Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

**Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

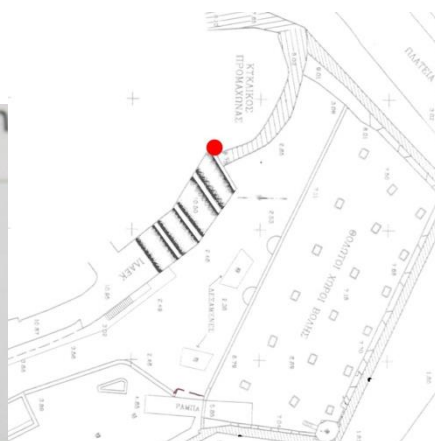
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ4Κ

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.4Κ



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

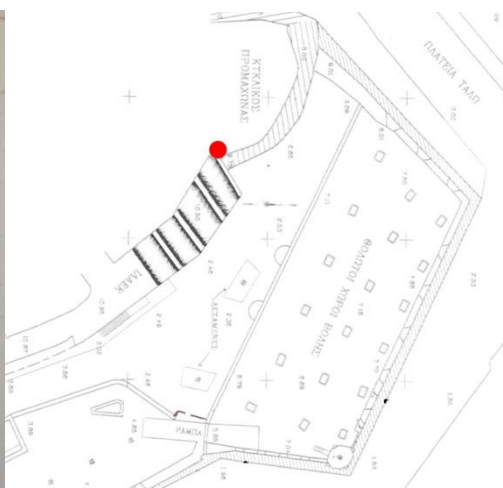
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ6Ε

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος -Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.6Ε



**Είδος Κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

**Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

**Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

**Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

**Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

**Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας**

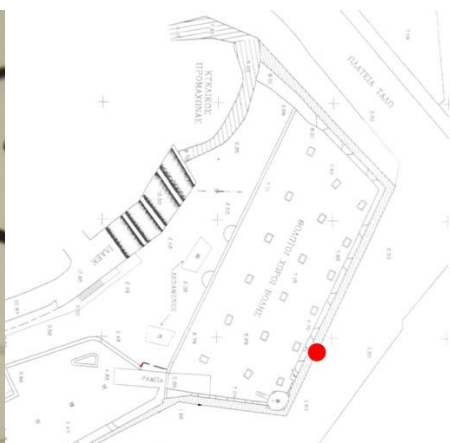
### ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ3

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ3



#### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

#### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Βόριο-Εξωτερικό
- ☒ τμήμα φρουρίου

#### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

#### **Στοιχείο κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

#### **Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

#### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από σημείο που λείπει λίθος.
- ☒ Μάλλον είναι κεραμικό (κόκκινο)

Συλλέχθηκε για σύγκριση με 2Φ.Κ

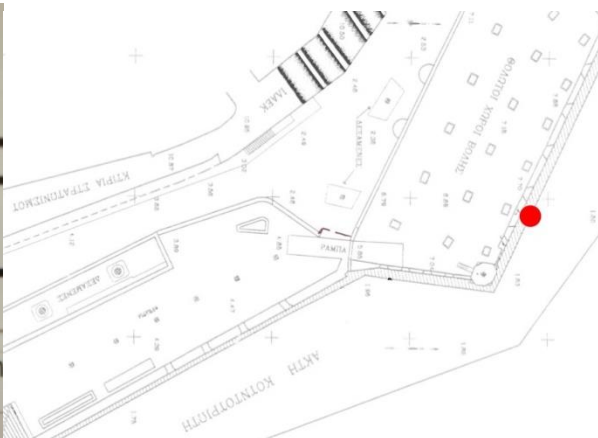
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ5

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ5



### **Είδος κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση δειγματοληψίας:**

- ☒ Βόριο-Εξωτερικό τμήμα φρουρίου

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από σημείο που λείπει λίθος.
- ☒ Ίδιο σημείο με 3ΦΚ και 4ΦΚ όμως πιο ανοιχτόχρωμο



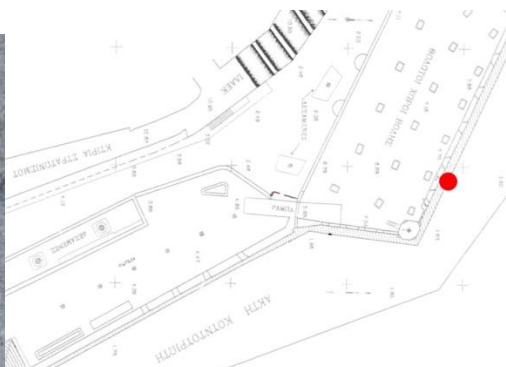
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ6

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ6



### **Είδος κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση δειγματοληψίας:**

- ☒ Βόριο-Εξωτερικό τμήμα φρουρίου

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από σημείο που λείπει λίθος.
- ☒ Νέο κονίαμα

## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΕ7

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΕ7



### **Είδος κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση δειγματοληψίας:**

- ☒ ΒΑ-Εσωτερικό  
τμήμα φρουρίου

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Πιθανότατα Τούρκικο Κονίαμα

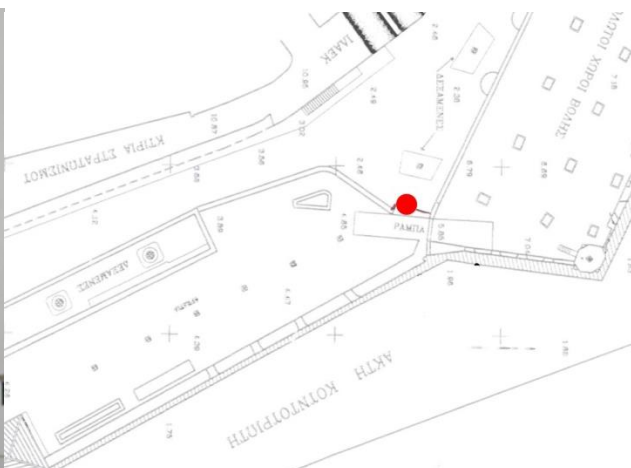
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΚ8

**Προέλευση:** Φρούριο Φιρκά-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 5/3/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 18°C/60%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΚ8



### **Είδος κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση δειγματοληψίας:**

- ☒ ΒΑ-Εσωτερικό  
τμήμα φρουρίου

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον στοιχεία δειγματοληψίας:**

- ☒ Ίδια θέση με 7 Φ.Ε
- ☒ Συλλέχθηκε λόγω χρώματος (έντονο κόκκινο)
- ☒ Μάλλον Τούρκικο επίχρισμα

## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ1Ε

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος-Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.1Ε



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το δείγμα προέρχεται από σημείο σε Ενετικό τοίχος.
- ☒ Εκτιμάται πως το άσπρο είναι το νεότερο. (σε σχέση με το κίτρινο)

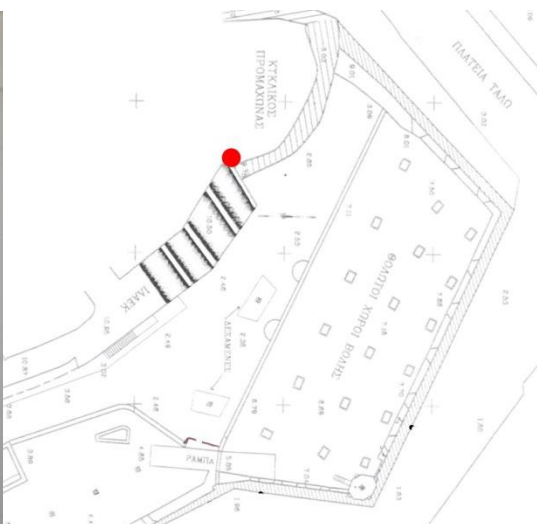
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ3Κ

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.3Κ



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το δείγμα εκτιμάται πως προέρχεται από Ενετικό τοίχος.

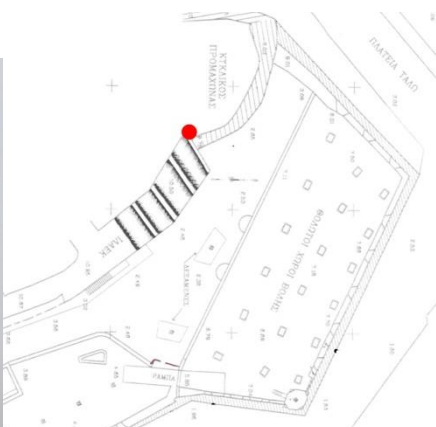
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ.5Ε

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.5Ε



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το δείγμα προέρχεται από διαφορετικό τοίχος δίπλα στο Ενετικό
- ☒ Εκτιμάται πως το άσπρο είναι το νεότερο. (σε σχέση με το κίτρινο)



## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΘ.7Ε

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΘ.7Ε



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Θόλος

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το δείγμα προέρχεται από θόλο κτιρίου

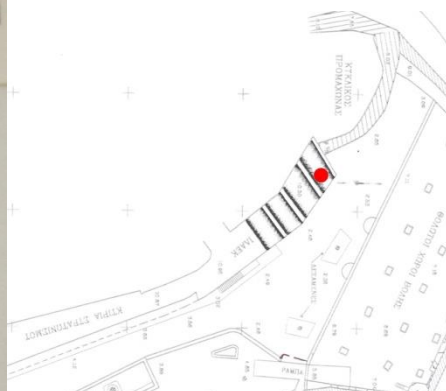
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΘ8Κ

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΘ.8Κ



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☒ Δόμηση
- ☐ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☐ Πλίνθο
- ☒ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο:

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**

- ☒ Το κονίαμα προέρχεται από σημείο κάτω από το επίχρισμα του θόλου

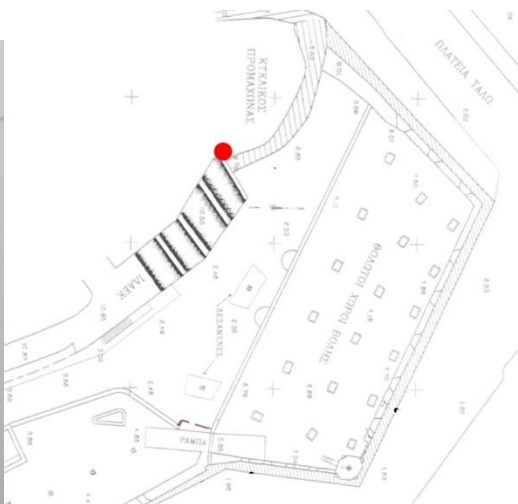
## ΔΕΛΤΙΟ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΦΓ2Ε

**Προέλευση:** Γενοβέζικος Πύργος –Χανιά

**Ημερομηνία Δειγματοληψίας:** 3/4/2015

**Καιρικές Συνθήκες (Θερμοκρασία/ Υγρασία):** 21°C/55%

**Κωδικός Αριθμός Δείγματος:** ΦΓ.2Ε



### **Είδος Κονιάματος:**

- ☐ Δόμηση
- ☒ Επίχρισμα
- ☐ Επίστρωση
- ☐ Πλήρωση
- ☐ Άλλο:

### **Θέση Δειγματοληψίας:**

- ☒ Γενοβέζικος Πύργος

### **Επαφή με:**

- ☒ Πλίνθο
- ☐ Λίθο
- ☐ Μέταλλο
- ☐ Άλλο:

### **Στοιχείο Κατασκευής:**

- ☒ Τοιχοποιία
- ☐ Καμάρα
- ☐ Οροφή
- ☐ Άλλο

### **Τρόπος Δειγματοληψίας:**

- ☐ Καλέμι
- ☐ Χέρι
- ☒ Αξίνα
- ☐ Άλλο:

### **Επιπλέον Στοιχεία Δειγματοληψίας:**