



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

«Προστασία Μνημείων»

Β'κατεύθυνση σπουδών – « Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης »

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΩΝ ΚΕΛΙΩΝ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΤΗΣ
ΒΑΡΝΑΚΟΒΑΣ:**

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ
ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ**

ΜΑΡΙΝΑ ΘΩΜΑ

A.M. : 41001910

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

Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2019

Διατμηματικό Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

«Προστασία Μνημείων», Β' κατεύθυνση σπουδών – «Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ ΤΩΝ ΚΕΛΙΩΝ ΤΗΣ ΙΕΡΑΣ ΜΟΝΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΓΙΑΣ ΤΗΣ ΒΑΡΝΑΚΟΒΑΣ:

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΙΑΣ

Επιτροπή Επίβλεψης και Υποστήριξης :

- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ (επιβλέπουσα)
- Επίκ. Καθ. Χ. Μουζάκης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Δρ. Α. Δελέγκου, ΕΔΙΠ, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Μ. Αποστολοπούλου, Υ.Δ. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Ι. Ντούτση, Υ.Δ. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Β. Κεραμίδας, Υ.Δ. Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Δρ. Χ. Παπατρέχας, (Ι.Γ.Μ.Ε.), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα
- Δρ. Γ. Οικονόμου, (Ι.Γ.Μ.Ε.), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα

Επιτροπή Εξέτασης :

- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ (επιβλέπουσα)
- Αν. Καθ. Α. Μπακόλας, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Επίκ. Καθ. Χ. Μουζάκης, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ
- Επίκ. Καθ. Μ. Κατσαρός, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, ΕΜΠ
- Δρ. Χ. Παπατρέχας, (Ι.Γ.Μ.Ε.), Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Αθήνα

*«Δεν θα σταματήσουμε να εξερευνούμε.
Και το τέλος της εξερεύνησής μας
θα είναι όταν θα φτάσουμε εκεί από όπου ξεκινήσαμε
και θα ανακαλύψουμε το μέρος για πρώτη φορά.»*

T. S. Eliot

Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας ήταν ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών της Ιεράς Μονής της Παναγίας της Βαρνάκοβας που βρίσκεται στη Στερεά Ελλάδα, και η αποτίμηση της φθοράς τους μετά τη καταστροφική πυρκαγιά του Ιανουαρίου του 2017. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση των δομικών υλικών και υλικών μεταγενέστερων επεμβάσεων, καθώς και η αποτίμηση της επίδρασης της φωτιάς στο ιστορικό κτήριο των κελιών της Μονής. Διάφορες ενόργανες και αναλυτικές τεχνικές εφαρμόστηκαν στην κατεύθυνση αυτή.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης των σπουδών μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών, «Προστασία Μνημείων», Β' Κατεύθυνση: «Υλικά Και Επεμβάσεις Συντήρησης», στο Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. υπό την επίβλεψη της καθηγήτριας Α. Μοροπούλου κατά το ακαδημαϊκό έτος 2018-2019.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Α. Μοροπούλου για την ευκαιρία που έδωσε να ασχοληθώ με ένα ζήτημα ιδιαίτερου επιστημονικού ενδιαφέροντος και να δουλέψω υπό την καθοδήγηση της.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Διδάκτορα Αικ. Δελέγκου για τη καθοδήγηση και τη στήριξη της όχι μόνο την επιστημονική αλλά και την ηθική που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Να ευχαριστήσω θερμά την Υ.Δ. Μ. Αποστολοπούλου για τις συμβουλές και την ουσιαστική βοήθεια που μου πρόσφερε, καθώς και την Υ.Δ. Ι. Ντούτση για τη σημαντική βοήθεια στο εργαστήριο.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ηγουμένη της Ι.Μ. της Παναγίας της Βαρνάκοβας Θεοδοσία Ανδρικοπούλου όπως και τις υπόλοιπες μοναχές της Μονής, για τη συνεργασία και φιλοξενία που μου παρείχαν.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω, τους Δρ. Χ. Παπατρέχα και Δρ. Γ. Οικονόμου, από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, (Ι.Γ.Μ.Ε), για τη συνεργασία και τη σημαντική τους συμβολή στη τεχνική της Οπτικής Μικροσκοπίας. Ευχαριστώ επίσης, τον Δρ. Ν. Παναγιώτου για τη βοήθεια του κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων της τεχνικής του XRD.

Ακόμη, να ευχαριστήσω όλα τα μέλη από το Εργαστήριο της Ηλεκτροχημείας του τομέα ΙΙΙ της σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π. για τη στήριξη τους, υλική και ηθική που μου πρόσφεραν κατά τη εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών και τους συμφοιτητές μου που με βοήθησαν αυτό το χρόνο που συνυπήρξαμε κατά τη διάρκεια των εκπονήσεων των μεταπτυχιακών μας εργασιών και αναπτύξαμε φιλίες οι οποίες ελπίζω να με συνοδεύσουν στο μέλλον.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου, τους γονείς μου, και τον αδερφό μου που με βοήθησαν και με στήριξαν με το τρόπο τους για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών των κελιών της Βυζαντινής Ιεράς Μονής της Παναγίας της Βαρνάκοβας στην Στερεά Ελλάδα και η αποτίμηση της επίδρασης της καταστροφικής πυρκαγιάς φωτιάς του 2017. Η Μονή, αφιερωμένη στην Κοίμηση της Θεοτόκου, ιδρύθηκε το 1077, ξανακτίστηκε το 1831 μετά την καταστροφή της το 1826 κατά τη διάρκεια της Επανάστασης, και αποτελεί ένα σημαντικό τοπόσημο της περιοχής, καθώς συνδέεται με πολλά ιστορικά γεγονότα.

Στο πλαίσιο της διαγνωστικής αυτής μελέτης εξετάστηκαν δείγματα των δομικών υλικών των κελιών τα οποία ελήφθησαν από τοιχοποιίες που δεν είχαν επηρεαστεί από τη φωτιά, καθώς και τοιχοποιίες εμφανώς επηρεασμένες από τη φωτιά. Σε αυτό το πλαίσιο αφενός πραγματοποιήθηκε ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και αφετέρου μελετήθηκε η επίδραση της φωτιάς στα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, τα δομικά υλικά μελετήθηκαν ως προς τα πετρογραφικά και μορφολογικά τους χαρακτηριστικά μέσω Οπτικής και Ψηφιακής Μικροσκοπίας, ως προς την ορυκτολογική και χημική τους σύσταση με Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD) και με Θερμοβαρυστρική και Διαφορική Θερμική Ανάλυση (TG/DTA), αντιστοίχως, καθώς και ως προς τα φυσικά τους χαρακτηριστικά (πορώδες, ποσοστό ροφημένου νερού, φαινόμενη πυκνότητα), με Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε νερό. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μηχανικών αντοχών σε επιλεγμένους λίθους (αντοχή σε θλίψη, κάμψη και εφελκυσμό) με σκοπό την αποτίμηση της μηχανικής τους συμπεριφοράς. Παράλληλα, έλαβαν χώρα μετρήσεις Κρουσιμετρίας (SHR) επί τόπου στις τοιχοποιίες των κελιών σε λιθοσώματα τοιχοποιιών, επηρεασμένων και μη, από τη φωτιά, για την καταγραφή των μεταβολών της επιφανειακής σκληρότητας. Τέλος, για την αποτίμηση της επίδρασης της πυρκαγιάς στην κλίμακα των τοιχοποιιών των κελιών, εφαρμόστηκε η μη καταστρεπτική τεχνική της Θερμογραφίας Υπερύθρου (IRT).

Στις ιστορικές τοιχοποιίες απαντώνται διάφοροι λιθότυποι, ενώ στην νέα τοιχοποιία, η οποία αποτελεί νεότερη προσθήκη, εμφανίζεται ένας μόνο λιθότυπος. Συγκεκριμένα, στις ιστορικές τοιχοποιίες απαντώνται λιθοσώματα: (i) συμπαγούς βιομικριτικού ασβεστόλιθου, που διατρέχονται από πλήθος διακλάσεων και στυλόλιθων, (ii) πράσινου ασβεστιτικού ψαμμίτη, και (iii) καφέ σιδηρούχου ψαμμίτη. Παράλληλα, σε μικρότερη συχνότητα διαπιστώνεται η παρουσία λιθοσωμάτων: (iv) διζωνικού λίθου, που συνίσταται σε ζώνη βιομικριτικού ασβεστόλιθου σε επαφή με ζώνη τεφρού απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου, καθώς και (v) μαύρου πυριτόλιθου, ο οποίος απαντάται συνήθως σαν έγκλεισμα ωοειδούς ή και επιμήκους σχηματισμού στην μάζα του βιομικριτικού ασβεστόλιθου. Στις νέες τοιχοποιίες απαντάται μόνο ο συμπαγής βιομικριτικός ασβεστόλιθος (i).

Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν λόγω της φωτιάς, δεν επηρέασαν τη σύσταση και τα φυσικά χαρακτηριστικά του συμπαγούς βιομικριτικού ασβεστόλιθου (ιστορικών και νέων τοιχοποιιών), ωστόσο συντέλεσαν στη διάρρηξη φλεβιδίων πληρωμένων με ασβεσίτη, καθώς και στην χρωματική αλλοίωση της εξωτερικής στοιβάδας του λίθου από μπεζ σε ροδίζον. Ο λιθότυπος αυτός παρουσιάζει υψηλές μηχανικές αντοχές, σε ό,τι αφορά τα μη επηρεασμένα από τη φωτιά δοκίμια που εξετάστηκαν, ωστόσο με υψηλή τυπική απόκλιση, γεγονός που αποδίδεται στην ύπαρξη διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα. Η επίδραση της φωτιάς είναι ιδιαίτερα εμφανής στους πράσινους ασβεστιτικούς ψαμμίτες, καθώς έχει προκαλέσει μεταβολές στη χημική και ορυκτολογική του σύσταση, στα φυσικά του χαρακτηριστικά, παράλληλα με έντονη χρωματική αλλοίωση. Ο πράσινος ψαμμίτης παρουσιάζει σχετικά υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής, ιδιαιτέρως λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δοκίμια που εξετάστηκαν ήταν όλα επηρεασμένα από τη φωτιά. Ο καφέ ψαμμίτης επίσης παρουσιάζει έντονες μεταβολές στα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά, λόγω της επίδρασης της πυρκαγιάς. Η τεφρή ζώνη του διζωνικού ασβεστόλιθου, καθώς και τα μαύρα εγκλείσματα πυριτόλιθου, δεν παρουσιάζουν μεταβολές στην χημική και ορυκτολογική τους σύσταση από την επίδραση της πυρκαγιάς.

Τα κονιάματα των τοιχοποιιών που μελετήθηκαν, ταξινομούνται σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες: ιστορικά πηλοκονιάματα, τσιμεντιτικά, μικτής αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής και ιστορικά

ασβεστιτικά σχετικά υψηλής υδραυλικότητας. Τα τσιμεντιτικά κονιάματα εμφανίζονται σαφώς επηρεασμένα από την πυρκαγιά, γεγονός που τεκμαίρεται από την εξαλλοίωση των υδραυλικών τους φάσεων και την σχετικά υψηλή τιμή του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας που παρουσιάζουν, ενώ παρουσιάζεται αλλοίωση και των φυσικών τους χαρακτηριστικών.

Οι τιμές αναπήδησης, όπως μετρήθηκαν με κρουσιμέτρηση, δείχνουν μείωση της επιφανειακής σκληρότητας των ψαμμιτών λόγω της φωτιάς, ανάλογα με τη θέση και τον βαθμό έκθεσής του λιθώματος. Όσον αφορά στον συμπαγή βιομικρικό ασβεστόλιθο, το φαινόμενο της διάρρηξης των διακλάσεων εξαιτίας της πυρκαγιάς, αντικατοπτρίζεται στην έντονη μείωση των τιμών αναπήδησης.

Η χρήση της θερμογραφίας υπερύθρου στις τοιχοποιίες των κελιών, καταδεικνύει ότι τόσο η ιστορική όσο και η νέα τοιχοποιία παρουσιάζουν διαφορετικές ζώνες θερμοκρασίας, με τα ανώτερα μέρη τους να παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα κατώτερα. Αυτό είναι ένδειξη του διαφορετικού αποτελέσματος που είχε η επίδραση της φωτιάς ανά ύψος. Ωστόσο, παρόλο που η επίδραση της φωτιάς φαίνεται να εξαρτάται από τη θέση, το ύψος και τον λιθότυπο, δεν καταγράφεται κάποιο σαφές μοτίβο.

Λέξεις Κλειδιά : Ιερά Μονή Βαρνάκοβας, πυρκαγιά, Ιστορικοί Λίθοι, Ιστορικά Κονιάματα, Περίθλαση ακτίνων Χ (XRD), Θερμικές μέθοδοι ανάλυσης (DTA/TG)

Abstract

The main goal of this thesis is the examination and characterization of the building materials used in the cells of the Byzantine Monastery of Panagia (Virgin Mary) Varnakova in Central Greece, and the evaluation of the fire impact from the recent fire in January 2017 that destroyed the Monastery's cells. The monastery, dedicated to the Assumption of the Virgin Mary, that was founded in 1077, and was rebuilt in 1831 after its destruction in 1826 during the Greek Revolution of 1821, and is an important landmark of the area as it is linked to many historical events.

In this diagnostic study, samples of the building materials from the Monastery's cells obtained from non-fire-affected masonry as well as from the fire-affected masonry were examined in order to determine the effect of fire on their chemical and physical characteristics. In particular, the samples of the building materials were examined for their petrographic and morphological characteristics with the following methods: Fiber Optical Microscopy (FOM) and Optical Microscope (OM), on their mineralogical and chemical composition by X-ray diffraction (XRD) and by Thermobarometric and Differential Thermal Analysis (TG/DTA), respectively, and their physical characteristics through Total Immersion Tests (determination of the Total Open Porosity Accessible to Water and the Percentage of the Water Absorption Capacity and Bulk Density). In addition, Natural Stone Tests were applied in selected samples of stones for the determination of uniaxial compressive strength, indirect tensile strength (Brazilian Test) and flexural strength. Along with the use of Schmidt Hammer Rebound tests (SHR) in situ, in the masonries of the monastery cells (affected and not affected by the fire) in order to examine the surface hardness. Finally, to evaluate the effect of fire on masonry scale, the non-destructive Infrared Thermography (IRT) technique was applied.

Several lithotypes were collected from the historic masonries, while, on the other hand the new masonry was built with one lithotype. The samples are : (i) biomicritic limestone with a great number of joints filled with secondary calcite, traverse the stone mass (ii) green calcite sandstone (iii) brown ferruginous sandstone. At the same time, less abundant stone types were collected: (iv) a two distinct zones lithotype- biomicritic limestone is accompanied by laminae of a fossiliferous limestone (v) black silicate stone, which usually occurs as black chert inclusion of biomicritic limestone, and from the new masonry, the new biomicritic limestone (i).

The extreme temperatures developed due to the fire did not affect the composition and physical characteristics of the biomicritic limestone (historical and new masonry), but presents a pinkish hue macroscopically due to the widening and rupture of the joints filled with secondary calcite. The samples of this limestone that were not affected by the fire present high mechanical strength with a high standard deviation which is attributed to the fossils and the joints which are detected inside the stone mass. The effect of fire is particularly evident in the green calcite sandstones, as it has caused changes in its chemical and mineralogical composition, in its physical characteristics, along with intense color deterioration. Green sandstone exhibits relatively high compressive strength values, especially given that the samples tested were all affected by the fire. The brown ferruginous sandstone presents also chemical and physical differences in both chemical and physical characteristics. The black silicate chert and a black fossiliferous limestone, which appears as laminae of the beige-grey fossiliferous biomicritic limestone show no change in their chemical and mineralogical composition due to the impact of the fire.

The masonry mortars examined are classified into four distinct categories: historical clay mortars, cementitious, mixed clay and cementitious mortars and relatively high hydraulic mortars. The cementitious mortars appear to be clearly affected by the fire, presumably due to the alteration of their hydraulic phases and the relatively high value of their hydraulic reversibility index, while their physical characteristics are altered.

The SHR evaluation reveals a decrease in the surface hardness of the sandstones due to fire, depending on the location and the exposure of the stone. For the biomicritic limestone the effect of fire and the rupturing of the limestone's joints filled with secondary calcite are quantitatively evident in the decreased SHR values and, therefore, the decreased surface hardness.

Both historical and new masonries present different temperature zones with their upper parts being cooler than the lower ones. This is an indication of the different effect of the fire per height. However, even though the fire effect seems to depend on position, height, and lithotype, no clear pattern is displayed.

Keywords: stone; mortar; masonry; fire; NDT; IRT; SHR; microscopy; petrography; XRD; TG/DTA

Περιεχόμενα

1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος	11
1.1. Δομικά Υλικά	11
1.1.1. Λίθοι	11
1.1.2. Κονιάματα	24
1.1.3. Κεραμικά – Οπτόπλινθοι	36
1.2. Φθορά Δομικών Υλικών	39
1.2.1. Φθορά λίθων	40
1.2.2. Φθορά Κονιαμάτων	45
1.2.3. Φθορά Κεραμικών – Οπτόπλινθων	48
2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος	49
2.1. Η Επίδραση της πυρκαγιάς στη κατάσταση διατήρησης των δομικών υλικών	49
2.2. Ιστορικά Στοιχεία των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας	51
2.3. Σύντομη Αρχιτεκτονική Περιγραφή	53
3. Πειραματικό Μέρος	55
3.1. Πειραματικός Σχεδιασμός και Μεθοδολογία	55
3.2. Δειγματοληψία	57
3.3. Τεχνικές και Μέθοδοι Ανάλυσης	72
3.3.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία	72
3.3.2. Πετρογραφικό Πολωτικό Οπτικό Μικροσκόπιο	73
3.3.3. Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD)	75
3.3.4. Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA/TG)	76
3.3.5. Δοκιμές Εμβάπτισης - Προσδιορισμός Ποσοστού Ροφημένου Νερού και Ολικού Ανοιχτού Πορώδους Προσβάσιμου στο Νερό	77
3.3.6. Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων (SST%)	79
3.3.7. Μηχανικές Αντοχές Υλικών	79
3.3.8. Μέθοδος Κρουσίμετρου Schmidt	80
3.3.9. Θερμογραφία Υπερύθρου - [Infrared Thermography - IRT]	83
4. Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων	85
4.1. Μελέτη της υφής και της μορφολογίας με ψηφιακή μικροσκοπία	85
4.1.1. Λίθοι	85
4.1.2. Κονιάματα, Επιχρίσματα και Σκυροδέματα	90
4.1.3. Οπτόπλινθοι	99
4.2. Οπτική Μικροσκοπία – Πετρογραφική Μελέτη	100

4.3. Περίθλαση Ακτίνων Χ – Ορυκτολογική Μελέτη	114
4.3.1. Περίθλαση Ακτίνων Χ στους Λίθους.....	114
4.3.2. Περίθλαση Ακτίνων Χ στα Κονιάματα, τα Επιχρίσματα και τα Σκυροδέματα.....	118
4.3.3. Περίθλαση Ακτίνων Χ στους Οπτόπλινθους.....	125
4.4. Αποτελέσματα των Θερμικών Αναλύσεων (TG/DTA).....	126
4.4.1. Θερμικές Αναλύσεις στους Λίθους.....	127
4.4.2. Θερμικές Αναλύσεις στα Κονιάματα	131
4.5. Αποτελέσματα από τις Δοκιμές Εμβάπτυσης	137
4.5.1. Δοκιμές Εμβάπτυσης στους Λίθους.....	137
4.5.2. Δοκιμές Εμβάπτυσης στα Κονιάματα	139
4.6. Αποτελέσματα Μετρήσεων Ανίχνευσης Ολικών Διαλυτών Αλάτων	140
4.6.1. Μετρήσεις στους Λίθους.....	140
4.6.2. Μετρήσεις στα Κονιάματα, στα Επιχρίσματα και στα Σκυροδέματα	141
4.6.2. Μετρήσεις στους Οπτόπλινθους.....	143
4.7. Αποτελέσματα των Μηχανικών Αντοχών	143
4.7.1. Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια	144
4.7.2. Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων σε κυλινδρικά δοκίμια - (Brazilian test)	145
4.7.3. Δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα δοκίμια	145
4.8. Αποτελέσματα μετρήσεων Κρουσιμέτρησης (SHR).....	145
4.9. Αποτελέσματα της Θερμογραφίας Υπερύθρου (IRT)	155
5. Συμπεράσματα	158
6. Βιβλιογραφία :.....	162

1. Γενικό Θεωρητικό Μέρος

1.1. Δομικά Υλικά

Δομικά υλικά, καλούνται τα υλικά, τα οποία χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί και να τεθεί σε λειτουργία ένα τεχνικό έργο. Η επιλογή του κατάλληλου δομικού υλικού ή συνδυασμού δομικών υλικών για κάθε συγκεκριμένο τεχνικό έργο είναι συχνά μια δύσκολη διαδικασία που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Πρέπει να υπάρχει πλήρης γνώση: των ιδιοτήτων των υλικών, της συμπεριφοράς τους στις μηχανικές φορτίσεις που θα δεχθούν στο τεχνικό έργο, της συμβατότητας μεταξύ τους της επίδρασης του περιβάλλοντος και της διαθεσιμότητας και του κόστους ζωής των υλικών. [1]

1.1.1. Λίθοι

Οι κύριες κατηγορίες δομικών λίθων είναι :

1. Πέτρες και πετρώματα:

Τα ορυκτά είναι τα φυσικά, ομογενή στερεά, τα οποία συνήθως σχηματίζονται με ανόργανες διαδικασίες, χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό ταξινομημένης ατομικής διατάξεως, και έχουν χημική σύσταση και φυσικές ιδιότητες, οι οποίες είτε είναι σταθερές είτε κυμαίνονται εντός ορισμένων ορίων.

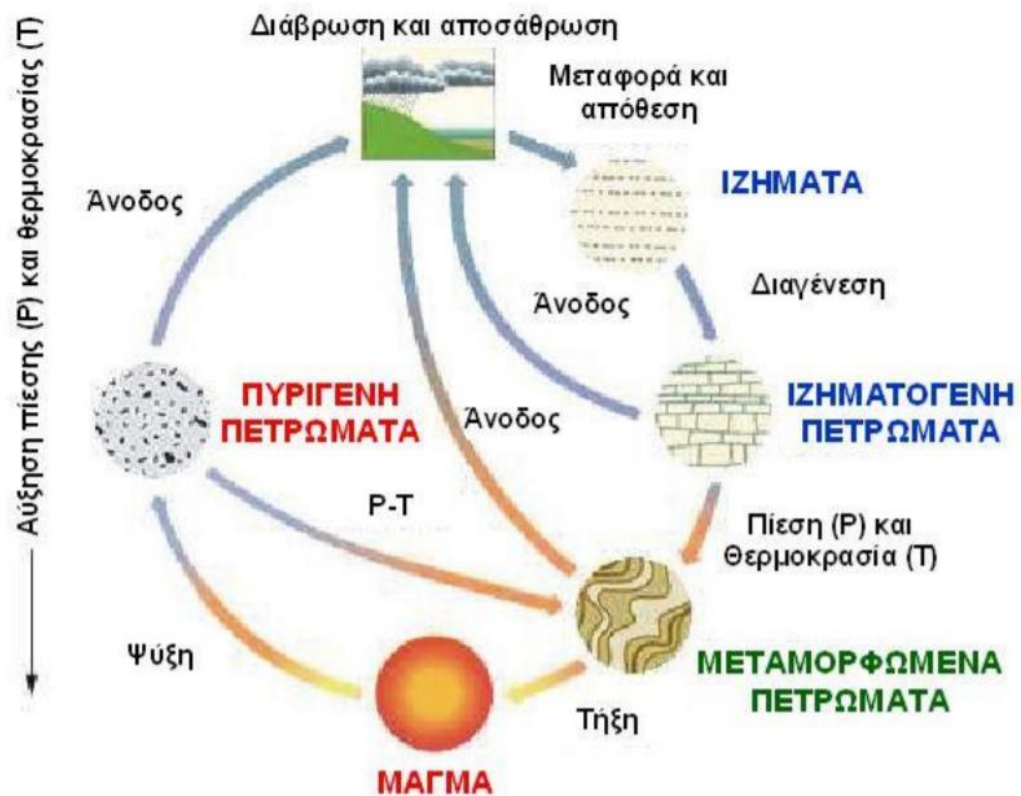
Το πέτρωμα είναι το υλικό του στερεού φλοιού της γης, προϊόν γεωλογικών διεργασιών. Αποτελείται από ορυκτά, των οποίων οι ιδιότητες καθορίζουν και τις φυσικοχημικές του ιδιότητες. Πέτρα είναι το κατεργασμένο από τον άνθρωπο πέτρωμα. [1]

Τα πετρώματα διαχωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες με βάση την γεωλογική διεργασία από την οποία δημιουργούνται: [2][3]

1. Πυριγενή
2. Ιζηματογενή
3. Μεταμορφωμένα

Τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που είναι σημαντικά για τους μηχανικούς των υλικών και τους αρχιτέκτονες για την βέλτιστη επιλογή τους είναι τα ακόλουθα: [2]

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



Εικόνα 1.1 : Κύκλος δημιουργίας πετρωμάτων [3]

Πιο συγκεκριμένα για τις κατηγορίες των πετρωμάτων :

- 1. Πυριγενή πετρώματα:** είναι τα πετρώματα τα οποία δημιουργούνται μετά από στερεοποίηση του μάγματος.[4] Όταν η στερεοποίηση του μάγματος λαμβάνει χώρα αργά μέσα στον φλοιό σε βάθος, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται *Βαθυγενή* ή *Πλουτωνίτες* , και καθώς η κρυστάλλωση είναι βραδεία οδηγεί στην δημιουργία μεσο/χονδρόκοκκων κρυστάλλων συχνά ορατών με γυμνό μάτι. Τέτοια πετρώματα είναι οι γρανίτες, οι διορίτες, οι συηνίτες, και οι γάββροι. Αντίθετα, όταν η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης, τα πετρώματα που δημιουργούνται ονομάζονται *Ηφαιστίτες* ή *Εκρηξιγενή* . Λόγω της απότομης ανόδου του μάγματος στην επιφάνεια, η θερμοκρασία του πέφτει απότομα και σχηματίζονται υαλώδεις ή μικροκρυσταλλικές μάζες. Τέτοια πετρώματα είναι ο βασάλτης, και ο ρυόλιθος. Όταν η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, τα πετρώματα ονομάζονται Υποηφαιστιακά , ενώ όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα φλεβικά πετρώματα. [1]

Τα πυριγενή πετρώματα παρουσιάζουν τους ακόλουθους τύπους ιστών: [2][3]

- Ολοκρυσταλλικός ή γρανιτικός ιστός: Όταν κατά τον σχηματισμό πλουτωνιτών η στερεοποίηση του μάγματος γίνεται με βραδύ ρυθμό, τα ορυκτά κρυσταλλώνονται πλήρως σχηματίζοντας ευμεγέθεις κρυστάλλους , ορατοί με γυμνό μάτι (π.χ. γρανίτης)
- Υαλώδης ιστός: Στα ηφαιστειακά πετρώματα, η στερεοποίηση λαμβάνει χώρα απότομα στην επιφάνεια του φλοιού της γης και σχηματίζονται υαλώδεις μάζες. (π.χ. οφιδιανός)

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

Ένας τρόπος ταξινόμησης των πυριγενών πετρωμάτων (εκτός των ηφαιστειακών) είναι ο χρωματικός δείκτης, ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό των έγχρωμων συστατικών του πετρώματος: [3]

- 0-5% Ολολευκοκρατικά
- 5-35% Λευκοκρατικά
- 36-65% Μεσοκρατικά
- 69-95% Μελανοκρατικά
- 95-100% Ολομελανοκρατικά

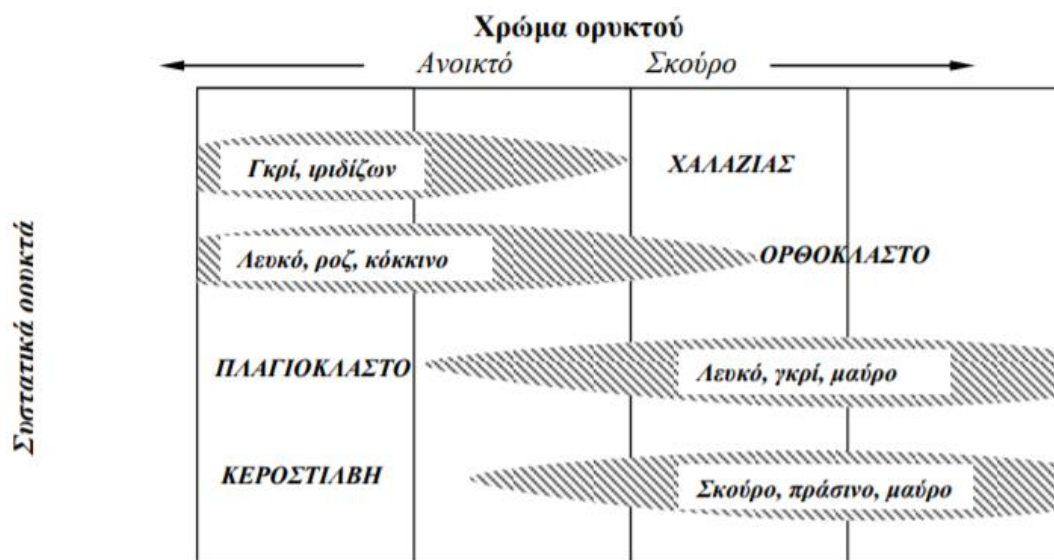
Τα ορυκτά συστατικά των πετρωμάτων διακρίνονται σε:

- Έγχρωμα ή φεμικά (από το Fe και Mg που συνήθως είναι άφθονα σ' αυτά τα ορυκτά), όπως π.χ. οι μαρμαρυγίες.
- Λευκά ή σαλικά (από το Si και Al που αφθονούν στα ορυκτά αυτά), όπως π.χ. χαλαζίας [SiO₂], και άστριοι (αλκαλιούχοι άστριοι, πλαγιόκλαστα, αστριοειδή)

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

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

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

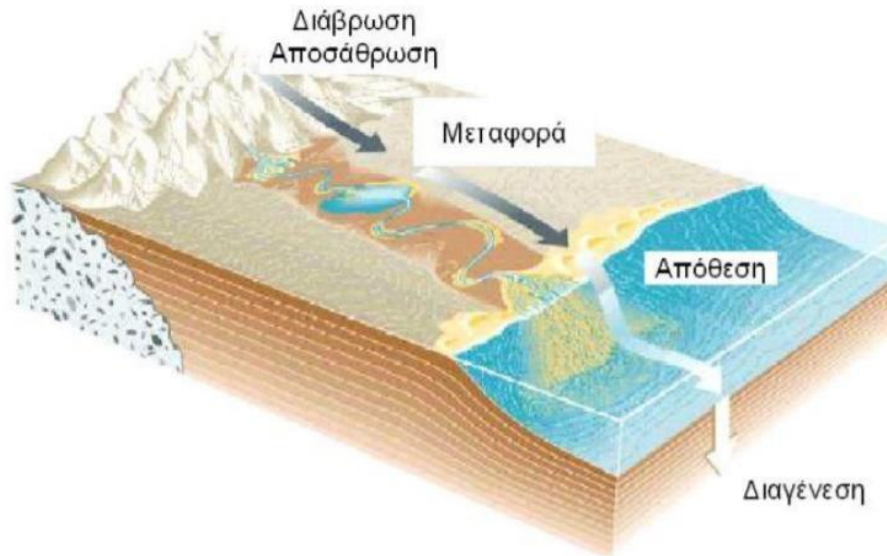


Εικόνα 1.2: Απλοποιημένη κατάταξη τυπικών πυριγενών πετρωμάτων, η ορυκτολογική τους σύνθεση και το χρώμα των ορυκτών τους [2]

- 2. Τα ιζηματογενή πετρώματα** σχηματίζονται από απόθεση ή καταβύθιση υλικών που βρίσκονται σε αιώρηση ή διάλυση μέσα σε ένα ρευστό μέσο (αέρας ή νερό) και τη μετέπειτα συγκόλληση των υλικών που αποτέθηκαν.[4] Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα, η διαστρωμάτωση υλικών και τα απολιθώματα που βρίσκονται μέσα στα ιζήματα.

Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων: [3]

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



Εικόνα 1.3 : Διαδικασίες σχηματισμού ιζηματογενών πετρωμάτων [3]

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

- **Μηχανικά ή κλαστικά ιζήματα:** Συγκέντρωση θραυσμάτων ή φερτών υλικών διαφόρων μεγεθών, σχημάτων, και σύνθεσης, τα οποία είναι προϊόντα της αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων [τυπικά πετρώματα: ο ψαμμίτης, τα λατυποπαγή και τα κροκαλοπαγή, ο πηλόλιθος, η άργιλος, η μάργα κ.α.]
- **Χημικά ιζήματα:** Απόθεση ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες [τυπικά πετρώματα: ο ασβεστόλιθος, ο δολομίτης, ο τραβερτίνης, ο όνυχας, ο γύψος, το ορυκτό άλας κ.α.]
- **Οργανικά ή βιογενή ιζήματα:** Συσσώρευση οργανικής προέλευσης υλικού- [τυπικά πετρώματα: η τύρφη, ο λιγνίτης, ο λιθάνθρακας, ο κοραλλιογενής, κελυφογενής ή βιοκλαστικός ασβεστόλιθος κ.α.]

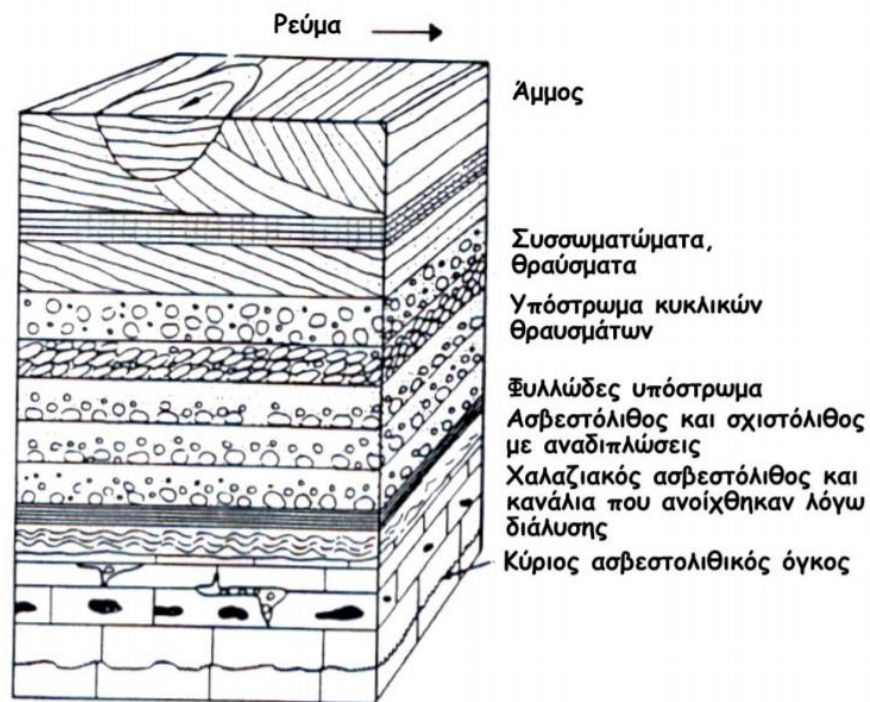
Τα περισσότερα ορυκτά υλικά που περιέχονται στα κλαστικά ιζήματα προέρχονται από πρωτογενή μαγματικά πετρώματα ή την αποσάθρωση με μηχανικές διεργασίες προ υπαρχόντων ιζηματογενών ή μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων.

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

Η υφή των **κλαστικών ιζημάτων** αποτελείται από τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

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

Ο ιστός των κλαστικών ιζημάτων αναφέρεται στον προσανατολισμό των κόκκων και είναι ιστροπικός ή στρωσιγενής ανάλογα με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας των υλικών.[1]



Εικόνα 1.4 : Τυπική δομή ιζηματογενών πετρωμάτων [2]

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

Η αντοχή και ανθεκτικότητα του λίθου εξαρτάται από την σύνθεση του συνδετικού υλικού και το ποσοστό του όγκου που καταλαμβάνει [1]:

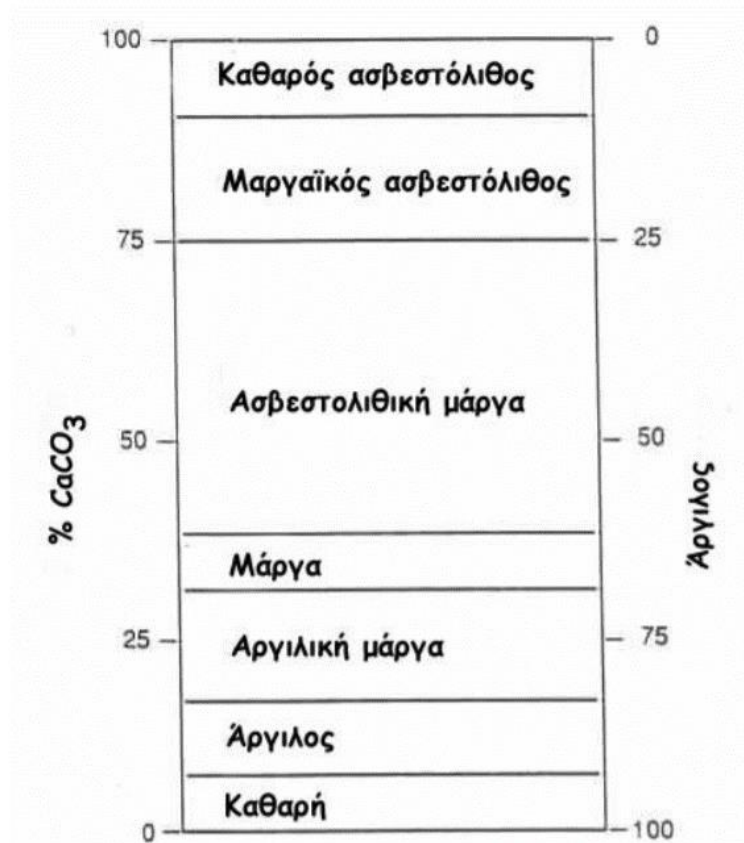
- **Πυριτικό συνδετικό υλικό**: Συνήθως περιέχει λεπτοκρυσταλλικό χαλαζία. Τα πετρώματα με πυριτικό συνδετικό υλικό παρουσιάζουν μεγάλες αντοχές ιδιαίτερα όταν πληρωθούν όλοι οι πόροι και δεν δημιουργείται στρώμα αργίλου γύρω από τους κόκκους.
- **Ανθρακικό συνδετικό υλικό**: Το πλέον διαδεδομένο στα ιζηματογενή πετρώματα με μορφή κυρίως ασβεστίτη αλλά και δολομίτη. Παρουσιάζει ικανοποιητική ανθεκτικότητα.

- **Σιδηροξειδία και υδροξειδία:** Συνδετικό υλικό από λειμωνίτη ή αιματίτη, Παρουσιάζει ελάχιστη ανθεκτικότητα.
- **Αργιλικό συνδετικό υλικό:** Ιδιαίτερα διαδεδομένο. Ικανοποιητική συμπεριφορά σε ξηρά κλίματα και ελάχιστη αντοχή στα υγρά λόγω εξαλλοίωσης, διόγκωσης, κ.α.

Τα κυριότερα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα είναι [2][3][4] :

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

Τα **χημικά ιζήματα** είναι το αποτέλεσμα απόθεσης ορυκτών από υδατικά διαλύματα με ανόργανες χημικές διαδικασίες (π.χ. εξάτμιση νερού). Στη φύση η διαφοροποίηση μεταξύ κλαστικών και χημικών ιζημάτων δεν είναι εύκολη. Οι ασβεστόλιθοι και οι δολομίτες έχουν συνήθως προσμίξεις ενώ αναμιγνύονται με άργιλο σε διάφορες αναλογίες.



Εικόνα 1.5: Προσμίξεις και ονοματολογία μιγμάτων ασβεστόλιθου – αργίλου [2]

Τα κυριότερα ιζηματογενή πετρώματα είναι [2][3][4] :

- **Ασβεστόλιθος** : είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο πέτρωμα στην Ελλάδα και αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη (CaCO_3) με λιγότερο από 5% αργιλικές προσμίξεις. Η απόθεση του CaCO_3 είναι είτε χημική π.χ. καθίζηση λόγω κορεσμού στο υδατικό διάλυμα, είτε βιογενής από τα σκελετικά στοιχεία ζωικών ή φυτικών οργανισμών. Οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο εύρος χρωμάτων και σύστασης που εξαρτώνται από την διαδικασία σχηματισμού τους.
- **Δολομίτης** : Πέτρωμα που αποτελείται κυρίως από δολομίτη, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, και σχηματίζεται όταν ένα μέρος του Ca του ασβεσίτη αντικατασταθεί από Mg (δολομιτίωση). Οι δολομίτες σχηματίστηκαν κατά την Παλαιοζωική περίοδο, αντίθετα από τους ασβεστόλιθους που είναι πιο πρόσφατοι. Παρουσιάζουν σακχαροκοκκώδη μορφή και είναι σκληρότεροι, βαρύτεροι και πιο ψαθυροί από τους κλασικούς ασβεστόλιθους. Υπάρχουν όλα τα ενδιάμεσα πετρώματα μεταξύ ασβεστόλιθου και δολομίτη.
- **Τραβερτίνης**: πέτρωμα ανθρακικό, με ανοιχτό, καστανοκίτρινο χρώμα και πορώδη υφή. Είναι προϊόν χημικής ιζηματοποίησης κυρίως σε πηγές. Το πορώδες οφείλεται στην απόθεση CaCO_3 γύρω από φυτικά μέρη (τα οποία απορροφούν CO_2 και μειώνουν την διαλυτότητά του στο νερό), τα οποία μετά την αποσύνθεσή τους απομακρύνονται και αφήνουν τους πόρους στο πέτρωμα. Στη Β. Ελλάδα τραβερτίνες υπάρχουν στην περιοχή της Έδεσσας – Νάουσας και Κιλκίς. Οι ιταλικοί τραβερτίνες από το Τινολί ήταν συνηθισμένο δομικό υλικό στην αρχαία Ρώμη (Κολοσσαίο, κ.α.).
- **Όνυχας-μάρμαρο(αλάβαστρο)**: Ανακρυσταλλωμένη ποικιλία τραβερτίνη λεπτόκοκκη και διαφανής με απαλούς τόνους χρώματος (πράσινο, κρεμ, χρυσό-καφέ) που οφείλεται στην

ύπαρξη σιδήρου και στους διάφορους βαθμούς οξειδωσης. Το γεγονός ότι λεπτές τομές του είναι διαφανείς, επέτρεψε την χρήση του όνυχα-μαρμάρου σαν υποκατάστατο υαλοπινάκων, κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου. Για παράδειγμα, τα παράθυρα στον θόλο της Αγιά Σοφίας είναι από όνυχα-μάρμαρο.

Οργανικά ή Βιογενή ιζήματα :

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

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

Τα μεταμορφωμένα πετρώματα έχουν συνήθως *σχιστοφυή* ιστό ο οποίος είναι αποτέλεσμα της στρωσιφυούς συγκέντρωσης ορυκτών στα πετρώματα (φυλλόμορφα και ινόμορφα). Τα αρχικά πετρώματα από τα οποία προέρχονται τα μεταμορφωμένα ονομάζονται πρωτόλιθοι. Όταν οι πρωτόλιθοι είναι πυριγενή πετρώματα το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα ορθο-, ενώ αντίστοιχα όταν οι πρωτόλιθοι είναι ιζηματογενείς το μεταμορφωμένο πέτρωμα παίρνει το πρόθεμα παρα- [1]

Σε σχέση με τις αλλαγές στον ιστό, την ορυκτολογική και την χημική σύσταση που υπόκεινται τα μεταμορφωμένα πετρώματα έχουμε τις ακόλουθες μεταμορφώσεις [3] :

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

Ανάλογα με την **ένταση της δράσης των παραγόντων μεταμόρφωσης** (πίεση, θερμοκρασία, θερμά διαλύματα και αέρια) έχουμε τους ακόλουθους βαθμούς μεταμόρφωσης :

- Χαμηλού βαθμού μεταμόρφωσης: οι μεταμορφικοί παράγοντες έχουν χαμηλές τιμές.
- Μέσου βαθμού μεταμόρφωση
- Υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης: οι τιμές των παραγόντων είναι σε υψηλά επίπεδα.

Τα κυριότερα μεταμορφωμένα πετρώματα είναι :

- **Το Μάρμαρο** έχει προέλθει από την μεταμόρφωση του ασβεστόλιθου. Αποτελείται κυρίως από ασβεστίτη (CaCO_3), έχει σκληρότητα 3 κατά Mohs, και ειδικό βάρος $2,7 \text{ g/cm}^3$. Εκτός από τον ασβεστίτη μπορεί να περιέχει δολομίτη, ορυκτό σκληρότερο (3,5-4 κατά Mohs), και βαρύτερο ($2,9 \text{ g/cm}^3$). Η παρουσία στο δολομίτη καθιστά την κατεργασία του μαρμάρου πιο δυσχερή και επιταχύνει την φθορά του. Επίσης, πολύ συχνά περιέχει και άλλες προσμίξεις (αιματίτης, σιδηροπυρίτης, κ.α.) που διασχίζουν με την μορφή φλεβών την μάζα του μαρμάρου. Τα μάρμαρα διακρίνονται σε λεπτοκοκκώδη (διάμετρος κρυστάλλου ασβεστίτη $[(d)= 0,01-0,05\text{mm}]$, μεσοκοκκώδη ($d=0,6-2\text{mm}$) και χονδροκοκκώδη ($d=2-6\text{mm}$) ανάλογα με το μέγεθος των κρυστάλλων του ασβεστίτη. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή και ανθεκτικότητα στους παράγοντες φθοράς, εξαιτίας της μικροδομής που παρουσιάζει (περίπου 0,3%). Ωστόσο, καταστρέφεται εύκολα από φωτιά, όπως και οι κοινοί ασβεστόλιθοι, γιατί περίπου στους 900°C , αποσυντίθεται το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) σε CaO και CO_2 . Το χρώμα του μπορεί να είναι λευκό, γκρι, ροζ, ή πράσινο, με διάφορες μπάντες και φλέβες. Τα πιο γνωστά ελληνικά μάρμαρα είναι:
Της Πάρου: Κατάλευκο μάρμαρο χωρίς στίγματα ή φλέβες. Αποτελείται από καθαρό ασβεστίτη χωρίς προσμίξεις. Παρουσιάζει μεγάλη διαφάνεια. Πλάκες από το μάρμαρο πάχους λίγων εκατοστών είναι ημιδιαφανείς. Θεωρείται το καλύτερο μάρμαρο του κόσμου και χρησιμοποιήθηκε πολύ κατά την αρχαιότητα (Ερμής του Πραξιτέλη)

Το Πεντελικό: Είναι λευκό και διασχίζεται από κυανίζουσες ή υπότεφρες γραμμές. Περιέχει μικρή αναλογία οξειδίων, κυρίως του σιδήρου. Στα οξείδια αυτά οφείλεται το χρώμα της σκουριάς που αποκτά όταν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Περιέχει επίσης, σπάνια, χαλαζία το οποίο δυσχεραίνει την επεξεργασία του.

Άλλοι τύποι μαρμάρων που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες κατασκευές είναι τα μάρμαρα της Μάνης, της Ερέτριας, του Μαραθώνα κ.α.

- **Γνεύσιος** : Πέτρωμα με γρανιτική όψη μεσόκοκκο αλλά με έντονη παράλληλη διευθέτηση των κόκκων και συγκέντρωση των ορυκτών σε ζώνες. Χαρακτηρίζεται από έντονη σχιστότητα. Τα κυριότερα συστατικά του είναι χαλαζίας, άστριοι και μαρμαρυγίες, αλλά μπορεί να υπάρχουν και άλλα ορυκτά όπως κεροστίλβη, κ.α.. Παρουσιάζει ικανοποιητική αντοχή σε συμπίεση όταν η φόρτιση γίνει κάθετα στον άξονα των κόκκων αλλά υστερεί όταν η φόρτιση γίνει παράλληλα με τους κόκκους. Μπορεί να προέλθει είτε από γρανίτη (όρθο-) είτε από αργιλικά πετρώματα (παρα-)
- **Σχιστόλιθος**: Παρόμοιος με τον γνεύσιο αλλά είναι μικρότερου βαθμού μεταμόρφωσης. Περιέχει μικρότερα ποσοστά αστρίων και χαλαζία, αλλά μεγαλύτερες ποσότητες μαρμαρυγιών και κεροστίλβης. Υπόκειται σε εύκολη διάτμηση με χρήση σχετικά μικρού φορτίου
- **Σερπεντίτης**: Συχνά αποκαλείται και σερπεντίτης-μάρμαρο. Αποτελείται από το ορυκτό σερπεντίτης ($Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$), ενώ περιέχει και τάλκη, αμφίβολο και χλωρίτη. Το πέτρωμα έχει πράσινο χρώμα με λευκές φλέβες ασβεστίτη ή ανθρακικού μαγνησίου. [1]

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΛΙΘΩΝ

Οι πόροι ενός πορώδους μέσου εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία ως προς το σχήμα το μέγεθος και τον τρόπο της μεταξύ τους σύνδεσης. [5]

Αναλυτικά τα είδη των πόρων [1] :

- **Κλειστοί**: είναι οι πόροι που δεν έχουν καμία σύνδεση μεταξύ τους και δεν είναι διαπερατοί από κάποιο ρευστό.
- **Νεκρού Άκρου** : είναι οι ανοιχτοί πόροι που έχουν μια είσοδο, αλλά δεν είναι διαπερατοί. Έτσι κάποιο ρευστό μπορεί εύκολα να εισέλθει σε αυτούς αλλά, είναι δύσκολο να εξέλθει.
- **Μελανοδοχεία** : ονομάζονται οι πόροι με περισσότερα του ενός ανοίγματα που είναι όμως πολύ στενά (λαιμοί) με αποτέλεσμα να είναι δύσκολα διαπερατοί από ρευστά.
- **Κανάλια** : είναι οι πόροι που είναι διαπερατοί από ρευστά
- **Τηλεσκοπία** : ονομάζονται οι πόροι των οποίων η διαπερατότητα είναι μεταξύ αυτής, των καναλιών και των μελανοδοχείων.

Ιδιότητες:

1. **Το Πορώδες** : Ο λόγος του όγκου των κενών ενός δείγματος, V_v , προς του συνολικού όγκου V ενός δείγματος του πορώδους μέσου.

$$n = (V_p / V_s) 100\%$$

Όταν το V_p αναφέρεται στο σύνολο των πόρων δηλαδή και στους ανοικτούς και στους κλειστούς πόρους ανεξάρτητα από το εάν αυτοί συνδέονται, τότε το πορώδες ονομάζεται απόλυτο ή ολικό.

Το πορώδες διακρίνεται επίσης σε ολικό και ανοικτό ή ενεργό πορώδες. Ανοικτό ονομάζεται το πορώδες όταν στο προηγούμενο ορισμό ο όγκος V_p αναφέρεται μόνο στον όγκο των ανοικτών πόρων και κλειστό, όταν αντίστοιχα ο όγκος V_p αναφέρεται μόνο στον όγκο των κλειστών πόρων. Το άθροισμα του ανοικτού και του κλειστού πορώδους είναι ίσο με το ολικό πορώδες.

Παρά το γεγονός ότι οι πόροι του νεκρού άκρου αποτελούν ανοικτούς πόρους συνεισφέρουν ελάχιστα στη ροή ενός ρευστού μέσα από αυτούς. Έτσι ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν εκείνοι οι πόροι που συνδέονται μεταξύ τους, με αποτέλεσμα ένα ρευστό να μπορεί να κινηθεί μέσα από αυτούς και να διαπεράσει το δείγμα από άκρο σε άκρο, στο σύνολο του όγκου του υλικού. Οι πόροι αυτοί συνιστούν το ενεργό ή συνεκτικό πορώδες το οποίο αποτελεί ένα μέρος του ανοικτού πορώδους. [5]

- 2. Η Πυκνότητα :** είναι μια ιδιότητα του υλικού η οποία περιγράφεται με διάφορες μορφές[6] Ως πυκνότητα ορίζεται ο λόγος της μάζας προς τον όγκο του υλικού. Ανάλογα με τον ορισμό του όγκου του και τι αυτός περιλαμβάνει, περιγράφονται αντίστοιχα οι διάφοροι τύποι πυκνότητας. [4, 6, 7, 8]

Διακρίνεται σε *Πραγματική Πυκνότητα :*

Ο λόγος της μάζας ενός δείγματος προς τον πραγματικό όγκο του δείγματος (χωρίς τα κενά).

$$\rho = W/V_s, \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

και σε *Φαινόμενη Πυκνότητα :*

Ο λόγος της μάζας ενός δείγματος λίθου προς τον φαινόμενο όγκο του δείγματος (μαζί με τα κενά)

$$\rho_{app} = W/V_{app}, \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

- 3. Η Υδαταπορρόφηση :** Η υδαταπορροφητικότητα του λίθου εξαρτάται: [6, 10]
- Από το πορώδες : Όσο πιο μεγάλο πορώδες έχει ο λίθος τόσο πιο μεγάλη απορροφητικότητα παρουσιάζει.
 - Από την μορφή και το μέγεθος των πόρων : που παρουσιάζει ο λίθος. Πόροι μεγάλοι και ευθύγραμμοι επιτρέπουν εύκολα την είσοδο του νερού. Αντίθετα πόροι πολύ μικρής διαμέτρου, με δαιδαλώδη διάταξη και κλειστοί πόροι (που δεν συγκοινωνούν μεταξύ τους) δυσχεραίνουν την τον εμποτισμό των λίθων από το νερό. Λίθοι που παρουσιάζουν μικρή υδαταπορροφητικότητα παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην διαβρωτική δράση του νερού (τριχοειδή αναρρίχηση, κυκλοφορία αλάτων, κρυστάλλωση κ.α.).
- 4. Η Σκληρότητα :** Ονομάζεται η αντίσταση που παρουσιάζει ο λίθος στην χάραξη ή λείανση του. Η σκληρότητα δεν είναι εγγενής ιδιότητα του υλικού καθώς η τιμή της δεν εξαρτάται από τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Οι δοκιμές σκληρότητας είναι απλά εμπειρικά τεστ που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό και το χαρακτηρισμό των υλικών. [6]
- 5. Συντελεστής Θερμικής Διαστολής :** Εκφράζει την συμπεριφορά του λίθου κατά την θέρμανση. Δίνεται από τον τύπο:

$$\alpha_l = l - l_0 / l_0 * T$$

όπου: l: το μήκος του δοκιμίου και T η θερμοκρασία.

- 6. Μηχανικές Αντοχές :** η χρήση τους είναι για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας και την αντοχή τους σε :
- εφελκυσμό

- θλίψη

με σκοπό τη δημιουργία καμπυλών τάσης καταπόνησης οι οποίες παρέχουν σημαντικό πλήθος πληροφοριών σχετικά με τις μηχανικές αντοχές των υλικών. [11]

ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗ ΦΘΟΡΑ

Η επιδεκτικότητα των λίθων στη φθορά είναι συνάρτηση των μηχανικών και δομικών παραμέτρων τους : [11, 12]

- (α) αντοχή σε θλίψη
- (β) μέτρο συμπίεσότητας
- (γ) πορώδες και κατανομή μεγέθους πόρων
- (δ) ειδική επιφάνεια των πόρων

Παράλληλα όμως είναι και αντιστρόφως ανάλογη της ανθεκτικότητας τους σε περιβαλλοντικά φορτία .

Μελέτη της Μικροδομής – Χαρακτηρισμός και συμπεριφορά πορώδων υλικών

Σκοπός της μελέτης της μικροδομής είναι η συσχέτιση των χαρακτηριστικών της , όπως οι φυσικοχημικές ιδιότητες υλικών καθώς η συμπεριφορά των πορωδών μέσων σε σχέση με τα φαινόμενα μεταφοράς μάζας και ενέργειας (κύκλος ατμών / νερού στο περιβάλλον) παίζει καθοριστικό ρόλο. [1]

Τα χαρακτηριστικά μικροδομής που μελετώνται για την επιδεκτικότητα στη φθορά είναι:

- ειδική επιφάνεια πόρων
- μέση ακτίνα/διάμετρος πόρων
- φαινόμενη πυκνότητα
- ανοιχτό πορώδες
- κατανομή μεγέθους πόρων
- σχήμα πόρων

Ομοίως μελετώνται και οι ιδιότητες υλικών:

- Υδατοαπορρόφηση
- Διαπερατότητα σε υγρό και ατμούς
- Ρόφηση – Εκρόφηση αερίων και υγρών [1]

Οι σημαντικότερες μέθοδοι εξέτασης των χαρακτηριστικών μικροδομής ενός υλικού είναι :

- Ποροσιμετρία υδραργύρου (Mercury Intrusion Porosimetry)
- Επεξεργασία ψηφιακής εικόνας (Digital Image Processing)
- Ρόφηση – Εκρόφηση αερίων (π.χ. αζώτου - BET)

Μελέτη Ιδιοτήτων

- Η Υδατοαπορρόφηση : αυτή η ιδιότητα μετριέται με τις ακόλουθες πειραματικές τεχνικές : **Τριχοειδής αναρρίχηση** με εξάτμιση και παρακολούθηση φαινομένου με υπέρυθρη θερμογραφία και **εμβάπτιση** με ζύγιση δοκιμίου με σκοπό τον υπολογισμό νερού που απορροφήθηκε.
- Τριχοειδής Απορρόφηση του Νερού: η ποσότητα του νερού που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας συναρτήσει του χρόνου σε P και T περιβάλλοντος για ένα δείγμα του οποίου η βάση του βρίσκεται σε επαφή με απιονισμένο νερό.
- Διαπερατότητα : ο ρυθμός ροής των υδρατμών συναρτήσει του χρόνου διαμέσου της επιφάνειας του υλικού κάτω από την επίδραση της διαφοράς πίεσης ανάμεσα στις δύο επιφάνειες σε συγκεκριμένες T και R.H.

1.1.2. Κονιάματα

Κονιάματα ονομάζονται τα μείγματα που αποτελούνται από μια ή περισσότερες συνδετικές ύλες (κονίες) λεπτόκοκκα αδρανή (διάμετρος $\leq 4\text{mm}$) και νερό. Εάν τα μίγματα αυτά περιέχουν πιο χονδρόκοκκα αδρανή τότε ονομάζονται κονιοδέματα ή σκυροδέματα. Οι ιδιότητες του νωπού και του σκληρυσμένου κονιαμάτος εξαρτώνται από είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών , από το τρόπο ανάμειξης και εφαρμογής και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης . [1]

Κατηγορίες των κονιαμάτων :

Τα κονιάματα, κατ' αντιστοιχία με τις κονίες, διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **Τα αερικά:** δηλαδή εκείνα που πήζουν, σκληρύνονται και διατηρούνται μόνο στον αέρα.
- **Τα υδραυλικά:** που είναι δυνατό να πήξουν, να σκληρυνθούν και να διατηρηθούν, όχι μόνο στον αέρα, αλλά και μέσα στο νερό.

Στην κατηγορία των υδραυλικών κονιαμάτων κατατάσσονται και εκείνα τα οποία, αφού πήξουν στον αέρα, μπορούν να σκληρυνθούν και να διατηρηθούν μέσα στο νερό.

Ανάλογα με το φαινόμενο βάρος τους διακρίνονται:

- σε ελαφριά ή ελαφροβαρή ($< 1500 \text{ kg/m}^3$)
- σε βαριά ($> 1500 \text{ kg/m}^3$)

Ανάλογα με το είδος της κονίας ή των αδρανών σε:

- *Τσιμεντοκονιάματα* με συνδετική ύλη το τσιμέντο
- *Ασβεστοκονιάματα* με συνδετική ύλη τον πολτό άσβεστου ή την κονιοποιημένη υδράσβεστο.
- *Τσιμεντοασβεστοκονιάματα* ή μικτά κονιάματα με μίγμα τσιμέντου και υδρασβέστου ως συνδετική ύλη
- *Ποζολανικά* κονιάματα με συνδετική ύλη υδράσβεστο (με μερική υποκατάσταση με τσιμέντο) και ποζολάνη (φυσική ή τεχνητή)
- *Μαρμαροκονιάματα* με κύριο αδρανές την μαρμαρόσκονη αντί της άμμου και συνδετική ύλη ασβέστη ή τσιμέντο (με ενδεχόμενη μικρή προσθήκη γύψου).

- *Γυψοκονιάματα* με κύριο συνδετικό υλικό την γύψο.

Ανάλογα με την χρήση τους σε:

- κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας,
- κονιάματα επιχρισμάτων
- ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων
- επισκευαστικά κονιάματα
- συγκολλητικά όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες.

Διάφορες επιμέρους κατηγορίες όπως:

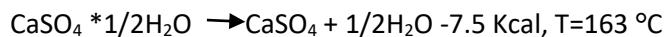
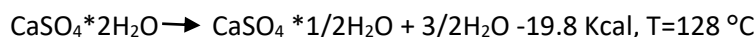
- θερμομονωτικά
- ηχομονωτικά
- πυράντοχα κ.τ.λ. [2]

Είδη Κονίας – Αδρανών – Πρόσθετα :

1. **Είδη Κονίας** :[13]

- *Αερικές Κονίες* :

i) *Γύψος* : Το θειικό ασβέστιο, είτε στην άνυδρη (CaSO_4), είτε στην διένυδρη μορφή του ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), που βρίσκεται με την μορφή ορυκτών στην φύση. Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την έψηση του $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ είναι:



Με ανάμιξη του ανυδρίτη ή του ημιυδρίτη με 60-70 % κ.β. νερό παρατηρείται πήξη της κονίας.

Άλλα χαρακτηριστικά του γύψου:

Χρόνος πήξης: 5-60 min

Χρόνος σκλήρυνσης: 7-40 min

Αντοχή σε εφελκυσμό: 10-20 kg/cm²

Αντοχή σε θλίψη: 40-20 kg/cm²

Παρασκευή κονιάματος από γύψο: Ανάμιξη με λεπτή άμμο μέχρι ένα ποσοστό 50 % [14]

ii) *Αερική Ασβεστος* : Παράγεται με έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων.

Μορφές ασβεστόλιθου:

Καθαρός (CaCO_3) , Δολομιτικός ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)

Ανάλογα με την μορφή του αρχικού πετρώματος λαμβάνουμε διαφορετική ποιότητα ασβέστη με τη διαδικασία παραγωγής ασβέστη σε τρία στάδια:

1. Έψηση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και παραγωγή του CaO
2. Έσβεση του CaO και παραγωγή του $\text{Ca}(\text{OH})_2$

3. Σκλήρυνση του $\text{Ca}(\text{OH})_2$ και παραγωγή του CaCO_3

iii) Άλλες αερικές κονίες :

Οι συνθετέστερες αερικές κονίες που ανάλογα με την εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα κονιάματα, περιληπτικά είναι οι εξής :

- **Άργιλος:** Εκτός από καθαρό λευκό καολίνη ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) περιέχει λίγο ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), οξείδια του σιδήρου (Fe) και άλλες προσμίξεις που καθορίζουν το χρώμα του. Χρησιμοποιείται για τα πυρίμαχα επιχρίσματα.
- **Πηλός:** Φυσικό μίγμα από άργιλο και λεπτόκοκκα έως μεσόκοκκα αμμώδη συστατικά. Με την ξήρανση σκληρύνεται και συστέλλεται τόσο περισσότερο όσο πιο παχύ είναι, δηλαδή όσο περισσότερο άργιλο περιέχει. Ο πηλός στην τελική ξηρά κατάσταση έχει καλές ηχομονωτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, αλλά είναι ευαίσθητος στο νερό και στον παγετό. Είναι από τις παλαιότερες κονίες που χρησιμοποιήθηκαν.
- **Δομικοί γύψοι:** Προέρχονται από τον ορυκτό γύψο (CaSO_4) μετά από μερική ή ολική αφυδάτωσή του. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κονιάματα επιχρισμάτων και πολλές φορές αναμιγνύονται με ειδικά πρόσθετα τα οποία βελτιώνουν ορισμένες ιδιότητες (συνεκτικότητα, χρόνος πήξεως, πρόσφυση, κλπ.). Ο κοινός γύψος (ανυδρίτης) πήζει πολύ γρήγορα (αρχή μεταξύ 8 και 20min – τέλος μεταξύ 20 και 60min). Οι δομικός γύψος είναι σκόνη συνήθως λευκή, υπόλευκη ή κιτρινωπή. Παραδίνεται κυρίως σε σάκους αλλά και χύμα σε σιλό. Όπως οι άλλες κονίες πρέπει να αποθηκεύεται οπωσδήποτε σε στεγνό χώρο. Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για εργασίες στόκου, σε κονιάματα επιχρισμάτων σε επιχρίσματα επί μεταλλικών πλεγμάτων, για την κατασκευή δομικών πλακών και σωμάτων καθώς και για την κατασκευή δαπέδων.
- **Κονίες ανυδρίτη:** Είναι μη υδραυλικές συνδετικές ύλες που παρασκευάζονται με συν άλεση ή ανάμιξη ανυδρίτη και διεγέρτη. Ως ανυδρίτης χρησιμοποιείται φυσικό ή συνθετικό CaSO_4 με περιεκτικότητα τουλάχιστον 85% CaSO_4 . Ως διεγέρτες χρησιμεύουν ύλες με βασικές ιδιότητες (άσβεστοι ή τσιμέντα Πόρτλαντ) ή διάφορα άλατα καθώς και μίγματα μεταξύ των. Η πήξη τους αρχίζει αφού περάσουν τουλάχιστον 20min από την παρασκευή τους και πρέπει να λήξει τις επόμενες 12 ώρες. Πρέπει να έχουν σταθερότητα όγκου και δεν επιτρέπεται η ανάμιξή τους με υδραυλικές κονίες για να αποφευχθεί η διόγκωση κατά την πήξη. Χρησιμοποιούνται κυρίως για δάπεδα και διακοσμητικά επιχρίσματα.
- **Ποζολάνες:** Γνωστές από τα πολύ παλιά χρόνια. Απαντούν σε οικίες της Δήλου (2ος αιώνας π.Χ.), αλλά και σε μνημεία της Ρωμαϊκής εποχής. Έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα έργα του προηγούμενου αιώνα (Διώρυγα Σουέζ, Ισθμός Κορίνθου). Είναι φυσικά ή τεχνητά πυριτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά, η χαρακτηριστική ιδιότητα των οποίων είναι ότι σε λεπτότατο καταμερισμό και με την παρουσία υγρασίας ενώνονται χημικά με την υδράσβεστο, στη συνήθη θερμοκρασία, και σχηματίζουν υδραυλικές ενώσεις. Αναλυτικά οι ποζολάνες περιγράφονται στο ΕΛΟΤ EN 197 – 1 : 2001.
- **Οι ιπτάμενες τέφρες:** Η ιπτάμενη τέφρα λαμβάνεται με ηλεκτροστατική ή μηχανική κατακρήμνιση των αιωρούμενων σωματιδίων στα καυσαέρια κλιβάνων που καίνε κονιοποιημένο άνθρακα. Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να είναι πυριτικής ή ασβεστούχου φύσης. Στην πρώτη περίπτωση έχει ποζολανικές ιδιότητες, στη δεύτερη μπορεί να έχει, επιπρόσθετα, υδραυλικές ιδιότητες. Η απώλεια πύρωσης της ιπτάμενης τέφρας, που προσδιορίζεται σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN 196-2, με χρόνο όμως πύρωσης 1h, δεν πρέπει να υπερβαίνει το 5% κατά μάζα. Στην Ελλάδα, οι ποσότητες της ιπτάμενης τέφρας που

παράγονται ετησίως εκτιμώνται γύρω στους 12 εκατομμύρια τόνους, το μεγαλύτερο ποσοστό των οποίων παράγεται από τη ΔΕΗ και συγκεκριμένα από τους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της επιχείρησης σε Κοζάνη, Πτολεμαΐδα και Μεγαλόπολη. Ειδικότερα, το 80% της παραγόμενης ελληνικής τέφρας προέρχεται από την περιοχή μεταξύ Κοζάνης και Πτολεμαΐδας, ενώ το 20% από την περιοχή της Μεγαλόπολης. Από την παραγόμενη αυτή ποσότητα μόνο το 10% αξιοποιείται στην Ελλάδα ενώ στην Ευρώπη το ποσοστό εκμετάλλευσης φτάνει γύρω στο 18%, κυρίως γιατί η ποιότητα της ελληνικής τέφρας την καθιστά λόγω ανομοιογένειας, λεπτότητας και άλλων χαρακτηριστικών, λιγότερο αξιοποιήσιμη σε σχέση με τις ευρωπαϊκές υπτάμενες τέφρες.

- Υδραυλικές Κονίες :

- i) *Υδραυλική άσβεστος* : Είναι άσβεστοι που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Παράγονται με έψηση πλουσίων σε αργίλιο ασβεστόλιθων και στην συνέχεια σβήσιμο και άλεση ή με την ανάμιξη των κατάλληλων υλικών με υδροξείδιο του ασβεστίου. Έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνουν όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το διοξείδιο του άνθρακα συμβάλλει θετικά στην διαδικασία της σκλήρυνσης. Διακρίνονται στις υδραυλικές και στις φυσικές υδραυλικές άσβεστους. Δεν παράγονται βιομηχανικά στην Ελλάδα. Η φυσική υδραυλική άσβεστος προέρχεται από έψηση ειδικών μαργαϊκών ασβεστόλιθων που περιέχουν 5-20% άργιλο. Η έψηση γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες από αυτές του τσιμέντου και συγκεκριμένα από 900-1300°C Η άσβεστος αυτή έχει υδραυλικές ιδιότητες που οφείλονται στις ενώσεις του ασβεστίου με το πυρίτιο το αργίλιο και τον σίδηρο που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονίας. Μειονεκτεί όμως σημαντικά λόγω του μεγάλου ποσοστού του ελεύθερου CaO που περισεύει. Για τον λόγο αυτόν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτούσια στα διάφορα κονιάματα, αλλά απαιτεί ποζολάνες ώστε να δεσμευτεί το ελεύθερο CaO με το ενεργό SiO₂ που αυτές ως γνωστόν έχουν.[14, 15]

Τεχνολογία όπτησης μαργαϊκών ασβεστόλιθων

Έψηση αργιλικών ασβεστόλιθων που αποτελούνται από ένα μίγμα ανθρακικού ασβεστίου και αργίλου (μάργες). Η θερμοκρασία έψησης περίπου 900-950 °C. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις περιγράφουν το φαινόμενο που παρατηρείται κατά την έψηση των παραπάνω πετρωμάτων:

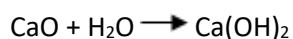


Μοντέρνα παραγωγή τεχνητής υδραυλικής άσβεστος:

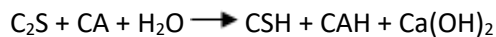
Ανάμιξη αργίλου και ασβεστόλιθου και έψηση στους 1100-1200 °C.

Σβέση της Υδραυλικής Άσβεστος

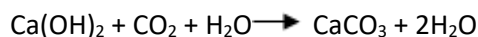
Κατά το πρώτο στάδιο κατά την διάρκεια της ξηρής έσβεσης, το CaO μετατρέπεται σε Ca(OH)₂.



Κατά το δεύτερο στάδιο, και όταν προστεθεί επιπλέον νερό οι αργιλοπυριτικές ενώσεις ενυδατώνονται, παράγοντας ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) και ένυδρο πυριτικό αργίλιο (CAH). Αυτές οι ενώσεις είναι που προκαλούν και την γρήγορη σκλήρυνση του μείγματος κατά την αντίδραση:



Ενανθράκωση της υδραυλικής άσβεστου



Κατάταξη των άσβεστων με βάση τον δείκτη υδραυλικότητας:

Δείκτης Υδραυλικότητας του Vicat :

Δείκτης υδραυλικότητας: $(i) = (Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3) / (CaO + MgO)$ είναι :

$i=0.00-0.01$ αερική άσβεστος

$i=0.10-0.16$ άσβεστος χαμηλής υδραυλικότητας

$i=0.16-0.32$ άσβεστος μεσαίας υδραυλικότητας

$i=0.31-0.42$ υδραυλική άσβεστος

$i=0.42-0.50$ άσβεστος υψηλής υδραυλικότητας

$i > 0.5$ τσιμέντο

Χρόνος πήξης για διαφορετικούς τύπους άσβεστου :

Είδος Κονίας	Ποσοστό Αργίλου (%)	Ποσοστό CaCO ₃ (%)	Δείκτης Υδραυλ. i	Χρόνος Πήξης
Αερική Άσβεστος	0.0-5.3	100-94.7	0.00-0.10	-
Χαμηλής Υδραυλικότητας	5.3-8.2	94.7-91.8	0.10-0.16	16-30 d
Μεσαίας Υδραυλικότητας	8.2-14.8	91.8-85.2	0.16-0.31	10-15 d
Υδραυλική Άσβεστος	14.8-19.1	85.2-80.9	0.31-0.42	5-9 d
Υψηλής Υδραυλικότητας	19.1-21.8	80.9-78.2	0.42-0.50	2-4 d
Τσιμέντο	21.8-26.7	78.2-73.3	0.50-0.65	ώρες
Τσιμέντο Ταχείας Πήξης	26.7- 40	73.3-60.0	0.65-1.20	αμέσως

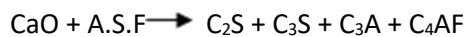
Εικόνα :1.6 Χρόνοι πήξης και χαρακτηριστικά τύπων άσβεστου

Μηχανικές αντοχές για κονιάματα με αναλογία συνδετικής ύλης /Αδρανών =1/3 μετά από 28 ημέρες :

- Αερικής άσβεστου: <0.3 Mpa
- Υδραυλικής άσβεστου ή άσβεστου-ποζολάνας: <= 1 - 3 Mpa
- Υψηλής υδραυλικότητας: < 3 - 8 Mpa
- Τσιμέντο: 10 -40 Mpa

Τσιμέντο : Τσιμέντο ονομάζεται η τεχνητή, λεπτόκοκκη κονία που παρασκευάζεται με άλεση του κλίνκερ, όπως ονομάζεται διεθνώς είναι προϊόν της όπτησης μίγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων σε ποσοστό. Η παραγωγή του τσιμέντου γίνεται με τα εξής βήματα. Αρχικά, πραγματοποιείται η εξόρυξη πρώτων υλών (ασβεστόλιθος και άργιλος). Στη συνέχεια γίνεται η άλεση και η παραγωγή φαρίνας. Έπειτα, γίνεται η έψησή της σε υψικάμινο σε θερμοκρασίες 1400-1450°C και η παραγωγή κλίνκερ, όπου όλο το CaO δεσμεύεται από τις αργιλοπυριτικές ενώσεις, σε αντίθεση με την υδραυλική άσβεστο, που μετά την έψηση περιέχει ελεύθερο CaO το οποίο πρέπει να σβηστεί.

Η διαδικασία γίνεται σύμφωνα με την αντίδραση:



Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάμιξη με διάφορα πρόσθετα (κυρίως γύψος, αλλά και ποζολάνες, ιπτάμενη τέφρα). Τέλος, πραγματοποιείται η άλεση και παραγωγή λεπτόκοκκης σκόνης (τσιμέντο). Κατά την αντίδραση του τσιμέντου με το νερό λαμβάνει χώρα παραγωγή των ένυδρων CSH, CAH, τα οποία με την μορφή gel προσδίδουν πολύ γρήγορη σκλήρυνση στο μίγμα. Η χημική αντίδραση που εκφράζει το φαινόμενο είναι:



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

Η πήξη του τσιμέντου προκαλείται λόγω των αλληλοεμπλεκόμενων δομών των προϊόντων ενυδάτωσης. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της ενυδάτωσης και της σκλήρυνσης του τσιμέντου ονομάζεται χρόνος πήξης (setting time). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο πήξης είναι η λεπτότητα του τσιμέντου, τα ποσοστά του αργλικού τριασβεστίου (C₃A) και της ελεύθερης άσβεστου (% CaO) καθώς και από το λόγο W/C (νερό/τσιμέντο). Η ρύθμιση του χρόνου πήξης πραγματοποιείται με την προσθήκη γύψου κατά την άλεση του κλίνκερ. [16]

Αδρανή : Τα αδρανή είναι υλικά τα οποία προέρχονται από την φυσική αποσάρθρωση ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και διάφορα υλικά όπως σκουριές από υψικάμινους, βιομηχανικά παραπροϊόντα, κ.α. Έτσι, ανάλογα με την προέλευση τους διακρίνονται σε φυσικά, θραυστά και βιομηχανικά αδρανή. Αποτελούνται από κόκκους ίδιου ή διαφορετικού μεγέθους και χρησιμοποιούνται σαν πληρωτικά υλικά στα κονιάματα. Κατά την σκλήρυνση της κονίας οι κόκκοι

αυτοί συνδέονται μεταξύ τους κι έτσι προκύπτει ένα στερεό σώμα κατάλληλο για κατασκευές, του οποίου οι ιδιότητες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της κονιάς. [14] [17] [18] [19] .

Τα αδρανή των λατομείων πλεονεκτούν ως προς το γωνιώδες σχήμα των κόκκων και την καθαρότητα τους, όταν προέρχονται από καθαρό πέτρωμα. Μετά την εξόρυξη, τα πετρώματα τεμαχίζονται στα επιθυμητά μεγέθη με θραυστήρες, τριβεία ή μύλους διαφόρων τύπων. Εν συνεχεία διαχωρίζονται σε διάφορα κλάσματα μεγεθών με κόσκινα. Όταν τα υλικά τα προερχόμενα είτε από ορυχεία είτε από λατομεία περιέχουν άργιλο και γενικά όταν δεν είναι καθαρά και σύμφωνα με τις απαιτήσεις των προδιαγραφών, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν μετά από πλύση.

Η άμμος είναι το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη. Κατά τον Βιτρούβιο, η καλύτερη ποιότητα άμμου είναι αυτή που προέρχεται από τα λατομεία, αλλά γνωρίζοντας ότι δεν βρίσκεται εύκολα παντού, δίνει στο έργο του συμβουλές και για τα άλλα είδη άμμου. Αναφέρει ακόμη ότι η άμμος θαλασσινής προέλευσης πρέπει κατ' αρχήν να κοσκινίζεται, και μετά να πλένεται προσεκτικά, πριν οποιαδήποτε χρήση της, διαφορετικά θα μεταφέρει μέσω του κονιάματος στην τοιχοποιία άλατα, γεγονός το οποίο μπορεί να αποβεί καταστροφικό γι' αυτήν.

Κατά την επιλογή και την χρήση των αδρανών, έμφαση δίνεται :

- Στη κοκκομετρική διαβάθμιση όπου προτιμάται η χρήση αδρανών με σχετικά μεγάλο εύρος προκειμένου να καλύπτουν οι μικροί κόκκοι τα κενά που αφήνουν οι μεγαλύτεροι. Επιδιώκεται το <250μm κλάσμα να είναι το 10-25% του συνολικού βάρους της άμμου. Εάν το κλάσμα αυτό αντιπροσωπεύει ποσοστό μικρότερο του 10%, τότε θα υπάρχουν κενά και τότε θα πρέπει να προστεθεί κονία για να βελτιωθεί η εργασιμότητα. Αυξημένο όμως ποσοστό κονιάς θα οδηγήσει σε ρωγμές λόγω του αυξημένης συστολής ξήρανσης. Όταν όμως υπάρχουν αδρανή υλικά με αυξημένο λεπτόκοκκο κλάσμα (δηλαδή με μέγεθος κόκκου μικρότερο των 63μm) σε ποσοστό μεγαλύτερο του 5%, τότε δημιουργείται έντονο πρόβλημα καθόσον καλύπτονται οι κόκκοι του αδρανούς και εμποδίζεται η ένωση του με τον πολτό. Το λεπτόκοκκο αυτό κλάσμα λέγεται παιπάλη.
- Στην παρουσία προσμίξεων. Τα οργανικά υλικά παρεμβάλλονται μεταξύ των αδρανών και της κονιάς εμποδίζουν την άμεση ανάληψη των ιδιοτήτων του μίγματος. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να επηρεάσουν την ενυδάτωση της νωπής πάστας με τρόπο ανεξέλεγκτο σε συνάρτηση με την ποιότητα και την ποσότητα τους, με τυχαίο τρόπο και για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η παρουσία οργανικών υλικών οδηγεί στην επιβράδυνση της διαδικασίας ενυδάτωσης της πάστας και την μείωση της μηχανικής αντίστασης του μίγματος. Άλλα συστατικά που προκαλούν μείωση της αντοχής είναι οι γαιάνθρακες ή οι λιγνίτες και διάφορα αποσαθρωμένα συστατικά, όπως ο αργιλικός σχιστόλιθος. Τα πυριτικά υλικά μπορεί να παρεμποδίσουν το σχηματισμό σημαντικών ρωγμών, αλλά και να διαφοροποιήσουν τη δομή του αρχικού μίγματος με την πάροδο του χρόνου καταλαμβάνοντας τη θέση άλλων συστατικών. Ακόμη, οι ενώσεις του θείου όπως ο γύψος μπορούν να προκαλέσουν διόγκωση του κονιάματος, κάτι που με τη σειρά του προκαλεί επιπρόσθετες τάσεις στη κατασκευή ή και μικρο ρηγματώσεις κατά τη πήξη. Όμοια

επίδραση έχουν και οι ενώσεις σιδήρου οι οποίες προκαλούν διόγκωση και εμφανίζουν κηλίδες στο κονίαμα. Η παιπάλη απαιτείται να είναι σε περιεκτικότητα κάτω του 5% καθώς εμποδίζει την επιθυμητή συνεκτικότητα μεταξύ αδρανούς και κονιάς καθώς παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο όπως επίσης αυξάνει την ανάγκη σε νερό. Τα θειικά ιόντα, τα χλωριόντα και γενικά τα νιτρικά άλατα και τα αλογόνα είναι επίσης ανεπιθύμητες προσμίξεις, καθώς μπορούν να επιταχύνουν τη φθορά του κονιάματος.

- Στην υγρασία όπου οι αναλογίες μίξης των συστατικών των κονιαμάτων που δίνονται στα διάφορα πρότυπα, ισχύουν με την προϋπόθεση ότι η άμμος περιέχει υγρασία περίπου 3%. Ιδιαίτερα ξηρές ή πολύ υγρές άμμοι καταλαμβάνουν διαφορετικό χώρο. Για τον λόγο αυτό κατά τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος οι ποσότητες των άμμων πρέπει να διορθώνονται ανάλογα με την υγρασία που έχουν.

Η κατηγοριοποίηση των αδρανών μπορεί να γίνει με βάση συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που αναπτύσσονται παρακάτω :

Κατάταξη αδρανών ανάλογα με την φύση τους

- Φυσικά αδρανή όπως πέτρες, βότσαλα, χαλίκια χωρίς επεξεργασία ή θραυσμένα
- Βιομηχανικά αδρανή: διογκωμένη άργιλος, διογκωμένος περλίτης, βερμικουλίτης κ.τ.λ.

Συνηθισμένα αδρανή

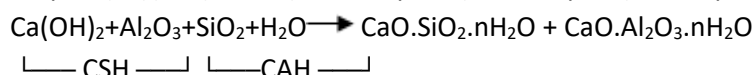
- Άμμος (θαλασσινή-ανθρακικής σύστασης, ποταμίσια-χαλαζιακής σύστασης, λατομείου)
- Θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, από γρανίτες, δολομίτες, χαλαζία κ.τ.λ.
- Θραύσματα κεραμικού. Δημιουργία ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου. Καλύτερη πρόσφυση. Καλύτερες μηχανικές αντοχές.
- Κίσηρη. Παραγωγή ελαφρού κονιάματος. Μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Πρόσθετα : Σκοπός της χρήσης τους είναι η βελτίωση διαφόρων χαρακτηριστικών των κονιαμάτων. [14][15][17]

1. Ανόργανα – Ποζολάνες : Ορισμός κατά ASTM C618:

“Πυριτικό ή αργιλοπυριτικό υλικό, το οποίο από μόνο του δεν παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες αλλά σε λεπτό αλεσμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρά με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε συνήθη θερμοκρασία και δημιουργεί ενώσεις που έχουν συνδετικές ιδιότητες”.

Η δράση της ποζολάνας στον ασβέστη δίνεται με την αντίδραση:



- Φυσικές Ποζολάνες : Από πυροκλαστικά πετρώματα (ηφαιστειακής προέλευσης), υαλώδους μορφής, με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60% όπως η Θηραϊκή γη, η Μηλαϊκή γη, οι ιταλικές ποζολάνες, διατομείς.
- Τεχνητές Ποζολάνες :
Αρχαιότητα: λεπτά θραύσματα από κεραμικά, πλίνθους αγγεία, κ.τ.λ. Η δραστηριότητα εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου και την θερμοκρασία έψησης.
Μοντέρνες τεχνητές ποζολάνες: ιπτάμενες τέφρες (PFA: pulverised fly ash), σκωρίες υψικαμίνων (Blast furnace slag), silica fume και ο μετακαολινίτης που προκύπτει από έψηση του καολινίτη.

Μετακαολίνης

Η χρήση ψημένης αργίλου, με τη μορφή του μετακαολίνης, ως ποζολανικό υλικό για κονιάματα και σκυροδέματα έχει προκαλέσει σημαντικό επιστημονικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Με τη χρήση του μετακαολίνης επιτυγχάνεται αυξημένη ανθεκτικότητα στα κονιάματα και σκυροδέματα και μειώνεται η κατανάλωση τσιμέντου Πόρτλαντ, του οποίου η παραγωγή είναι βλαβερή για το περιβάλλον. Ο μετακαολίνης χρησιμοποιείται σαν πρόσθετο στο τσιμέντο για την αποτελεσματική απομάκρυνση του ελεύθερου Ca(OH)_2 (CH), που παράγεται από την ενυδάτωση αυτού. [17]

Ο μετακαολίνης είναι ένα άνυδρο αργιλοπυριτικό στερεό που παράγεται από την όπτηση υψηλής καθαρότητας καολίνης σε μέτριες θερμοκρασίες (650-800 °C), όπου λαμβάνει χώρα η αποσύνθεση του καολινίτη $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Ο μετακαολινίτης μπορεί επίσης να παραχθεί από την έψηση λατεριτικών γαιών (750-800°C). Μια άλλη πηγή παραγωγής μετακαολίνης είναι η έψηση των αποβλήτων της ανακύκλωσης χαρτιού.

Ποζολανική Αντίδραση μετακαολίνης

Ο μετακαολίνης (AS_2) πληροί και τις δύο απαιτούμενες προϋποθέσεις, ώστε να χαρακτηριστεί ποζολανικό υλικό, μία από τις οποίες είναι να αντιδρά με το Ca(OH)_2 , και παράγει ενυδατωμένες ενώσεις ασβεστίου, αργίλου και πυριτίου, κάτι το οποίο κάνει με τις αντιδράσεις:

- AS_2 (μετακαολίνης) + 6CH + 9H . C_4AH_{13} (ένυδρο αργιλικό τετρασβέστιο) + 2CSH (τομπερμορίτης ή CSH1)
- AS_2 (μετακαολίνης) + 5CH + 3H . C_3AH_6 (ένυδρο αργιλικό τρισβέστιο) + 2CSH
- AS_2 (μετακαολίνης) + 3CH + 6H . C_4ASH_8 (ένυδρος γελενήτης) + CSH

Μερικοί παράγοντες που καθορίζουν τα προϊόντα και τον ρυθμό παραγωγής (κινητική της ποζολανικής αντίδρασης του μετακαολίνης με το Ca(OH)_2 είναι:

- Θερμοκρασία και χρόνος αντίδρασης
- Αναλογία Μετακαολίνης/ Ca(OH)_2
- Κοκκομετρία του μετακαολίνης, αυξημένη λεπτότητα . αυξημένη δραστηριότητα
- Το περιβάλλον (pH, προσμίξεις) Τα αλκάλια και ενώσεις αυτών επιταχύνουν τις αντιδράσεις ενυδάτωσης στα πρώιμα στάδια
- Ορυκτολογική σύνθεση μετακαολίνης ειδικότερα η περιεκτικότητα σε Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , SO_4
- Κρυσταλλικότητα του καολινίτη. Μεγάλη κρυσταλλικότητα → μετακαολινίτης μικρότερης δραστηριότητας.

2. Οργανικά : Οι χτίστες κατά την διάρκεια των αιώνων προσπαθούσαν συνέχεια να καλυτερεύσουν τις ιδιότητες των κονιαμάτων. Οι χτίστες βασισμένοι στην εμπειρία ή σε πληροφορίες που είχαν μεταδοθεί προφορικά, προσπαθούσαν να καταλάβουν και να μάθουν τις ιδιότητες των οργανικών υλικών και τα αποτελέσματα που αυτά παρήγαγαν με την χρήση τους στα κονιάματα. Αναφέρεται λοιπόν πως εκτός από τα ανόργανα πρόσθετα, έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης και οργανικά .Η πρόσθεση ενώσεων οργανικής φύσης έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση μιας σειράς ιδιοτήτων όπως η εργασιμότητα, οι μηχανικές αντοχές, η ανθεκτικότητα στον πάγο κ.τ.λ. Παρακάτω εμφανίζονται τα κυριότερα πρόσθετα που έχουν χρησιμοποιηθεί [1] [2] [15] [20]

Τα κύρια πρόσθετα που έχουν χρησιμοποιηθεί στα ιστορικά κονιάματα παρουσιάζονται παρακάτω στο σχήμα:

<i>Πρόσθετο</i>	<i>Επίδραση στο Κονίαμα</i>	<i>Υλικό Οργανική Προέλευσης</i>
Αερακτικό Σταθεροποιητής	Βελτιώνει την ανθεκτικότητα Σε μικρές ποσότητες λειτουργεί σαν σταθεροποιητής	βύνη, μπόρα, δέρμα ζώων κρόκος αυγού, λίπη, κερι
Filler	Βελτιώνει την σκληρότητα	κόλλα, αράβικη μαστίχα, αλκής, ζάχαρη, χυμούς φρούτων, γλουτένη, ρύζι, ζάχαρη
Πρόσθετο Διαστολής	Προκαλεί διαστολή κατά την πήξη	ζωϊκές και φυτικές κόλλες
Μετατροπέας	Βελτιώνει τις συγκολλητικές ιδιότητες	ασπράδι αυγού, αίμα, αλευρόκολλα, κερατίνη, κολλαγόνο, καζεΐνη, βόραξ, φυτικές ρητίνες
Αναστολέας μεταβολής όγκου	Δρα ανασταλτικά στην συστολή(μεταβολή όγκου)	κερί μέλισσα

Εικόνα 1.7. : Πρόσθετα Ιστορικών Κονιαμάτων

<i>Πρόσθετο</i>	<i>Επίδραση στο Κονίαμα</i>	<i>Υλικό Οργανική Προέλευσης</i>
Πλαστικοποιητής	Παρέχει πλαστικότητα, μειώνει την ψαθυρότητα, αυξάνει την εργασιμότητα	ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, λάδι λιναρόσπορου, λίπος χοίρου, γάλα σύκου, ζωϊκή κόλλα
Επιβραδυντής	Επιβραδύνει την ταχύτητα πήξης	ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, σακχαρίνη, αλευρόκολλα, βόραξ
Σταθεροποιητής	Αυξάνει την σκληρότητα και την ακαμψία	ζάχαρη, φυτικές και ζωϊκές κόλλες, μελάσα
Πρόσθετο που βελτιώνει τις αντοχές	Αυξάνει την αντοχή του διαλύματος	κερατίνη, καζεΐνη, τανίνη, κόλλα, λάδι λιναρόσπορου, τρίχες αγελάδος/βοδιού/ανθρώπου, άχυρο, ρύζι, ζύμη σικάλεως, ίνες βαμβακιού, ζωϊκές κόλλες, χυμός σύκου με κρόκο αυγού, ζάχαρη, ασπράδι αυγού
Πηκτικό γαλακτώματος	Επιταχύνει την πήξη του μίγματος	αίμα, ξυρισμένο γάλα, καζεΐνη, τυρί, κολλαγόνο, ζελατίνη

Εικόνα 1.8. : Πρόσθετα Ιστορικών Κονιαμάτων

Χαρακτηρισμός Ιστορικών κονιαμάτων :

Το κονίαμα είναι σύνθετο υλικό. Η τεχνολογία παραγωγής και οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες ποικίλλουν ανάλογα την περιοχή, την ιστορική περίοδο και την εφαρμογή-χρήση του κονιάματος. [14] [21]

Είδη κονιαμάτων:

Ασβεστιτικά Κονιάματα

Πρόκειται για ένα από τα πιο συχνά κονιάματα στις ιστορικές κατασκευές. Τα ασβεστιτικά κονιάματα παράγονται με ασβεσίτη (CaCO_3) ως υλικό κονιάς και ασβεστιτικά ή αργιλοπυριτικά υλικά ως αδρανή. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:1 μέχρι 1:4 με μέσο όρο 1:3, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω.

Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε CO_2 μεγαλύτερη του 32% και έως και το 40% σε μερικές περιπτώσεις. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές μικρότερες του

1%, το χημικά δεσμευμένο νερό το οποίο υπάρχει σε αδρανή και όχι στην κονία κυμαίνεται σε τιμές χαμηλότερες του 3%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι συνήθως μεγαλύτερος του 10 όταν έχει ασβεστίτικα αδρανή, και χαμηλότερες τιμές 7,5-10 όταν έχει κυρίως αργιλοπυριτικά αδρανή.

Τα δεδομένα της μικροδομής είναι φαινόμενη πυκνότητα 1,5-1,8 g/cm³, ολικό ειδικό όγκο 170-320 mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,8-3,3 μm, ειδική επιφάνεια 1,3-3,3 m²/g και ολικό πορώδες 18-40%.

Εμφανίζουν εφελκυστική τάση κάτω των 0,35 Μpa.

Ασβεστίτικα Κονιάματα μη μετασχηματισμένο ασβεστίτη

Πρόκειται για κονιάματα στη κονία των οποίων, στο εξωτερικό, τους έχει γίνει ο μετασχηματισμός του πορτλαντίτη σε ασβεστίτη αλλά στο εσωτερικό τους το μεγαλύτερο μέρος του κονιάματος να μην έχει ενανθρακωθεί ακόμη (αργή διαδικασία).

Ο λόγος κονίας/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:1 μέχρι 1:2. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν χαμηλότερη περιεκτικότητα σε CO₂ 18% και έως και 34%. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές μεγαλύτερες του 1%, το χημικά δεσμευμένο νερό κυμαίνεται σε 4-12% λόγω του υδροξειδίου του ασβεστίου. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι συνήθως 1,5-9. Τα δεδομένα της μικροδομής είναι φαινόμενη πυκνότητα 1,8-1,9 g/cm³, ολικό ειδικό όγκο 105-241mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,03-6,5μm, ειδική επιφάνεια 1,67-10,63 m²/g και ολικό πορώδες 20-43%. Εμφανίζουν εφελκυστική τάση 0,06-0,7 Μpa.

Κονιάματα υδραυλικής άσβεστου

Πρόκειται για κονιάματα που έχουν ως κονία το προϊόν της αργής καύσης ασβεστόλιθου σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Ο λόγος κονίας/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:1 μέχρι 1:4. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ από 24% και έως 34%. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές κοντά στο 1%, το χημικά δεσμευμένο νερό κυμαίνεται στα 3,5-6,5%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι συνήθως 4,5-9,5. Τα δεδομένα της μικροδομής είναι φαινόμενη πυκνότητα 1,7-2,1 g/cm³, ολικό ειδικό όγκο 90-230mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,1-3,5μm, ειδική επιφάνεια 2,5-13,5m²/g και ολικό πορώδες 18-40%. Εμφανίζουν εφελκυστική τάση 0,35-0,55 Μpa.

Ασβεστοπηλοκονιάματα

Πρόκειται για κονιάματα που έχουν ως κονία ένα συνδυασμό πηλού και υδρασβέστου.

Τα κονιάματα αυτού του είδους παρουσιάζουν περιεκτικότητα σε CO₂ κάτω των 32% και έως και 34%. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές κοντά κάτω του 1%, το χημικά δεσμευμένο νερό κυμαίνεται σε τιμές χαμηλότερες του 3,5% . Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας εμφανίζει διακυμάνσεις καθώς αυτά τα κονιάματα αποτελούνται από ασβέστη και φυλλοπυριτικές ορυκτές φάσεις (πηλός). Ο λόγος κονίας/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά είναι περίπου 1:1 και το πορώδες του είναι μεγαλύτερο από 30%

Κονιάματα Φυσικής Ποζολάνας

Τα κονιάματα αυτά έχουν ως κονία φυσική ποζολάνη. Ο λόγος κονιάς/αδρανή με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται από 1:4 μέχρι 1:5. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε CO₂ από 12% και έως και 20%. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές 4,5-5%, το χημικά δεσμευμένο νερό κυμαίνεται στα 5-14%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι μικρότερος του 3 (πολύ υδραυλικό). Τα δεδομένα της μικροδομής είναι φαινόμενη πυκνότητα 1,6-1,9g/cm³, ολικό ειδικό όγκο 160-265mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,1-1,5μm, ειδική επιφάνεια 3-14m²/g και ολικό πορώδες 30-42%. Εμφανίζουν εφελκυστική τάση μεγαλύτερη των 0,6 Μpa.

Κονιάματα Τεχνητής Ποζολάνας

Τα κονιάματα αυτά έχουν ως αδρανή είτε θραύσματα κεραμικού είτε περιέχουν κεραμάλευρο. Ο λόγος κονιάς/αδρανών με τον οποίων αναμειγνύονται τα υλικά κυμαίνεται στο 1:3, για σκυρόδεμα με θραυσμένο κεραμικό στο 1:2. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν υψηλή περιεκτικότητα σε CO₂ από 22% και έως και 29%. Το φυσικά δεσμευμένο νερό παρουσιάζεται σε τιμές 1-4%, το χημικά δεσμευμένο νερό κυμαίνεται στα 3,5-8,5%. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι μεταξύ των 3 και 6. Τα δεδομένα της μικροδομής είναι φαινόμενη πυκνότητα 1,5-1,9g/cm³, ολικό ειδικό όγκο 170-265mm³/g, μέση διάμετρο πόρων 0,1-0,8μm, ειδική επιφάνεια 3,5-9m²/g και ολικό πορώδες 30-40%. Εμφανίζουν εφελκυστική τάση μεγαλύτερη των 0,55 Μpa.

Μέθοδοι Χαρακτηρισμού των Κονιαμάτων

Ο χαρακτηρισμός των ιστορικών κονιαμάτων είναι μία αρκετά χρήσιμη διαδικασία στο τομέα της πολιτιστικής κληρονομιάς γιατί επιτρέπει να εξεταστούν οι διαφορετικές φάσεις ενός κτιρίου, μας επιτρέπει να λάβουμε σωστές (ή βέλτιστες) αποφάσεις για την αποκατάσταση ενός κτιρίου και μας επιτρέπει να κάνουμε χρονολόγηση του κτιρίου που εξετάζεται κάθε φορά, όπως θα αναφερθεί και παρακάτω. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για το χαρακτηρισμό κονιαμάτων. Κάθε μία μας δίνει διαφορετικές πληροφορίες για το δείγμα που εξετάζουμε και συνδυαστικά μεταξύ τους μπορούν να δώσουν αποτελέσματα σύμφωνα με τα οποία ο κάθε αναλυτής μπορεί να βγάλει πολλά συμπεράσματα. Ο κάθε αναλυτής χρησιμοποιεί διαφορετική μεθοδολογία, ανάλογα με τη περίπτωση που εξετάζει και τα μέσα που έχει (οικονομικά και εργοληπτικά). Είναι πολύ σημαντικό να έχει γίνει σωστή δειγματοληψία. Παρακάτω αναπτύσσονται κάποιες από τις κυριότερες μεθόδους για το χαρακτηρισμό αυτό. [6] [14] [17] [22] [23] [24] [21] [25]

Μακροσκοπικές-Μικροσκοπικές Παρατηρήσεις: Ο αναλυτής με τις πληροφορίες που έχει για το δείγμα από τη δειγματοληψία, με παρατήρηση στο στερεοσκόπιο ή σε μικροσκόπιο οπτικών ινών. Μπορεί να καταλάβει ποια χρήση είχε το κονίαμα (αρμολόγησης, συμπλήρωσης, κτλ), να δει τη ποικιλία των αδρανών ή εάν υπήρχαν άλλα πρόσθετα (πχ άχυρο, γιδότριχες κτλ). Η παρατήρηση στο μικροσκόπιο μπορεί να γίνει και είτε με στιλπνές είτε λεπτές τομές είτε χωρίς κάποια προεργασία στο κονίαμα, ανάλογα με το μικροσκόπιο το οποίο χρησιμοποιεί ο αναλυτής.

Φυσικός διαχωρισμός αδρανών-συνδετικού υλικού (Κοκκομετρική Ανάλυση): Πρόκειται για μία από τις πιο σημαντικές διαδικασίες κατά το χαρακτηρισμό. Με αυτή τη τεχνική γίνεται ο διαχωρισμός των αδρανών από τη κονία του κονιάματος. Προσδιορίζεται η κοκκομετρική κατανομή του κονιάματος, δηλαδή με ποιο τρόπο είναι κατανομημένα στο χώρο τα αδρανή του κονιάματος. Η πληροφορία αυτή μας δίνει ένδειξη των αντοχών του κονιάματος, της τεχνικής παρασκευής του και κατά συνέπεια της περιόδου κατασκευής του. Πέρα από τα παραπάνω μας δίνει τη δυνατότητα να

εξετάσουμε το είδος της κόνιας περαιτέρω. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ο πιο αποδοτικός και ασφαλής όμως είναι με κόσκινα συγκεκριμένης διαμέτρου.

Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD): Με τη περίθλαση ακτίνων Χ γίνεται ανίχνευση των κρυσταλλικών ενώσεων στο κονιάμα που εξετάζεται. Με αυτό τον τρόπο γίνεται ορυκτολογική σύσταση του κονιάματος. Είναι μία μέθοδος η οποία είναι σχετικά σημαντική για τον προσδιορισμό των κονιαμάτων, καθώς είναι οικονομική, γρήγορη και δίνει αποτελέσματα που είναι εύκολο να ερμηνευτούν.

Θερμική Ανάλυση (DTA-TG): Με αυτή τη τεχνική μπορεί να γίνει ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός σημαντικών χημικών ενώσεων (CaCO_3 , Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, οργανικά πρόσθετα, Χαλαζίας, κτλ.). Εκτός από αυτό το προσδιορισμό μπορεί να γίνει κατηγοριοποίηση των δειγμάτων με βάση την υδραυλικότητα, με βάση τον αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας. Η τεχνική αυτή είναι σημαντικό να ακολουθηθεί και στη κόνια, εάν έχει προηγηθεί ο διαχωρισμός των αδρανών από τη κόνια. Η τεχνική αυτή είναι μία από τις πιο σημαντικές που μπορεί να εφαρμοστεί καθώς δίνει πληροφορίες οι οποίες σημαντικότερες για τα κονιάματα.

Ολική εμβάπτιση σε νερό: Μέσω αυτής της τεχνικής εξετάζεται η συμπεριφορά του κονιάματος σε σχέση με το νερό. Μέσω αυτής της τεχνικής μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ποσότητα νερού μπορεί να απορροφηθεί από το δείγμα, το ολικό πορώδες προσβάσιμου στο νερό. Είναι αρκετά εύκολη μέθοδος και απαιτεί ελάχιστο εξοπλισμό, εάν ο αναλυτής θεωρεί απαραίτητο να βρεθούν τα παραπάνω χαρακτηριστικά τότε είναι επιθυμητό να γίνει, είναι χρήσιμη τεχνική, αλλά όχι απολύτως απαραίτητη. Δίνει μία καλή εικόνα τις μικροδομές του υλικού, χωρίς να είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθούν άλλες μέθοδοι που απαιτούν αρκετή προεργασία, εξοπλισμό, είναι χρονοβόρες και απαιτούν κάποιο κόστος.

Αγωγιμομετρία-Spot Test-Ph: Η μέτρηση αγωγιμότητας στο δείγμα μπορεί να μας δώσει το ποσοστό των διαλυτών αλάτων που περιέχονται στο δείγμα. Η περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα (πρέπει να είναι <3% για 'υγιές' δείγμα) και η τιμή του pH (ένα κονιάμα το οποίο δεν έχει υποστεί διάβρωση εμφανίζει ελαφρώς βασικές τιμές ~9) είναι ένδειξη της φθοράς του κονιάματος συνεπώς είναι ένα σημαντικό βήμα στο χαρακτηρισμό των κονιαμάτων. Με τα spot test γίνεται προσδιορισμός του είδους των αλάτων. (26)

Χρωματομετρία: Πρόκειται για τεχνική η οποία αποτυπώνει το χρώμα μίας επιφάνειας ή ενός υλικού με αριθμητικά μεγέθη. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να γίνει αντικειμενική αναφορά στο χρώμα ενός αντικειμένου. Χρησιμεύει ιδιαίτερα όταν μελετώνται επιχρίσματα ή κονιάματα τα οποία είναι φανερά σε ένα κτίριο. Πρόκειται για μία εύκολη και γρήγορη μέτρηση.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι για το χαρακτηρισμό των κονιαμάτων οι οποίες όμως δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν (πχ FTIR, Raman, XRF, SEM-EDX, MIP, πετρογραφικός έλεγχος, χημικές αναλύσεις, δοκιμές θλίψης, κτλ.). Σε ορισμένες περιπτώσεις και υπό προϋποθέσεις (πχ επαρκής ποσότητα δείγματος, γεωμετρία δείγματος, κτλ.) ίσως είναι χρήσιμο να εφαρμοστούν.

1.1.3. Κεραμικά – Οπτόπλινθοι

Τα κεραμικά είναι μη μεταλλικά ανόργανα στερεά με κρυσταλλική ή άμορφη δομή. Είναι συνήθως σκληρά, ψαθυρά, με υψηλό σημείο τήξης, χαμηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, καλή

Θερμική σταθερότητα και υψηλές θλιπτικές αντοχές. Τα κλασικά κεραμικά παρασκευάζονται από φυσικές πρώτες ύλες, συνήθως αργίλους, ασβέστη, άμμο κλπ. Η χρήση τους είναι συνήθως σε είδη αγγειοπλαστικής, πυρίμαχα τούβλα, κεραμίδια, γυαλί και τσιμέντο. Μετά το 1900 έχουν κατασκευαστεί και τεχνητά κεραμικά με ποικίλες ιδιότητες: με υψηλές προδιαγραφές αντοχής (fine ceramics), για ηλεκτρονικές εφαρμογές, για μοτέρ αυτοκινήτου, για βιολογικές εφαρμογές, μονωτικά, αντιστάσεις, ημιαγωγοί, υπεραγωγοί κλπ. [27]

Η διαδικασία παρασκευής ενός κλασικού, ιστορικού κεραμικού περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

1. Επιλογή του πηλού ανάλογα με τη χρήση του κεραμικού.
2. Διαδικασία καθαρισμού και καθίζησης του πηλού, ανάλογα με την ποιότητα του αντικειμένου που πρόκειται να κατασκευαστεί.
3. Ανάμιξη του πηλού με άμμο ή τριμμένο ασβεστόλιθο ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του αντικειμένου.
4. Διαμόρφωση του αντικειμένου με τα χέρια, τον κεραμευτικό τροχό ή καλούπια.
5. Τοποθέτηση σε φούρνο με την κατάλληλη ατμόσφαιρα και θερμοκρασία, ανάλογα με τις επιθυμητές ιδιότητες του αντικειμένου.

Αντιδράσεις κατά τη διαδικασία κατασκευής των κεραμικών :

- Μετασηματισμός φάσεων: πολυμορφίες (χαλαζίας)
- Αποσύνθεση: $AB_s \rightarrow A_s + B_g$ (ορυκτά της αργίλου, ανθρακικά, υδροξείδια Fe)
- Προσθήκη: $A_s + B_s \rightarrow AB_s$ (γαληνίτης, βολλαστονίτης, πυρόξενιοι, ανορθίτης)
- Υποκατάσταση: $AB_s + C_s \rightarrow AC_s + B_g$
- Διάχυση: ροή ατόμων διαμέσου των κενών της δομής
- Ανάπτυξη
- Καθίζηση: νέες φάσεις
- Τήξη
- Σύντηξη
- Υάλωση

Θερμοκρασία (°C)	Διαδικασία	Ορυκτά της αργίλου
<100	Αφύγρανση	Όλα τα ορυκτά της αργίλου
100-350	Αφυδάτωση	Αλλοϋσίτης, υδροξείδια Fe Αμεκτίτες, βερμικουλίτης Σεπίολιθος
400-600	Οξειδωση	Βιοτίτης Χλωρίτης Fe, γλαυκονίτης
450-800	Απουδροξυλίωση	500-600°C καολινίτης, ιλλίτης >700°C σαπωνίτης, σερπεντίνης, τάλκης
>800	Κατάρρευση δομής Μετασηματισμός Ανακρυστάλλωση Τήξη	Μετακαολινίτης → Al – Si σπινέλιος Σερπεντίνης → φορστερίτης

Εικόνα 1.9 : Συμπεριφορά των ορυκτών της αργίλου κατά την έψηση

Παράγοντες διάκρισης για την παραγένεση και μορφολογία ιστορικών κεραμικών:

- Η περιεκτικότητα σε Ca : Σε κεραμικά πλούσια σε Ca παρουσιάζεται προχωρημένη έως εκτεταμένη υάλωση και η παραγένεση περιορίζεται σε χαλαζία, ανορθίτη, διοψίδιο. Σε υψηλότερους βαθμούς υάλωσης εμφανίζονται Κ-πλαγιόκλαστα δημιουργούνται πλαγιόκλαστα ως προϊόντα αντίδρασης αργιλικών με ασβεσίτη Αντίθετα σε κεραμικά πτωχά σε Ca παρουσιάζεται προχωρημένη υάλωση, απουσία αυγίτη και διατηρούνται οι χαλαζίες, οι μαρμαρυγίες και οι άστριοι. Στους 700-1000°C: δεν δημιουργούνται νέες φάσεις, ενώ σε κεραμικά ενδιάμεσης περιεκτικότητας σε Ca παρουσιάζεται οξειδωτική ατμόσφαιρα εντοπισμένη υάλωση, περίσσεια αυγίτη και αποσύνθεση ασβεσίτη πριν τον ιλλίτη. Ο CaO αντιδρά με άργιλο και SiO₂ και δημιουργούνται νέες πυριτικές φάσεις Σε αναγωγική ατμόσφαιρα παρουσιάζεται παράλληλη αποσύνθεση ασβεσίτη – ιλλίτη. Με P CO₂ αυξημένη παρουσιάζεται αποσύνθεση ασβεσίτη. Ελεύθερο CaO παρουσιάζονται πλαγιόκλαστα, διοψίδιο, γαληνίτης σε υψηλότερες θερμοκρασίες από την οξειδωτική ατμόσφαιρα.

Παράγοντες διάκρισης για την παραγένεση και μορφολογία ιστορικών κεραμικών :

Ο μετασχηματισμός του CaO

Η περίσσεια αυγίτη εντοπίζει την υάλωση ενώ αυτή του ανορθίτη συνδέεται με εκτεταμένη υάλωση .Η μετατροπή υψηλότερου ποσοστού CaO σε κρυσταλλικές φάσεις του ασβεστίου, αναστέλλει και εντοπίζει την υάλωση, ενώ τα οξείδια Fe εγκλείονται στο πλέγμα του αυγίτη. Μεγάλο πορώδες (οξειδωτική ατμόσφαιρα). Η μετατροπή μικρότερου ποσοστού CaO σε ανορθίτη με απελευθέρωση οξειδίων Fe, επιτρέπει εκτεταμένη υάλωση, πυκνότερα, λιγότερο πορώδη, ανθεκτικότερα κεραμικά (οξειδωτική /αναγωγική ατμόσφαιρα).

Χαρακτηρισμός Κεραμικών :

Τεχνικές που χρησιμοποιούνται και πληροφορίες που συνάγουμε από αυτές είναι :

- Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης : Για τη μελέτη της μικρομορφολογίας και δομής, καθώς και την εκτίμηση θερμοκρασίας έψησης.
- Φασματοσκοπία ακτίνων Χ: Για την διερεύνηση της σύστασης αρχικού πηλού και δημιουργίας νέων φάσεων.
- Ποροσιμετρία υδραργύρου: Για τη μελέτη των χαρακτηριστικών της μικροδομής, της τεχνολογίας και των προδιαγραφών του υλικού, ευαισθησία στη διάβρωση.
- Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυτική ανάλυση (TG/DTA) : Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας έψησης, και τη διερεύνηση σύστασης αρχικού πηλού, και τελικώς τη ταξινόμηση σε ασβεστιούχα και μη ασβεστιούχα.
- Μετρήσεις μηχανικής αντοχής :για τη μελέτη της τεχνολογίας και των προδιαγραφών του υλικού ανάλογα με τη χρήση του.

1.2. Φθορά Δομικών Υλικών

Η φθορά (weathering) αναφέρεται στην απομείωση στον χρόνο των ιδιοτήτων (φυσικών, χημικών, μηχανικών κ.α.) και χαρακτηριστικών (ορυκτολογικών, υφής) των δομικών υλικών, με αποτέλεσμα την απώλεια της λειτουργικής ή/και αισθητικής τους αξίας. Η διάβρωση ορίζεται ως το σύνολο των φυσικών ή εκβιασμένων διεργασιών ενεργειακής υποβάθμισης φυσικής, χημικής, ηλεκτροχημικής, βιολογικής ή μικτής δράσης, που οδηγούν σε απώλεια υλικού. Υπάρχουν και άλλοι προτεινόμενοι όροι στα αγγλικά: alteration (αλλαγή, μετατροπή), decay ή damage (φθορά και η ανθρώπινη αντίληψη της φθοράς), degradation ή deterioration (υποβάθμιση). [28]

Η φθορά των δομικών υλικών ξεκινά ήδη από την επεξεργασία των αντίστοιχων μητρικών πρώτων υλών, για τη χρήση τους στην αρχιτεκτονική, γλυπτική κλπ.(μετάλλευμα-μέταλλο, πέτρωμα-πέτρα). Αυτό επιτάσσεται από τον 2ο θερμοδυναμικό νόμο, ο οποίος καθορίζει την αυθόρμητη εξέλιξη των φαινομένων προς μικρότερη ελεύθερη ενέργεια (F), ελεύθερη ενθαλπία (G), χημικό δυναμικό (μ) και μεγαλύτερη εντροπία (S):

$$\Delta F < 0, \Delta G < 0, \Delta \mu < 0, \Delta S > 0$$

Όσο μεγαλύτερη είναι η κατεργασία της μητρικής πρώτης ύλης, και όσο μεγαλύτερη η διαφορά της από το δομικό υλικό, τόσο πιο έντονα θα είναι τα φαινόμενα φθοράς τους. Η ταχύτητα και η ένταση των φθορών εξαρτώνται και από την επιθετικότητα του περιβάλλοντος, από τις ιδιότητες των υλικών, τους μηχανισμούς των δράσεων και τις τιμές της σταθεράς της ταχύτητας.

Τα φαινόμενα φθοράς κατατάσσονται γενικά ως ακολούθως:

- **Μηχανική ή φυσική φθορά:** Αφορά σε μηχανική χαλάρωση των δομών και διαχωρισμό των συστατικών του υλικού λόγω θλιπτικών, εφελκυστικών ή διατμητικών τάσεων, αναπτυσσόμενων δυνάμεων εντός του υλικού λόγω ανισοτροπίας ή διαδικασιών που σχετίζονται με την παρουσία διαλυτών αλάτων και των κύκλων ύγρυνσης-ψύξης. Παράδειγμα φυσικής φθοράς είναι η απολέπιση λίθου λόγω δράσης αλάτων .
- **Χημική φθορά:** Περιλαμβάνει τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο υλικό υπό την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων ή λόγω θερμοδυναμικής αστάθειας ορισμένων συστατικών του υλικού. Παράδειγμα χημικής φθοράς είναι η επίδραση της όξινη βροχής σε δομικά υλικά.
- **Βιολογική φθορά:** Αφορά στην επίδραση διαφόρων οργανισμών στα υλικά και σχετίζεται με τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες φθοράς.

Παράγοντες φθοράς δομικών υλικών :

Οι παράγοντες φθοράς διακρίνονται σε *ενδογενείς* και *εξωγενείς*:

Ενδογενείς Παράγοντες:

- Το είδος του δομικού υλικού (πέτρες, κονιάματα, ξύλο, πολυμερή κλπ.)
- Οι ιδιότητες του δομικού υλικού (φυσικές, χημικές, μηχανικές κλπ.)
- Η κατανομή της μάζας του σε επίπεδο μικροκλίμακας και μακροκλίμακας

- Η προέλευση και απόληψη του δομικού υλικού
- Η τεχνολογία διαμόρφωσής του στην τελική κατασκευή
- Η ιστορία του υλικού στις διάφορες κατασκευαστικές φάσεις του μνημείου και τις επεμβάσεις συντήρησης
- Η συμβατότητα των δομικών υλικών στην κατασκευή.

Εξωγενείς παράγοντες:

Το είδος των περιβαλλοντικών παραγόντων και φορτίσεων

- Τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος (θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, ηλιοφάνεια, υγρασία, γειτνίαση με την θάλασσα, ρυπαντές)
- Οι ειδικές συνθήκες του υλικού του μνημείου (προσανατολισμός, θέση υλικού, μορφολογία επιφάνειας, βαθμός προστασίας από την βροχή)
- Οι χωροταξικές, πολεοδομικές, κυκλοφοριακές ρυθμίσεις γύρω από το μνημείο και οι συνθήκες του εσωτερικού χώρου
- Οι βιολογικοί παράγοντες
- Οι μηχανικές φορτίσεις που επιδρούν στο μνημείο (κρυστάλλωση αλάτων, παγετός, διόγκωση μεταλλικών συνδέσμων, σεισμικές δονήσεις, θερμοκρασιακοί κύκλοι, εκτριβή).

1.2.1. Φθορά λίθων

Το γεωτεχνικό πλαίσιο θεμελίωσης

Το μικροκλίμα ενός μνημείου ορίζεται ως η σύνθεση των περιβαλλοντικών φυσικών συνθηκών (χωρικές και χρονικές κατανομές, τη διακύμανση των τιμών και καμπυλών, μέσες και ακραίες τιμές, χωρικά διαφορικά, συχνότητα περιοδικών μεταβολών), εξαιτίας ατμοσφαιρικών μεταβλητών (θερμοκρασία, υγρασία, ηλιοφάνεια, άνεμος), και ανταλλαγών με άλλα σώματα (αερισμός, φωτισμός, υπέρυθρη ακτινοβολία, θέρμανση), σε ένα χρονικό διάστημα αντιπροσωπευτικό για το σύνολο των συνθηκών που καθορίζουν οι φυσικοί και οι τεχνητοί παράγοντες, ή έστω αντιπροσωπευτικό για τις καίριες συνθήκες που σχετίζονται με τα προβλήματα που παρουσιάζονται [29].

Η φθορά ξεκινά στις ασυνέχειες του λίθου και στις διεπιφάνειες μεταξύ των διαφόρων ορυκτών, που συνιστούν το πέτρωμα, και είναι αποτέλεσμα συνδυασμού των ενδογενών και εξωγενών παραγόντων.

Τα αντίστοιχα φαινόμενα φθοράς κατατάσσονται ανάλογα με τη διεργασία που λαμβάνει χώρα σύμφωνα με τον Πίνακα 1.10

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

Εικόνα 1.10. : Ταξινόμηση φαινομένων φθοράς στο επίπεδο της μακροκλίμακας [30]

Αναλυτικότερα για τους παράγοντες φθοράς των δομικών λίθων :

- Θερμοκρασιακές μεταβολές

Οι θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και οι καθημερινοί ή εποχικοί κύκλοι ψύξης-θέρμανσης επιδρούν καθοριστικά στη μηχανική κόπωση των υλικών, λόγω της ανάπτυξης εσωτερικών τάσεων. Τα φαινόμενα διαστολών και συστολών εμφανίζονται ως απόρροια της ύπαρξης διαφορετικών συντελεστών θερμικής μεταβολής μεταξύ των ορυκτών που τα απαρτίζουν και της ανισοτροπίας του κρυσταλλικού δεσμού. Η ικανότητα θερμικής διαστολής των ορυκτών (dilatation) στις συνήθεις θερμοκρασίες (0-80°C) είναι μικρή και εκφράζεται με το συντελεστή θερμικής γραμμικής διαστολής, ο οποίος δίδεται από την παρακάτω σχέση: $\alpha = \Delta L/L_0 \cdot T$.

Οι τιμές της ιδιότητας αυτής μεταβάλλονται ανάλογα με τη διεύθυνση μέτρησης, εξαρτώμενες από την ανισοτροπία κάθε ορυκτού. Έτσι, για το χαλαζία, ο συντελεστής θερμικής διαστολής κατά μήκος του άξονα C είναι $\alpha = 10 \cdot 10^{-7} \text{grad}^{-1}$, ενώ κάθετα στον άξονα C είναι $\alpha = 13 \cdot 10^{-7} \text{grad}^{-1}$. Η ανισοτροπία θερμικής διαστολής των ορυκτών έχει μεγάλη σημασία στην αποσάθρωση των πετρωμάτων, και επομένως, στην τελική φθορά των φυσικών δομικών λίθων. Ακόμη, σοβαρή μηχανική φθορά προκαλείται λόγω της διαφορετικής απόκρισης στις θερμικές μεταβολές μεταξύ των διαφόρων υλικών, σε ένα μνημείο που συνυπάρχουν είτε από τις διάφορες κατασκευαστικές φάσεις, είτε από ασύμβατες επεμβάσεις.

Στα μνημεία οι καθημερινοί θερμοκρασιακοί κύκλοι μπορεί να είναι πιο σημαντικοί από τους εποχικούς. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας συμβαίνουν κύρια όταν υπάρχει συνεχής έκθεση της επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και ψύξη τη νύχτα. Η θερμότητα που μπορεί να συσσωρευτεί στην πέτρα εξαιτίας ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και τους 60 °C. [29].

Τα μάρμαρα και οι ασβεστόλιθοι μπορούν θεωρητικά να αποκριθούν ελαστικά σε θερμικές τάσεις, οι οποίες προκαλούνται από θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες των 30°C. Ωστόσο, η παρουσία ζωνών αδυναμίας ή επιπέδων ασυνέχειας στα μάρμαρα καθιστά δυνατή την πρόκληση φθοράς, και κατά τους συνήθεις θερμοκρασιακούς κύκλους του περιβάλλοντος [6]

- Οι σεισμικές δονήσεις

Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα κτίρια ανάλογα με:

το είδος των δυναμικών καταπονήσεων, τη διάρκεια τους, τη μέγιστη εφαρμοζόμενη καταπόνηση, τον τρόπο δόνησης (χαρακτηριστικά εδαφικών επιταχύνσεων), την πρότερη δομική κατάσταση του κτιρίου καθώς και την απόκριση του κτιρίου σε δυναμικές φορτίσεις. Σύμφωνα με τον ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8 - ENV 1998 «Design provisions for earthquake resistance of structures», η δυναμική καταπόνηση των κτιρίων μπορεί να προκαλέσει βλάβες όταν οι συχνότητες αυτής κυμαίνονται μεταξύ 8-80Hz. Γενικά, βλάβες συνήθως παρουσιάζονται για μέγιστη ταχύτητα καταπόνησης μεγαλύτερη από 10mm/s [6][30].

Χαρακτηριστικές σχετικές μετατοπίσεις σπονδύλων σε κλασικά αρχιτεκτονήματα είναι ενδείξεις παλαιών σεισμικών δονήσεων. Αναφέρεται, ενδεικτικά, ότι ο σεισμός του 1999 στην Αττική προκάλεσε την περιστροφή των σπονδύλων σε κίονες των Προπυλαίων [31].

- Η επίδραση του νερού

Βασικός εξωγενής παράγοντας φθοράς των δομικών υλικών είναι η παρουσία του νερού. Το νερό μπορεί να επιδράσει στη φθορά (weathering) των δομικών υλικών και στις τρεις φυσικές καταστάσεις (υδρατμός, υγρό, πάγος) και συμμετέχει άμεσα ή έμμεσα σε διεργασίες μηχανικής, χημικής και βιολογικής φθοράς. Η έμμεση συμμετοχή του αναφέρεται στο ότι αποτελεί φορέας διάλυσης και μεταφοράς αλάτων και αέριων ρύπων, ενώ ευνοεί πολλές αντιδράσεις στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του υλικού. Το νερό φτάνει στα δομικά υλικά μέσω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (βροχή, χαλάζι, χιόνι), μέσω της συμπύκνωσης των υδρατμών της ατμόσφαιρας, μέσω των υπόγειων υδάτων, ή λόγω υγροσκοπικότητας (σε RH%>75). Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά δύο βασικά φαινόμενα που σχετίζονται με την άμεση διαβρωτική δράση του νερού.

(i) Η συμπύκνωση των υδρατμών της ατμόσφαιρας

Στην ατμόσφαιρα η σχέση της υπάρχουσας περιεκτικότητας των υδρατμών προς την κορεσμένη εκφρασμένη επί τοις % δίνει τη σχετική υγρασία RH%. Συμπύκνωση των υδρατμών συμβαίνει όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού (T_s) γίνει μικρότερη με σημείο δρόσου της ατμόσφαιρας (DP), δηλαδή τη θερμοκρασία κορεσμού των υδρατμών της [32]. Τ

ο φαινόμενο λαμβάνει χώρα είτε σε περιβάλλον με σχετικά μεγάλο ποσοστό υγρασίας, είτε λόγω της θερμικής αδράνειας των δομικών στοιχείων, δηλαδή της αποθήκευσης νερού μέσα στο υλικό όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του είναι μικρότερη από αυτήν του αέρα (π.χ. κατά τη διάρκεια του χειμώνα ο ρυθμός εξάτμισης του νερού είναι μικρότερος από τον ρυθμό συμπύκνωσης). Οι κύκλοι συμπύκνωσης-εξάτμισης οδηγούν σε διάλυση της συνδετικής κονίας (Matrix) των δομικών υλικών, και συνεχή μετακίνηση διαλυτών αλάτων που ανακρυσταλλώνονται δημιουργώντας εξανθήσεις και κρυπτοεξανθήσεις. Έτσι, παρουσιάζεται αποδιοργάνωση και απώλεια του δομικού υλικού, καθώς και μείωση των μηχανικών αντοχών του. Ακόμη, η συμπύκνωση σχετίζεται με την αύξηση του ρυθμού εναπόθεσης αιωρούμενων ρυπαντών. [30] [32]

(ii) Η διόγκωση αργιλοπυριτικών ορυκτών

Κάποια από τα κυριότερα αργιλοπυριτικά συστατικά που περιέχονται είτε ως προσμίξεις στους ασβεστόλιθους, είτε ως φλέβες σε μάρμαρα είναι ο χλωρίτης, ο μοντμοριλλονίτης, ο σερπεντίνης, ο καολίνης, οι μαρμαρυγίες, τα πλαγιόκλαστα, οι άστριοι, ο χαλαζίας κ.ά. Δύο είναι οι βασικοί μηχανισμοί της διαβρωτικής δράσης του νερού στα αργιλοπυριτικά ορυκτά: το φαινόμενο της θιξοτροπίας και η ιοντοεναλλακτική εξαλλοίωση. Οι θιξοτροπικές ιδιότητες των αργιλικών ορυκτών εκδηλώνονται με διαστολή κατά την ύγρανση, και μετατροπή τους σε ψιλή σκόνη κατά την ξήρανση. Η διόγκωση λόγω απορρόφησης νερού οδηγεί σε μεγάλες μηχανικές τάσεις με αποτέλεσμα την αποδιοργάνωση του πέτρινου υλικού. Το φαινόμενο παρουσιάζεται, αρχικά, σαν απώλεια συνοχής και μετά σαν απώλεια μάζας, οδηγώντας σε μεγάλη μείωση των μηχανικών αντοχών της πέτρας [28].

Διαλυτά άλατα

Η δράση των διαλυτών αλάτων αναγνωρίζεται ως ένας από τους κυριότερους και πιο καταστρεπτικούς παράγοντες φθοράς, που επιδρά σε όλα τα πορώδη υλικά ανεξάρτητα χημικής σύστασης κι ενισχύει και τους υπόλοιπους παράγοντες φθοράς. Συμβαίνει λόγω δημιουργίας υπέρκορων διαλυμάτων και καθίζησης αλάτων στο εσωτερικό του υλικού κατά τη φάση της ξήρανσης.

Τα διαλυτά άλατα μπορεί να προέρχονται από:

- i) τα νερά του υπεδάφους που ανεβαίνουν με τριχοειδή αναρρίχηση,
- ii) την αλατονέφωση από τη θάλασσα που μπορεί να μεταφέρει άλατα σε απόσταση έως και 10 χιλιόμετρα στο εσωτερικό,
- iii) τα ίδια τα δομικά υλικά ή υλικά επεμβάσεων, όπως τα τσιμεντιτικά κονιάματα και
- iv) την ατμοσφαιρική ρύπανση [32]

Τα συχνότερα διαλυτά άλατα που προσβάλλουν την πέτρα είναι τα χλωριούχα και τα θειικά. Ακολουθούν τα ανθρακικά, τα νιτρικά και πιο σπάνια τα νιτρώδη, ενώ υπάρχουν και τα οξαλικά, και άλατα του νατρίου, του καλίου, και του μαγνησίου [33]. Η ανάπτυξη των κρυστάλλων στο εσωτερικό των πόρων τροφοδοτείται από την μεταφορά ιόντων στο κρυσταλλικό πλέγμα από διάφορες επιφανειακές αντιδράσεις, και μέσω του δικτύου των τριχοειδών προς τους μεγάλους πόρους. Οδηγεί σε μηχανική φθορά, λόγω της ανάπτυξης μηχανικών τάσεων στους πόρους του υλικού και διάρρηξη των τοιχωμάτων τους, όταν η πίεση κρυσταλλοποίησης υπερβεί τη θλιπτική αντοχή του υλικού. Γίνεται σαφές ότι υπάρχει συσχέτιση της πίεσης κρυσταλλοποίησης με τις μηχανικές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του δικτύου των πόρων. Λίθοι με μεγάλους πόρους μπορεί να περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα νερού, όμως λίθοι με μικρούς πόρους αν και περιέχουν λιγότερο νερό υπάγονται πιο συχνά σε συμπύκνωση, και συγκρατούν νερό για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα [32].

Η φθορά της πέτρας από διαλυτά άλατα είναι το περισσότερο πιθανό ενδεχόμενο, αυξανόμενο του επί τοις εκατό όγκου των μικρών πόρων σε σχέση με τους μεγάλους. Η διάρρηξη της πέτρας κατά την κρυστάλλωση NaCl είναι ένα πιθανό ενδεχόμενο όταν παρουσιάζονται υψηλότερες τιμές της ΔG_2 από τη ΔG_1 λόγω κατανάλωσης περισσότερης ενέργειας για την κρυστάλλωση σε σχέση με

το έργο που απαιτείται για λύση της συνοχής των κόκκων της πέτρας .Η ευαισθησία της πέτρας από κρυστάλλωση αλάτων είναι συνάρτηση των μηχανικών και δομικών παραμέτρων,

(α) αντοχή σε θλίψη

(β) μέτρο συμπιεστότητας

(γ) πορώδες και κατανομή μεγέθους πόρων

Ρυπαντές

Η ρύπανση της ατμόσφαιρας συνίσταται στην παρουσία μη φυσιολογικών προσμείξεων, ή/και στην αυξημένη μη φυσιολογική συγκέντρωση προσμείξεων εγγενών στην ατμόσφαιρα, λόγω ανθρωπογενούς δραστηριότητας. Αναφέρεται, κυρίως, στη δράση των αέριων ρυπαντών, των σωματιδιακών ρυπαντών ή αερολυμάτων και ατμοσφαιρικών σωματιδίων (βαρέα μέταλλα, τέφρα και σωματίδια άνθρακα κ.α.). Διακρίνονται σε πρωτογενείς ρυπαντές (SO₂, CO, NO, H/C), δηλαδή αυτοί που εκπέμπονται απευθείας από φυσικές ή ανθρώπινες πηγές και δευτερογενείς ρυπαντές (O₃, NO₂, PAN-οργανικά διαβρωτικά προϊόντα), ήτοι αυτοί που παράγονται στην ατμόσφαιρα με αντίδραση δύο ή περισσοτέρων πρωτογενών ρυπαντών, ή από τα κανονικά συστατικά της ατμόσφαιρας [30]. Το διοξείδιο του θείου είναι ο σημαντικότερος ρυπαντής, ο οποίος συμμετέχει στον σχηματισμό θειικών ενώσεων στην πέτρα και οδηγεί στον σχηματισμό του γύψου. Στην αστική ατμόσφαιρα προέρχεται, κυρίως, από τη βαριά βιομηχανία και τη λειτουργία της κεντρικής θέρμανσης. Παρά τη λήψη μέτρων αποθείωσης του πετρελαίου, παρουσιάζονται αυξημένες συγκεντρώσεις του ρύπου στο κέντρο της Αθήνας [33]. Το NO σχηματίζεται κατά τη θέρμανση του αέρα οπότε αντιδρούν μεταξύ τους το άζωτο και το οξυγόνο. Το μονοξείδιο του αζώτου είναι σχετικά αδρανές, ενώ το διοξείδιο του αζώτου είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για την υγεία και διαβρωτικό για τα υλικά. Κυριότερες πηγές του στην αστική ατμόσφαιρα είναι η βιομηχανία, η κεντρική θέρμανση και, κυρίως, τα μεταφορικά μέσα. Το NO₂ αποτελεί τον βασικότερο ρύπο του Λεκανοπεδίου με τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του να εμφανίζονται τις εργάσιμες ημέρες και κυρίως στο κέντρο[33] [35]. Δύο ρύποι που παράγονται σχεδόν αποκλειστικά από το αυτοκίνητο, και μπορούν να χαρακτηριστούν σαν κυκλοφοριακοί ρύποι, είναι το μονοξείδιο του άνθρακα και το μονοξείδιο του αζώτου. Το πρώτο παραμένει στην ατμόσφαιρα για μακρύ χρονικό διάστημα μετά την απελευθέρωση του, σε αντίθεση με το μονοξείδιο του αζώτου που έχει χρόνο ζωής μερικά λεπτά. Το μονοξείδιο του άνθρακα παράγεται από τη μερική καύση του άνθρακα. Είναι αέριο άχρωμο και άοσμο. Είναι το κύριο συστατικό των εξατμίσεων των οχημάτων που κινούνται στους δρόμους τα οποία και αποτελούν την κύρια πηγή παραγωγής του. Για αυτό το λόγο, άλλωστε, τα υψηλότερα επίπεδά του παρατηρούνται τις ώρες αιχμής του κυκλοφοριακού φόρτου [34]. Το O₃ προσβάλλει κυρίως τα οργανικά υλικά, ενώ για τα ανόργανα θεωρείται κυρίως πηγή οξειδωσης του SO₂. Τα εν διαλύσει θειικά, νιτρικά και ανθρακικά οξέα στο νερό της βροχής, που σχηματίζονται από τους αντίστοιχους ρυπαντές SO_x, NO_x, CO₂ (όξινη βροχή), προκαλούν διάφορες επιφανειακές φθορές και κρούστες στα δομικά υλικά των μνημείων. Η όξινη βροχή αποτελεί βασικό διαβρωτικό παράγοντα των δομικών υλικών των μνημείων και μία από τις σημαντικότερες μορφές ατμοσφαιρικής ρύπανσης, όχι μόνο για τα αστικά κέντρα, αφού οι ρύποι μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή τους [6] [30].

Ο όρος συνεργιστική επίδραση για τους παράγοντες ατμοσφαιρικής ρύπανσης αναφέρεται στη διαβρωτική προσβολή ενός υλικού που εκτίθεται σε μίγμα αερίων, η οποία είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της μεμονωμένης έκθεσης σε κάθε αέριο.

1.2.2. Φθορά Κονιαμάτων

Η φθορά των κονιαμάτων είναι η αλλοίωση των συστατικών τους με την αλληλεπίδρασή τους με το περιβάλλον, η οποία γίνεται εμφανής με την πάροδο του χρόνου και επηρεάζει την λειτουργικότητα του υλικού και την αισθητική της κατασκευής. Λόγω της διαφορετικής σύστασης των δομικών υλικών, παρουσιάζουν και διαφορετική αντίσταση στη φθορά η οποία εξαρτάται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το υλικό, καθώς και από τη φύση του υλικού. Οι παράγοντες που προκαλούν την φθορά των κονιαμάτων είναι πολυάριθμοι, αλλά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με τη φύση τους στις εξής τρεις κατηγορίες: μηχανικές ή φυσικές, χημικές και βιολογικές δράσεις. Αυτοί οι παράγοντες δρουν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά και μπορεί να είναι ενδογενείς ή εξωγενείς. [14] [18]

Παράγοντες που επηρεάζουν την φθορά των κονιαμάτων:

- Οι συνθήκες του περιβάλλοντος
- Η ίδια η φύση του υλικού

1. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

1Α. Εξωτερικής προέλευσης

- Φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου.
- Θερμοκρασιακές μεταβολές, ημερήσιες ή εποχιακές. Διαστολές και συστολές στα υλικά.
- Διαφορετικοί συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ γειτονικών υλικών. Ανάπτυξη τάσεων που καταπονούν τα υλικά.
- Διαστολή λόγω προσρόφησης - εξάτμισης της υγρασίας του περιβάλλοντος.
- Καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος. Αρκετά ευπαθή στις εφελκυστικές τάσεις. Γρήγορη αστοχία.
- Καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές (σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί, κ.τ.λ.)

1Β. Εσωτερικής προέλευσης

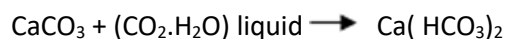
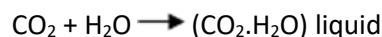
- Ο σχηματισμός πάγου από κατακρατούμενη υγρασία όταν η θερμοκρασία κατέβει κάτω του μηδενός.
- Η κρυστάλλωση των αλάτων. Πηγές αλάτων: τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, από το ίδιο το κονίαμα. Μετακίνηση ευδιάλυτων αλάτων με την βοήθεια του νερού. Κρυστάλλωση αλάτων κάτω από ιδανικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, συγκρατώντας αρκετά μόρια νερού. Άσκηση τάσεων λόγω διαστολών. Δημιουργία εξανθήσεων.

2. ΧΗΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

2Α. Ασβεστιτικά Κονιάματα

Ατμοσφαιρική Ρύπανση

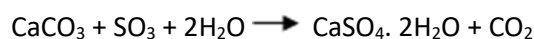
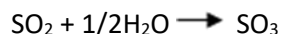
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂): Σχηματίζεται το Ca(HCO₃)₂, προϊόν αρκετά ευδιάλυτο, το οποίο ξεπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής με αποτέλεσμα την σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



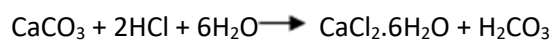
- Οξειδία του αζώτου (NO_x): Παράγεται το αρκετά ευδιάλυτο προϊόν Ca(NO₃)₂, σύμφωνα με την αντίδραση:



- Θεϊκή προσβολή : Παράγεται γύψος (CaSO₄ · 2H₂O), πολύ πιο ευδιάλυτος από το ανθρακικό ασβέστιο. Το κονίαμα χάνει την αρχική του συνοχή.



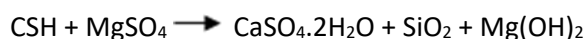
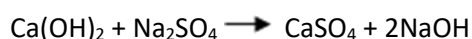
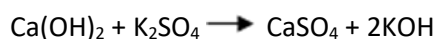
- Προσβολή από HCl: Το HCl έχει επίσης διαλυτική δράση στο ανθρακικό ασβέστιο σύμφωνα με την αντίδραση:



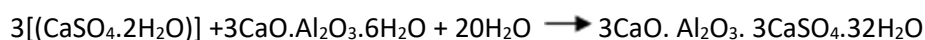
2Β. Υδραυλικά κονιάματα

- Δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων: Τα διαλυτά άλατα K₂SO₄, Na₂SO₄ (πλίνθοι, κονιάματα, τριχοειδής αναρρίχηση), με την υδράσβεστο ή τις υδραυλικές ενώσεις των κονιαμάτων παράγουν γύψο. Ο γύψος αντιδρώντας με τις υδραυλικές ενώσεις και παρουσία υγρασίας παράγει μεγαλομοριακές ενώσεις (ετριγκίτης, θαυμασίτης), που με την διόγκωσή τους, ασκούνε τάσεις που μπορεί να ρηγματώσουν το υλικό. Το όλο φαινόμενο εκφράζεται με τις παρακάτω αντιδράσεις:

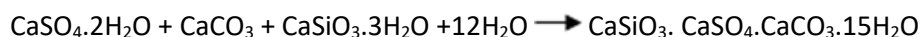
Δημιουργία γύψου:



Δημιουργία μεγαλομοριακών ενώσεων:



Ετριγκίτης



Θαυμασίτης

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



2Γ. Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς

- Αλκαλική προσβολή: Τα οξειδία του νατρίου, καλίου (υδραυλικά, τσιμεντιτικά κονιάματα ή σαν πρόσμιξη στα αδρανή) αντιδρούν με το οξείδιο του πυριτίου (πλίνθοι της τοιχοποιίας ή αδρανή του κονιάματος) κατά τις αντιδράσεις :



Με αύξηση όγκου και εμφάνιση ρηγματώσεων στο υλικό.

- Κύκλοι ύγρανσης-ξήρανσης

Υγρή φάση: Δημιουργία ενός φιλμ νερού λόγω συμπύκνωσης και ταυτόχρονη διαλυτοποίηση ρυπαντών. Εισχώρηση νερού στο εσωτερικό του υλικού.

Ξηρή φάση: Μετακίνηση νερού προς την επιφάνεια και εξάτμιση.

Υπάρχουν δύο δυνατότητες εξάτμισης:

- (i) Εξάτμιση στο εσωτερικό της μάζας του υλικού. Κρυστάλλωση αλάτων. Διόγκωση. Δημιουργία τάσεων. Ρήξη του υλικού.
- (ii) Εξάτμιση στην επιφάνεια του υλικού. Δημιουργία εξανθημάτων. Δημιουργία σκληρής κρούστας. [14]

2. ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Στις βιολογικές δράσεις κατατάσσονται οι δράσεις των βακτηρίων, μυκήτων, φυκιών, βρύων,

λειχήνων μανιταριών και ανώτερων φυτικών οργανισμών, που επηρεάζονται τόσο από τις

περιβαλλοντικές συνθήκες όσο και από τις φυσικοχημικές ιδιότητες του υλικού. Οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί αποτελούν απειλή για τα κονιάματα, όταν βρίσκονται σε άμεση επαφή με αυτά, γιατί δημιουργούν μηχανικές τάσεις στο υλικό.

Τα βακτήρια κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες. Τα αυτότροφα τα οποία λαμβάνουν τον άνθρακα από το CO₂ και παράγουν ενέργεια μέσω του φωτός και τα ετερότροφα που χρησιμοποιούν οργανικές ουσίες για να λάβουν την ποσότητα άνθρακα που χρειάζονται. Έχει παρατηρηθεί ότι σε υλικό που έχει ήδη υποστεί φθορά υπάρχει υψηλός αριθμός βακτηριδίων σε σύγκριση με ένα υλικό το οποίο δεν έχει υποστεί φθορά το οποίο διαθέτει χαμηλό αριθμό βακτηριδίων. Έτσι συνάγεται το

συμπέρασμα ότι τα βακτήρια παίζουν ρόλο στην αποσύνθεση των δομικών υλικών αν και έχει ειπωθεί ότι τα βακτήρια έχουν προτίμηση σε υλικά τα οποία έχουν ήδη υποστεί φθορά.

Τα προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι όξινα και δρα διαλυτικά για τα κονιάματα. Σε συνδυασμό η παρουσία μικροοργανισμών είναι επιζήμια, καθώς μπορεί να δράσει καταλυτικά σε κάποιες χημικές δράσεις που οδηγούν στη φθορά του υλικού. Ακόμη οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί έχουν τη δυνατότητα να ασκήσουν μηχανικές τάσεις στο υλικό εάν βρίσκονται σε συνεχή επαφή με αυτούς. [1][6][14][36]

Δράση των βακτηρίων, μυκήτων, φυκών, βρύων, λειχήνων, μανιταριών καθώς και ανώτερων φυτικών οργανισμών.

- Όξινο προϊόν μεταβολισμού. Δρα διαλυτικά στα κονιάματα.
- Συνδυαστική, ευνοϊκή δράση με χημικές αντιδράσεις φθοράς.
- Άσκηση μηχανικών τάσεων από ανώτερους φυτικούς οργανισμούς

Ο ρόλος νερού στην διαδικασία της φθοράς είναι καθοριστικός. Είναι ο κύριος φορέας έκφρασης των μηχανικών δράσεων φθοράς καθώς οι χημικές δράσεις εκφράζονται μόνο με την παρουσία νερού-υγρασίας, έστω και αν είναι παροδική.

Συμπερασματικά η συνδυαστική δράση των διεργασιών φθοράς είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο που καθιστά την αποκατάσταση ιστορικών κονιαμάτων αναγκαϊότητα.

2.1.3. Φθορά Κεραμικών – Οπτόπλινθων

Οι παράγοντες φθοράς των κεραμικών ομοίως χωρίζονται σε δύο κατηγορίες :

Ενδογενείς

- Ατέλειες ψησίματος
- Προσμίξεις ανθρακικού ασβεστίου
- Διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής μεταξύ υαλώματος και σώματος

Εξωγενείς

- Μηχανικές καταπονήσεις από υπερκείμενες πιέσεις
- Τριχοειδής αναρρίχηση νερού με διαλυτά άλατα
- Παγετός
- Βιολογικοί παράγοντες
- Προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης ή στερέωσης
- Χρήση μεταλλικών συνδέσμων

Διάβρωση Κεραμικών από Διαλυτά άλατα

- Θάλασσα : μεταφορά NaCl σε αποστάσεις μέχρι 15km.
- Υπόγεια νερά : ανάλογα με το υπέδαφος τροφοδοτούν το δομικά υλικά με ιόντα, νατρίου, καλίου, μαγνησίου, ασβεστίου, θειικά, ανθρακικά, χλωριούχα, πυριτικά.

- Ατμοσφαιρικοί ρύποι : τα SO₂, SO₃, NO_x της ατμόσφαιρας προσβάλλουν τις ανθρακικές προσμίξεις των κεραμικών σχηματίζοντας άλατα.
- Επαφές με δομικά υλικά ή κονιάματα : το τσιμέντο και η γύψος είναι πηγές θειικών, ανθρακικών και διαλυτών πυριτικών αλάτων.

Διάβρωση Κεραμικών από Βιολογικούς Παράγοντες :

- Μύκητες : αναπτύσσονται σε όξινο περιβάλλον (pH 5-5,5), τρέφονται με πολύ λίγο οργανικό υλικό, χρειάζονται υγρασία και είναι ανθεκτικοί στη έλλειψη ηλιακού φωτός. Παράγουν οξέα (θειικό, οξαλικό ή κιτρικό) που διαλύουν το κεραμικό.
- Φύκη : χρειάζονται υγρασία, σχετικά υψηλή θερμοκρασία και φως. Τα σημαντικότερα είναι τα χλωροφύκη που αντέχουν σε pH=3,5 – 9. Διαλύουν τις ανθρακικές προσμίξεις.
- Βακτήρια : αναπτύσσονται σε αλκαλικό περιβάλλον (pH=8-8,5). Κάποια παράγουν θειικό οξύ, άλλα αμμωνία, νιτρικό οξύ ή οργανικά οξέα που διαλύουν το κεραμικό.
- Λειχήνες : Η δράση τους οφείλεται κυρίως στη μηχανική καταπόνηση λόγω ανάπτυξης των ριζιδίων τους μέσα στο υλικό.

Διάβρωση Κεραμικών από Προηγούμενες Επεμβάσεις :

- Αλλοιώσεις από μηχανικό καθαρισμό
- Αλλοιώσεις από διαλυτά άλατα λόγω καθαρισμού του υαλώματος με οξύ
- Ρηγματώσεις από τη διόγκωση των μεταλλικών συνδέσμων
- Κιτρίνισμα, ρηγματώση, αποφλοιώση, θραύση του υαλώματος λόγω χρήσης κόλλας, στερεωτικού ή υλικού συμπλήρωσης . [27]

2. Ειδικό Θεωρητικό Μέρος

2.1. Η Επίδραση της πυρκαγιάς στη κατάσταση διατήρησης των δομικών υλικών

Τα τελευταία χρόνια, περισσότερη έρευνα επικεντρώθηκε στην επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στα δομικά υλικά [1 – 16]. Η ανάπτυξη των υψηλών θερμοκρασιών επηρεάζει τα διάφορα χαρακτηριστικά ενός υλικού. Οι πετρογραφικές, ορυκτολογικές, χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες μπορεί να αλλάξουν ανάλογα με τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, τα χαρακτηριστικά του υλικού, το χρονικό πλαίσιο του συμβάντος υψηλής θερμοκρασίας και τον τρόπο ψύξης. Η αξιολόγηση της επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στα δομικά υλικά μιας δομής, ιδίως μετά από ένα καταστροφικό γεγονός, όπως η πυρκαγιά, είναι ζωτικής σημασίας για την αξιολόγηση της κατεστραμμένης κατάστασης και το σχεδιασμό κατάλληλων μέτρων επισκευής [46]. Η αξιολόγηση αυτή είναι ακόμη πιο σημαντική στην περίπτωση μνημειακών δομών, όπου τα ιστορικά δομικά υλικά είναι "πολύτιμα" και θα πρέπει, αν είναι δυνατόν, να αντικατασταθούν στον ελάχιστο βαθμό.

Η επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας σε ένα δομικό υλικό είναι ένας σύνθετος μηχανισμός και οι διάφορες ιδιότητες του υλικού πρέπει να εξετάζονται προκειμένου να επιτευχθεί μια ολιστική εικόνα της επίδρασης της πυρκαγιάς. Η οπτική παρατήρηση παρέχει χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση ενός συμβάντος πυρκαγιάς, δεδομένου ότι πολλές ζημιές και μοτίβα αποσύνθεσης

είναι παρουσιάζονται μακροσκοπικά, συμπεριλαμβανομένων των ρωγμών, την επιφανειακή κρása, την εκτροπή, την αποσυσσωμάτωση, τις μεταβολές των χρωμάτων και τη φθορά του καπνού [49] [48] [51] [52].

Η Πετρογραφική ανάλυση βοηθά όχι μόνο στον χαρακτηρισμό ενός τύπου πέτρας, η οποία αποκαλύπτει τη σύνθεση, την υφή, τον τύπο του συνδετικού υλικού και τη μικρομορφολογία, αλλά και στην αξιολόγηση της επίδρασης της υψηλής θερμοκρασίας, εξετάζοντας τις μεταβολές που παρατηρούνται σε αυτά τα χαρακτηριστικά [38] [40 – 43] [46]. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί διακρυσταλλικά και ενδοκρυσταλλικά αποτελέσματα σε ένα υλικό, τα διακρυσταλλικά αποτελέσματα συνδέονται με την ανάπτυξη μικρορωγμών εντός της μήτρας του υλικού και είναι συνήθως αποτέλεσμα διαφορετικών χαρακτηριστικών των συστατικών του υλικού. Τα ενδοκρυσταλλικά αποτελέσματα εκδηλώνονται μέσω της ανάπτυξης μικρορωγμών εντός των ίδιων των κόκκων [37]. Εγγενή ανισοτροπία των υλικών είναι ένα παράδειγμα της υποβάθμισης στην περίπτωση των θερμικών φορτίων. Για παράδειγμα, η εγγενής ανισοτροπία των κόκκων του ασβεστίτη, όταν θερμαίνεται, θεωρείται ως ο βασικός παράγοντας για την αποσύνθεση του μαρμάρου και των ασβεστόλιθων [47] [49].

Η Ορυκτολογική ανάλυση αποκαλύπτει την αλλοίωση των ορυκτολογικών ενώσεων. Έτσι, η απουσία ή η μείωση μιας ένωσης μετά την πυρκαγιά είναι ενδεικτική ότι η πυρκαγιά έφθασε σε μια θερμοκρασία στην οποία η δομή της ένωσης συμπύσσεται αμετάκλητα ή/και μετατρέπεται σε μια άμορφη ένωση που δεν είναι πλέον ανιχνεύσιμη [38]. Η χημική ανάλυση μπορεί να αποκαλύψει μεταβολές στη σύνθεση του υλικού, η οποία συνδέεται επίσης με μετασχηματισμούς που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Αυτές οι μεταβολές περιλαμβάνουν οξειδωση, αφυδάτωση, πύρωση, και άλλες διεργασίες [42][50]. Αυτές οι διεργασίες μπορεί να συμπεράνουν μετατροπές στη μήτρα ενός δομικού υλικού ή/και χρωματικές μεταβολές, όπως ερυθρότητα (π.χ. όταν τα σιδηρούχα μέταλλα περιλαμβάνονται στο υλικό). Έτσι, για παράδειγμα, η περιεκτικότητα των οξειδίων-υδροξειδίων του πηλού και του σιδήρου σε μια πέτρα ή συσσωμάτωμα ενός κονιάματος, μπορεί να είναι καθοριστικός παράγοντας για μια σειρά μετασχηματισμών που προκαλούνται από τη θερμότητα [52].

Η Ανάλυση της Μικροδομής είναι υψίστης σημασίας, δεδομένου ότι η αλλοίωση των μικρο διαρθρωτικών χαρακτηριστικών επηρεάζει άλλες ιδιότητες, όπως η συμπεριφορά ενός υλικού κάτω από τα υγρό-θερμικά φορτία και την αντοχή σε συμπίεση [37 – 43] [45]. Το πορώδες συνήθως αυξάνεται όταν ένα υλικό υπόκειται σε υψηλές θερμοκρασίες [37] [39], ενώ η πυκνότητα μειώνεται λόγω της απώλειας υλικών και της σύνθετης αποσύνθεσης, της αφυδροξυλίωσης και των διεργασιών αφυδάτωσης. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά είναι κρίσιμα για τη διαρθρωτική σταθερότητα. Η αντοχή σε συμπίεση συνήθως μειώνεται λόγω της ανάπτυξης μικρορωγμών ή/και της αύξησης του πορώδους [44] [45].

Η επίδραση της φωτιάς και οι επακόλουθες μεταβολές που προκαλούνται στα χαρακτηριστικά ενός υλικού εξαρτώνται σαφώς από το ίδιο το υλικό. Στην περίπτωση των λίθων, κάθε τύπος λίθου παρουσιάζει μια διαφορετική συμπεριφορά στην έκθεση σε φωτιά, ανάλογα με τα πετρογραφικά χαρακτηριστικά, χημική σύνθεση, πορώδες και ανισοτροπίας των συστατικών του, κλπ. Για παράδειγμα, οι γρανίτες είναι πιο επιρρεπείς σε ρωγή όταν σοκαριστούν θερμικά, σε σύγκριση με άλλους μαλακότερους λίθους [41]. Οι πλούσιοι σε χαλαζία ψαμμίτες, λόγω του ανοιχτού πορώδους που παρουσιάζουν, καθώς και λόγω της ασβεστικής μήτρας τους (η οποία υφίσταται μια

παράλληλη διαδικασία πύρωσης), οι μικρο-τάσεις λόγω της επέκτασης χαλαζία (όταν μετατρέπεται από $\alpha \rightarrow \beta$ σε ~ 575 °C), απορροφώνται από τη μήτρα [37]. Έτσι, η γνώση του τύπου της πέτρας και η παράλληλη αξιολόγηση των μεταβολών που μελετώνται σε συναφείς έρευνες και πρακτικές μπορούν να βοηθήσουν στην πρόβλεψη των αλλοιώσεων που προκαλούνται σε έναν ορισμένο τύπο λίθου σε περίπτωση πυρκαγιάς [48].

Όσον αφορά τη φυσικομηχανική και δομική σταθερότητα του μνημείου, είναι ζωτικής σημασίας να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των ζημιών από πυρκαγιά. Σε συνέχεια της ανωτέρω συζήτησης, οι έμμεσες συνέπειες σε ολόκληρη την τοιχοποιία πρέπει να ληφθούν υπόψη, κατά τη διάρκεια μιας διαγνωστικής μελέτης. Μια άλλη σημαντική πτυχή που πρέπει να διερευνηθεί είναι η μεταβλητότητα των παραμέτρων της πυρκαγιάς στους διαφορετικούς τύπους λίθων και περιοχών της τοιχοποιίας ανάλογα με τις ποικίλες θερμοκρασίες, τη διάρκεια του συμβάντος, ή άλλους συνεργικούς παράγοντες (π.χ. προηγούμενων τύπων τοιχοποιίας ή μια απομονωμένη πέτρα). Τα ασβεστοκονιάματα, ανάλογα με τον τύπο του κονιάματος, μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο ανθεκτικά σε ένα συμβάν πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, το σκυρόδεμα παρουσιάζει χαμηλή θερμική διάχυση και χαμηλή επιδεκτικότητα στη φωτιά. Ωστόσο, η μείωση της ικανότητας φέροντος φορτίου και της «εκρηκτικότητας» του λόγω της πυρκαγιάς μπορεί να υπονομεύσει αυτά τα χαρακτηριστικά στοιχεία, ιδίως όταν η θερμοκρασία πυρκαγιάς υπερβαίνει τους 300 °C [51] [52]. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, ο αντίκτυπος της πυρκαγιάς πρέπει να αντιμετωπιστεί αρχικά από την άποψη των δομικών υλικών. Ωστόσο, στοχεύει σε μια ολιστική προοπτική μελετώντας τη δομή στο σύνολό της.

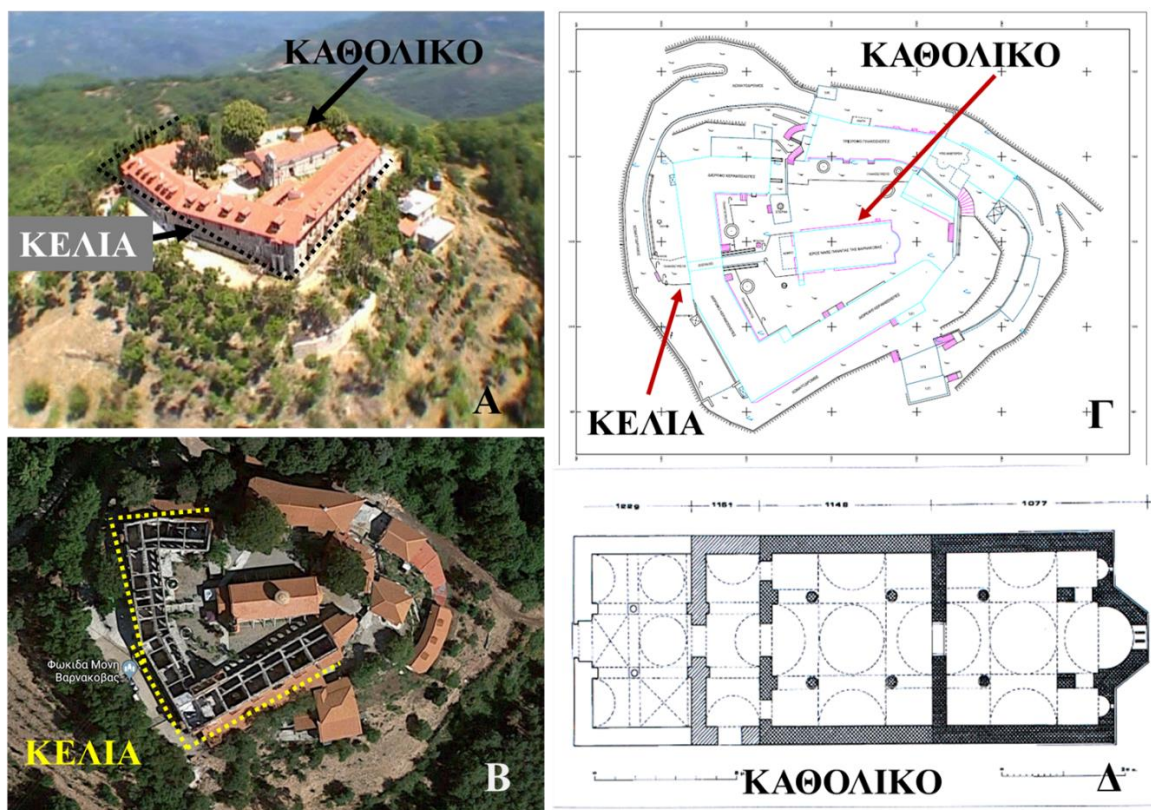
2.2. Ιστορικά Στοιχεία των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας

Το μοναστήρι της Βαρνάκοβας είναι ένα από τα πιο παλιά της Στερεάς Ελλάδας. Βρίσκεται χτισμένο 28 χλμ. έξω από τη Ναύπακτο, στα σύνορα Ναυπακτίας και Δωρίδος σε υψόμετρο 800 μ. (εικόνα 2.1A) Σύγχρονο περίπου με τα Μετέωρα το μοναστήρι της Βαρνάκοβας ιδρύθηκε τον 12^ο αιώνα στα χρόνια του αυτοκράτορα Μιχαήλ του Ζ' Παραπινάκη.

Η Μονή είναι κτισμένη πάνω σε έναν μικρό λόφο στις παρυφές των Βαρδουσιών Ορέων και σε υψόμετρο 750 περίπου μέτρων, μέσα σε πυκνό δάσος από δρυς και αγριοκαστανιές, με πλουσιότατη θέα προς την ορεινή Ναυπακτία, τη Δωρίδα, το Όρος Γκιώνα και τον ποταμό Μόρνο.

Ανάμεσα στα αξιοθέατα του Μοναστηριού, δεσπόζει η εικόνα της Παναγίας Βαρνάκοβας. Η εικόνα φέρει εμφανές ράγισμα κατά μήκος του προσώπου της Θεοτόκου, που σύμφωνα με αυτόπτες μάρτυρες δημιουργήθηκε από τοπικό σεισμό στις 15 Αυγούστου 1940, την ώρα του τορπιλισμού του εύδρομου Έλλη στην Τήνο.

Η γενική του δομή ακολουθεί τον τυπικό 19ου αιώνα ενός μοναστικού συγκροτήματος με σχεδόν ορθογώνια αυλή και εκκλησία (καθολικό) στο κέντρο (Εικόνα 2.1B, τοπογραφική απεικόνιση:2.1Γ) [53]. Η εξέλιξη των αρχιτεκτονικών φάσεων του καθολικού μέχρι τον 13ο αιώνα αντικατοπτρίζεται στο σχέδιο Χ. Μπούρα (Εικόνα 2.1Δ) [54].



Εικόνα 2.1. (α) Γενική φωτογραφία της Ι.Μ. Βαρνάκοβας πριν από την πυρκαγιά του 2017. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν το τμήμα των κελιών. (β) Γενική φωτογραφία της Ι.Μ. Βαρνάκοβας μετά την πυρκαγιά - οι κίτρινες διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τα κελιά (γ) Τοπογραφική απεικόνιση του συγκροτήματος από τον μηχανικό Σ. Ζαχαρόπουλο [55] δ) Το αρχικό σχέδιο του Χ. Ο Μπούρα απεικονίζει τις τέσσερις αρχιτεκτονικές φάσεις του καθολικού μεταξύ του 11ου και του 13ου αιώνα [54].

Ο πρώτος ναός ιδρύθηκε το 1077 μ.Χ. από τον Άγιο Αρσένιο τον Βαρνακοβίτη. Κατά τη διάρκεια του 11ου και 12ου αιώνα, ήταν διακοσμημένο με τοιχογραφίες και μαρμάρινα ψηφιδωτά στο πάτωμα, ενώ η εκτεταμένη ανακαίνιση του 1148 – 1151 πραγματοποιήθηκε από τους Βυζαντινούς αυτοκράτορες της δυναστείας των Κομνηνών, μερικοί από τους οποίους θάφτηκαν κάτω από το μοναστήρι, όπως αναφέρει ο Α. Ορλάνδος στη μελέτη του το 1922 [56]. Η εκκλησία, όπως ήταν κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης της Ορλάνδου, αναφέρεται ως τρίκλιτη βασιλική με νάρθηκα και κύριο βωμό [57].

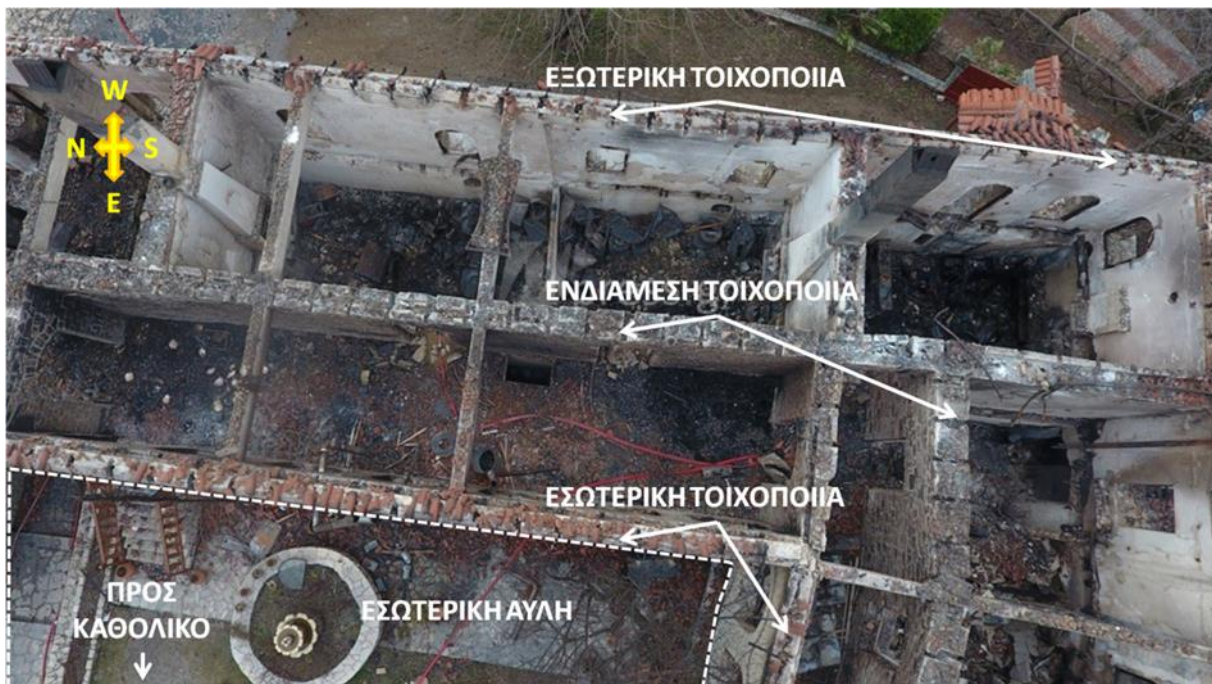
Το μοναστήρι καταστράφηκε σχεδόν ολοσχερώς το 1826, καθώς χρησίμευσε ως καταφύγιο και βάση κατά τη διάρκεια της Ελληνικής Επανάστασης (1821 – 1830) εναντίον της Οθωμανικής Αυτοκρατορίας. Τα έργα ανοικοδόμησης ξεκίνησαν αμέσως μετά την απελευθέρωση, το 1831, σύμφωνα με τα σχέδια του αρχιτέκτονα Ανδρέα Γάσπαρη Καλάνδρου, ενός υπολοχαγού του στρατού, και ολοκληρώθηκαν από τρεις Ηπειρώτες χτίστες το 1838. Αυτό είναι επίσης το έτος κατασκευής του ξύλινου ναού του καθολικού. Ο Α. Ορλάνδος χρησιμοποιεί τον όρο "σφυρήλατοι ασβεστόλιθοι" για να περιγράψει το δομικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη φάση κατασκευής [53, 57].

Μεταξύ των ετών 1992 – 2014, η Μονή ανακαινίστηκε εκτενώς. Στις 29 Ιανουαρίου 2017, μια καταστροφική πυρκαγιά που ξεκίνησε λόγω μιας έκρηξης λέβητα κατέστρεψε το μεγαλύτερο μέρος

των κελιών [58]. Έτσι σήμερα, τα κελιά της Μονής βρίσκονται σε κατάσταση κατάρρευσης και χρειάζονται ολοκληρωτική αποκατάσταση και ανοικοδόμηση (Εικόνα 2.1 β).

2.3. Σύνομη Αρχιτεκτονική Περιγραφή

Η Ι.Μ. Βαρνάκοβας ανήκει στα κανονικά μοναστηριακά συγκροτήματα δηλαδή σε εκείνα που το περίγραμμα του περιβόλου παίρνει σχήμα κανονικού ορθογώνιου. Στην Ι. Μονή Βαρνάκοβας ο περίβολος σχηματίζει ένα μεγάλο αντεστραμμένο Π με το καθολικό στο κέντρο του συνόλου. Το ότι αυτού του είδους τα συγκροτήματα χτίστηκαν από το 19ο αιώνα και ύστερα και το ότι η μόνη Βαρνάκοβας δεν ακολουθεί ή παρεμφερή την τυπική αυτή διάταξη οφείλεται στην καταστροφή του πρώτου περιβόλου της μονής του 12ου αιώνα το 1826 και στο ξανά χτίσιμο της στα αμέσως επόμενα χρόνια.[53] Το Καθολικό της Μονής καταστράφηκε το 1826 από τους Τούρκους με ανατίναξη διασώθηκαν μόνο το δάπεδο και τμήματα των τοίχων και των θόλων του δυτικού άκρου της εκκλησίας.[54]



Εικόνα 2.2. Απεικόνιση των κελιών της Μονής στην παρούσα κατάσταση της μετά τη φωτιά, η οποία υποδεικνύει την **εξωτερική**, την **ενδιάμεση** και την **εσωτερική τοιχοποιία**. Η εκκλησία, όπως υποδεικνύεται, βρίσκεται στα ανατολικά.[59]



Εικόνα 2.3.: Διαφορετικές περιοχές των κελιών : (α) το εξωτερικό του εξωτερικού τοίχου (ιστορική τοιχοποιία), (β) η επιχρισμένη εσωτερική πρόσοψη του εξωτερικού τοίχου που παρουσιάζει σοβαρές επιπτώσεις από την πυρκαγιά (ιστορική τοιχοποιία), (γ) (νέα τοιχοποιία), (δ) ιστορική ενδιάμεση τοιχοποιία, (ε) λεπτομέρεια από την ενδιάμεση τοιχοποιία και (στ) η νέα τοιχοποιία των κελιών, : η εξωτερική πρόσοψή του φαίνεται ανέπαφη μετά από τη φωτιά, ενώ το εσωτερικό του έχει υποστεί ζημιές από πυρκαγιά.[59]

Αρχικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι τρεις κύριες τοιχοποιίες των κελιών ανήκουν σε διαφορετικές οικοδομικές φάσεις. Η **εξωτερική** (Εικόνα 2.3Α) και η **ενδιάμεση** τοιχοποιία (Εικόνα 2.3Δ και 2.3Ε) ανήκουν στη φάση κατασκευής 1831-1838, που αναφέρεται ως ιστορική τοιχοποιία.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της προαναφερθείσας φάσης κατασκευής, η ενδιάμεση τοιχοποιία ήταν στην πραγματικότητα η τοιχοποιία γύρω από την εσωτερική αυλή και απέναντι από την Εκκλησία.

Οι ιστορικές τοιχοποιίες αυτής της φάσης κατασκευάστηκαν χρησιμοποιώντας δύο κύριους τύπους λίθων:

α) έναν γκρι-μπεζ ασβεστόλιθο, ο οποίος περιστασιακά εμφανίζεται με μαύρες φλέβες

β) ψαμμίτες με πράσινη έως καφέ απόχρωση.

γ) Σε ορισμένες περιοχές, μια μαύρη συμπαγής πέτρα έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σποραδικά.

Σε ορισμένες περιοχές της ενδιάμεσης τοιχοποιίας φαίνεται να έχει πραγματοποιηθεί σχετικά πρόσφατη επέμβαση με τσιμεντιτικής φύσεως κονίαμα.

Η **εσωτερική τοιχοποιία** (Εικόνα 2.3Γ και 2.3ΣΤ), η οποία βρίσκεται μπροστά στην αυλή και την εκκλησία σήμερα, προστέθηκε κατά τη διάρκεια της μεγάλης ανακατασκευής που πραγματοποιήθηκε μετά το 1992. Στόχος της είναι η βελτίωση της λειτουργικότητας των κατοικιών.

Αυτή η νέα τοιχοποιία, η οποία αναφέρεται ως νέα τοιχοποιία, τέθηκε σε μια ήδη υπάρχουσα βάση (κατασκευαστική φάση του 19ου αιώνα). [59]

Ο λίθος που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της εσωτερικής τοιχοποιίας ήταν ένας νέος γκριζος-μπεζ ασβεστόλιθος, ο οποίος μοιάζει πολύ με τον ασβεστόλιθο που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των τοιχοποιιών του 19ου αιώνα.



Εικόνα: 2.4(α) Κατάρρευση οικοδομικών υλικών από το ανώτερο τμήμα της ενδιάμεσης τοιχοποιίας. (β) Αποχρωματισμός και απολέπιση του μπεζ-γκρίζου ασβεστόλιθου στην εσωτερική (δυτική) πρόσοψη της νέας τοιχοποιίας.[59]

3. Πειραματικό Μέρος

3.1. Πειραματικός Σχεδιασμός και Μεθοδολογία

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες τεχνικές, οι οποίες αποσκοπούν στην αξιολόγηση της κατάστασης των τοιχοποιιών και του χαρακτηρισμού των οικοδομικών υλικών που τις απαρτίζουν, μετά την επίδραση της πυρκαγιάς. Λόγω της διαφορετικής έκθεσης των οικοδομικών υλικών στη πυρκαγιά, ήταν δυνατή η επιλογή δειγμάτων με διαφορετικό βαθμό επιρροής από τη πυρκαγιά. Αυτό διευκόλυνε την αξιολόγηση της επίδρασης της στα εξεταζόμενα δομικά υλικά.

Οι τεχνικές ανάλυσης εφαρμόστηκαν στο εργαστήριο μετά τη δειγματοληψία και χρησιμοποιήθηκαν για να χαρακτηρίσουν τα δομικά υλικά και να διαγνώσουν τη φθορά τους. Χρησιμοποιήθηκε **οπτικό μικροσκόπιο (OM)** για τον πετρογραφικό χαρακτηρισμό των δειγμάτων των λίθων, χρησιμοποιώντας μικροσκόπιο ZEISS-AXIOSKOP 40, ενώ μια κάμερα ProgRes-C14PLUS και λογισμικό Progres Capture Pro2.1 χρησιμοποιήθηκαν για λήψη και επεξεργασία μικροφωτογραφιών των δειγμάτων.

Η **Ψηφιακή Μικροσκοπία (DM, i-score, Moritex)** εφαρμόστηκε για να εξετάσει τη μορφολογία και την υφή των κονιορτοποιημένων κονιαμάτων.

Η **περίθλαση ακτίνων Χ (XRD)**, πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας D8 Diffractometer από την Bruker, και εφαρμόστηκε για την ταυτοποίηση των κρυσταλλικών ενώσεων επιλεγμένων δειγμάτων λίθων και κονιαμάτων, με σκοπό την εξακρίβωση των ορυκτολογικών μετασχηματισμών τους.

Η ταυτόχρονη **Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρμετρική Ανάλυση (DTA / TG**, Regulus 2500, Netzsch) εφαρμόστηκε σε επιλεγμένα δείγματα λίθων και κονιαμάτων για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των ενώσεών τους. Οι αναλύσεις διεξήχθησαν σε θερμοκρασία θερμοκρασίας 30-1000 °C με ρυθμό θέρμανσης 10 °C/min σε ατμόσφαιρα αζώτου.

Επιλεγμένα δείγματα λίθων και κονιαμάτων υποβλήθηκαν επίσης σε **ολικές δοκιμές εμβάπτισης στο νερό** [60], με σκοπό την εκτίμηση του πορώδους προσβάσιμου στο νερό με ολική εμβάπτιση για κάθε δείγμα, την ικανότητα απορρόφησης νερού και την φαινόμενη πυκνότητα και συγκριτικά, τις μεταβολές αυτών των χαρακτηριστικών λόγω του φαινομένου της φωτιάς.

Εκτός από τις αναλυτικές τεχνικές, οι **μη καταστροφικές τεχνικές (NDTs)** εφαρμόστηκαν επί τόπου. Συγκεκριμένα, διεξήχθησαν **δοκιμές κρουσιμετρίας Schmidt (SHR)** σε διάφορους λίθους τοιχοποιιών από διάφορες περιοχές των κελιών με σκοπό την αξιολόγηση της επιφανειακής σκληρότητας των διαφόρων τύπων λίθων [61-63] καθώς και του βαθμού επιρροής τους από τη φωτιά. Χρησιμοποιήθηκε κρουσίμετρο Proceq N (ενέργεια κρούσης: 2.207 N M), όπου ακολουθήθηκαν οι οδηγίες λειτουργίας [65]. Ένας μέσος όρος 10 μετρήσεων πραγματοποιήθηκε σε κάθε εξεταζόμενο οικοδομικό στοιχείο. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το κρουσίμετρο κάθετα στην εξεταζόμενη επιφάνεια. Για τη στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων υπολογίστηκε η μέση τιμή (RM) .

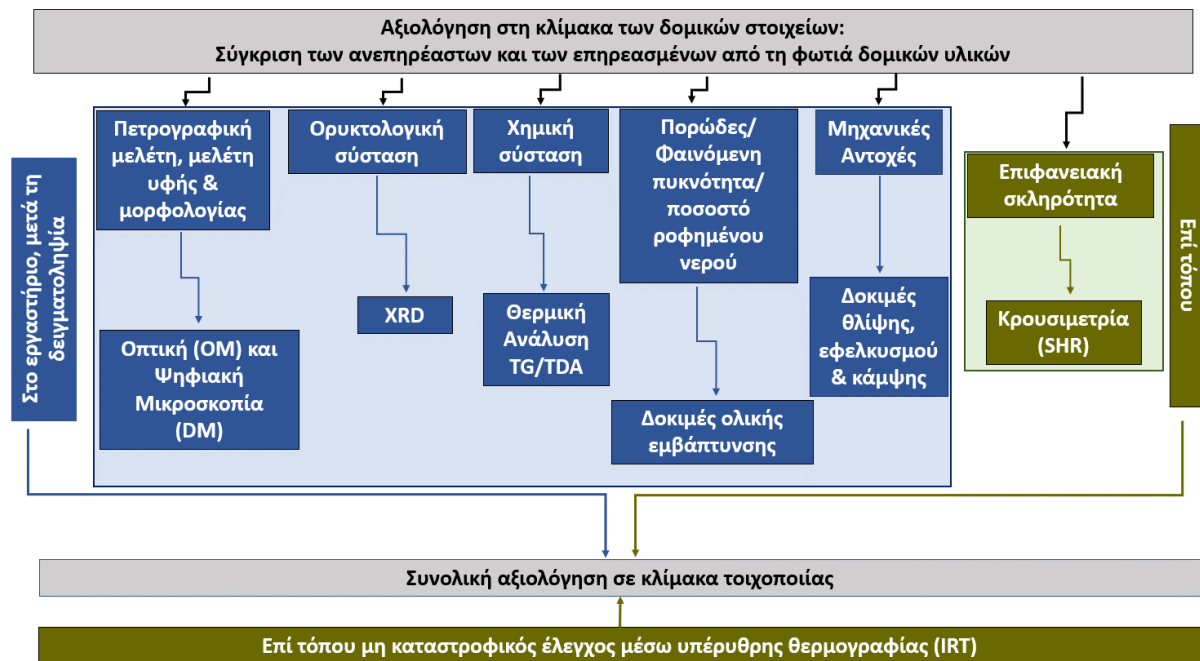
Η **υπέρυθρη θερμογραφία (IRT, B200, FLIR)** χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης της τοιχοποιίας στο σύνολό της, με τη διερεύνηση αντιπροσωπευτικών περιοχών [65-68]. Η παθητική προσέγγιση που εφαρμόστηκε είχε ως στόχο να αποκαλύψει τυχόν θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις των διαφόρων δομικών υλικών που αποτελούν τη τοιχοποιία μετά την επίδραση φωτιάς.

Η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται σε αυτή τη μελέτη παρουσιάζεται σχηματικά στο σχήμα της εικόνας 3.1. Η αξιολόγηση διεξήχθη σε δύο επίπεδα: κλίμακα δομικών στοιχείων και κλίμακα τοιχοποιίας. Η αξιολόγηση σε επίπεδο υλικού είναι απαραίτητη για την επιτυχία της αξιολόγησης σε επίπεδο τοιχοποιίας, δεδομένου ότι τα επιμέρους υλικά αποτελούν και επομένως επηρεάζουν τη συνολική διατήρηση της τοιχοποιίας.

Η αξιολόγηση της κλίμακας δομικών υλικών διεξήχθη τόσο σε εργαστήριο όσο και επί τόπου. Η εργαστηριακή αξιολόγηση αποσκοπούσε στην αποκάλυψη των πετρογραφικών και των χαρακτηριστικών υφής των διαφόρων δομικών υλικών, της ορυκτολογικής και χημικής τους σύνθεσης και των φυσικών χαρακτηριστικών τους, όπως πορώδες, πυκνότητα όγκου και πρόσληψη νερού. Στην παρούσα εργασία διεξήχθησαν δοκιμές OM, DM, XRD, TG / DTA και συνολικές δοκιμές εμβάπτισης σε νερό για τους προαναφερθέντες σκοπούς.

Η επιτόπια αξιολόγηση της κλίμακας οικοδομικών υλικών, με στόχο την εκτίμηση της επιφανειακής σκληρότητάς τους, χρησιμοποιώντας SHR. Όλες οι παραπάνω μετρήσεις εφαρμόστηκαν τόσο σε φωτιά όσο και σε φαινομενικά ανεπηρέαστα πέτρινα στοιχεία προκειμένου να επιτευχθεί -εκτός του χαρακτηρισμού των υλικών και της διάγνωσης της φθοράς - σύγκριση της αλλαγής των ιδιοτήτων τους λόγω του συμβάντος πυρκαγιάς. Η in situ μη καταστρεπτική δοκιμή με IRT χρησιμοποιήθηκε ως εργαλείο για την αξιολόγηση της κατάστασης διατήρησης της τοιχοποιίας (κλίμακα τοιχοποιίας) στην τρέχουσα κατάσταση της. Η αξιολόγηση της κλίμακας δομικών υλικών

συμβάλλει στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων της IRT και, συνεπώς, στην εκτίμηση της συνολικής κατάστασης διατήρησης της τοιχοποιίας στο σύνολό της. [59]



Εικόνα 3.1.: Διάγραμμα που συνοψίζει τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε σε αυτή τη μελέτη.

3.2. Δειγματοληψία

Για τη παρούσα μελέτη συλλέχθηκαν δείγματα από υλικά που κατέπεσαν από τις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας, μετά την επίδραση της πυρκαγιάς που έπληξε τη Μονή το 2017, καθώς και από τοιχοποιίες που φαινομενικά (βάσει μακροσκοπικών παρατηρήσεων) δεν επηρεάστηκαν από την πυρκαγιά.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εξωτερική και η ενδιάμεση τοιχοποιία των κελιών ανήκουν στη φάση κατασκευής της περιόδου 1831-1838μ.Χ. Οι τοιχοποιίες αυτές αναφέρονται στην παρούσα μελέτη ως ιστορικές. Η εσωτερική τοιχοποιία του κτηριακού συγκροτήματος σήμερα, ανεγέρθηκε κατά τη διάρκεια σύγχρονης προέκτασης των κελιών της Μονής και ανήκει στην περίοδο 1992-2004μ.Χ. Η τοιχοποιία αυτή προφανώς αποτελεί νέο τμήμα του κτηριακού συγκροτήματος. Εν τω συνόλω, βάσει μακροσκοπικών παρατηρήσεων, η επίδραση της πυρκαγιάς είναι:

- ιδιαίτερως έντονη στην μεσαία τοιχοποιία σε ότι αφορά και τις δύο όψεις της,
- έντονη στην εσωτερική τοιχοποιία σε ότι αφορά τη δυτική της όψη, ενώ η ανατολική όψη φαίνεται να μην έχει επηρεαστεί,
- έντονη στην εξωτερική τοιχοποιία σε ότι αφορά την ανατολική της όψη, ενώ η δυτική όψη φαίνεται να μην έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά.

Καθώς το κτηριακό συγκρότημα είναι μεγάλης έκτασης, και με σκοπό την λεπτομερή παρουσίαση των θέσεων λήψης δειγμάτων, το κτηριακό συγκρότημα χωρίστηκε σε τρεις περιοχές, όπως

φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Εν συνεχεία η κάθε περιοχή χωρίστηκε σε υπό-περιοχές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3, Εικόνα 3.4. και Εικόνα 3.5. αντίστοιχα.



Εικόνα 3.2.: Ορισμός των Περιχών από όπου ελήφθησαν τα δείγματα. Με μπλε κουκίδες ορίζονται τα σημεία δειγματοληψίας της Περιχής 1, με πορτοκαλί τα σημεία δειγματοληψίας της Περιχής 2 και με κόκκινες τα σημεία δειγματοληψίας της Περιχής 3

Αναλυτικότερα :



Εικόνα 3.3: Υπό-περιοχές ελέγχου (1Α, 1Β, 1Γ) της περιοχής 1



Εικόνα 3.4: Υπό-περιοχές δειγματοληψίας (2Α, 2Β) της περιοχής 2



Εικόνα 3.5: Υπό-περιοχές δειγματοληψίας (3Α, 3Β, 3Γ) της περιοχής 3

Στον Πίνακα 3.1 περιγράφεται αναλυτικά η κάθε υπό-περιοχή, σημειώνοντας την οικοδομική φάση που ανήκει, καθώς και τον βαθμό έκθεσης και προσβολής της από την πυρκαγιά του 2017.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 1Α	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΝΟΤΙΑ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΜΗ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 1Β	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΜΗ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 1Γ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΙΣΟΓΕΙΟ ΚΕΛΙΩΝ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 2Α	ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ , ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 2Β	ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 3Α	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΟΨΗ	ΝΕΑ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΜΗ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 3Β	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ , ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΜΕΡΟΣ, ΔΥΤΙΚΗ ΟΨΗ	ΝΕΑ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
ΥΠΟ-ΠΕΡΙΟΧΗ 3Γ	ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΤΟΙΧΟΠΟΪΑ, ΒΟΡΕΙΑ ΟΨΗ	ΙΣΤΟΡΙΚΗ , ΦΑΙΝΟΜΕΝΙΚΑ ΜΗ ΕΠΗΡΕΑΣΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Πίνακας 3.1: Αναλυτική περιγραφή υπό-περιοχών ελέγχου του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας

Παρακάτω παρουσιάζονται μακροσκοπικά οι διάφορες υπο-περιοχές, τα ακριβή σημεία των δειγμάτων που εξετάστηκαν, ενώ στους πίνακες περιγράφονται αναλυτικά όλα τα εξεταζόμενα δείγματα με τους αντίστοιχους κωδικούς τους.

Περιοχή 1 :

Υπό περιοχή 1Α :



Εικόνα 3.6.: Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 1Α (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 1-6)



Εικόνα 3.7: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 1Α (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 7)

Υπό-περιοχή 1Α		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	VU4B	Καφέ λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
2	VU5B	Γκρι μπεζ συμπαγής λίθος με μαύρο έγκλεισμα, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
3	V14	Πλίνθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
4	V15	Μαύρος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
5	VM16	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά
6	VM17	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά
7	VU7B	Γκρίζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά

Πίνακας 3.2.: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 1Α

Υπό περιοχή 1B :



Εικόνα 3.8.: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 1B (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 1-4)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	VM14	Κονίαμα αρμολόγησης, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά
2	V17	Πράσινος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
3	V16	Πράσινος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
4	VM15	Κονίαμα αρμολόγησης, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά

Πίνακας 3.3.: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 1B

Υπό περιοχή 1Γ :



Εικόνα 3.9.: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 1Γ (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 1-3)



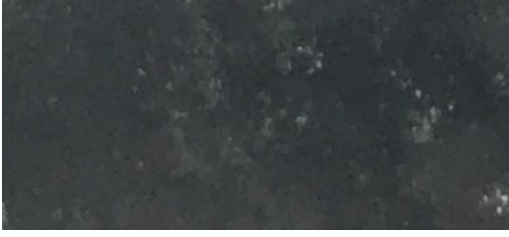
ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	V18	Πλίνθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
2	VM18	Κονίαμα φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
3	V19	Πλίνθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά


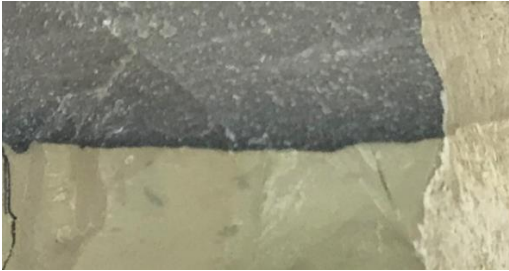

Πίνακας 3.4.: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 1Γ

Περιοχή 2 :

Υπό περιοχή 2Α :

Αρχικά ελήφθησαν δείγματα από λίθους που είχαν καταπέσει από την τοιχοποιία της περιοχής 2Α μετά τη φωτιά (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 1-6).

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ
V1	Πράσινος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά	
V2	Πράσινος λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά	
V3	Πράσινος λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά	

V4	Καφέ λίθος, φαινομενικά επηηρεασμένος από τη φωτιά	
V9	Διζωνικός γκρι – μπεζ συμπαγής λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά	
V10	Διζωνικός γκρι – μπεζ συμπαγής λίθος, φαινομενικά επηηρεασμένος από τη φωτιά	

Πίνακας 3.5.: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 2A (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 1-6)

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται οι θέσεις των δειγμάτων που ελήφθησαν στην Περιοχή 2A (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 7-12).



Εικόνα 3.10.: Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2Α (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 7-11)



Εικόνα 3.11.: Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2Α (αριθμός θέσης δειγματοληψίας: 12)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
------------------------------	-------------------	-----------

7	VM5	Κονίαμα Δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
8	VM3	Κονίαμα Δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
9	VM1	Κονίαμα Δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
10	VM4	Κονίαμα Δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
11	VM8	Κονίαμα Δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
12	VP	Επίχρισμα, νέο, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά

Πίνακας 3.6. : Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 2A (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 7-12)



Εικόνα 3.12 : Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2A (αριθμός θέσης δειγματοληψίας: 13-14)



Εικόνα 3.13. : Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2A (αριθμός θέσης δειγματοληψίας: 15)



Εικόνα 3.14 : Ακριβή θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2Α (αριθμός θέσης δειγματοληψίας: 16)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
13	VCC1	Σκυρόδεμα από δάπεδο, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
14	VCC4	Σκυρόδεμα δοκού, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
15	VCC2	Σκυρόδεμα δοκού, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
16	VCC3	Σκυρόδεμα σενάζ τοίχου, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά

Πίνακας 3.7. : Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπο-περιοχή 2Α (αριθμοί θέσεων δειγματοληψίας 13-16)

Υπό περιοχή 2Β :



Εικόνα 3. 15. : Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 2B

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	VM7	Κονίαμα αρμολόγησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
2	VM6	Κονίαμα δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
3	V5	Μαύρος λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά. Συνηθως απαντάτε ως έγκλεισμα, στον γκρίζο-μπεζ συμπαγή λίθο.
4	V7	Γκρίζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά

Πίνακας 3.8: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπό-περιοχή 2B

Περιοχή 3:

Υπο περιοχή 3 A :



Εικόνα 3.16: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 3Α (θέσεις δειγματοληψίας 1 -3)



Εικόνα 3.17: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 3Α (θέσεις δειγματοληψίας 4-5)

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	V6	Γκρίζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά
2	VM2	Κονίαμα αρμολόγησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη

		φωτιά
3	VM11	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά
4	VM10	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά
5	VM12	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά

Πίνακας 3.9: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπο-περιοχή 3Α

Υπο περιοχή 3 Β :



Εικόνα 3.18: Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 3B

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	VM9	Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά
2	V8	Γκρίζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά

Πίνακας 3.10: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπο-περιοχή 3B

Υπο περιοχή 3 Γ :



Εικόνα 3.19 : Ακριβής θέση των δειγμάτων που εξετάστηκαν από την περιοχή 3Γ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	VM13	Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά

Πίνακας 3.11: Κωδικοποίηση και περιγραφή δειγμάτων από την υπο-περιοχή 3Γ

3.3. Τεχνικές και Μέθοδοι Ανάλυσης

Όπως ήδη έχει αναφερθεί για να πραγματοποιηθεί επιτυχώς ο χαρακτηρισμός των δομικών υλικών και η διάγνωση της φθοράς τους από τις διάφορες οικοδομικές φάσεις των κελιών της Μονής χρησιμοποιήθηκαν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι ανάλυσης. Οι μέθοδοι με τις αρχές λειτουργιών τους αναφέρονται αναλυτικά :

3.3.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία

Η μέθοδος της ψηφιακής μικροσκοπίας (DM) αποτελεί μη καταστρεπτική, φορητή τεχνική, μικροσκοπικού ελέγχου των υλικών χωρίς να απαιτείται προηγουμένως επεξεργασία των υπό εξέταση επιφανειών. Η αρχή της μεθόδου συνίσταται στη μετάδοση σημάτων φωτός, αντί ηλεκτρικού ρεύματος, μέσω οπτικών ινών, αντί για μεταλλικούς αγωγούς, οι οποίες βρίσκονται

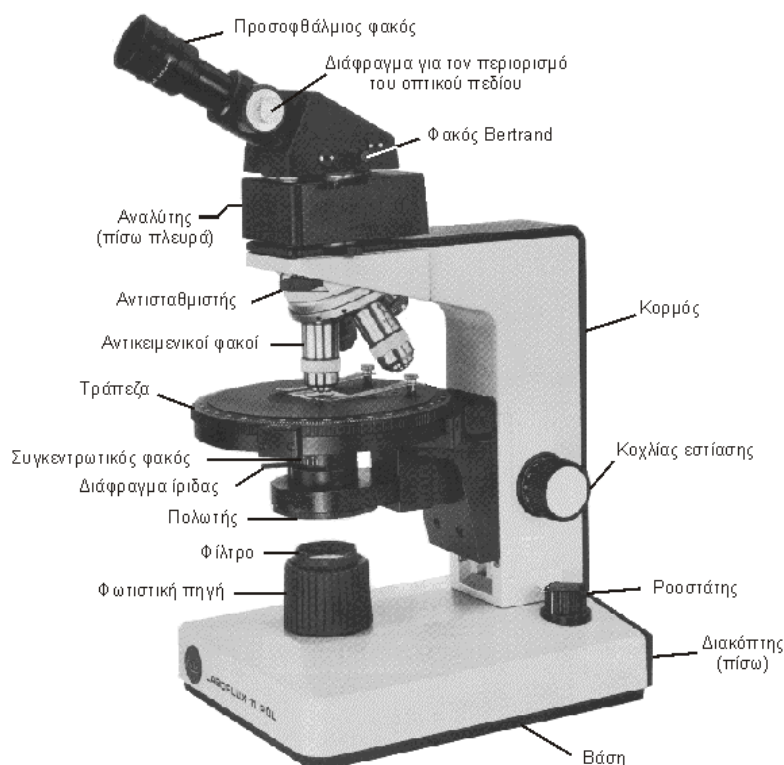
συζευγμένες σε κατάλληλη διάταξη. Στο ένα άκρο της ζεύξης ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε οπτικούς παλμούς οι οποίοι μεταδίδονται μέσω διαδοχικών ανακλάσεων παγιδευμένοι εντός οπτικών ινών. Στο άλλο άκρο της ζεύξης οι οπτικοί παλμοί μετατρέπονται εκ νέου σε ηλεκτρικό σήμα [6, 30].

Είναι κατάλληλη για την εξέταση των μορφολογικών χαρακτηριστικών των επιφανειών, όπως υφή και μορφές φθοράς (εξ ανθήσεις, κρούστες κλπ.). Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ταξινόμηση των διαφόρων τύπων λίθων και άλλων υλικών που απαντώνται σε ένα μνημείο, την κατάσταση διατήρησης, την αναγνώριση διαφόρων μορφών φθοράς όπως η βιοδιάβρωση κ.α. Η τεχνική βοηθά και στην επιλογή των κατάλληλων σημείων δειγματοληψίας και στην εκτίμηση της συμβατότητας μιας επέμβασης [68].

Οι εικόνες της μικροσκοπίας οπτικών ινών έχουν υψηλή ανάλυση και μεγέθυνση έως και X600, ενώ αποθηκεύονται σε ψηφιακή μορφή για περαιτέρω επεξεργασία. Η λήψη εικόνων κατά τη διάρκεια του εργαστηριακού ελέγχου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του μικροσκοπίου i_score Moritex και των φακών μεγεθύνσεων X30, X50, X120.

3.3.2. Πετρογραφικό Πολωτικό Οπτικό Μικροσκόπιο

Το πολωτικό - πετρογραφικό μικροσκόπιο διαφοροποιείται από το κοινό μικροσκόπιο εξαιτίας της ύπαρξης περιστρεφόμενης τράπεζας και των δύο πολωτικών φίλτρων, του πολωτή και του αναλυτή.



Εικόνα 3.20: Απεικόνιση κύριων μερών πολωτικού μικροσκοπίου [69]

Τα κύρια τμήματα του πολωτικού - πετρογραφικού μικροσκοπίου είναι τα εξής :

- **Φωτιστική πηγή:** Η φωτιστική πηγή βρίσκεται στη βάση του μικροσκοπίου και αποτελείται από μία λάμπα αλογόνου λευκού φωτός και ένα σύστημα φακών και κατόπτρων, που κατευθύνουν το φως προς τα επάνω. Η ένταση του φωτός ρυθμίζεται με ένα ροοστάτη. Επάνω από τη φωτιστική πηγή υπάρχει θέση για κάποιο φίλτρο που βοηθά σε πιο ξεκούραστη παρατήρηση.
- **Πολωτής:** Ο πολωτής είναι τοποθετημένος αμέσως πάνω από τη φωτιστική πηγή. Αποτελείται από ένα πολωτικό φίλτρο που μετατρέπει το φυσικό φως σε ευθύγραμμο πολωμένο. Στο συγκεκριμένο μικροσκόπιο η διεύθυνση κράδανσης του πολωτή είναι Α-Δ. Ο πολωτής έχει τη δυνατότητα περιστροφής ώστε η διεύθυνση κράδανσης του πολωμένου φωτός να λαμβάνει διάφορες θέσεις.
- **Διάφραγμα ίριδας:** Το διάφραγμα ίριδας ή απλώς διάφραγμα βρίσκεται πάνω από τον πολωτή και ρυθμίζει τη διάμετρο της φωτεινής δέσμης, που περνά από το μικροσκόπιο. Κλείνοντας το διάφραγμα μειώνεται η διάμετρος της φωτεινής δέσμης και τα όρια των ορυκτών διαγράφονται εντονότερα. Η δέσμη αποτελείται από σχεδόν παράλληλες φωτεινές ακτίνες και η παρατήρηση που γίνεται με τέτοιο φωτισμό ονομάζεται ορθοσκοπική παρατήρηση. Κατά την ορθοσκοπική παρατήρηση το διάφραγμα πρέπει να είναι ελαφρώς κλειστό, ενώ αντίθετα κατά την κωνοσκοπική παρατήρηση πρέπει να είναι τελείως ανοικτό.
- **Συγκεντρωτικός φακός:** Ο συγκεντρωτικός ή συγκλίνων φακός είναι τοποθετημένος πάνω από το διάφραγμα και κάτω από την τράπεζα του μικροσκοπίου και περιστρέφεται γύρω από έναν οριζόντιο άξονα έτσι ώστε να παρεμβάλλεται κατά βούληση στην πορεία του φωτός. Δημιουργεί μία ισχυρώς συγκλίνουσα δέσμη φωτός και χρησιμοποιείται για την κωνοσκοπική παρατήρηση, κατά την οποία σχηματίζονται κωνοσκοπικές εικόνες που εξετάζονται με το μεγάλης μεγέθυνσης αντικειμενικό φακό και το φακό Bertrand. Ο πολωτής, το διάφραγμα και ο συγκεντρωτικός φακός αποτελούν συνήθως ένα ενιαίο σύστημα τοποθετημένο κάτω από την τράπεζα του μικροσκοπίου. Το σύστημα αυτό σε ορισμένα μικροσκόπια είναι εφοδιασμένο με έναν ανυψωτικό μηχανισμό που του επιτρέπει να ανεβοκατεβαίνει κατά βούληση.
- **Τράπεζα μικροσκοπίου:** Η στρεφόμενη τράπεζα ή απλώς τράπεζα του πολωτικού μικροσκοπίου είναι κυκλική και τοποθετημένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιστρέφεται περί κατακόρυφο άξονα. Στην εξωτερική της πλευρά είναι βαθμολογημένη σε μοίρες και στο πλάι υπάρχει ένας βερνιέρος για την ακριβή μέτρηση διαφόρων γωνιών. Η λεπτή τομή του πετρώματος τοποθετείται στο κέντρο της τράπεζας όπου υπάρχει μία οπή για να επιτρέπει τη διέλευση του φωτός
- **Αντικειμενικοί φακοί:** Οι αντικειμενικοί φακοί είναι μεγεθυντικοί φακοί προσαρμοσμένοι σ' ένα περιστρεφόμενο σύστημα.
- **Αντισταθμιστής:** Ο αντισταθμιστής τοποθετείται σε μία σχισμή υπό γωνία 45° ως προς το σταυρόνημα ακριβώς πάνω από το περιστρεφόμενο σύστημα των αντικειμενικών φακών και κάτω από τον αναλυτή. Οι αντισταθμιστές είναι πλακίδια διπλοθλαστικών ορυκτών τοποθετημένα σε μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο, τα οποία παρέχουν ορισμένη διαφορά πορείας στο διερχόμενο φως. Στο πλαίσιο του αντισταθμιστή είναι χαραγμένη η διεύθυνση κράδανσης της αργής ακτίνας (μεγάλος δείκτης διάθλασης) του ορυκτού, η οποία συνήθως γίνεται κάθετα στη μεγάλη διάσταση του αντισταθμιστή.

- *Αντισταθμιστής γύψου ή λ*: Αποτελείται συνήθως από ένα πλακίδιο γύψου ή χαλαζία συγκεκριμένου πάχους που επιφέρει σταθερή διαφορά πορείας ενός μήκους κύματος περίπου 550 nm - παράγοντας έτσι το ερυθρό χρώμα πρώτης τάξης.
- *Αντισταθμιστής μοσχοβίτη ή λ/4*: Αποτελείται συνήθως από ένα πλακίδιο μοσχοβίτη ή χαλαζία συγκεκριμένου πάχους που επιφέρει σταθερή διαφορά πορείας ενός τετάρτου μήκους κύματος λ/4 - περίπου 140 nm - παράγοντας το γκριζο χρώμα πρώτης τάξης.
- *Αντισταθμιστής Berek* : Αποτελείται από ένα πλακίδιο ασβεστίτη που στρέφεται γύρω από ένα οριζόντιο άξονα μεταβάλλοντας έτσι τη διπλοθλαστικότητά του και κατ' επέκταση τη διαφορά πορείας που επιφέρει. Με αυτόν τον αντισταθμιστή μπορούμε να προσδιορίσουμε ακριβώς τη διπλοθλαστικότητα του εξεταζόμενου ορυκτού.
- *Σφήνα χαλαζία*: Αποτελείται από ένα σφηνοειδές πλακίδιο χαλαζία που λόγω μεταβαλλόμενου πάχους επιφέρει μεταβαλλόμενη διαφορά πορείας από 0 έως 4λ παράγοντας χρώματα πόλωσης μέχρι τέταρτης τάξης.
- *Αναλυτής*: Ο αναλυτής βρίσκεται πάνω από τους αντικειμενικούς φακούς και παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός κατά βούληση. Είναι όμοιος με τον πολωτή, έχει όμως διεύθυνση κράδανσης B-N δηλαδή κάθετη σε αυτή του πολωτή. Ο πολωτής και ο αναλυτής αναφέρονται και ως Nicols, διότι στα πρώτα μικροσκόπια για την πόλωση του φωτός χρησιμοποιούνταν πρίσματα Nicol.
- *Διασταυρωμένα Nicols (Nicols X, N+)*: Όταν ο αναλυτής παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός, τότε ο πολωτής και ο αναλυτής είναι διασταυρωμένοι και η παρατήρηση γίνεται με πολωτή και αναλυτή ή με διασταυρωμένα Nicols. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει τίποτε στην τράπεζα του μικροσκοπίου το πεδίο παρατήρησης φαίνεται σκοτεινό, διότι το πολωμένο φως που φθάνει στον αναλυτή έχει διεύθυνση κράδανσης κάθετη και επομένως δεν περνά.
- *Παράλληλα Nicols (Nicols //, N-)*: Όταν ο αναλυτής απομακρυνθεί από την πορεία του φωτός, τότε το πεδίο είναι φωτεινό. Ο πολωτής και ο αναλυτής είναι παράλληλοι και η παρατήρηση γίνεται μόνο με πολωτή ή με παράλληλα Nicols.
- *Φακός Bertrand*: Ο φακός Bertrand είναι ένας μικρός φακός ακριβώς πάνω από τον αναλυτή και παρεμβάλλεται στην πορεία του φωτός κατά βούληση. Χρησιμεύει για την παρατήρηση των κωνοσκοπικών εικόνων.
- *Προσοφθάλμιος φακός*: Ο προσοφθάλμιος φακός βρίσκεται στο πάνω μέρος του σωλήνα του μικροσκοπίου και μεγεθύνει το είδωλο που δημιουργείται από τους αντικειμενικούς φακούς. Η συνηθισμένη μεγέθυνση του προσοφθάλμιου είναι 10x. Η ολική μεγέθυνση του μικροσκοπίου ισούται με το γινόμενο της μεγέθυνσης του αντικειμενικού επί τη μεγέθυνση του προσοφθάλμιου. Ο προσοφθάλμιος περιέχει το σταυρόνημα που αποτελείται από δύο κάθετα νήματα και εστιάζεται με την περιστροφή του ανώτερου τμήματος του προσοφθάλμιου.
- *Μηχανισμός εστίασης*: Η εστίαση πραγματοποιείται ανεβάζοντας ή κατεβάζοντας την τράπεζα με τη βοήθεια ενός ή δύο κοχλιών που βρίσκονται στον κορμό του μικροσκοπίου. Υπάρχει δυνατότητα για δύο εστιάσεις, μία κατά προσέγγιση με μεγάλες μετακινήσεις και μία λεπτομερή με πάρα πολύ μικρές μετακινήσεις. [69]

3.3.3. Περίθλαση Ακτίνων X (XRD)

Με τη συγκεκριμένη τεχνική διεξήχθη η ποιοτική ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων κονιαμάτων και λίθου. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των κρυσταλλικών ενώσεων του δείγματος και την ταυτοποίηση των διαφόρων κρυσταλλικών δομών ουσιών ίδιας χημικής σύστασης, και συμπληρώνει την στοιχειακή ανάλυση.

Με τη μέθοδο του περιθλασιμέτρου ακτινών Χ είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτινών Χ που προσπίπτουν πάνω στα πλεγματικά επίπεδα των κρυστάλλων των διαφόρων ορυκτών. Το περιθλασίμετρο, καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των ανακλώμενων ακτινών για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών. Η μέθοδος επιτρέπει την ταυτοποίηση κρυσταλλικών ενώσεων.

Βασίζεται στο φαινόμενο της περίθλασης μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων Χ, γνωστού μήκους κύματος λ, επάνω στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος των εξεταζόμενων ενώσεων και στον προσδιορισμό των διαστημάτων d των κρυσταλλικών επιπέδων, μέσω του προσδιορισμού της περιθλώμενης γωνίας θ της ακτινοβολίας Χ,

σύμφωνα με το νόμο του Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \eta \mu \theta$$

όπου: n=1,2,3..., λ : μήκος κύματος, θ : γωνία ανάκλασης, d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Μέσω του προσδιορισμού των κρυσταλλικών επιπέδων d που είναι χαρακτηριστικά για κάθε κρυσταλλική ένωση γίνεται η ποιοτική ανάλυση της εξεταζόμενης ουσίας, ενώ από τη μέτρηση της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας σε μία επιλεγμένη γωνία θ γίνεται η ποσοτική ανάλυση μίας κρυσταλλικής ένωσης – κρυσταλλικών ενώσεων σε ένα δείγμα, όταν η συγκέντρωση δεν είναι πολύ χαμηλή [30] [70].

Χρησιμοποιήθηκε η διάταξη περίθλασης Diffraktometer D-5000 της Siemens το οποίο συνδέεται με μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη βοήθεια του οποίου γίνεται η όλη διαδικασία καταγραφής και επεξεργασίας των αποτελεσμάτων.

3.3.4. Διαφορική Θερμική και Θερμοβαρυμετρική Ανάλυση (DTA/TG)

Οι θερμικές μέθοδοι ανάλυσης χρησιμοποιούνται για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών του δείγματος. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αναγνώριση διαφόρων συστατικών των κονιαμάτων και των πιθανών υδραυλικών ιδιοτήτων τους καθώς και για την αποτίμηση των θερμικών μετασχηματισμών που συσχετίζονται με την ελεγχόμενη θέρμανσή τους. Η μέθοδος αποκαλύπτει θερμικούς μετασχηματισμούς όπως αφυδάτωση, αφυδροξυλίωση, οξείδωση και αποσύνθεση. Επιπλέον μπορούν να παρατηρηθούν κρυσταλλικές μεταπτώσεις, οι οποίες είναι είτε εξώθερμες είτε ενδόθερμες [71] [72].

Σε συνδυασμό με τη Θερμοβαρυμετρική ανάλυση (TG) παρακολουθείται η απώλεια βάρους στο δείγμα συναρτήσει της θερμοκρασίας. Ο προσδιορισμός γίνεται μέσω της καταγραφής της απώλειας μάζας (TG) και των ενδόθερμων και εξώθερμων φαινομένων (DTA) που λαμβάνουν χώρα στο δείγμα, όταν υπόκειται σε συγκεκριμένο θερμοκρασιακό πρόγραμμα. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμες

όταν πρόκειται για κονίαμα, αφού μέσω αυτών μπορούμε να διαπιστώσουμε την φύση της κονίας (αερική ή υδραυλική) και τη χημική σύσταση των αδρανών. Η βασική διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων ήταν ένας θερμοζυγός ακριβείας, τύπου TGA 6. (DTA/TG, Regulus 2500, Netzsch) εφαρμόζεται σε επιλεγμένα δείγματα. Οι αναλύσεις διεξήχθησαν σε θερμοκρασία θερμοκρασίας 30-1000°C με ρυθμό θέρμανσης 10°C/min σε ατμόσφαιρα αζώτου.

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

Βασικοί Ορισμοί

Ανοιχτό πορώδες (V_{op}), είναι το σύνολο των ανοιχτών πόρων [5].

Υδατική απορρόφηση με εμβάπτιση του δείγματος ($M_i\%$), είναι η ποσότητα του νερού που απορροφάται από το βυθιζόμενο λίθο σε απιονισμένο νερό, σε πίεση και θερμοκρασία δωματίου, μετρούμενη στα βέλτιστα χρονικά διαστήματα, εκφρασμένη ως το ποσοστό της ξηρής μάζας του δείγματος.

Υδατική χωρητικότητα μέσω απορρόφησης (W.A.C), είναι η μέγιστη ποσότητα του νερού που απορροφάται από ένα υλικό σε πίεση και θερμοκρασία δωματίου, κάτω από συνθήκες κορεσμού, εκφρασμένη ως το ποσοστό της ξηρής μάζας του δείγματος.

Ο προσδιορισμός της υδαταπορροφητικής ικανότητας των λίθων αποτελεί μία πολύ χρήσιμο εργαστηριακή αξιολόγηση των λίθων με σκοπό τον χαρακτηρισμό των πόρων του υλικού, την αξιολόγηση της επιδεκτικότητας του υλικού στη φθορά και παρακολούθηση της αποτελεσματικότητας των επεμβάσεων συντήρησης. [73]

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε για τα δείγματα των λίθων.

Αρχικά, τα δείγματα ξεπλένονται με απιονισμένο νερό, με σκοπό την απομάκρυνση των σωματιδίων σκόνης και άλλων επικαθίσεων στην επιφάνεια του δείγματος. Στη συνέχεια, τα δείγματα θερμαίνονται στο φούρνο σε θερμοκρασία 60°C, για 24 ώρες και έπειτα, τοποθετούνται στον ξηραντήρα, το κάτω μέρος του οποίου καλύπτεται με αφυδατωμένη silica, έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία δωματίου. Τα δείγματα ζυγίζονται. Η διαδικασία ξήρανσης διαρκεί έως ότου η μάζα κάθε δείγματος κριθεί σταθερή, δηλαδή η διαφορά μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων της μάζας να μην ξεπερνά το 0,1%.

Όταν τα δείγματα έχουν ξηρανθεί σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία, καταγράφεται η σταθερή μάζα, M_0 . Τα δείγματα τοποθετούνται σε γυάλινους ογκομετρικούς κυλίνδρους και σταδιακά καλύπτονται με απιονισμένο νερό έως ότου η στάθμη του νερού ανέρχεται 2cm πάνω από την επιφάνεια του δείγματος.

Μέσα σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα, τα δείγματα εξάγονται από τα δοχεία βύθισης και αφού πρώτα απομακρυνθούν οι σταγόνες νερού που βρίσκονται στην επιφάνεια των δοκιμών με απορροφητικό χαρτί, καταγράφεται η μάζα των νοπών δειγμάτων, M_i , καθώς και η χρονική στιγμή,

από την έναρξη της εμβάπτισης των δοκιμίων, που πάρθηκε η εν λόγω μέτρηση της μάζας. Τα χρονικά διαστήματα που κρίνεται απαραίτητη η μέτρηση της μάζας των δοκιμίων, κατά τις πρώτες 24 ώρες της εμβάπτισης, εξαρτάται από τον απορροφητικό χαρακτήρα του δείγματος. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα δείγματα λίθων, τα δοκίμια λογίζεται απαραίτητο να ζυγίζονται μετά τα πρώτα πέντε λεπτά εμβάπτισης αυτών και έπειτα κάθε μία ώρα κατά το πέρας των τριών πρώτων ωρών εμβάπτισης. Στη συνέχεια, τα δοκίμια ζυγίζονται μετά από οκτώ (8) ώρες εμβάπτισης και έπειτα ανά 24 ώρες έως ότου η ποσότητα του νερού που απορροφάται ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μετρήσεις ζύγισης, να μην εμφανίζει απόκλιση μεγαλύτερη του 1% της συνολικής μάζας.

Τέλος, όταν πλέον τα δείγματα έχουν αποκτήσει την σχετικά σταθερή μάζα, εξάγονται από το λουτρό, θερμαίνονται στο φούρνο, σε θερμοκρασία 60°C και ξηραίνονται έως ότου αποκτήσουν σταθερή μάζα. [73][74]

Οι μετρήσεις της υδατικής ρόφησης ($M_i\%$), του ποσοστού ροφημένου νερού (WAC) και του ανοιχτού πορώδους (V_{op}), πραγματοποιούνται βάσει προ τυποποιημένης διαδικασίας και σύμφωνα με τους παρακάτω υπολογισμούς. [73]

Η ποσότητα του νερού που ροφάται λαμβάνοντας υπόψη και τη ξηρή μάζα του δείγματος ($M_i\%$) :

$$M_i\% = \left(\frac{m_i - m_0}{m_0} \right) \cdot 100$$

Όπου :

M_i : μάζα (g) του νωπού δείγματος σε χρόνο t_i

M_0 : μάζα (g) του ξηρού δείγματος.

Μέγιστο ποσοστό ροφημένου νερού (WAC) :

$$WAC = \left(\frac{m_{max} - m_d}{m_d} \right) \cdot 100$$

Όπου:

M_{max} : μάζα (g) του δείγματος με το μέγιστο ποσοστό ρόφησης.

M_d : μάζα (g) του δείγματος μετά την επαναξηράνση κατά το τέλος του πειράματος.

Ο όγκος των ανοικτών πόρων V_{op} (cm^3), καλείται ο όγκος του ροφημένου νερού από το δείγμα. Επειδή η πυκνότητα του νερού είναι 1 g/cm^3 στους 40°C , η διαφορά του βάρους του δείγματος πριν και μετά την κατάσταση κορεσμού αυτού σε νερό, αποτελεί έκφραση του όγκου των ανοιχτών πόρων.

$$V_{op} = m_s - m_c$$

Όπου:

V_{op} : ο όγκος των ανοιχτών πόρων (cm^3)

M_{max} : η μάζα του κορεσμένου δείγματος σε νερό (g)

M_c : η ξηρή μάζα του δείγματος (g)

Το % ανοιχτό πορώδες του δείγματος υπολογίζεται με γόμωνα την παρακάτω σχέση :

$$\% \text{ open porosity} = 100 \times \frac{V_{op}}{V_a}$$

Όπου:

V_{op} : ο όγκος των ανοιχτών πόρων (cm^3)

V_a : ο φαινόμενος όγκος (cm^3)

3.3.6. Προσδιορισμός Ολικών Διαλυτών Αλάτων (SST%)

Για τον προσδιορισμό των ολικών διαλυτών αλάτων εφαρμόστηκε το ιταλικό πρότυπο "Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83", κατά το οποίο λαμβάνει χώρα ζύγιση 100 ± 5 mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή των διαλυμάτων μετρείται η αγωγιμότητά τους, η οποία εκφράζεται σε $\mu\text{Siemens}$.

Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{SST}\% = (C \times 6,88)/M$$

όπου:

C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS ,

M: το βάρος του προς εξέταση δείγματος σε mg.

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

Συμπληρωματικά του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων (Cl^-) και θειικών αλάτων (SO_4^{2-}), δεδομένης της καθοριστικής συμβολής τους στη φθορά των υλικών. [75]

3.3.7. Μηχανικές Αντοχές Υλικών

Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια

Το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση είναι το EN 1926:2006 Για κάθε είδος λίθου γίνεται χρήση δοκιμών με διαστάσεις $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ με στόχο τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τους. [80]

Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων σε κυλινδρικά δοκίμια - (Brazilian test)

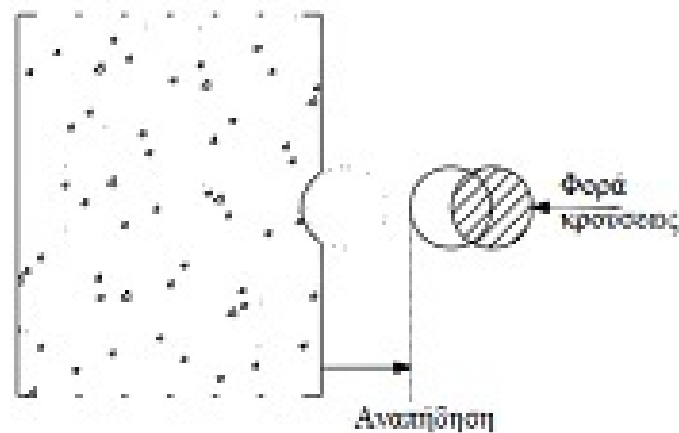
Η δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων πραγματοποιείται, σε δοκίμια διαμέτρου 10cm και ύψους 5cm, με στόχο τον προσδιορισμό της εφελκυστικής του αντοχής. Το πρότυπο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση είναι το ISRM 1978. [80]

Δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα δοκίμια

Η δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη πραγματοποιείται σε δοκίμια διαστάσεων 5cmx5cmx30cm με στόχο τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής τους. Το πρότυπο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση είναι το EN 12372. [80]

3.3.8. Μέθοδος Κρουσίμετρου Schmidt

Η μέθοδος του κρουσίμετρου είναι μια μη Καταστρεπτική Μέθοδος εκτίμησης της αντοχής των δομικών υλικών, η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας των δομικών στοιχείων που εξετάζονται. Με την μέθοδο αυτή εξετάζεται η ποιότητα της εξωτερικής επιφάνειας των κατασκευών και σε βάθος έως 30mm περίπου. Η μέθοδος του κρουσίμετρου μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την αντοχή ενός δομικού στοιχείου κυρίως όταν συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους. Η αρχή της μεθόδου φαίνεται παρακάτω σχήμα. Μια μεταλλική μάζα προσκρούει στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού. Το ύψος αναπήδησης αυτής της μάζας εξαρτάται από την ελαστικότητα του υλικού και, επομένως, από την αντοχή του. [76]



Εικόνα 3.20 : Αναπαράσταση τεχνικής Κρουσιμετρίας [76]

Η θλιπτική αντοχή συμβολίζεται με f'

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με την μέθοδο του κρουσίμετρου είναι:

Ο τύπος τσιμέντου

Ο τύπος και γεωμετρία των εξεταζόμενων δοκιμίων

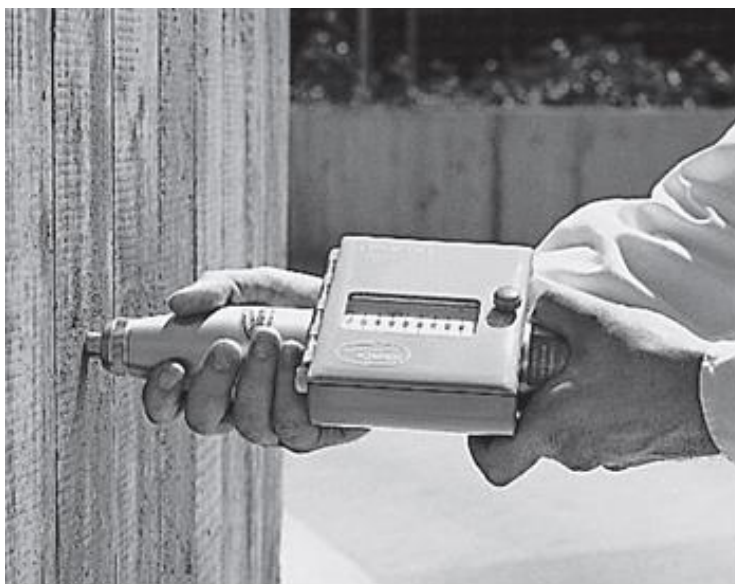
Η υγρασία

Η θερμοκρασία

Η ενανθράκωση

Η διεύθυνση κρουσιμετρήσεως

Κατά την διάρκεια της δοκιμής, μια ράβδος φορτισμένη από ένα ελατήριο πιέζεται κάθετα πάνω στην εξεταζόμενη επιφάνεια μέχρι μια προκαθορισμένη πίεση, στην οποία απελευθερώνεται μια ασάλινη μάζα. Η μάζα προσκρούει στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού και αναπηδά μετατοπίζοντας έναν δείκτη. Η ένδειξη που λαμβάνεται ονομάζεται δείκτης αναπήδησης (rebound index) και εκφράζει την αντίσταση της εξεταζόμενης επιφάνειας έναντι τοπικής πλαστικής παραμόρφωσης, η οποία σχετίζεται με την θλιπτική αντοχή του υλικού.



Εικόνα 3.21 : Δοκιμή κρουσιμέτρησης με την σφύρα Schmidt

Η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε για τον έλεγχο κατασκευών από σκυρόδεμα, όμως τα τελευταία χρόνια γίνεται χρήση του κρουσίμετρου και στον χώρο των ιστορικών κατασκευών, κυρίως για την επιτόπου εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών λίθων.

Ωστόσο, δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της αντοχής ιστορικών κονιαμάτων, διότι η ανάκλαση σε αυτά είναι μικρή και δεν μπορεί να μετρηθεί από την σφύρα, η οποία έχει δημιουργηθεί για να εφαρμόζεται κυρίως στα σκυροδέματα. Εξάλλου, η χαμηλή αντοχή που μπορεί να παρουσιάζουν τα ιστορικά κονιάματα, μπορεί να οδηγήσει και στην μικρή αλλά υπαρκτή τοπική παραμόρφωσή του, λόγω της πρόσκρουσης της σφύρας, φαινόμενο ανεπιθύμητο κατά τον μη καταστρεπτικό έλεγχο μιας τοιχοποιίας. Παράλληλα, η χρήση της σφύρας στα κονιάματα δυσχεραίνεται λόγω του μικρού πάχους των αρμών.

Για την εφαρμογή της κρουσιμέτρησης σε τοιχοποιία, ελλείψει πρότυπης μεθόδου που να αφορά στον έλεγχο ιστορικών κατασκευών και ιστορικών δομικών υλικών, εφαρμόζεται, με ελάχιστες τροποποιήσεις, η αμερικάνικη πρότυπη μέθοδος ASTM C805-97, για τον έλεγχο του σκυροδέματος ή το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12504-2: 2012 «Έλεγχος σκυροδέματος στις κατασκευές – Μη καταστρεφτικός έλεγχος αντοχής με κρουσιμέτρηση».

Το έμβολο πρέπει να τοποθετείται κάθετα στην εξεταζόμενη επιφάνεια και να πιέζεται στο κέντρο της κατακόρυφης επιφάνειας του λιθοσώματος. Απαιτείται επανάληψη των κρούσεων σε κάθε θέση, εντός μιας περιοχής με διάμετρο από 15 έως 30 εκ.

Η εξεταζόμενη επιφάνεια πρέπει να είναι απόλυτα λεία και ομαλή, χωρίς την παρουσία μικρορωγμών ή άλλων ασυνεχειών. Για τον λόγο αυτό, επιλέγονται επίπεδα και καθαρά λιθοσώματα, ενώ μπορεί να απαιτηθεί και τοπική λείανσή τους στις θέσεις εφαρμογής, αν αυτές είναι ανώμαλες, με ειδικό λίθο (π.χ. κορούνδιο). Στην περίπτωση επιχρισμένων επιφανειών, απαιτείται τοπική απομάκρυνση των επιχρισμάτων στις θέσεις εφαρμογής. Έχει παρατηρηθεί ότι οι ενδείξεις του κρουσίμετρου στις λείες επιφάνειες είναι αυξημένες σε σχέση με τις ενδείξεις στις ανώμαλες επιφάνειες. Ακατάλληλες, επίσης, για δοκιμή κρουσιμέτρησης είναι και οι επιφάνειες που προκύπτουν από κοπή (π.χ. με τροχό). Άλλος παράγοντας που επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης είναι η διεύθυνση πρόσκρουσης (οριζόντια ή κατακόρυφη, προς τα πάνω ή προς τα κάτω). [77]

Η παρουσία υψηλού ποσοστού υγρασίας στο εξεταζόμενο υλικό μεταβάλλει σημαντικά τις ενδείξεις του κρουσίμετρου, επηρεάζοντας έτσι την εκτίμηση της πραγματικής αντοχής. Επίσης, μετρήσεις που γίνονται σε χαμηλές θερμοκρασίες (κοντά στους 0°C) δίνουν αυξημένες ενδείξεις. Γι' αυτό, η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων πρέπει να είναι από 10 έως 30°C.

Σε τακτά χρονικά διαστήματα, ενδιάμεσα στους ελέγχους, το κρουσίμετρο βαθμονομείται με χρήση ενός πρότυπου αμονιού, προς εξασφάλιση ακρίβειας των αποτελεσμάτων. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ενδείξεις του κρουσίμετρου.

Για το σκυρόδεμα υπάρχουν στα διάφορα πρότυπα, αλλά και στην διεθνή βιβλιογραφία, καμπύλες συσχετισμού του δείκτη αναπήδησης (R) με την θλιπτική αντοχή σκυροδέματος f_{ck} (N/mm²), οι οποίες έχουν προκύψει από εργαστηριακές δοκιμές θλίψης και κρουσιμέτρησης σε συμβατικά δοκίμια σκυροδέματος. [77]

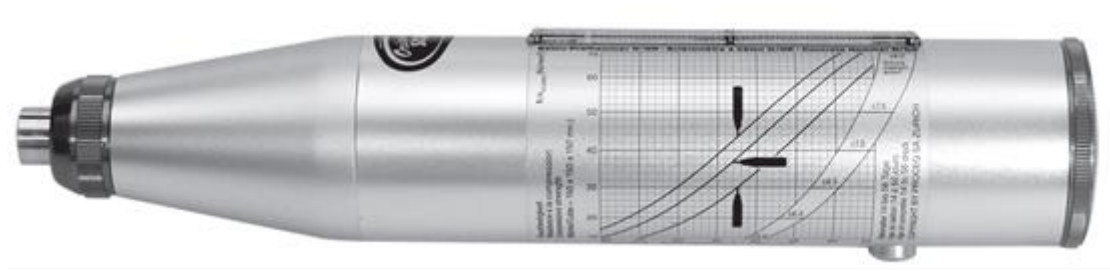
Επίσης, στην διεθνή βιβλιογραφία διατίθενται και διαγράμματα συσχετισμού του δείκτη αναπήδησης με την θλιπτική αντοχή των λιθοσωμάτων, για συγκεκριμένα υλικά και υπό καθορισμένες συνθήκες. Εξαιτίας, όμως, της μεγάλης διασποράς των αποτελεσμάτων, δεν συνιστάται η εφαρμογή της κρουσιμέτρησης για την απευθείας εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής των υλικών, μέσω αυτών. Η εφαρμογή της μεθόδου αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σχετικής μεταβολής της θλιπτικής αντοχής σε διάφορες θέσεις, δηλαδή για τον έλεγχο της ομοιογένειας του υλικού, σε μια μεγάλη έκταση της κατασκευής. Έτσι, η κρουσιμέτρηση προηγείται των άλλων δοκιμών και τα αποτελέσματά της χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό αυτών.

Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, από διάφορες μελέτες έχει αποδειχθεί ότι υπάρχει αξιόπιστη συσχέτιση των μηχανικών ιδιοτήτων με τον δείκτη αναπήδησης, για διαφορετικούς τύπους λίθων (με κάποια διασπορά βέβαια). Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι η θλιπτική αντοχή αυξάνεται γραμμικά σε σχέση με την αύξηση του δείκτη αναπήδησης, ενώ το μέτρο Young σχετίζεται εκθετικά με αυτόν. Έτσι, η χρήση του κρουσίμετρου, σε συνδυασμό με άλλες μη καταστρεπτικές μεθόδους, μπορεί να εφαρμοσθεί και για την επιτόπου εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών λίθων ιστορικών κατασκευών.

Επίσης έχει αποδειχθεί ότι η μέθοδος της κρουσιμέτρησης για την εκτίμηση του βαθμού αποσάθρωσης των δομικών λίθων, καθώς έχει παρατηρηθεί ότι τα αποσαθρωμένα λιθοσώματα παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές του δείκτη αναπήδησης.

Η μέθοδος εξετάζει μόνο την εξωτερική επιφάνεια των κατασκευών και γι' αυτό μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα μόνο όταν συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους. Για παράδειγμα, στο σκυρόδεμα η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθους 30 mm. Στις τοιχοποιίες, η ύπαρξη κάποιων σκληρών κρουστών λόγω διάβρωσης της εξεταζόμενης επιφάνειας, όπως είναι οι σκληρές ανθρακικές κρούστες, μπορεί να αυξήσει σημαντικά τις ενδείξεις και να οδηγήσει σε εσφαλμένη εκτίμηση της αντοχής της επιφάνειας.

Έτσι, λαμβάνοντας υπόψη κατά την αξιολόγηση των μετρήσεων, την επιφανειακή φθορά του υπό εξέταση υλικού, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την χαρτογράφηση της επιφανειακής φθοράς των δομικών υλικών. [82][83][84]



Εικόνα 3.22: Κρουσίμετρο Schmidt

3.3.9. Θερμογραφία Υπερύθρου - [Infrared Thermography - IRT]

Υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα υλικά λόγω της θερμικής κίνησης των μορίων τους. Όταν η ακτινοβολία αυτή, η οποία εκπέμπεται από μία πηγή στην περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0,7 – 14μm, συναντήσει ένα υλικό, μέρος αυτής το διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από το υλικό.

Εάν όλη η ακτινοβολία πέσει πάνω στο υλικό, τότε ισχύει η σχέση:

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

όπου:

τ = διαπερατότητα υλικού, ρ = ανάκλαση υλικού,

α =απορρόφηση υλικού

Η Υπέρυθρη Θερμογραφία μπορεί να διαγνώσει:

- Επιφανειακή φθορά τοιχοποιιών και αρχιτεκτονικών επιφανειών
- Αποφλοιώση χρωμάτων και επικαλύψεων
- Έλεγχο ατελειών
- Ρωγμές σε υλικά και κατασκευές

- Ανερχόμενη και παραμένουσα υγρασία και συμπύκνωση σε τοιχοποιίες

Υπέρυθρα Θερμογραφικά Συστήματα

Χαμηλού Μήκος Κύματος (2-5,6 μm)

Υψηλού Μήκος Κύματος (8-14 μm) [6]

Ο παθητικός θερμογραφικός έλεγχος χρησιμοποιείται ως τεχνική μη επεμβατικού ελέγχου, και καταγράφει την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία από την επιφάνεια ενός σώματος, το οποίο βρίσκεται σε κανονικές συνθήκες χρήσης ή λειτουργίας. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η καταγραφή της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας από την επιφάνεια ενός σώματος μπορεί να υποδείξει σημεία ή περιοχές αυξημένης ή μειωμένης εκπομπής, το οποίο με τη σειρά του αποκαλύπτει την παρουσία μιας ανομοιογένειας. Με άλλα λόγια, ο παθητικός θερμογραφικός έλεγχος αποσκοπεί στον εντοπισμό επιφανειακών ή/και υπό επιφανειακών περιοχών ενδιαφέροντος, μέσω των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιακών διαφορών (ΔT) που παρατηρούνται – με τη χρήση μιας θερμογραφικής κάμερας– στην επιφάνεια του υπό εξέταση στόχου. Η παθητική προσέγγιση θερμογραφικού ελέγχου εφαρμόζεται συνήθως σε περιπτώσεις που το εξεταζόμενο σώμα, λόγω ενδογενούς παραγωγής θερμικής ενέργειας, βρίσκεται σε διαφορετική θερμοκρασία από το περιβάλλον (συνήθως υψηλότερη) και σε περιπτώσεις που η μέτρηση της θερμοκρασίας αποτελεί παράμετρο για την αξιολόγηση της υπάρχουσας κατάστασης ή/και της σωστής λειτουργίας ενός αντικειμένου. Έτσι, η καταγραφή μη φυσιολογικών θερμοκρασιακών κατανομών στην επιφάνεια δύναται να εντοπίσει δυνάμει προβλήματα, αξιολογώντας τη μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας σε σχέση με μια θερμοκρασία αναφοράς. Στα πλεονεκτήματα της παθητικής θερμογραφικής προσέγγισης συγκαταλέγεται η έγκαιρη ανίχνευση δυσλειτουργιών και περιπτώσεων φθοράς σε εγκαταστάσεις και κατασκευές, συμβάλλοντας δραστικά στη μείωση λειτουργικών και επισκευαστικών δαπανών. Παράλληλα, οι ελάχιστες απαιτήσεις για την προετοιμασία και εκτέλεση μιας μέτρησης και η ανάκτηση πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο συνήθως κατά την πλήρη λειτουργία του υπό εξέταση στόχου, αποτελούν κύρια χαρακτηριστικά του παθητικού θερμογραφικού ελέγχου. Αντίθετα, στα μειονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγεται η επίδραση των κλιματολογικών συνθηκών, οι οποίες πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη και ειδικότερα κατά την εκτέλεση μετρήσεων σε εξωτερικούς χώρους. Για παράδειγμα, βροχή ή υγρασία στην ατμόσφαιρα μπορούν να οδηγήσουν σε πτώση της επιφανειακής θερμοκρασίας του εξεταζόμενου στόχου, επισκιάζοντας έτσι το επιφανειακό θερμοκρασιακό «αποτύπωμα» υπό επιφανειακών ανωμαλιών [81]. Επίσης, η εφαρμογή της παθητικής προσέγγισης παρουσιάζει περιορισμούς σε περιπτώσεις θερμογράφησης επιφανειών αποτελούμενων από υλικά με διαφορετικούς συντελεστές εκπομπής, ενώ η αδυναμία ανάπτυξης θερμοκρασιακών διαφορών κάτω από κανονικές συνθήκες καθιστά τον παθητικό θερμογραφικό έλεγχο ως μια ακατάλληλη τεχνική ελέγχου.

Η παθητική θερμογραφία, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές που η μέτρηση της θερμοκρασίας αποτελεί πληροφοριακή παράμετρο αξιολόγησης της σωστής λειτουργίας του υπό εξέταση στόχου.

Μία ακόμη εφαρμογή του παθητικού θερμογραφικού ελέγχου είναι αυτή της κτιριακής θερμογραφίας μέσω της οποίας είναι δυνατός ο εντοπισμός θερμικών γεφυρών, περιοχών με ελλιπή ή κατεστραμμένη μόνωση, ο εντοπισμός περιοχών με υγρασία κ.ά. Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις μπορούν εύκολα να ανιχνευτούν με τη θερμογραφία υπέρυθρου, αφού είτε αλλάζει τοπικά ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του κελύφους είτε μεταβάλλεται ο συντελεστής θερμικής αδράνειας (π.χ. με την παρουσία υγρασίας), συντελώντας στην ανάπτυξη θερμοκρασιακών διαφορών στην επιφάνεια του εξεταζόμενου στοιχείου.


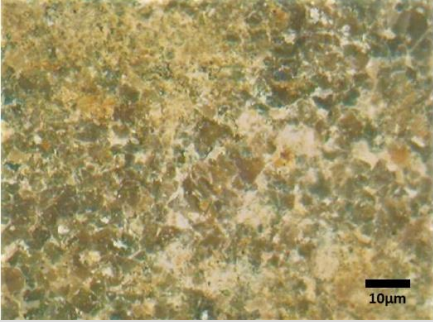
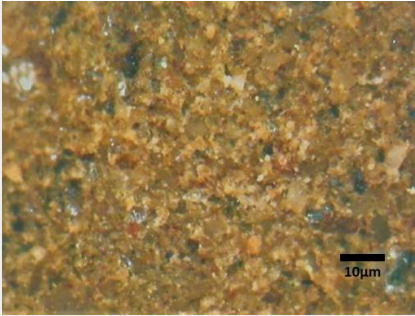
Σε γενικές γραμμές, με την εφαρμογή του παθητικού θερμογραφικού ελέγχου είναι δυνατή η ανάκτηση αποκλειστικά ποιοτικών πληροφοριών ανίχνευσης, χωρίς να είναι δυνατή η ανάκτηση ποσοτικών πληροφοριών για την ανιχνεύσιμη περιοχή ενδιαφέροντος. Βέβαια, σε συγκεκριμένες εφαρμογές η συνδυαστική εκτέλεση πειραματικών μετρήσεων και αριθμητικών αναλύσεων μπορεί να παρέχει και ποσοτικές πληροφορίες. [85]


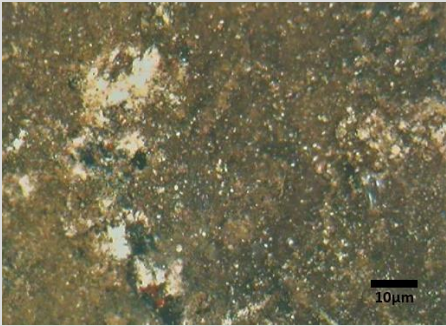

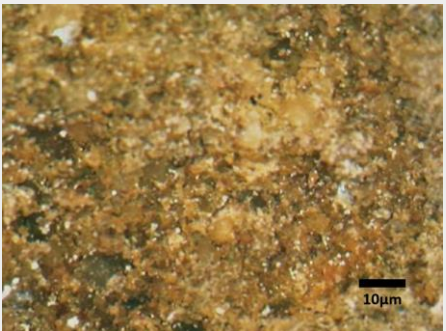

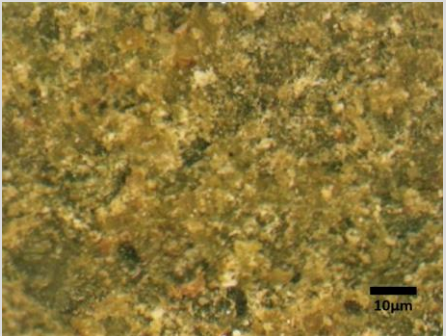
4. Παρουσίαση και Συζήτηση Αποτελεσμάτων




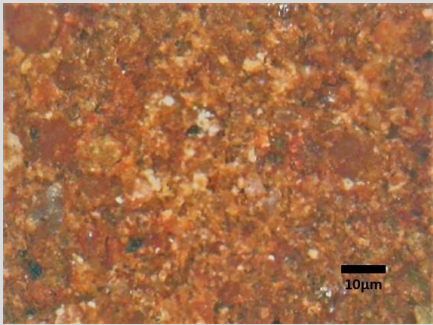

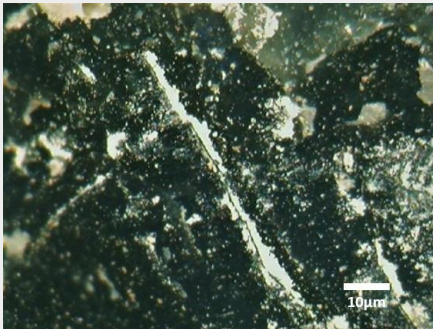
4.1. Μελέτη της υφής και της μορφολογίας με ψηφιακή μικροσκοπία


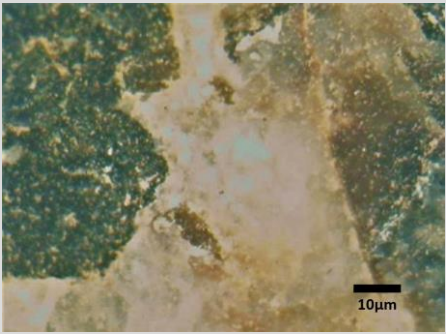

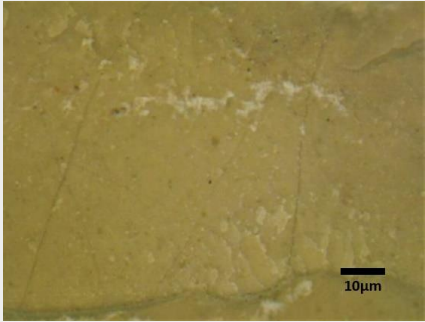

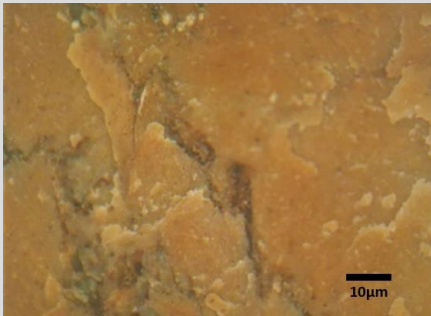
Για την συμπλήρωση των μακροσκοπικών παρατηρήσεων εφαρμόστηκε ψηφιακή μικροσκοπία επί τόπου και στο εργαστήριο. Λήφθηκαν, έτσι, εικόνες αντιπροσωπευτικές για την διαπίστωση των φαινομένων φθοράς και τον χαρακτηρισμό των υλικών. Η λήψη των εικόνων γινόταν σε μεγέθυνση 50x ή 120x. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες από τις σημαντικότερες παρατηρήσεις που προέκυψαν. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ανά κατηγορία εξεταζόμενου υλικού σε μορφή πίνακα.


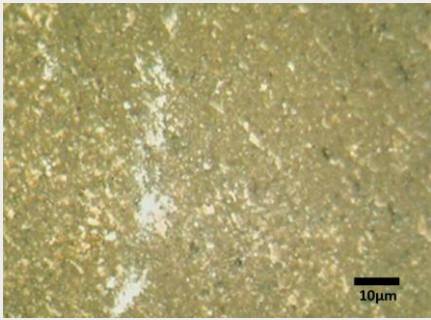

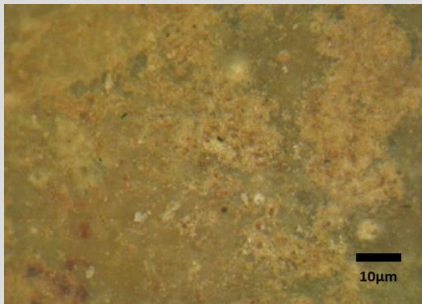
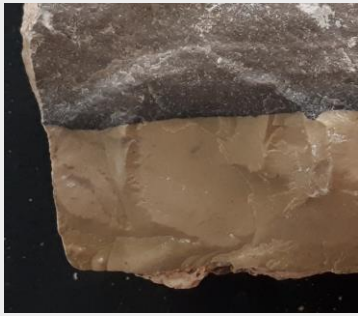
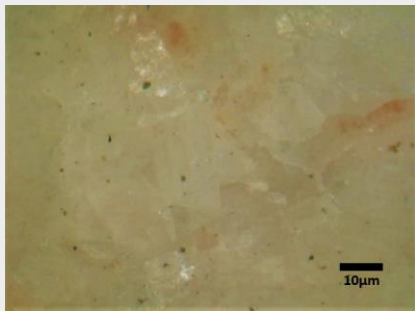

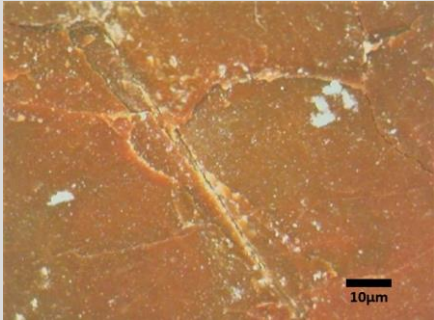
4.1.1. Λίθοι


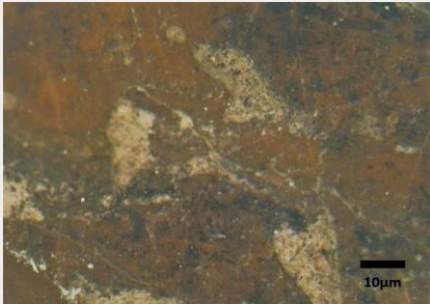

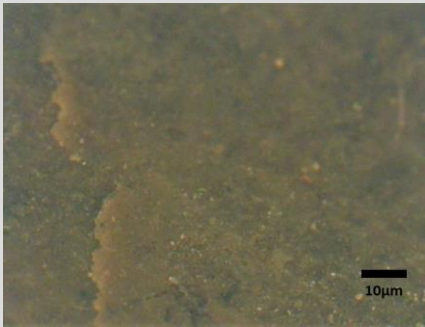

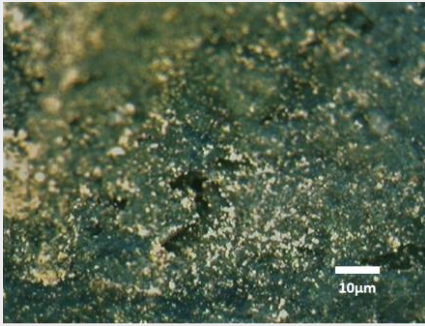
Κωδικός	Περιγραφή	Φωτογραφία	Ψηφιακή Μικροσκοπία
V1	Πράσινος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή, δεύτερος σε συχνότητα λιθότυπος στις τοιχοποιίες των κελιών της Μονής.		
V2	Πράσινος λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά με χρωματική αλλαγή καφέ απόχρωσης, ιστορική		

	τοιχοποιία, πορώδης υφή.		
V3	Πράσινος λίθος, φαινομενικά επηηρεασμένος από τη φωτιά με χρωματική αλλαγή, γκριζόμαυρη χροιά, πιθανότατα λόγω συσσώρευσης σωματιδίων καπναιθάλης ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή, αρκετά εύθρυπτο.		
V16	Πράσινος καφέ λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή.		
V17	Πράσινος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή.		

<p>VU4B</p>	<p>Καφέ λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή.</p>		
<p>V4</p>	<p>Καφέ λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά με χρωματική αλλαγή, καφέ σκούρα και μαύρη απόχρωση, πιθανότατα λόγω μαύρων επικαθίσεων από τα προϊόντα καύσης, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή.</p>		
<p>VU5B</p>	<p>Γκρι μπεζ συμπαγής λίθος με μαύρο έγκλεισμα, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, στο έγκλεισμα παρουσιάζει φλέβες υπόλευκου χρωματισμού.</p>		

<p>V5</p>	<p>Συμπαγής μαύρος λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία. Συνήθως απαντάτε ως έγκλεισμα, στον γκριζο-μπεζ συμπαγή λίθο. Εδώ, παρουσιάζει φλέβες υπόλευκου χρωματισμού.</p>		
<p>V6</p>	<p>Γκριζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία.</p>		
<p>V8</p>	<p>Γκριζος συμπαγής λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά, με χρωματική αλλαγή ροδίζουσα απόχρωση, παρουσιάζει φλέβες υπόλευκου και καφέ χρωματισμού, νέα τοιχοποιία.</p>		




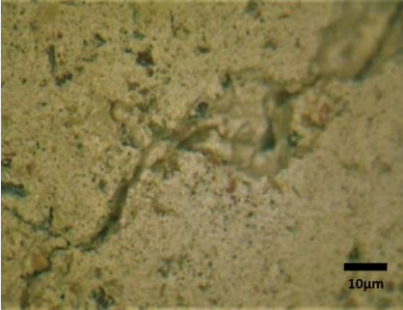

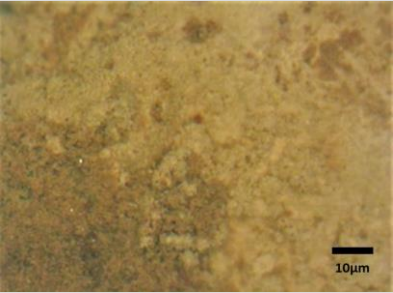

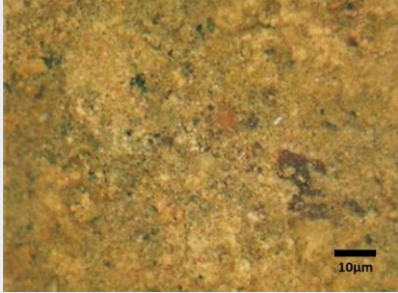
<p>VU7B</p>	<p>Γκρίζος μπεζ συμπαγής λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία</p>		
<p>V7</p>	<p>Γκρίζος μπεζ συμπαγής λίθος, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά, με χρωματική αλλαγή, ροδίζουσα απόχρωση, ιστορική τοιχοποιία</p>		
<p>V9 μπεζ μέρος</p>	<p>Διζωνικός συμπαγής λίθος, μπεζ απόχρωσης τμήμα, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία</p>		
<p>V10 μπεζ μέρος</p>	<p>Διζωνικός συμπαγής λίθος, μπεζ απόχρωσης τμήμα, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά, με χρωματική αλλαγή, ροδίζουσας</p>		


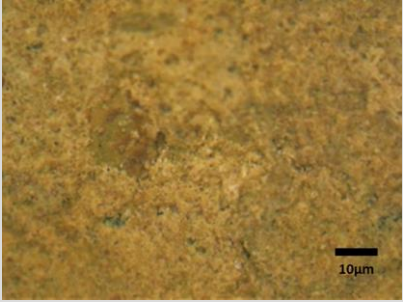



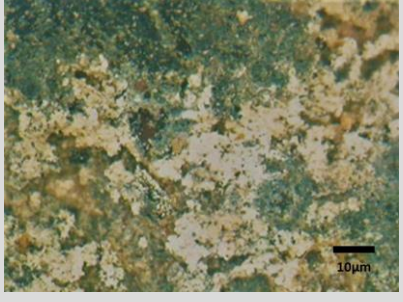
	απόχρωσης, ιστορική τοιχοποιία		
V9 μαύρο μέρος	Διζωνικός συμπαγής λίθος, μαύρο τμήμα, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, με φλέβες υπόλευκης απόχρωσης		
V10 μαύρο μέρος	Διζωνικός συμπαγής λίθος, μαύρο τμήμα, φαινομενικά επηηρεασμένος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, με φλέβες υπόλευκης απόχρωσης		
V15	Μαύρος λίθος, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδης υφή, εύθрупτος		


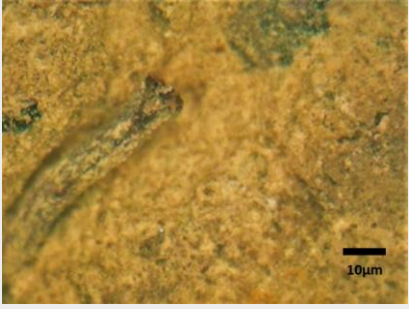

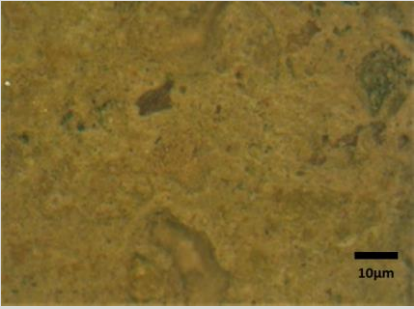


Πίνακας 4.1 : Αναλυτικός Πίνακας από τα Δείγματα Λίθων

4.1.2. Κονιάματα, Επιχρίσματα και Σκυροδέματα


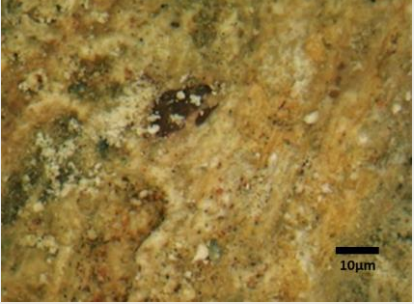

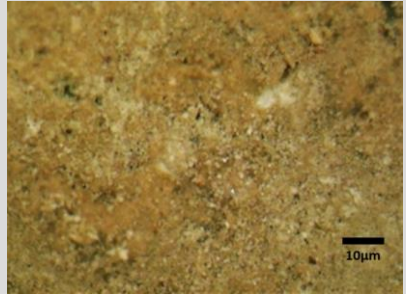

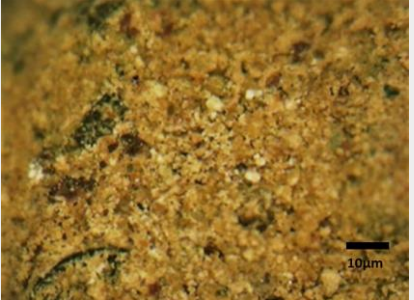

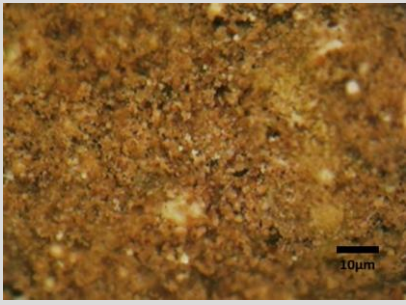
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ
Σ			


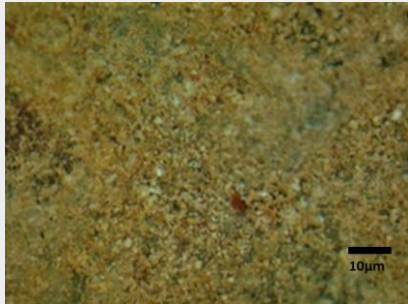
<p>VM1</p>	<p>Κονίαμα δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, αργιλώδους υφής, καφέ-καστανέρυθρης απόχρωσης, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM2</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία, τσιμεντιτικής υφής, γκριζας απόχρωσης</p>		
<p>VM3</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, καστανέρυθρης απόχρωσης, αργιλώδους υφής, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM4</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, κίτρινης απόχρωσης, αργιλώδους υφής, αρκετά εύθρυπτο</p>		

<p>VM5</p>	<p>Κονίαμα δόμησης, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, κίτρινης και καφέ απόχρωσης, αργιλώδους υφής, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM6</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, με χρωματική αλλαγή, μαύρης γκρίζας απόχρωσης, πιθανά λόγω συσσώρευσης σωματιδίων καπναιθάλης, εσωτερικά παρουσιάζει μορφολογία μικτής υφής μεταξύ αργιλώδους και τσιμεντιτικής, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM7</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, με χρωματική αλλαγή,</p>		

	<p>μαύρης γκρίζας απόχρωσης, πιθανά λόγω συσσώρευσης σωματιδίων καπναιθάλης, τσιμεντιτικής υφής, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM8</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά λιγότερο επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, κίτρινης καφέ απόχρωσης, αργιλώδους υφής, αρκετά εύθρυπτο</p>		
<p>VM9</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία, με χρωματική αλλαγή, ροδίζουσας απόχρωσης, τσιμεντιτικής υφής</p>		
<p>VM10</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία, τσιμεντιτικής υφής, γκρίζας και κίτρινης απόχρωσης</p>		

<p>VM11</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία, τσιμεντιτικής υφής</p>		
<p>VM12</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, νέα τοιχοποιία, μορφολογία μικτής υφής μεταξύ αργιλώδους και τσιμεντιτικής, καστανής απόχρωσης</p>		
<p>VM13</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, μικτής υφής μεταξύ αργιλώδους και τσιμεντιτικής, καστανής και γκρίζας απόχρωσης, αρκετά εύθρυπτο</p>		


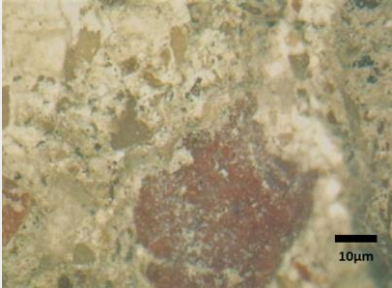

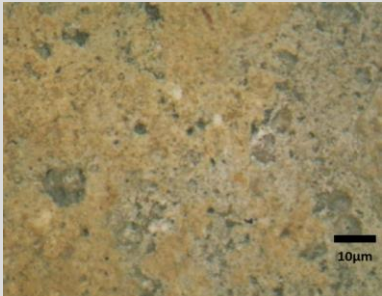
<p>VM14</p>	<p>Κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, μικτής υφής μεταξύ αργιλώδους και τσιμεντιτικής, ροδίζουσας απόχρωσης</p>		
<p>VM15</p>	<p>Κονίαμα ανεπηρέαστο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, μικτής υφής μεταξύ αργιλώδους και τσιμεντιτικής, κίτρινης και γκρίζας απόχρωσης</p>		
<p>VM16</p>	<p>Καστανό κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, αργιλώδους υφής, πολύ εύθρυπτο</p>		
<p>VM17</p>	<p>Καστανέρυθρο κονίαμα, φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, αργιλώδους υφής,</p>		

	εύθρυπτο		
VM18	Κονίαμα, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, με χρωματική αλλαγή, γκριζόμαυρης απόχρωσης πιθανότατα λόγω συσσώρευσης σωματιδίων καπναιθάλης, τσιμεντιτικής υφής		

Πίνακας 4.2: Αναλυτικός Πίνακας από τα Δείγματα των Κονιαμάτων

Το επίχρισμα των Κελιών (VP), που έχει ληφθεί από περιοχή της τοιχοποιίας επηρεασμένη από τη φωτιά, αποτελείται από τρία διακριτά στρώματα: το εξωτερικό στρώμα (VP1), το ενδιάμεσο στρώμα (VP2) και το εσωτερικό στρώμα (VP3).


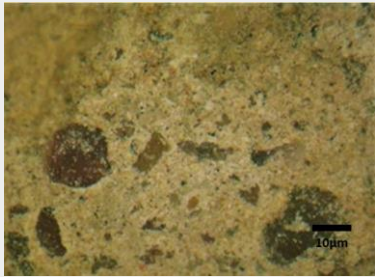

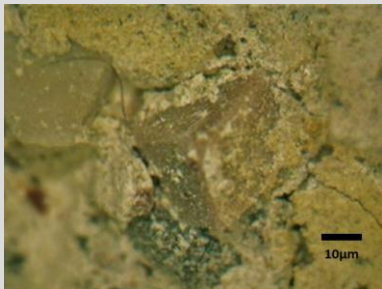

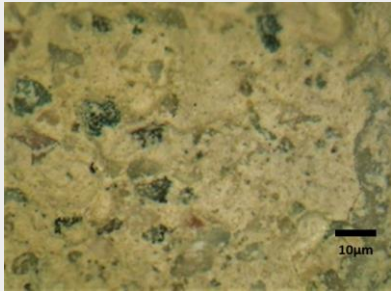
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ
VP1	Εξωτερικό στρώμα νέου επιχρίσματος, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, λευκής απόχρωσης		

<p>VP2</p>	<p>Ενδιάμεσο στρώμα νέου επιχρίσματος, φαινομενικά μη επηρεασμένο από τη φωτιά, γκρίζας απόχρωσης, τσιμεντιτικής υφής, ευδιάκριτα αδρανή διαφορετικών χρωμάτων</p>		
<p>VP3</p>	<p>Εσωτερικό στρώμα νέου επιχρίσματος, φαινομενικά μη επηρεασμένο από τη φωτιά, γκρίζας και κίτρινης απόχρωσης</p>		

Πίνακας 4.3 : Αναλυτικός Πίνακας από τα Δείγματα των επιμέρους μερών του Επιχρίσματος

Δείγματα των **σκυροδεμάτων** ελήφθησαν από δάπεδο (VCC1) , δοκούς (VCC1, VCC4) καθώς και σενάζ τοίχου (VCC3), φαινομενικά επηρεασμένα από τη φωτιά .


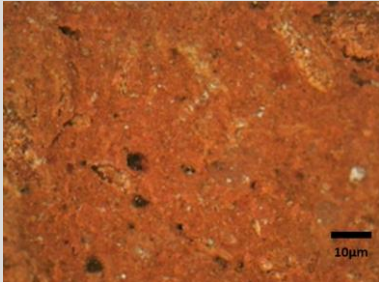
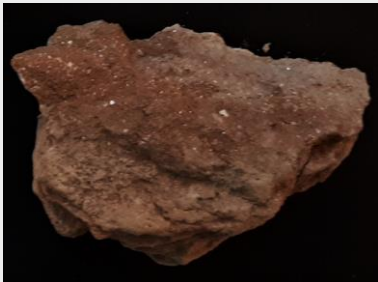


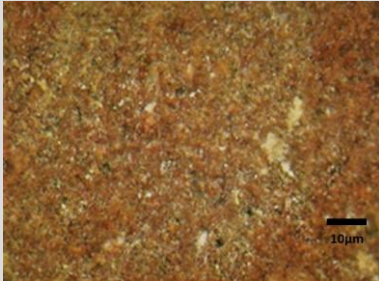
ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ
<p>VCC1</p>	<p>Σκυρόδεμα από δάπεδο, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, παρατηρούνται σκύρα μεγάλης διαμέτρου</p>		

	<p>διαφορετικών χρωμάτων, μικρότερα αδρανή σε μεγαλύτερη χρωματική συνάφεια με τη κονία</p>		
VCC2	<p>Σκυρόδεμα δοκού, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, σκύρα μεγάλης διαμέτρου διαφορετικών χρωμάτων, μικρότερης διαμέτρου αδρανή σε μεγαλύτερη συνάφεια με τη κονία</p>		
VCC3	<p>Σκυρόδεμα σειάζ τοίχου, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, μεγάλης διαμέτρου σκύρα υπόλευκης απόχρωσης και μικρότερης διαμέτρου αδρανή σε συνάφεια με τη κονία, αρκετά σαθρά μέρη, εύθρυπτο</p>		
VCC4	<p>Σκυρόδεμα δοκού, φαινομενικά επηρεασμένο από τη φωτιά, με χρωματική αλλαγή, ροδίζουσας απόχρωσης, μεγάλης διαμέτρου σκύρα</p>		

	<p>υπόλευκης απόχρωσης και μικρότερης διαμέτρου αδρανή σε συνάφεια με τη κονία, αρκετά σαθρά μέρη, εύθρυπτο</p>		
--	---	--	--

Πίνακας 4.4 : Αναλυτικός Πίνακας από τα Δείγματα των Σκυροδεμάτων

4.1.3. Οπτόπλινθοι

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ
V14	<p>Οπτόπλινθος καστανέρυθρης απόχρωσης, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, , ιστορική τοιχοποιία, πορώδους υφής με αρκετά μεγάλης διαμέτρου πόρους</p>		
V18	<p>Οπτόπλινθος, καστανέρυθρης απόχρωσης, φαινομενικά ανεπηρέαστος από τη φωτιά, ιστορική τοιχοποιία, πορώδους υφής</p>		
V19	<p>Οπτόπλινθος, καστανέρυθρης απόχρωσης, φαινομενικά επηρεασμένος από τη φωτιά με χρωματική αλλαγή γκριζας απόχρωσης πιθανότατα από επικαθίσεις προϊόντων καύσης, ιστορική τοιχοποιία,</p>		

πορώδους υφής,
εύθρυπτο

Πίνακας 4.5 : Αναλυτικός Πίνακας από τα Δείγματα των Οπτόπλινθων

4.2. Οπτική Μικροσκοπία – Πετρογραφική Μελέτη

Συνοπτικά , οι λίθοι που επιλέχθηκαν για πετρογραφικό έλεγχο από τα δείγματα που ήταν δυνατόν να συλλεχθούν είναι όπως αναφέρθηκαν είναι οι πιο συχνοί λίθοι που παρουσιάστηκαν κατά την οπτική επίβλεψη και τη δειγματοληψία, από διαφορετικές οικοδομικές φάσεις. Ακόμη επιλέχθηκαν και σε διαφορετικούς βαθμούς επιρροής από τη πυρκαγιά προκειμένου να εξετασθεί η εξέλιξη του φαινομένου.

Συνεπώς , τα δείγματα έχουν ως εξής :

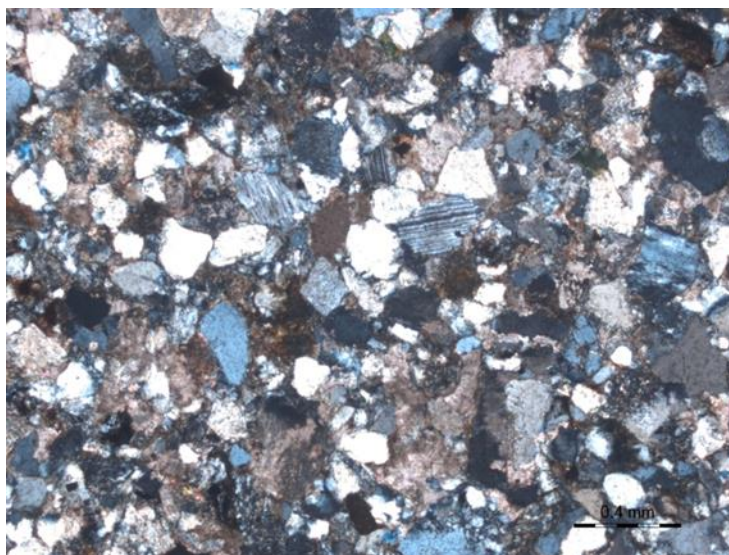
Κωδικός δείγματος	Περιγραφή δείγματος
V1	Πράσινος λίθος ιστορικός, φαινομενικά μη επηρεασμένος από τη φωτιά. Τύπος λίθου που συναντάται με τη δεύτερη μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών.
V2	Δείγμα από τμήμα του ίδιου δομολίθου με δείγμα V1, επηρεασμένο όμως από τη φωτιά. Παρουσιάζει χρωματική αλλαγή (καστανέρυθη χροιά).
V3	Φαινομενικά ίδιος λιθότυπος με V1, V2, εμφανώς επηρεασμένος από τη φωτιά. Παρουσιάζει χρωματική αλλαγή (μαύρη εξωτερική επιφάνεια).
VU4B	Καφέ λίθος, φαινομενικά μη επηρεασμένος από τη φωτιά.
V4	Καφέ λίθος, φαινομενικά ίδιος λιθότυπος με τον VU4. Παρουσιάζει μικρή χρωματική αλλαγή εξαιτίας της επίδρασης της φωτιάς.
VU5B	Συμπαγής λίθος μαύρου χρωματισμού, ιστορικός. Φαινομενικά μη επηρεασμένος από τη φωτιά.
V5	Συμπαγής λίθος μαύρου χρωματισμού, ιστορικός. Εμφανώς επηρεασμένος από τη φωτιά, φαινομενικά ίδιος λιθότυπος με τον VU5.
VU7B	Συμπαγής λίθος, γκρίζου-μπεζ χρωματισμού, ιστορικός. Φαινομενικά μη επηρεασμένος από την πυρκαγιά. Πρόκειται για τον λιθότυπο που συναντάται με την μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών.
V7	Συμπαγής λίθος, ιστορικός, φαινομενικά ίδιος λιθότυπος με τον VU7. Ελήφθη από την ιστορική ενδιάμεση τοιχοποιία, από περιοχή εμφανώς επηρεασμένη από την πυρκαγιά. Παρουσιάζει χρωματική αλλαγή (ροζ χροιά).
V9	Διζωνικός λίθος, με μια ζώνη μαύρου χρωματισμού και μια ζώνη γκρίζου-μπεζ χρωματισμού (η δεύτερη μακροσκοπικά είναι όμοια με τον ιστορικό συμπαγή λίθο ίδιου χρωματισμού). Τμήμα δομολίθου φαινομενικά μη επηρεασμένο από τη φωτιά.
V10	Διζωνικός λίθος, τμήμα του ίδιου δομολίθου με δείγμα V9, επηρεασμένο όμως από τη φωτιά. Η γκρίζου-μπεζ χρωματισμού ζώνη παρουσιάζει χρωματική αλλαγή (ροδίζουσα χροιά).
V6	Συμπαγής λίθος, γκρίζου-μπεζ χρωματισμού. Ελήφθη από την ανατολική (εξωτερική) πλευρά της νέας τοιχοποιίας των Κελιών, από περιοχή που φαίνεται να μην έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά. Η νέα τοιχοποιία φαίνεται να έχει χτιστεί

	εξολοκλήρου με αυτόν τον λιθότυπο.
V8	Συμπαγής λίθος. Ελήφθη από την εσωτερική (δυτική) πλευρά της νέας τοιχοποιίας των Κελιών, από περιοχή που είναι εμφανώς επηρεασμένη από τη φωτιά. Παρουσιάζει χρωματική αλλαγή (ροζ χροιά).

Πίνακας 4.6: Πίνακας επιλεγμένων δειγμάτων λίθων που μελετήθηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο

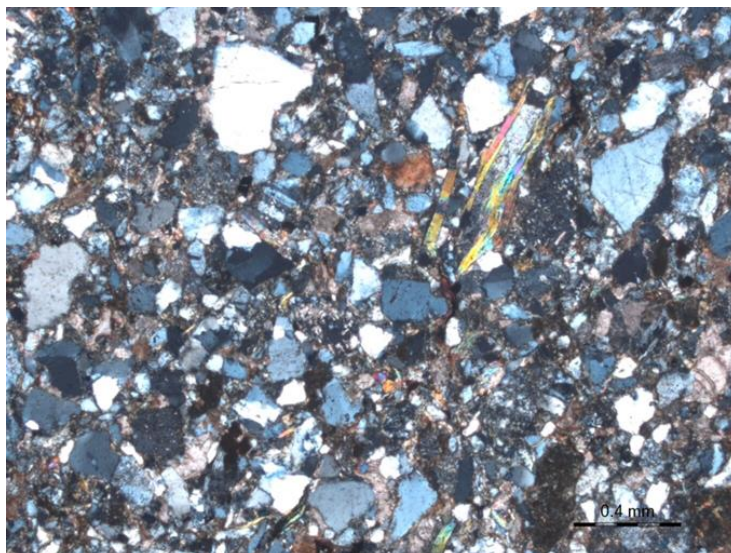
Αναλυτικά :

1. Δείγματα V1-V2-V3: Πράσινος δομικός λίθος Κελιών Μονής Βαρνάκοβας



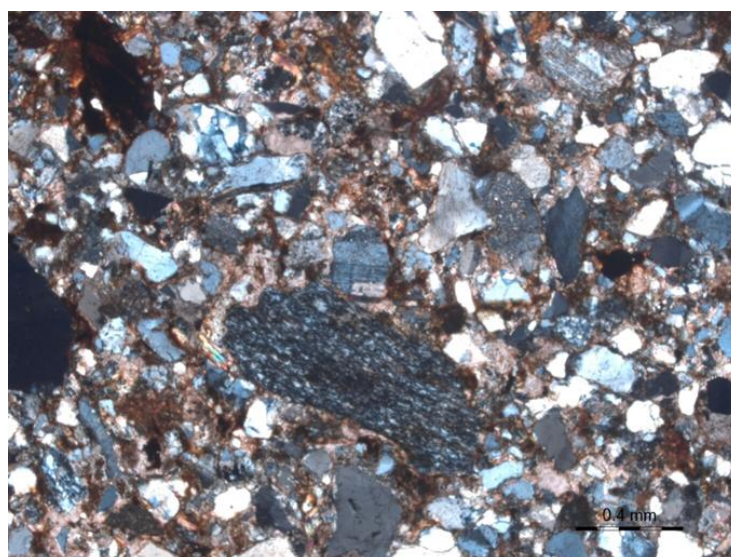
Εικόνα 4.1: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-1. Παρατηρούνται κυρίως κρυσταλλικά θραύσματα χαλαζία, αστρίων, ασβεστίτη, καθώς και χαλαζίτη μέσα σε μια συγκολλητική μάζα ασβεστιτικής σύστασης

Το δείγμα V1 είναι ασβεστιτικός ψαμμίτης, πράσινου χρώματος. Πρόκειται για κλαστο-ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο από κρυσταλλικά και λιθικά θραύσματα. Τα κρυσταλλικά θραύσματα που παρατηρούνται είναι χαλαζίας, άστριοι (αλβίτη και μικροκλινή), ασβεστίτης, φυλλάρια μοσχοβίτη, χλωρίτη, κόκκοι οξειδίων υδροξειδίων του σιδήρου και ζirkονίου, ενώ τα λιθικά ανήκουν σε θραύσματα χαλαζίτη, ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων, σερπεντινίτη και ύπο - ηφαιστειακών πετρωμάτων. Το υλικό σύνδεσης (τσιμέντο) των κλαστών είναι ασβεστιτικής σύστασης (σπαριτικό).



Εικόνα 4.2 : Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicolis \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-2. Παρατηρούνται κυρίως κρυσταλλικά θραύσματα χαλαζία, αστρίων, ασβεσίτη, φυλλάρια μοσχοβίτη καθώς και κάποιοι κόκκοι οξειδίων του σιδήρου, μέσα στην ασβεστιτικής σύστασης συγκολλητική μάζα.

Το δείγμα V2 παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το δείγμα V1. Είναι ασβεστιτικός ψαμμίτης δηλ., πρόκειται για κλαστο-ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο από κρυσταλλικά και λιθικά θραύσματα. Τα κρυσταλλικά θραύσματα που παρατηρούνται είναι χαλαζίας, άστριοι (αλβίτη και μικροκλινή), ασβεσίτης, φυλλάρια μοσχοβίτη, χλωρίτη, κόκκοι οξειδίων-υδροξειδίων του σιδήρου και ζirkονίου, ενώ τα λιθικά ανήκουν σε θραύσματα χαλαζίτη, ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων, σερπεντινίτη και υπο-ηφαιστειακών πετρωμάτων. Το υλικό σύνδεσης (τσιμέντο) των κλαστών είναι ασβεστιτικής σύστασης (σπαριτικό). Δεν παρατηρούνται επιπτώσεις, λόγω πυρκαγιάς, στη δομή του πετρώματος και στη ορυκτολογική σύσταση, παρατηρείται όμως χρωματική αλλαγή.



Εικόνα 4.3 : Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicolis \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-3. Παρατηρούνται κυρίως κρυσταλλικά θραύσματα χαλαζία, αστρίων, ασβεσίτη, λιθικά θραύσματα χαλαζίτη καθώς και πολλοί οξειδωμένοι κόκκοι σιδήρου, μέσα στη σπαριτική συγκολλητική μάζα.

Το δείγμα V3 παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τα δείγματα V1 και V2. Πρόκειται για ασβεστιτικό ψαμμίτη και συγκεκριμένα πρόκειται για κλαστο-ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο από κρυσταλλικά και λιθικά θραύσματα. Τα κρυσταλλικά θραύσματα που παρατηρούνται είναι χαλαζίας, άστριοι (αλβίτης και μικροκλινής), ασβεστίτης, φυλλάρια μοσχοβίτη, χλωρίτης, κόκκοι οξειδίων-υδροξειδίων του σιδήρου και ζirkονίου, ενώ τα λιθικά ανήκουν σε θραύσματα χαλαζίτη, ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων, σερπεντινίτη και υπο-ηφαιστειακών πετρωμάτων. Το υλικό σύνδεσης (τσιμέντο) των κλαστών είναι ασβεστιτικής σύστασης (σπαριτικό).

Παρατηρείται χρωματική αλλαγή κυρίως λόγω φαινομένων οξείδωσης σιδηρούχων ορυκτών.

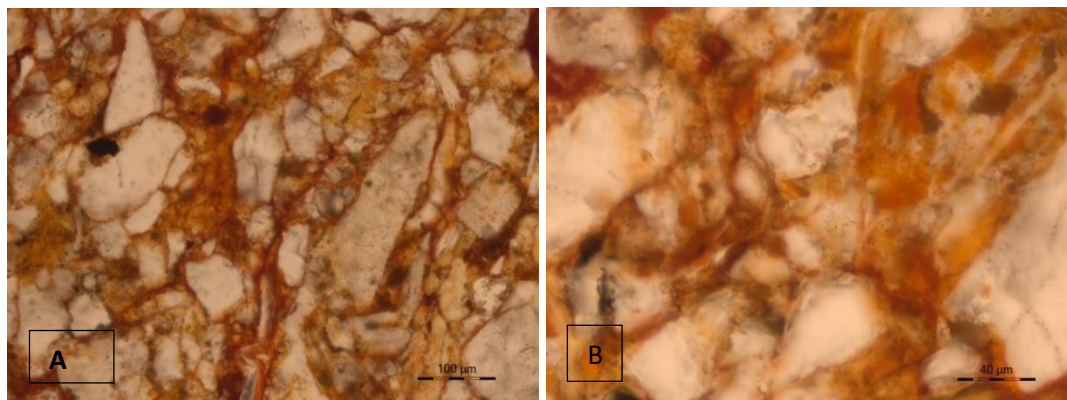
Συνεπώς ο πράσινος δομικός λίθος των Κελιών, ο λίθος που απαντάται με τη δεύτερη μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες του εν λόγω κτηριακού συγκροτήματος, είναι ασβεστιτικός ψαμμίτης. Η πυρκαγιά προκαλεί χρωματική αλλοίωση σε αυτούς τους λιθότυπους και οι επιπτώσεις της είναι εμφανείς πετρογραφικά εξαιτίας της μεγαλύτερης έντασης των φαινομένων οξείδωσης των σιδηρούχων ορυκτών που περιέχουν.

2. Δείγματα VU4B-V4: Καφέ δομικός λίθος Κελιών Μονής Βαρνάκοβας (ιστορικοί λίθοι).

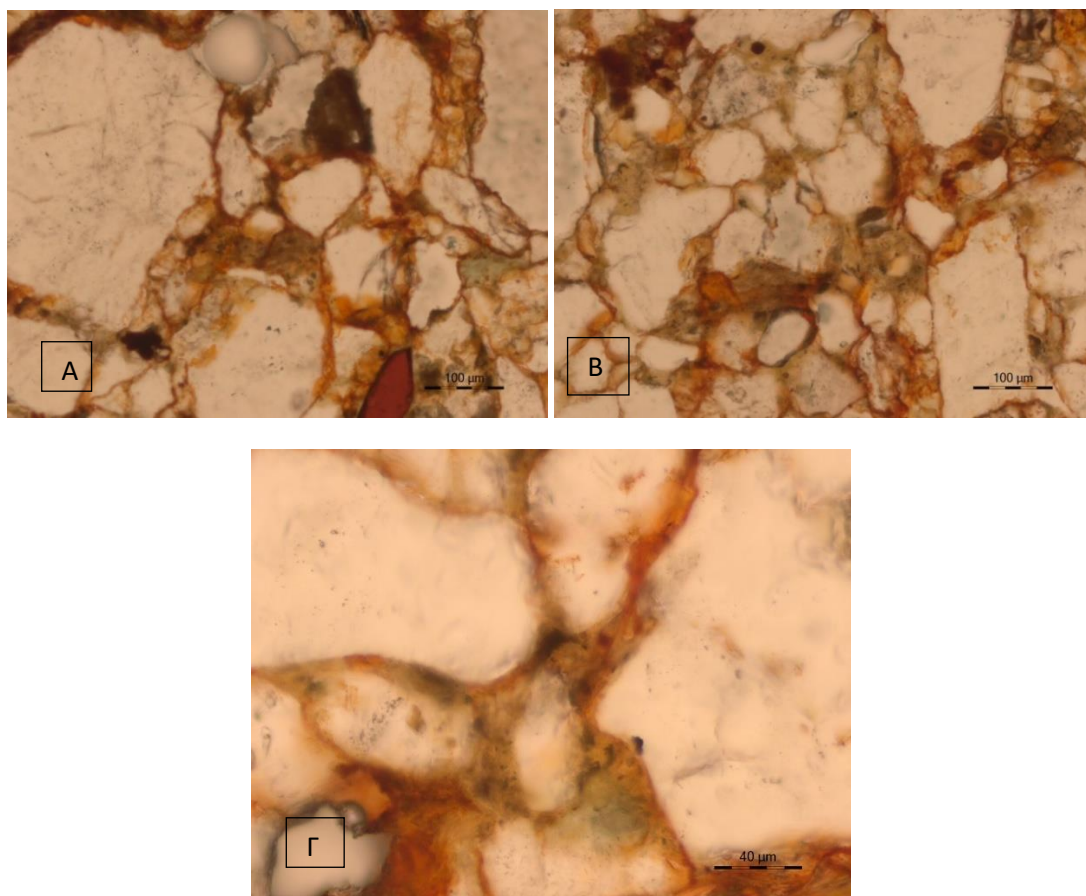


Εικόνα 4.4: Μακροσκοπικές εικόνες των δειγμάτων V4uB (μη καμένος καφέ λίθος), V4 (καμένος καφέ λίθος).

Η σύγκριση των δυο δειγμάτων, ήδη από τον έλεγχο των στερεομικροσκοπικών εικόνων τους, υποδεικνύει ότι πρόκειται για δυο ψαμμίτες, ενώ είναι εμφανές ότι το καμένο δείγμα (V4) περιέχει μικρότερη ποσότητα υδροξειδίων του σιδήρου στην μάζα του. Το μη καμένο δείγμα (VU4B) είναι έντονα ερυθρωπό λόγω της υψηλής περιεκτικότητας υδροξειδίων του σιδήρου που παρατηρούνται στη μάζα του. Προφανώς, εάν τα δείγματα προέρχονται από το ίδιο μητρικό πέτρωμα τότε η χρωματική διαφοροποίηση οφείλεται στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούσαν κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς.



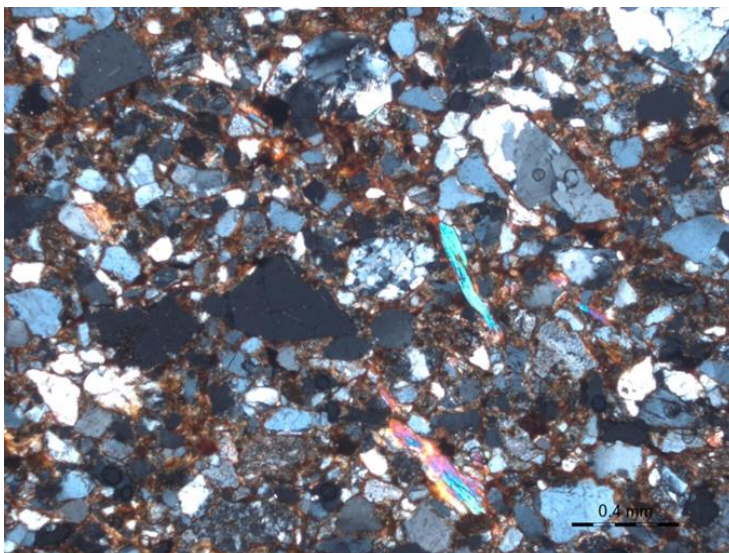
Εικόνα 4.5 : Εικόνες Στερεομικροσκοπίου του μη καμένου ψαμμίτη (Vu4B), η φωτογραφία A είναι μεγέθυνσης x200 , ενώ η φωτογραφία B είναι x500, Nicols //.



Εικόνα 4.6: Εικόνες Στερεομικροσκοπίου του καμένου ψαμμίτη (V4), οι φωτογραφίες A & B είναι μεγέθυνσης x200, ενώ η φωτογραφία Γ είναι x500, Nicols //.

Από τη μικροσκοπική μελέτη των δειγμάτων είναι εμφανής η μικρότερη συμμετοχή κλαστικού υλικού (κρυσταλλικά & λιθικά θραύσματα) στο μη καμένο δείγμα VU4B, σε σχέση με του καμένου V4, καθώς και η μεγαλύτερη συμμετοχή του συνδετικού υλικού (μίγμα αργλικών ορυκτών, υδροξειδίων του σιδήρου) στο μη καμένο δείγμα, πάντα σε σύγκριση με του καμένου ψαμμίτη.

Συμπερασματικά διακρίνουμε A) την μεγαλύτερη περιεκτικότητα υδροξειδίων του σιδήρου που εντοπίζονται στον μη καμένο ψαμμίτη, σε σύγκριση με εκείνη του καμένου, B) την μεγαλύτερη περιεκτικότητα κλαστικών θραυσμάτων στον καμένο ψαμμίτη



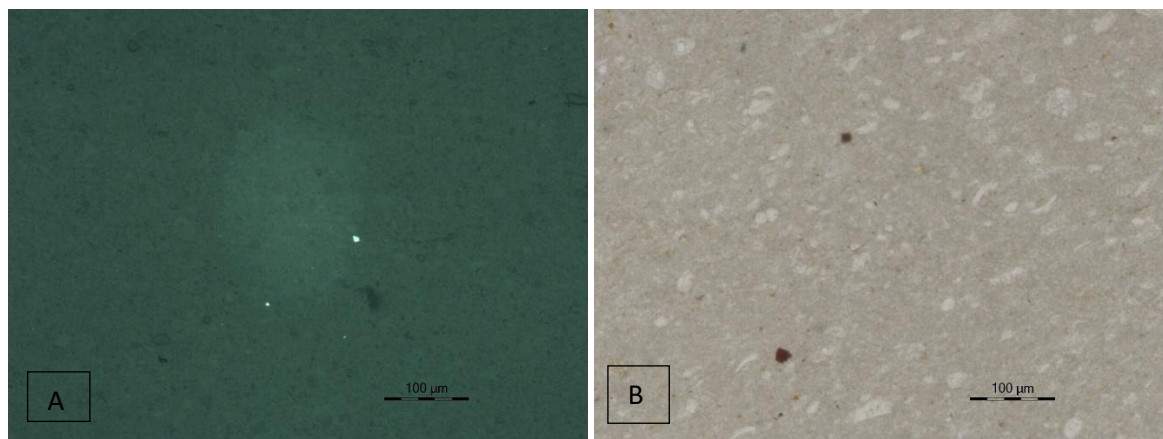
Εικόνα 4.7: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicol \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-4. Παρατηρούνται κυρίως κρυσταλλικά θραύσματα χαλαζία, αστρίων, φυλλάρια μοσχοβίτη, κόκκοι οξειδίων του σιδήρου και λιθικά θραύσματα πυριτόλιθου και χαλαζίτη μέσα σε μια συγκολλητική μάζα αποτελούμενη από μίγμα σιδηρούχου υλικού και αργιλικών ορυκτών.

Επιπλέον εξέταση στο πολωτικό μικροσκόπιο πραγματοποιήθηκε στον ιστορικό λίθο V4, ο οποίος είναι εμφανώς επηρεασμένος από τη φωτιά, έδειξε ότι πρόκειται για σιδηρούχο ψαμμίτη, όπως ήταν εμφανές και στην μικροσκοπική εξέταση. Πρόκειται για κλαστο-ιζηματογενές πέτρωμα αποτελούμενο από κρυσταλλικά και λιθικά θραύσματα. Τα κρυσταλλικά θραύσματα που παρατηρούνται είναι χαλαζίας, άστριοι (αλβίτης και μικροκλινής), ασβεστίτης, φυλλάρια μοσχοβίτη, χλωρίτης, κόκκοι οξειδίων-υδροξειδίων του σιδήρου και ζirkονίου, ενώ τα λιθικά ανήκουν σε θραύσματα χαλαζίτη, ασβεστόλιθων, σχιστόλιθων, σερπεντινίτη και υπο-ηφαιστειακών πετρωμάτων. Το υλικό σύνδεσης (τσιμέντο) των κλαστών είναι μίγμα σιδηρούχου υλικού και αργιλικών ορυκτών (δεν παρατηρείται αντίδραση σε προσβολή με HCl).

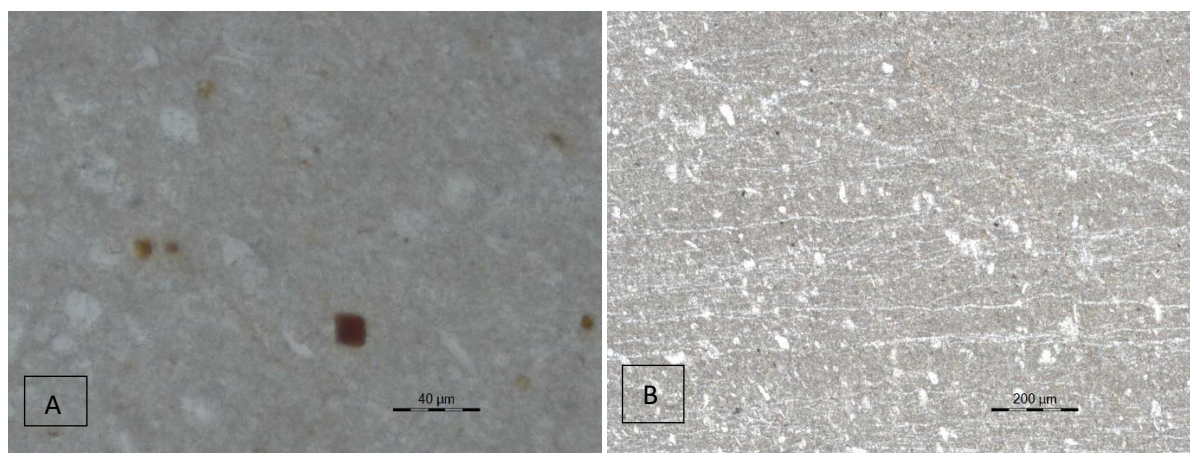
Ο καφέ δομικός λίθος που απαντάται (σε μικρή σχετικά συχνότητα) στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας, είναι σιδηρούχος ψαμμίτης. Η επίδραση της πυρκαγιάς οδηγεί στην απώλεια μέρους του συνδετικού υλικού, δηλαδή του μίγματος αργιλικών ορυκτών και υδροξειδίων του σιδήρου που το συνιστούν, με αποτέλεσμα τη χρωματική του αλλοίωση. Επιπλέον, η υφή του πετρώματος, μετά την πυρκαγιά, είναι σχετικά πορώδης και παρατηρούνται στη μάζα του πετρώματος πόροι ποικίλων σχημάτων και διαστάσεων.

3. Δείγματα VU7B-V7: Συμπαγής γκρίζος-μπεζ δομικός λίθος Κελιών Μονής Βαρνάκοβας (Ιστορικοί λίθοι)

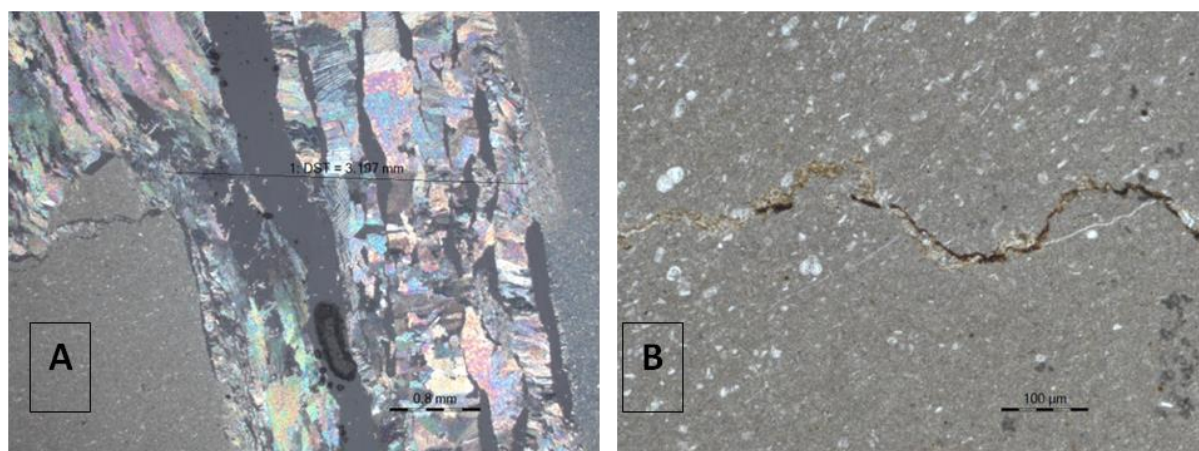
Ο συμπαγής γκρίζος-μπεζ λίθος είναι ο λιθότυπος που απαντάται με την μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.



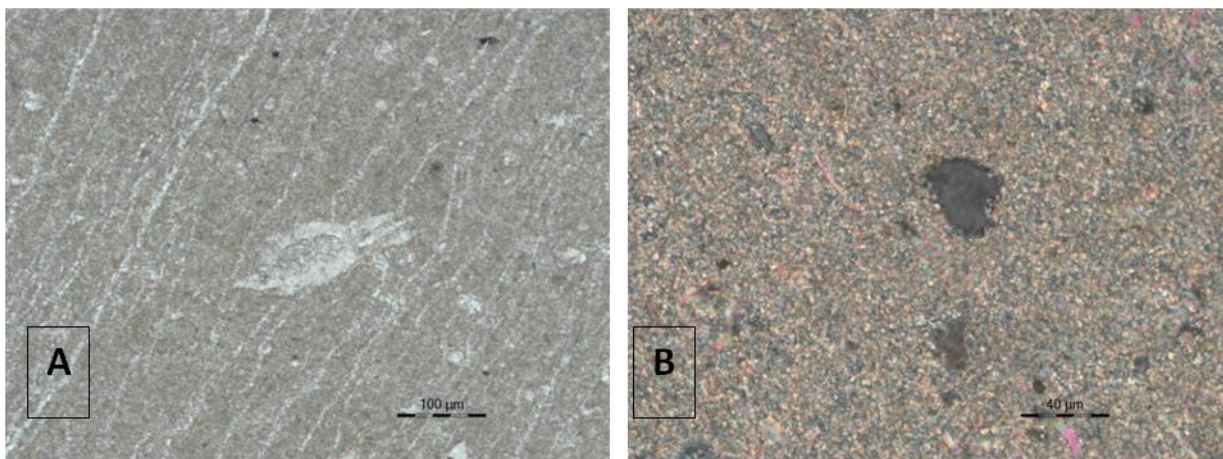
Εικόνα 4.8 : Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου του δείγματος VU7B (μη καμένος λίθος): (A) Οξειδία σιδήρου μέσης διάστασης 3-4 μm και κόκκοι σιδηροπυρίτη με διάμετρο 2 μm και 7 μm (μεταλλογραφικό μικροσκόπιο), (B) Οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχου υλικού (//Nicols)



Εικόνα 4.9 : Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου του δείγματος VU7B (μη καμένος λίθος): (A) Οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχου υλικού που παρουσιάζουν διάχυση, μεγέθους 20 μm ο μεγάλος κόκκος, 8 μm και 5 μm οι δύο μικρότεροι (//Nicols), (B) Σμήνος διακλάσεων τριχοειδούς εύρους που διαπερνάει το πέτρωμα (//Nicols)



Εικόνα 4.10 : Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου του δείγματος VU7B (μη καμένος λίθος): (A) Διάκλαση μεγάλου εύρους περίπου 3.2mm, (//nicols), (B) Στυλόλιθος που διατρέχει τη μάζα του βιομικρίτη (//Nicols)

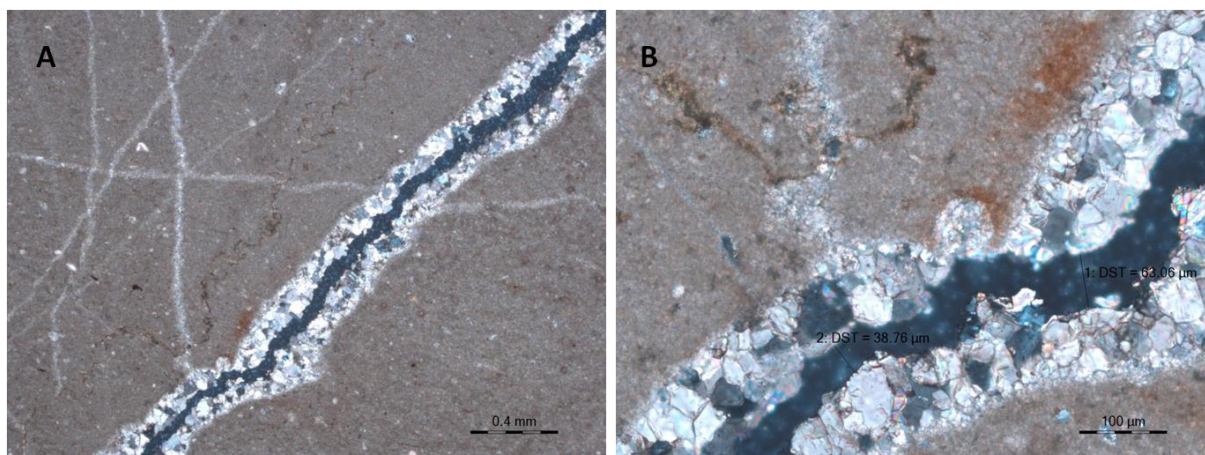


Εικόνα 4.11: Εικόνες πολωτικού μικροσκοπίου του δείγματος VU7B (μη καμένος λίθος): (A) Τρηματοφόρο (*globotruncana*) στη διάσπαρτη από μικροδιακλάσεις μικριτική μάζα (//Nicols), (B) Θραύσματα χαλαζία μέσα στη μικριτική μάζα (±Nicols)

Από τον πετρογραφικό έλεγχο εξάγεται ότι ο συμπαγής λίθος γκρίζου-μπεζ χρωματισμού είναι πελαγικός ασβεστόλιθος βάθους, που παρουσιάζει μικριτική μάζα (βιομικρίτης). Πρόκειται δηλαδή για βιομικριτικό ασβεστόλιθο, (ή μικριτικό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο) ο οποίος παρουσιάζει βιοκλάστες (κυρίως τρηματοφόρα), τα οποία περιβάλλονται από τη μικριτική μάζα. Στον εν λόγω βιομικριτικό ασβεστόλιθο, τα αποτυπώματα των απολιθωμάτων αντικαθίστανται από σπαριτικό υλικό, ενώ είναι εμφανή οξειδία σιδήρου και κόκκοι σιδηροπυρίτη (Εικόνα 4.8A). Επίσης, η βιομικριτική μάζα είναι διάσπαρτη με οξειδωμένους κόκκους σιδηρούχου υλικού, οι οποίοι παρουσιάζουν διάχυση (Εικόνα 4.8B).

Η μικριτική ύλη του λίθου διασχίζεται από πλήθος διακλάσεων και στυλόλιθων. Παρουσιάζεται σύστημα μικροδιακλάσεων τριχοειδούς εύρους, οι οποίες είναι πληρωμένες δευτερογενώς από ασβεστιτικό υλικό κόκκων μέσης διάστασης 2µm (Εικόνα 4.10 B). Στην Εικόνα 4.10 A παρουσιάζεται διάκλαση μεγάλου εύρους (από 3.2mm έως και 5mm), η οποία είναι πληρωμένη δευτερογενώς από ασβεστιτικό υλικό. Οι στυλόλιθοι που διατρέχουν το πέτρωμα είναι πληρωμένοι με ασβεστιτικό υλικό, σιδηρούχα ορυκτά (οξειδία και υδροξειδία του σιδήρου), καθώς και αργιλικά ορυκτά, (Εικόνα 4.10 B).

Στην Εικόνα 4.11A παρουσιάζεται το απολίθωμα *globotruncana* που ανήκει στην κατηγορία των τρηματοφόρων. Τέλος, απαντώνται θραύσματα χαλαζία μέσα στη μικριτική μάζα (Εικόνα 4.11B).

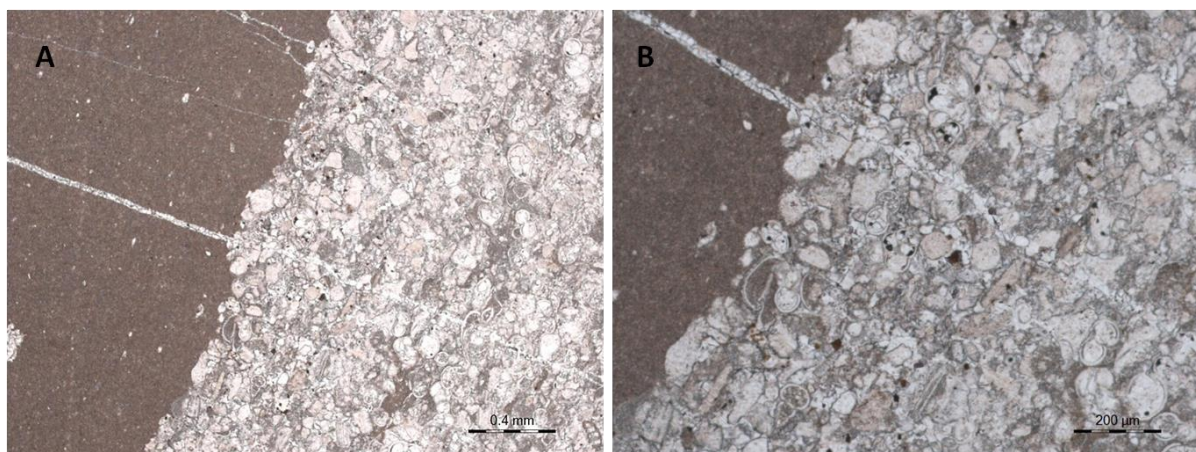


Εικόνα 4.12: (Α) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicolis \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-7 (καμένος ιστορικός λίθος). Μικριτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος με πλήθος διάσπαρτων απολιθωμάτων στη μάζα του, συγκολλητική μικριτική μάζα, διακλάσεις πληρωμένες από δευτερογενή ασβεσίτη και διάρρηξη φλεβιδίων, (Β) Δείγμα V-7 (x200) (καμένος ιστορικός λίθος), διάρρηξη του φλεβιδίου με κυμαινόμενο εύρος από 35 μ m έως 65 μ m.

Το δείγμα V7 είναι βιομικρίτης και ανήκει στον ίδιο λιθότυπο με το VU7B. Είναι ιστορικός λίθος και είναι επηρεασμένος από την πυρκαγιά. Πρόκειται για μικριτικό απολιθωματοφόρο (τρηματοφόρο) ασβεστόλιθο που έχει πλέον αποκτήσει μπεζ-ροδίζουσα απόχρωση. Στην μάζα του πετρώματος αποτυπώνονται πλήθος διάσπαρτων απολιθωμάτων, κυρίως τρηματοφόρα (foraminiferal species), σπαριτικής σύστασης, ενώ η συγκολλητική του μάζα είναι μικριτική (Εικόνα). Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη, καθώς και από στυλόλιθους εντός των οποίων έχουν εισχωρήσει υδροξείδια του σιδήρου και αργιλικά ορυκτά. Επίσης παρατηρούνται διάσπαρτοι οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχων ορυκτών με αποτέλεσμα την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα. Σημαντική παρατήρηση είναι διάρρηξη φλεβιδίων πληρωμένων με ασβεσίτη, η οποία πρέπει να είναι αποτέλεσμα της υψηλής θερμότητας την οποία απορρόφησε το πέτρωμα κατά την πυρκαγιά (Εικόνα 4.12). Η αλλαγή χρώματος του πετρώματος από γκρίζο-μπεζ σε ροδίζον εντάσσεται και αυτή στα φαινόμενα που παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι κατά την απορρόφηση υψηλών θερμοκρασιών ως συνέπεια πυρκαγιάς.

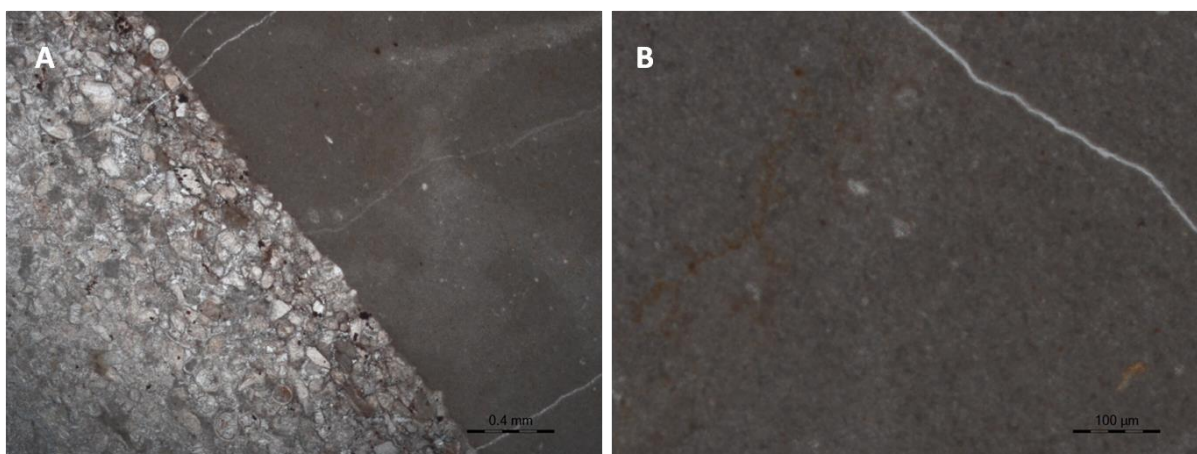
Συνεπώς, ο συμπαγής γκρίζος-μπεζ λίθος, που απαντάται με την μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας, είναι ένας βιομικριτικός ή μικριτικός απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος που διατρέχεται από πλήθος διακλάσεων και στυλόλιθων. Η επίδραση της πυρκαγιάς στο λίθο είναι εμφανής μέσω της διάρρηξης φλεβιδίων πληρωμένων με δευτερογενή ασβεσίτη, καθώς και μέσω της αλλαγής του χρώματος του από γκρίζο-μπεζ σε ροδίζον, η οποία οφείλεται στη διάχυση πληθώρας υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του.

4. Δείγματα V9-10: Συμπαγής διζωνικός δομικός λίθος Κελιών Μονής Βαρνάκοβας (Ιστορικοί λίθοι)



Εικόνα 4.13 : (A) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-9 (μη καμένος διζωνικός ιστορικός λίθος), (B) Δείγμα V-9 (x100), ζώνη επαφής με σημαντικό αριθμό κόκκων οξειδίων του σιδήρου.

Ο διζωνικός λίθος που παρατηρείται σποραδικά στις τοιχοποιίες των Κελιών (V9, μη καμένο δείγμα) αποτελείται από μπεζ βιομικρίτη σε επαφή με τεφρό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο (Εικόνα 4.13A). Στην μάζα του πετρώματος παρατηρούνται διακλάσεις πληρωμένες από δευτερογενή ασβεσίτη. Ο βιομικρίτης αποτελείται από μικριτική μάζα εντός της οποίας εντοπίζονται αποτυπώματα απολιθωμάτων σπαριτικής σύστασης, κυρίως τρηματοφόρα. Ομοίως με τα δείγματα VU7B, V7 στην μάζα του πετρώματος αποτυπώνονται πλήθος διάσπαρτων απολιθωμάτων, κυρίως τρηματοφόρα (foraminiferal species), σπαριτικής σύστασης, ενώ η συγκολλητική μάζα είναι μικριτική. Ο τεφρός απολιθωματοφορος ασβεστόλιθος συνίσταται από πλήθος τρηματοφόρων σπαριτικής σύστασης, που συγκολλούνται από μικριτική μάζα, ενώ παρατηρούνται διάσπαρτοι κόκκοι οξειδίων του σιδήρου. Τέλος εντοπίζεται μεγάλος αριθμός κόκκων οξειδίων του σιδήρου πλησίον της ζώνης επαφής (Εικόνα 4.13B).



Εικόνα 4.14: (A) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-10. Επαφή ροδίζον βιομικρίτη με τεφρό απολιθωματοφόρο (τρηματοφόρα) ασβεστόλιθο (καμένος διζωνικός, ιστορικός), (B) Δείγμα V-10 (x100), εικόνα του ροδίζοντα βιομικρίτη, παρατηρείται διάρρηξη μερικών μm (τριχοειδούς εύρους) να διασχίζει την μικριτική μάζα.

Το δείγμα V10 αποτελεί τμήμα ιστορικού διζωνικού δομολίθου που έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά, αφού το μπεζ-γκρίζο τμήμα του έχει αποκτήσει ροδίζουσα χροιά. Ο εν λόγω λίθος εμφανίζεται σποραδικά στις τοιχοποιίες της Ι.Μ. Βαρνάκοβας και ο πετρογραφικός έλεγχος έδειξε

ότι πρόκειται για βιομικριτικό ασβεστόλιθο σε επαφή με τεφρό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο (Εικόνα 4.14Α), ομοίως με το δείγμα V9 που αποτελεί τμήμα του ίδιου λιθοσώματος που έμεινε ανεπηρέαστο από τη φωτιά.

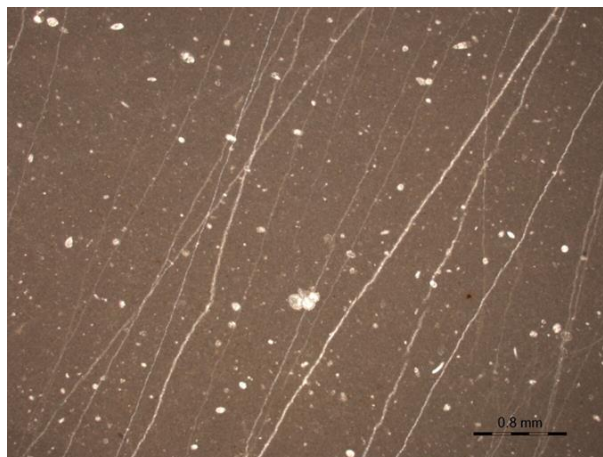
Η χρωματική αλλαγή από μπεζ-γκρίζο χρώμα (V9) σε ροδίζουσα χροιά οφείλεται στην οξείδωση των κόκκων των σιδηρούχων ορυκτών και την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου, ως συνέπεια των υψηλών θερμοκρασιών που δέχτηκε το πέτρωμα κατά την πυρκαγιά. Στην μάζα του πετρώματος αποτυπώνονται διάσπαρτα απολιθώματα, κυρίως τρηματοφόρα (foraminiferal species), σπαριτικής σύστασης, ενώ η συγκολλητική μάζα είναι μικριτική. Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη, ενώ καταγράφεται διάρρηξη τριχοειδούς εύρους (Εικόνα 4.14Β).

Η σκουρόχρωμη ζώνη πρόκειται για τεφρό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο και συνίσταται από πλήθος τρηματοφόρων σπαριτικής σύστασης συγκολλημένα από μικριτική μάζα. Στο πέτρωμα επίσης παρατηρούνται πλήθος διάσπαρτων οξειδωμένων κόκκων ορυκτών του σιδήρου (Εικόνα Α).

Ο διζωνικός λίθος που παρατηρείται με σχετικά χαμηλή συχνότητα στις ιστορικές τοιχοποιίες της IM Βαρνάκοβας, είναι ένας βιομικριτικός ασβεστόλιθος σε επαφή με τεφρό απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο. Η επίδραση της πυρκαγιάς είναι εμφανής μακροσκοπικά από την χρωματική αλλοίωση της ανοιχτόχρωμης ζώνης (από μπεζ-γκρίζα στο δείγμα V9 σε ροζ στο δείγμα V10) και βάσει της πετρογραφικής μελέτης οφείλεται στην οξείδωση των κόκκων των σιδηρούχων ορυκτών και την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του πετρώματος που είναι συνέπεια των υψηλών θερμοκρασιών που δέχτηκε το πέτρωμα κατά την πυρκαγιά. Επιπλέον, η φωτιά προκάλεσε διάρρηξη διακλάσεων, τριχοειδούς εύρους, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν. Η τεφρή ζώνη του πετρώματος δεν φαίνεται να παρουσιάζει αλλοιώσεις από τη φωτιά βάσει του πετρογραφικού ελέγχου.

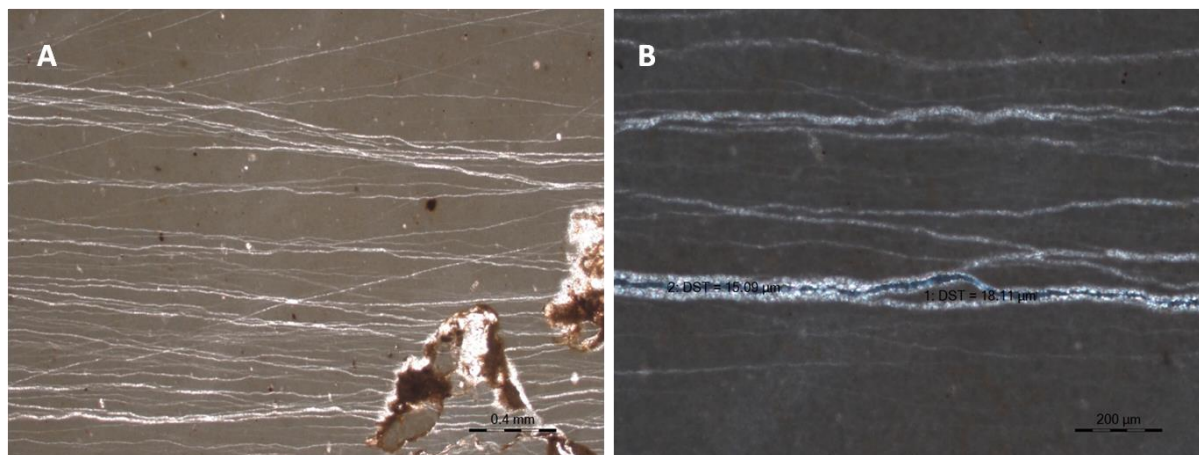
5. Δείγματα V6-V8: Συμπαγής γκρίζος-μπεζ δομικός λίθος της νεότερης τοιχοποιίας των Κελιών της Μονής Βαρνάκοβας

Η εσωτερική τοιχοποιία, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί νεότερη προσθήκη. Έχει οικοδομηθεί εξολοκλήρου με έναν συμπαγή μπεζ λίθο, ο οποίος μακροσκοπικά προσομοιάζει τον αντίστοιχο ιστορικό συμπαγή γκρίζο-μπεζ λίθο (δείγματα VU7B και V9-μπεζ ζώνη). Η εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας (ανατολική όψη, αυτή που έχει προσανατολισμό προς την εσωτερική αυλή και το Καθολικό) φαίνεται να μην έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά (V6), ενώ η εσωτερική πλευρά της τοιχοποιίας (δυτική όψη) είναι έντονα επηρεασμένη, με τον λίθο να παρουσιάζει έντονη χρωματική αλλοίωση και να έχει ροδίζουσα απόχρωση (V8).



Εικόνα 1.15: Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x25) του δείγματος με κωδικό V-6 (μη καμένος, νέος). Μικριτικός απολιθωματοφόρος (τρηματοφόρα) ασβεστόλιθος μεζ απόχρωσης. Στην μάζα του πετρώματος αποτυπώνονται πλήθος διάσπαρτων απολιθωμάτων, κυρίως τρηματοφόρα (foraminiferal species), ενώ η συγκολλητική μάζα είναι μικριτική. Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη.

Το δείγμα V6 πρόκειται για βιομικρίτη, δηλαδή μικριτικό απολιθωματοφόρο (τρηματοφόρα) ασβεστόλιθο, ίδιο λιθότυπο με τον αντίστοιχο ιστορικό λίθο που απαντάται στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών της IM Βαρνάκοβας. Όμοια με τα δείγματα VU7B και V9-μπεζ ζώνη, στην μάζα του αποτυπώνονται πλήθος διάσπαρτων απολιθωμάτων, κυρίως τρηματοφόρα σπαριτικής σύστασης, ενώ η συγκολλητική μάζα είναι μικριτική. Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη. Τέλος, παρατηρούνται διάσπαρτοι οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχων ορυκτών.



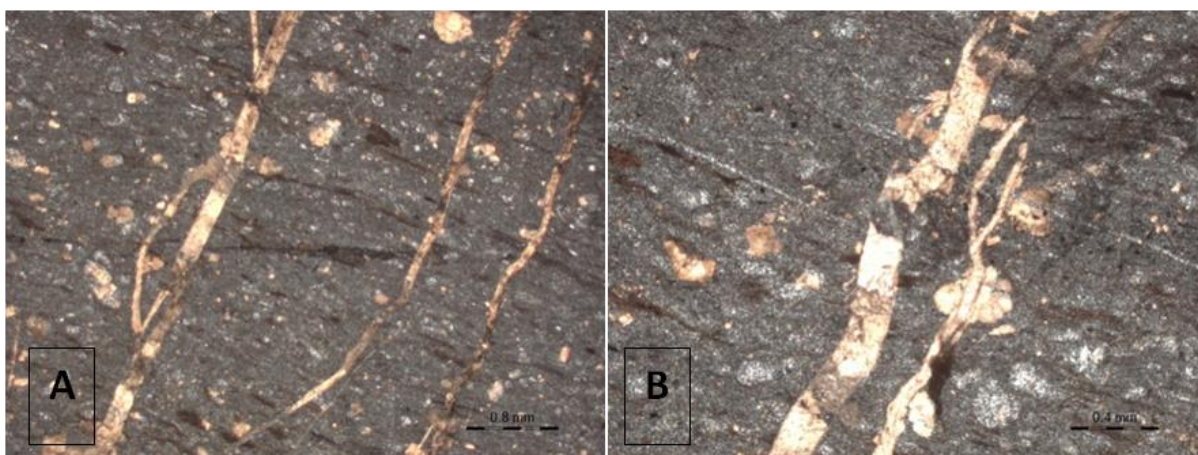
Εικόνα 4.16: (A) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-8. Μικριτικός απολιθωματοφόρος (τρηματοφόρα) ασβεστόλιθος. Στην μάζα του πετρώματος αποτυπώνονται πλήθος διάσπαρτων μικρο-απολιθωμάτων, κυρίως τρηματοφόρα (foraminiferal species), ενώ η συγκολλητική μάζα είναι μικριτική. Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη, (B) Δείγμα V-8 (x200), παρατηρείται διάρρηξη του φλεβιδίου ασβεσίτη με κυμαινόμενο εύρος 15 μ m έως 18 μ m.

Το δείγμα V8 είναι και αυτό βιομικρίτικός ασβεστόλιθος που παρουσιάζει αντίστοιχα χαρακτηριστικά με τα δείγματα βιομικριτικών ασβεστόλιθων V7, V10-μπεζ ζώνη μετά από επίδραση φωτιάς (Εικόνα 4.16A). Το πέτρωμα διασχίζεται από μεγάλο αριθμό διακλάσεων πληρωμένων από δευτερογενή ασβεσίτη, καθώς και από στυλόλιθους εντός των οποίων έχουν εισχωρήσει

υδροξείδια του σιδήρου και αργιλικά ορυκτά. Επίσης παρατηρούνται διάσπαρτοι οξειδωμένοι κόκκοι σιδηρούχων ορυκτών με αποτέλεσμα την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του. Η επίδραση της φωτιάς καθίσταται σαφής από την παρατηρούμενη διάρρηξη φλεβιδίου πληρωμένου με ασβεσίτη, η οποία είναι αποτέλεσμα της υψηλής θερμότητας την οποία απορρόφησε το πέτρωμα από την πυρκαγιά (Εικόνα 4.16B). Η αλλαγή χρώματος από μπεζ σε ροδίζον, που παρατηρείται σε εξωτερική στοιβάδα του πετρώματος, εντάσσεται και αυτή στα φαινόμενα που παρουσιάζουν οι ασβεστόλιθοι κατά τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται με τις πυρκαγιές και οφείλεται στην οξείδωση των κόκκων των σιδηρούχων ορυκτών και την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του πετρώματος.

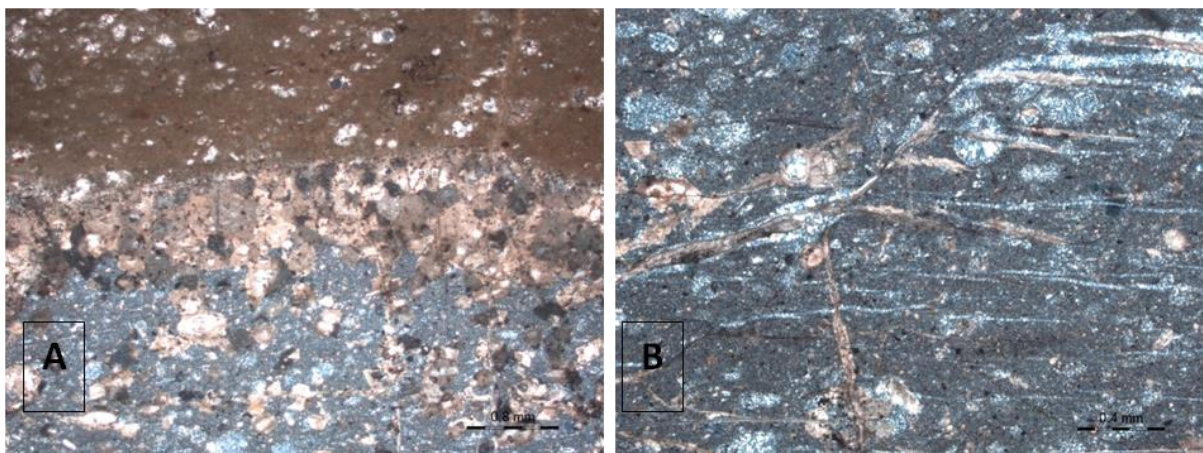
Ο συμπαγής μπεζ λίθος της νέας τοιχοποιίας των Κελιών είναι βιομικρικός ασβεστόλιθος, όμοιος με τον συμπαγή γκρίζο-μπεζ βιομικρικό ασβεστόλιθο που απαντάται στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών. Η επίδραση της πυρκαγιάς στον λίθο έχει συντελέσει στη διάρρηξη φλεβιδίων πληρωμένων με ασβεσίτη, ως αποτέλεσμα της υψηλής θερμότητας που απορρόφησε το πέτρωμα, καθώς και στην χρωματική αλλοίωση της εξωτερικής στοιβάδας του λίθου από μπεζ σε ροδίζον εξαιτίας διάχυσης πληθώρας υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του.

6. Δείγματα VU5B-V5: Συμπαγής μαύρος λίθος Κελιών Μονής Βαρνάκοβας, δομόλιθος ή συνηθέστερα έγκλεισμα του βιομικρικού ασβεστόλιθου (ιστορικοί λίθοι)

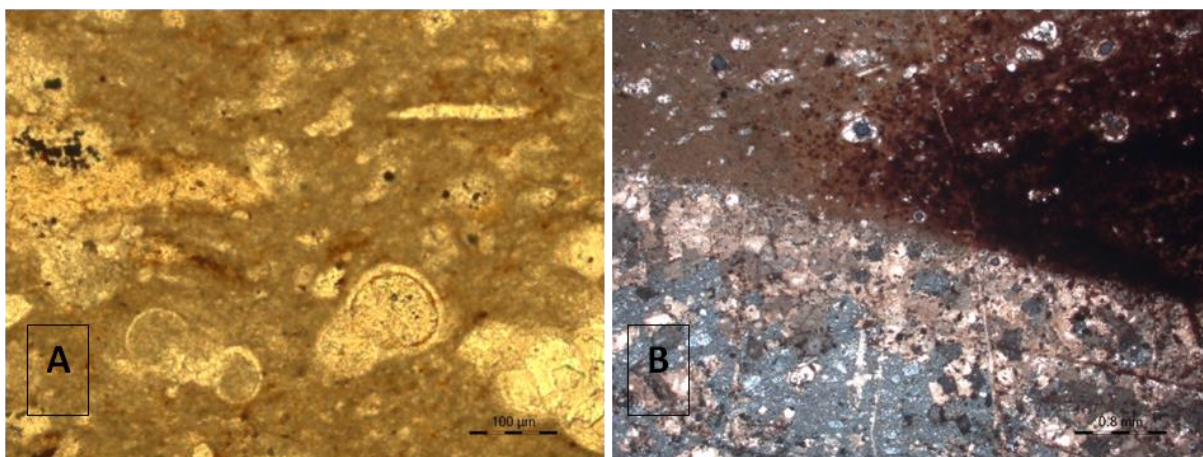


Εικόνα 4.17: Μικροσκοπικές φωτογραφίες του μη καμένου Πυριτόλιθου (Vu5B), η φωτογραφία A είναι μεγέθυνσης x25, ενώ η φωτογραφία B είναι x50, Nicols ±.

Από την πετρογραφική μελέτη παρατηρούμε ότι η μάζα του πετρώματος του συμπαγούς μαύρου λίθου (δείγμα VU5B), αποτελείται από κρυπτοκρυσταλλικό χαλαζία, ενώ παρατηρούνται λεπτομερή μεταλλικά ορυκτά (σιδηροπυρίτης), καθώς και ρομβόεδρα δολομίτη. Στην μάζα του επίσης καταγράφονται αποστρωγγυλεμένα συσσωματώματα πυριτικής σύστασης, ενώ την διασχίζουν πλήθος διακλάσεων πληρωμένων δευτερογενώς από ανθρακικό υλικό (ασβεσίτης) και πυριτικό (κάθετες στις πρώτες). Συνεπώς, πρόκειται για πυριτόλιθο, ο οποίος βρίσκεται στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών, ανά περιοχές, είτε υπό τη μορφή αυτόνομου λιθοσώματος, είτε υπό τη μορφή εγκλείσματος των λιθοσωμάτων του βιομικρικού ασβεστόλιθου.



Εικόνα 4.18: (Α) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x25) του δείγματος με κωδικό V-5, πυριτόλιθος σε επαφή με απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο, (Β) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x50) του δείγματος με κωδικό V-5. Ζώνη αποτελούμενη από άμορφο χαλαζιακό υλικό (πυριτόλιθος), ενώ διασχίζεται από διακλάσεις με πυριτικό υλικό και από διακλάσεις με ανθρακικό υλικό, ενώ παρατηρείται υπερλεπτόκκοκος (υγιής) σιδηροπυρίτης



Εικόνα 4.19: (Α) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x25) του δείγματος με κωδικό V-5 – ζώνη απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου, (Β) Εικόνα πολωτικού μικροσκοπίου (Nicols \pm , x25) του δείγματος με κωδικό V-5, όπου διακρίνονται 4 ζώνες

Στην Εικόνα 4.18Α του καμένου μαύρου λίθου (V5) παρατηρούνται τρεις ζώνες από πάνω προς τα κάτω α) απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος, πλήθος απολιθωμάτων σπαριτικής σύστασης κυρίως τρηματοφόρων μέσα σε μια μικριτική μάζα, β) ζώνη με ευμεγέθεις κρυστάλλους δολομίτη (ρομβοειδή σχήματα) και γ) ζώνη αποτελούμενη από άμορφο χαλαζιακό υλικό (πυριτόλιθος) και διάσπαρτοι κρύσταλλοι δολομίτη. Στην Εικόνα 4.18Β παρατηρείται ζώνη αποτελούμενη από άμορφο χαλαζιακό υλικό (πυριτόλιθος), ενώ διασχίζεται από διακλάσεις με πυριτικό υλικό και από διακλάσεις με ανθρακικό υλικό, ενώ παρατηρείται υπερλεπτόκκοκος (υγιής) σιδηροπυρίτης.

Στην Εικόνα 4.19Α διαφαίνεται ζώνη αποτελούμενη από απολιθωματοφόρο ασβεστόλιθο, παρατηρείται πλήθος απολιθωμάτων σπαριτικής σύστασης, κυρίως τρηματοφόρων μέσα σε μια μικριτική μάζα, ενώ εντοπίζονται εστίες διάχυσης υδροξειδίων του σιδήρου (πορτοκαλί απόχρωση), πιθανότατα αποτέλεσμα της πυρκαγιάς. Στην Εικόνα 4.19Β παρατηρούνται τέσσερις ζώνες από πάνω προς τα κάτω α) απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος, πλήθος απολιθωμάτων σπαριτικής σύστασης κυρίως τρηματοφόρων μέσα σε μια μικριτική μάζα, β) απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος

με έντονη διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου, γ) ζώνη με ευμεγέθεις κρυστάλλους δολομίτη (ρομβοειδή σχήματα) και δ) ζώνη αποτελούμενη από άμορφο χαλαζιακό υλικό (πυριτόλιθος) και διάσπαρτοι κρύσταλλοι δολομίτη.

Ο μαύρος λίθος που παρατηρείται σποραδικά στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας είναι πυριτόλιθος, ο οποίος εμφανίζεται σε επαφή με ζώνες διαφορετικών πετρογραφικών χαρακτηριστικών, όπως ο βιομικριτικός ασβεστόλιθος και ο απολιθωματοφόρος ασβεστόλιθος. Η επίδραση της πυρκαγιάς είναι εμφανής στις ασβεστολιθικές ζώνες του δείγματος, όπου λαμβάνει χώρα έντονη διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου, η οποία προσδίδει καστανέρυθρη απόχρωση σε αυτά τα τμήματα του.

Η παρουσία του μαύρου πυριτόλιθου είναι σποραδική στις τοιχοποιίες των κελιών και όταν απαντάται συνήθως πρόκειται για έγκλεισμα ωσειδούς ή και επιμήκη σχηματισμού στην μάζα του βιομικριτικού ασβεστόλιθου. Η παρουσία του ως αυτόνομου λιθώματος είναι σπάνια και προφανώς οφείλεται στο ότι χρησιμοποιήθηκαν μπλοκ βιομικριτικού ασβεστόλιθου, στα οποία το μέγεθος του εγκλείσματος ήταν αρκετά μεγάλο που ικανοποιούσε την κοπή του σε αυτόνομο δομικό λίθο. Δεν φαίνεται να παρουσιάζει αλλοιώσεις από τη φωτιά βάσει του πετρογραφικού ελέγχου.

4.3. Περίθλαση Ακτίνων Χ – Ορυκτολογική Μελέτη

Ορυκτολογική μελέτη μέσω της τεχνικής της περίθλασης ακτίνων Χ πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δείγματα που συλλέχθηκαν από τα κελιά της Ι.Μ. Βαρνάκοβας με σκοπό – όπως έχει ήδη αναφερθεί – την ταυτοποίηση των ενώσεων που παρουσιάζονται στους διάφορους τύπους λίθων, κονιαμάτων και οπτόπλινθων.

4.3.1. Περίθλαση Ακτίνων Χ στους Λίθους

Οι κύριες και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις των δειγμάτων των λίθων παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα :

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
V1	Χαλαζίας	ασβεσίτης, αλβίτης, μικροκλινής, μοσχοβίτης, χλωρίτης
V16	Χαλαζίας	αλβίτης, ασβεσίτης, μοσχοβίτης, μικροκλινής, χλωρίτης
V17	Χαλαζίας	αλβίτης, ασβεσίτης, μοσχοβίτης, μικροκλινής, χλωρίτης
V2	Χαλαζίας	ασβεσίτης, αλβίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης
VU4B	Χαλαζίας	αλβίτης, μοσχοβίτης, ασβεσίτης, χλωρίτης, μικροκλινής
V4	Χαλαζίας	αλβίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης, μικροκλινής
VU5B	Χαλαζίας	ασβεσίτης
V5	Χαλαζίας	ασβεσίτης
V6	Ασβεσίτης	χαλαζίας
V8	Ασβεσίτης	χαλαζίας

VU7B	Ασβεστίτης	χαλαζίας
V7	Ασβεστίτης	χαλαζίας
V9 (μαύρο τμήμα)	Ασβεστίτης	χαλαζίας
V10 (μαύρο τμήμα)	Ασβεστίτης	χαλαζίας
V15	Χαλαζίας	Ερκινίτης

Πίνακας 4.7 : Ορυκτολογικές Φάσεις των δειγμάτων των λίθων

Η κύρια ορυκτολογική φάση των δειγμάτων του πράσινου ασβεστιτικού ψαμμίτη είναι χαλαζιακή και οι δευτερεύουσες φάσεις του συνίστανται σε αλβίτη, ασβεστίτη, μοσχοβίτη, μικροκλινη και χλωρίτη (δείγματα V1, V16, V17). Η επίδραση της φωτιάς στον πράσινο ασβεστιτικό ψαμμίτη, όπως αποτυπώνεται στο γωνιογράμμα του δείγματος V2, δεν οδηγεί σε μεταβολή της ορυκτολογικής του σύστασης, εκτός από την περίπτωση του μικροκλινη, ο οποίος δεν ανιχνεύεται μετά τη φωτιά.

Ο καφέ σιδηρούχος ψαμμίτης (VU4B) παρουσιάζει παρόμοια σύσταση με αυτή του πράσινου με μόνη διαφορά τη χαμηλότερη περιεκτικότητα του δείγματος σε ασβεστίτη και μικροκλινη. Μετά τη φωτιά παρατηρείται απώλεια ασβεστίτη για αυτό το είδος λίθου (δείγμα V4).

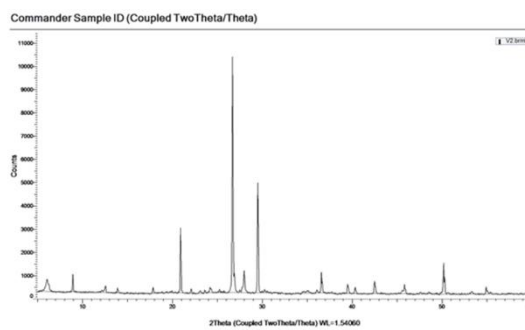
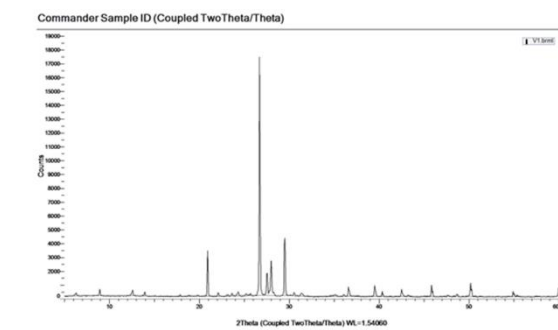
Συνεπώς, η κύρια ορυκτολογική σύσταση των δύο ειδών ψαμμίτη (ασβεστιτικού και σιδηρούχου) του συγκροτήματος των Κελιών της Ι. Μ. Βαρνάκοβας, είναι χαλαζιακή, ενώ προσδιορίζονται ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές τους φάσεις τα ορυκτά του αλβίτη, του ασβεστίτη, του μοσχοβίτη, του μικροκλινη και του χλωρίτη. Η μόνη διαφορά έγκειται στο ότι στην περίπτωση του καφέ ψαμμίτη η περιεκτικότητα σε ασβεστίτη και μικροκλινη είναι εμφανώς μειωμένη σε σύγκριση με αυτήν του πράσινου. Μετά την επίδραση της φωτιάς δεν ανιχνεύεται μικροκλινης στους πράσινους ψαμμίτες και ασβεστίτης στους καφέ.

Η κύρια ορυκτολογική σύσταση όλων των εξεταζόμενων βιομικριτικών ασβεστόλιθων, ιστορικών (VU7B, V7, V9, V10) κ νεότερων (V6, V8), είτε έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά (V7, V8, V10), είτε όχι (VU7B, V6, V9), είναι ασβεστιτική, με δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία.

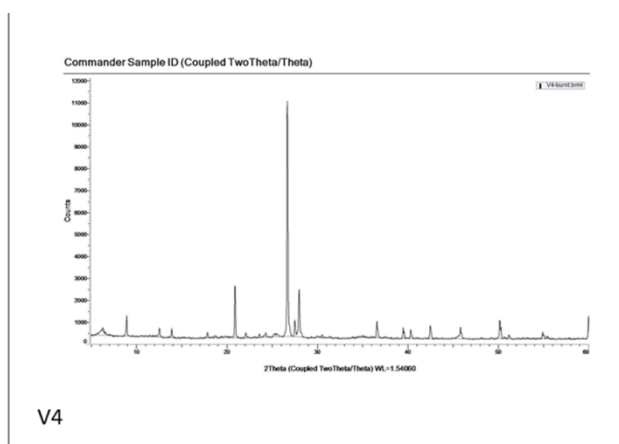
Είναι εμφανές ότι η ορυκτολογική σύσταση των βιομικριτικών ασβεστόλιθων δεν μεταβάλλεται με την επίδραση της φωτιάς.

Η ορυκτολογική σύσταση του μαύρου πυριτόλιθου (VU5B), που αποτελεί έγκλεισμα του ασβεστόλιθου και βρίσκεται κατά τόπους, είναι κυρίως χαλαζιακή με παρουσία ασβεστίτη και δεν μεταβάλλεται με την επίδραση της φωτιάς (V5).

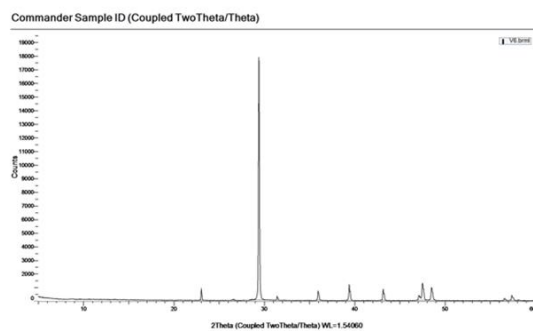
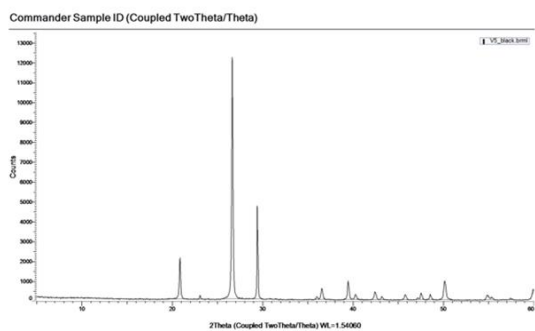
Αναλυτικά τα γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X (XRD) :



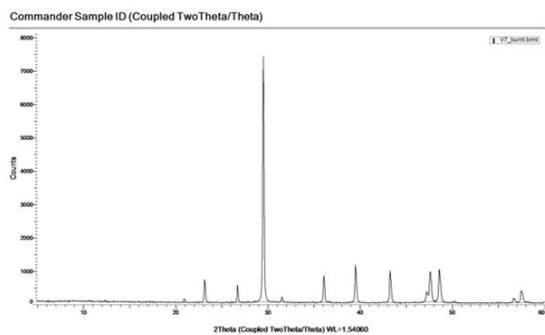
Εικόνα 4.20: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα δείγματα V1 και V2



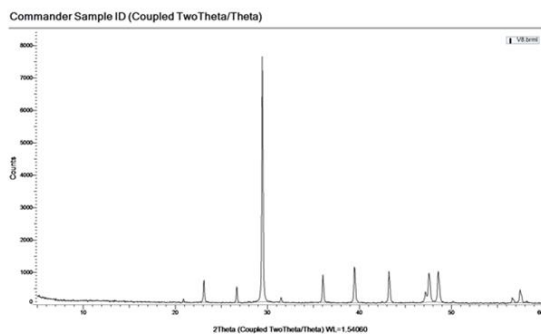
Εικόνα 4.21: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το δείγμα V4



Εικόνα 4.22: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα δείγματα V5 και V6

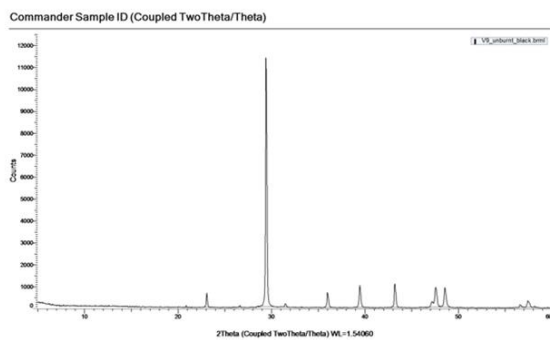


V7

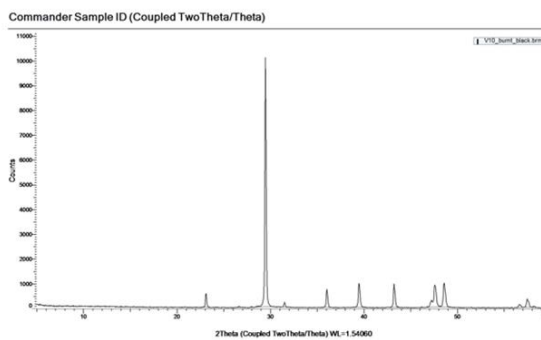


V8

Εικόνα 4.23: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα δείγματα V7 και V8

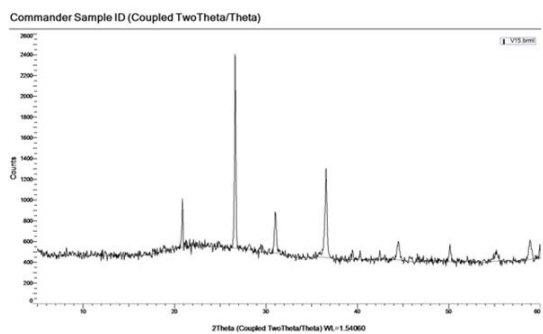


V9

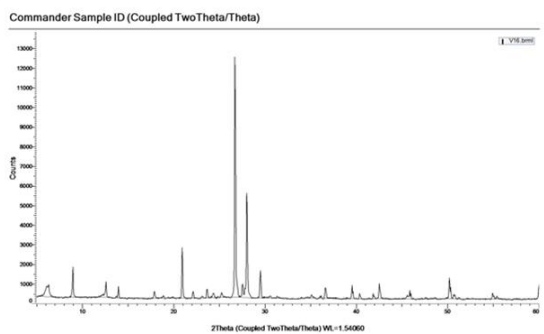


V10

Εικόνα 4.24 : Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα δείγματα V9 και V10

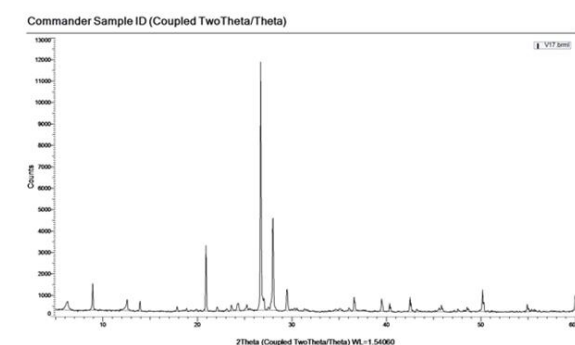


V15

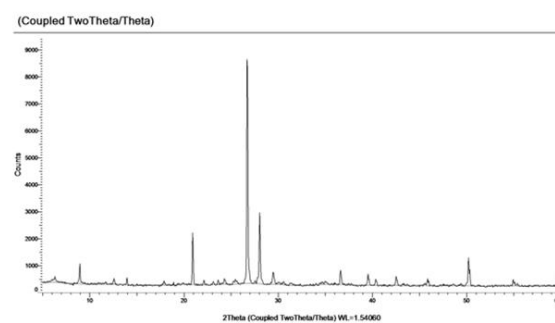


V16

Εικόνα 4.25: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα δείγματα V15 και V16

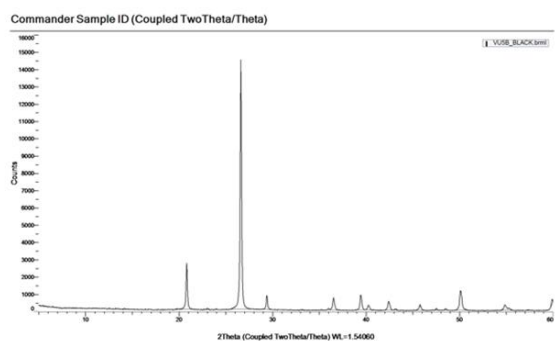


V17

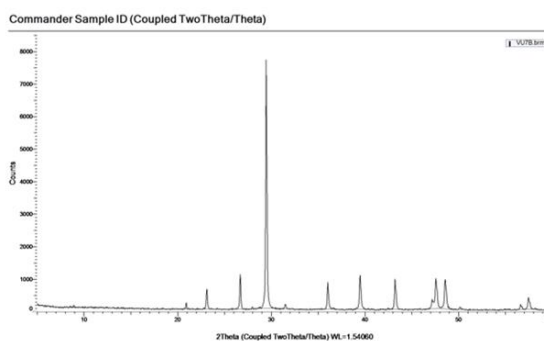


VU4B

Εικόνα 4.26: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων Χ για τα δείγματα V17 και VU4B



VU5B



VU7B

Εικόνα 4.27: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων Χ για τα δείγματα VU5B και VU7B

4.3.2. Περίθλαση Ακτίνων Χ στα Κονιάματα, τα Επιχρίσματα και τα Σκυροδέματα

Ομοίως και στη περίπτωση των δειγμάτων των κονιαμάτων οι κύριες και δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα :

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Σύσταση	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
VM1	Χαλαζίας	ασβεστίτης, αλβίτης, μοσχοβίτης
VM2	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης
VM3	Χαλαζίας	ασβεστίτης, μοσχοβίτης, αλβίτης,
VM4	Χαλαζίας	ασβεστίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης

VM5	Χαλαζίας	μικροκλινής, αλβίτης, ασβεστίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης
VM6	Χαλαζίας, ασβεστίτης	μοσχοβίτης
VM7	Ασβεστίτης, χαλαζίας	αλβίτης
VM8	Χαλαζίας	ασβεστίτης, μοσχοβίτης, μικροκλινής, χλωρίτης
VM9	Ασβεστίτης, χαλαζίας	-
VM10	Ασβεστίτης	χαλαζίας, μοσχοβίτης, λεπιδομελάνιος-μαρμαρυγίες
VM11	Ασβεστίτης	χαλαζίας, μοσχοβίτης, αλβίτης, μικροκλινής, γύψος
VM12	Χαλαζίας, ασβεστίτης,	μοσχοβίτης, γύψος
VM13	Χαλαζίας	ασβεστίτης, αλβίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης, μικροκλινής
VM14	Ασβεστίτης	χαλαζίας, αλβίτης, μοσχοβίτης, γύψος
VM15	Ασβεστίτης	χαλαζίας, μοσχοβίτης, αλβίτης, μικροκλινής, χλωρίτης
VM16	Χαλαζίας	αλβίτης, ασβεστίτης, μοσχοβίτης, χλωρίτης, μικροκλινής
VM17	Χαλαζίας	ασβεστίτης, αλβίτης, μικροκλινής, μοσχοβίτης, χλωρίτης, ενστατίτης
VM18	Ασβεστίτης	Χαλαζίας, αλβίτης

Πίνακας 4.8: Ορυκτολογικές Φάσεις των δειγμάτων των κονιαμάτων

Τα αποτελέσματα της περίθλασης ακτίνων Χ για τα δείγματα των κονιαμάτων VM1, VM3, VM4, VM5, VM8, VM16, και VM17 δείχνουν ότι η κύρια ορυκτολογική φάση τους, είναι ο χαλαζίας. Τα δείγματα που προαναφέρθηκαν παρουσιάζουν επαρκή παρουσία ασβεστίτη και μοσχοβίτη. Επίσης, χλωρίτης ανιχνεύεται στα δείγματα VM4, VM5, VM8, VM16 και VM17, ενώ ο μικροκλινής ανιχνεύεται στα VM5, VM8, VM16 και VM17. Ο αλβίτης ανιχνεύεται στα δείγματα VM1, VM3, VM5, VM16 και VM17, ενώ ενστατίτης προσδιορίζεται μόνο στο VM17. Η ορυκτολογική σύσταση που παρουσιάζουν αυτά τα δείγματα σε συνδυασμό με την αργιλώδη υφή τους τα κατατάσσουν στα πηλοκονιάματα. Τα δείγματα VM16 και VM17 αντιστοιχούν σε πηλοκονιάματα από θέσεις της τοιχοποιίας που δεν φαίνεται να έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά, ενώ όλα τα υπόλοιπα δείγματα αυτής της κατηγορίας προέρχονται από περιοχές που έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά. Έτσι κατά την εξέτασή των δειγμάτων αυτών (VM1, VM3, VM4, VM8), διαπιστώνονται διαφοροποιήσεις στην ορυκτολογική τους σύσταση σε σύγκριση με τα VM16 και VM17, εκτός από το VM5. Πιο συγκεκριμένα, στα VM1 και VM3 δεν προσδιορίζεται μικροκλινής και χλωρίτης, στο VM4 δεν ανιχνεύεται μικροκλινής, ενώ στο VM8 δεν προσδιορίζεται αλβίτης.

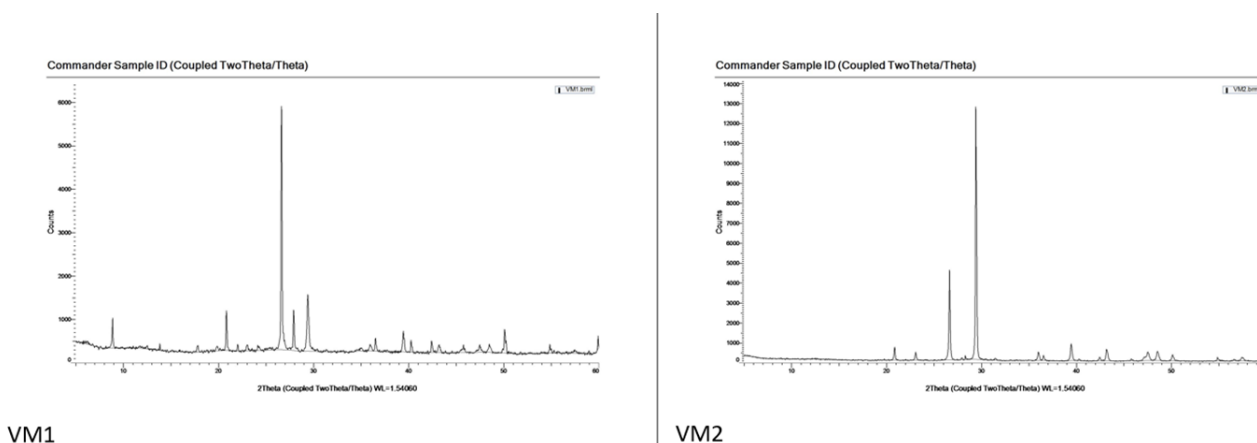
Η φύση (πηλοκονιάματα) και η θέση (δομικά κονιάματα που βρισκότουσαν στο βάθος της τοιχοποιίας) των κονιαμάτων αυτών δεν μας επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων σε σχέση με το αν αυτές οι ορυκτολογικές διαφοροποιήσεις οφείλονται στην επίδραση της φωτιάς.

Τα δείγματα VM2, VM6, VM7, VM9, VM10, VM11, VM12, VM13, VM18, είναι κονιάματα τσιμεντιτικής υφής, αλλά κανένα από αυτά δεν παρουσιάζει χαρακτηριστικές κορυφές τσιμεντιτικών ενώσεων όπως ο αλίτης ή ο μπελίτης, είτε προέρχονται από τμήματα της τοιχοποιίας που δεν έχει επηρεαστεί από τη φωτιά είτε όχι. Από τα παραπάνω δείγματα τα VM2, VM10, VM11, VM18 παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική τους φάση τον ασβεστίτη και σαν δευτερεύουσες κορυφές τον χαλαζία και τον αλβίτη τα VM2, VM11, VM18, ενώ στο VM10 προσδιορίζονται μοσχοβίτης και μαρμαρυγίες. Τα VM6, VM7, VM9, VM12 παρουσιάζουν ως κύριες ορυκτολογικές τους φάσεις τόσο τον ασβεστίτη όσο και τον χαλαζία, ενώ το VM13 εμφανίζει κυρίως χαλαζιακή ορυκτολογική σύσταση. Τα VM10, VM11, VM12, VM13 προέρχονται από τοιχοποιίες που δεν έχουν επηρεαστεί από τη πυρκαγιά, ενώ τα υπόλοιπα VM2, VM6, VM7, VM9, VM18, έχουν δεχθεί την επίδραση της πυρκαγιάς. Όμως δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για το αν οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζουν τα δείγματα αυτά σε σχέση με την ορυκτολογική τους σύσταση οφείλονται στην επίδραση της φωτιάς.

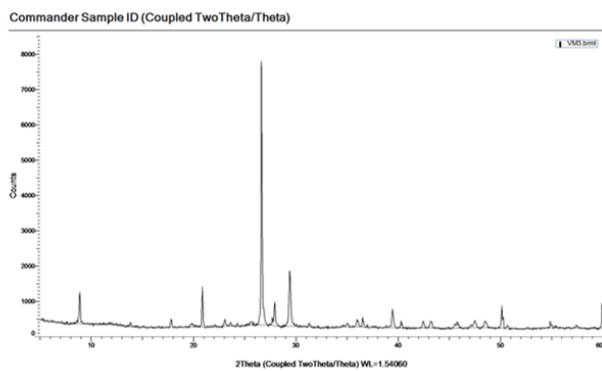
Αυτό που μπορεί με ασφάλεια να καταγραφεί είναι ότι τα αργιλώδους υφής κονιάματα παρουσιάζουν σαν κύρια ορυκτολογική φάση τους τον χαλαζία, ενώ τα τσιμεντιτικής υφής τον ασβεστίτη ή και τα δύο ορυκτά του ασβεστίτη και του χαλαζία.

Τα κονιάματα VM14, VM15 παρουσιάζουν διαφορετική υφή από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες (αργιλώδη και τσιμεντιτική) και έχουν σαν κύρια ορυκτολογική τους σύσταση τον ασβεστίτη και σαν δευτερεύουσες τον χαλαζία, τον μοσχοβίτη και τον αλβίτη. Το δείγμα VM14 παρουσιάζει επιπλέον γύψο ως προϊόν φθοράς, ενώ στο VM15 ανιχνεύονται χλωρίτης και μικροκλινής.

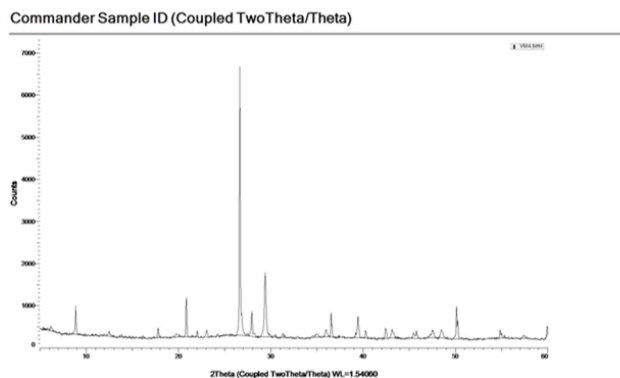
Ομοίως τα γωνιογράμματα :



Εικόνα 4.28: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM1 και VM2

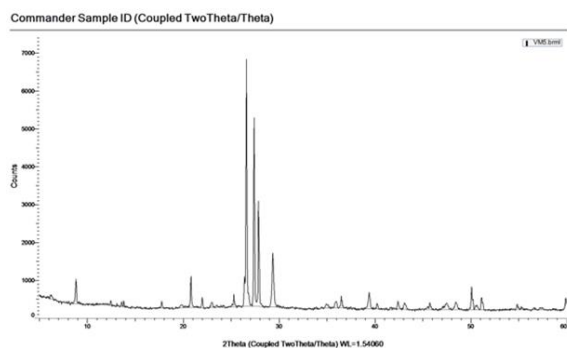


VM3

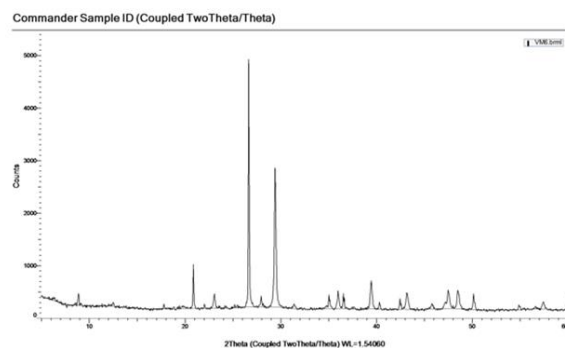


VM4

Εικόνα 4.29: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM3 και VM4

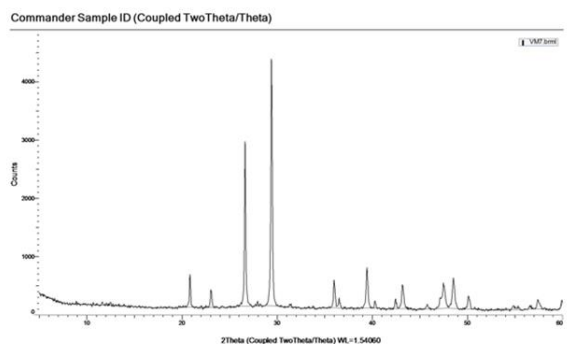


VM5

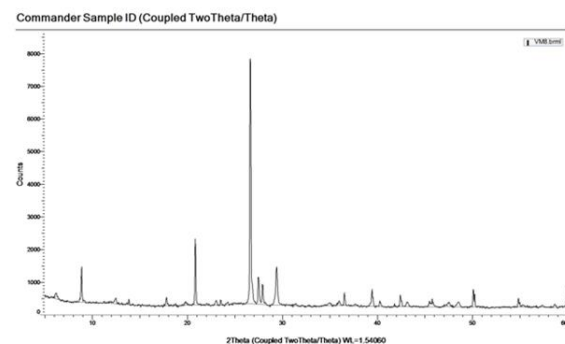


VM6

Εικόνα 4.30: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM5 και VM6

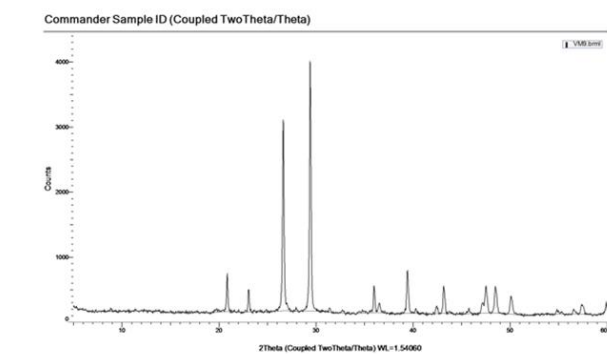


VM7

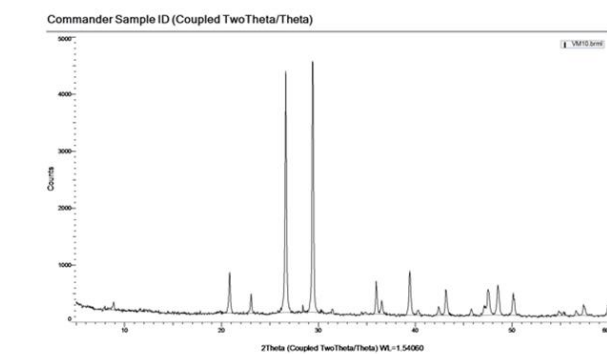


VM8

Εικόνα 4.31: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM7 και VM8

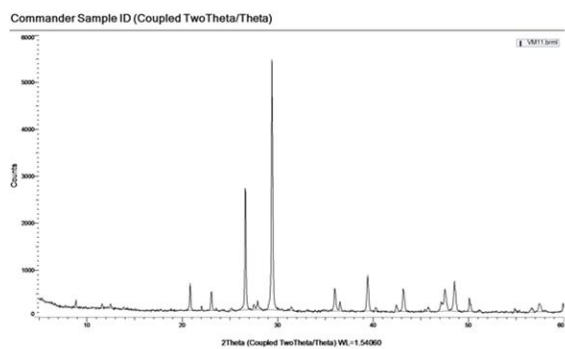


VM9

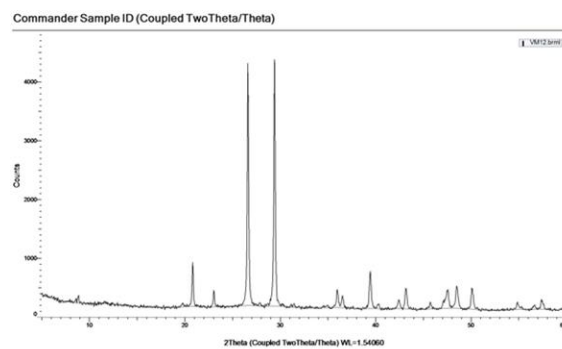


VM10

Εικόνα 4.32: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM9 και VM10

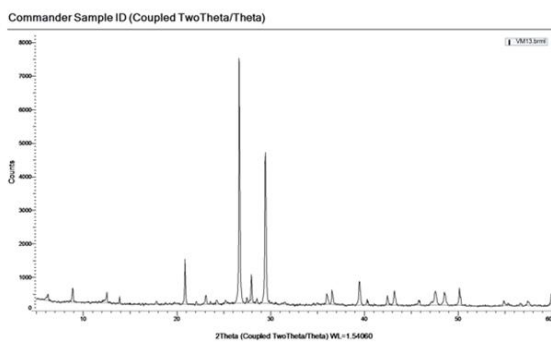


VM11

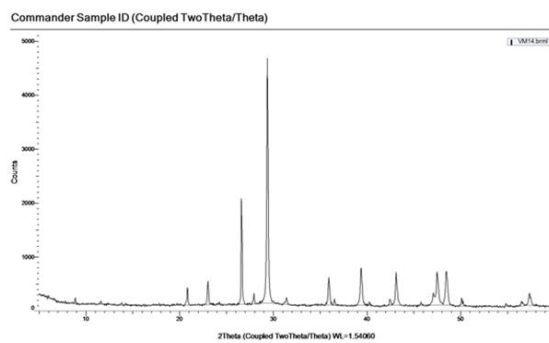


VM12

Εικόνα 4.33: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM11 και VM12

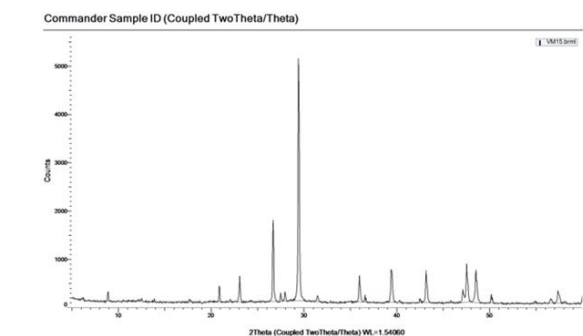


VM13

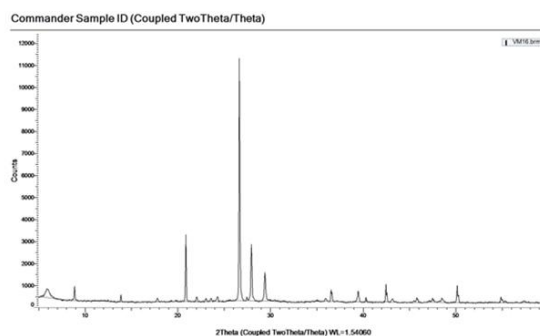


VM14

Εικόνα 4.34: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM13 και VM14

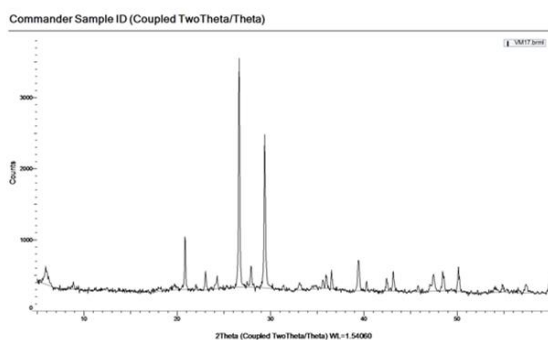


VM15

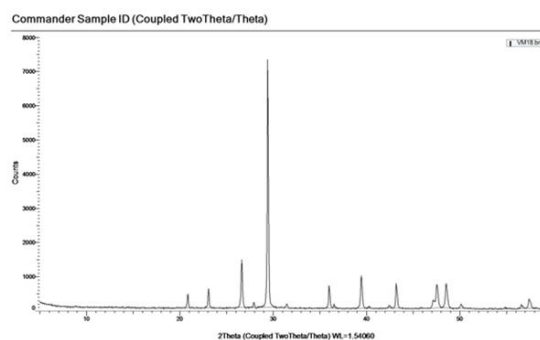


VM16

Εικόνα 4.35 : Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM15 και VM16



VM17



VM18

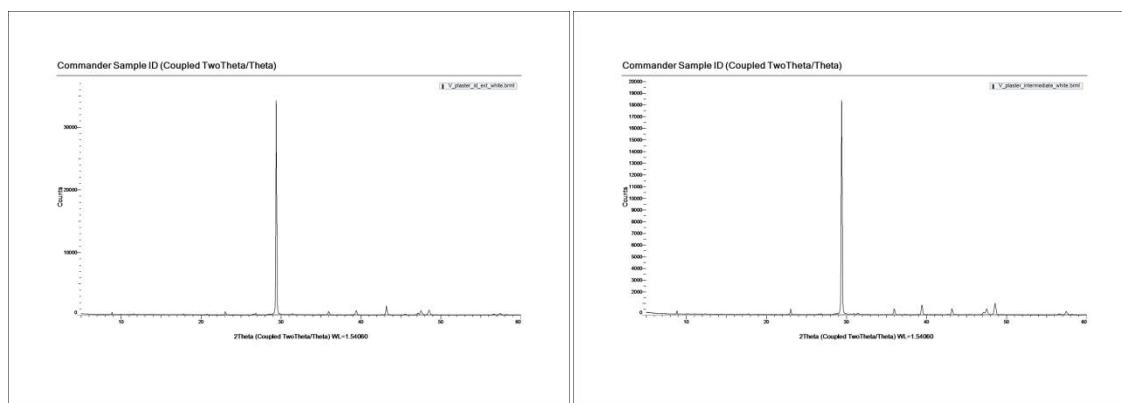
Εικόνα 4.36: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για τα κονιάματα VM17 και VM18

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα αποτελέσματα της Περίθλασης Ακτίνων X για τα δείγματα των επιχρισμάτων από το συγκρότημα των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.

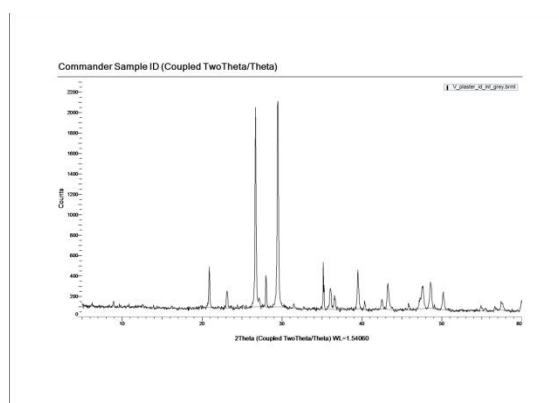
Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Μελέτη (XRD Analysis)	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
VP1	Ασβεσίτης	Χαλαζίας, μοσχοβίτης
VP2	Ασβεσίτης,	Μοσχοβίτης
VP3	Ασβεσίτης, Χαλαζίας	αλβίτης, μοσχοβίτης

Πίνακας 4.9: Ορυκτολογικές συστάσεις επιχρισμάτων που μελετήθηκαν

Το δείγμα του επιχρίσματος που μελετήθηκε προέρχεται από τοιχοποιία που επηρεάστηκε από την πυρκαγιά τα δύο στρώματα του παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική τους φάση τον ασβεσίτη, ενώ το εσωτερικό στρώμα παρουσιάζει ως κύριες ορυκτολογικές φάσεις ασβεσίτη και χαλαζία. Το εξωτερικό στρώμα (VP1) έχει ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις το χαλαζία και τον μοσχοβίτη, το μεσαίο στρώμα (VP2) εμφανίζει μόνο μοσχοβίτη, ενώ το εσωτερικό στρώμα (VP3), αλβίτη και μοσχοβίτη.



Εικόνα 4.37: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το VP1 (αριστερά) και για το VP2 (δεξιά)



Εικόνα 4.38: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το VP3

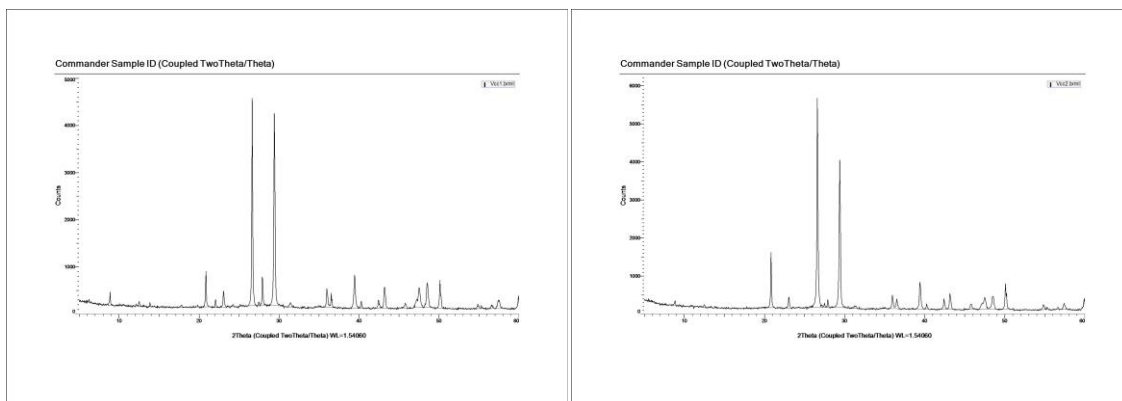
Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα αποτελέσματα της Περίθλασης Ακτίνων X για τα δείγματα των σκυροδεμάτων από το συγκρότημα των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.

Κωδικός Δείγματος	Ορυκτολογική Μελέτη (XRD Analysis)	
	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
VCC1	Χαλαζίας	Ασβεσίτης, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, χλωρίτης, καολινίτης, ορθόκλαστα
VCC2	Χαλαζίας	Ασβεσίτης, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, καολινίτης, ορθόκλαστα
VCC3	Χαλαζίας	Ασβεσίτης, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, χλωρίτης, καολινίτης, ορθόκλαστα, βιοτίτης, εντριγκίτης
VCC4	Χαλαζίας	Ασβεσίτης, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, ορθόκλαστα, ενστατίτης, αυγίτης

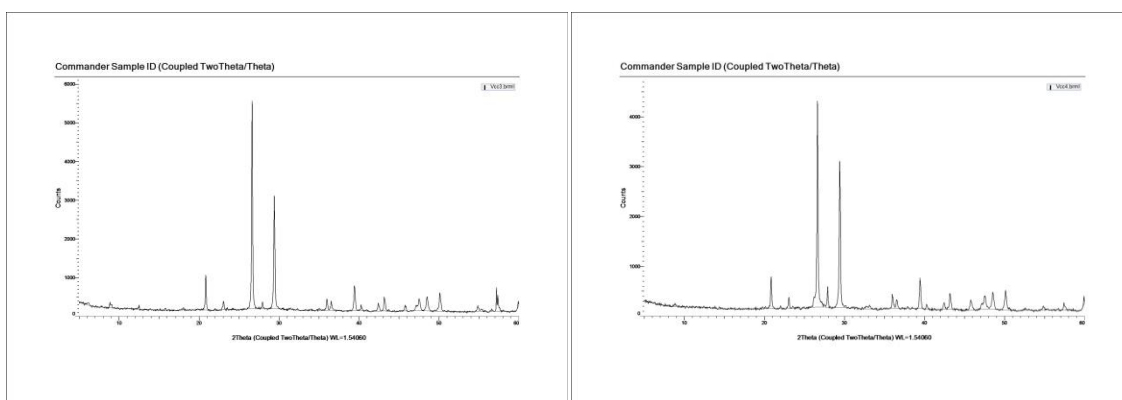
Πίνακας 4.10: Ορυκτολογικές συστάσεις σκυροδεμάτων που μελετήθηκαν

Όλα τα δείγματα σκυροδέματος που μελετήθηκαν έχουν υποστεί την επίδραση της φωτιάς και παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική σύσταση τον χαλαζία, ενώ το VCC1 και το VCC4

παρουσιάζουν και ασβεσίτη. Όμως κανένα δεν παρουσιάζει χαρακτηριστικές κορυφές τσιμεντιτικών ενώσεων όπως ο αλίτης ή ο μπελίτης, υποδεικνύοντας ότι έχουν καταστραφεί από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύχθηκαν κατά την πυρκαγιά. Οι κοινές δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις που παρουσιάζουν είναι ο ασβεσίτης, ο αλίτης, ο μικροκλινης, ο μοσχοβίτης, και τα ορθόκλαστα, ενώ το δείγμα VCC3, που έχει ληφθεί από σενάζ, είναι το μοναδικό που παρουσιάζει εντριγκίτη, χαρακτηριστικό προϊόν φθοράς του σκυροδέματος.



Εικόνα 4.39 : Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το VCC1 (αριστερά) και VCC2 (δεξιά)



Εικόνα 4.40 : Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το VCC3 (αριστερά) και VCC4 (δεξιά)

4.3.3. Περίθλαση Ακτίνων X στους Οπτόπλινθους

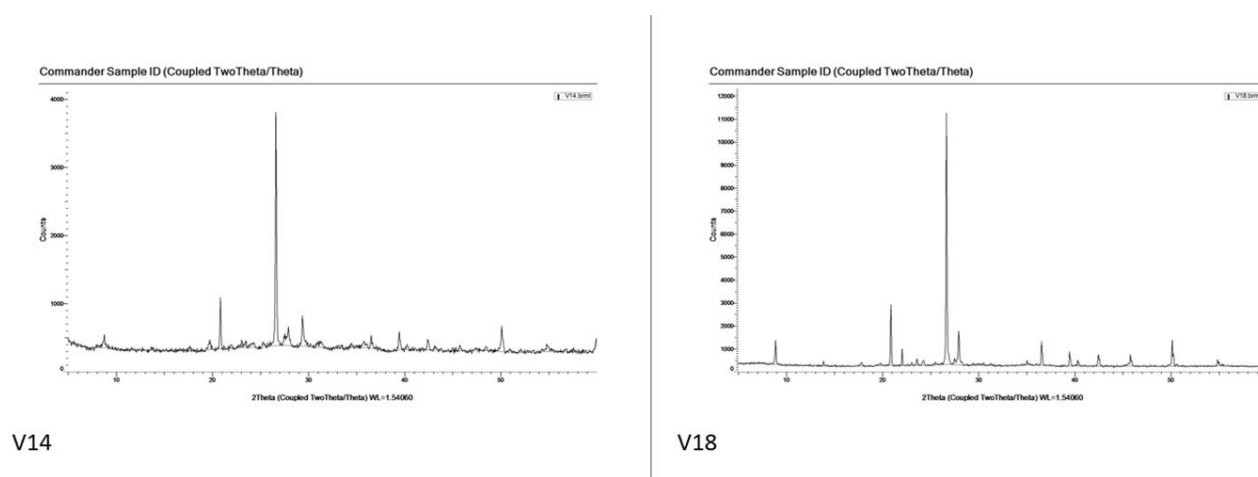
Οι οπτόπλινθοι που εξετάστηκαν παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική σύσταση το χαλαζία και ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις αλίτη, μοσχοβίτη και μικροκλινή, το δείγμα V14, που προέρχεται από τοιχοποιία μη επηρεασμένη από τη φωτιά, παρουσιάζει ασβεσίτη και ανορθόκλαστα, ορυκτά τα οποία δεν ανιχνεύονται στα δείγματα V18, V19 που προέρχονται από τοιχοποιία επηρεασμένη από τη φωτιά.

Κωδικός	Ορυκτολογική Σύσταση
---------	----------------------

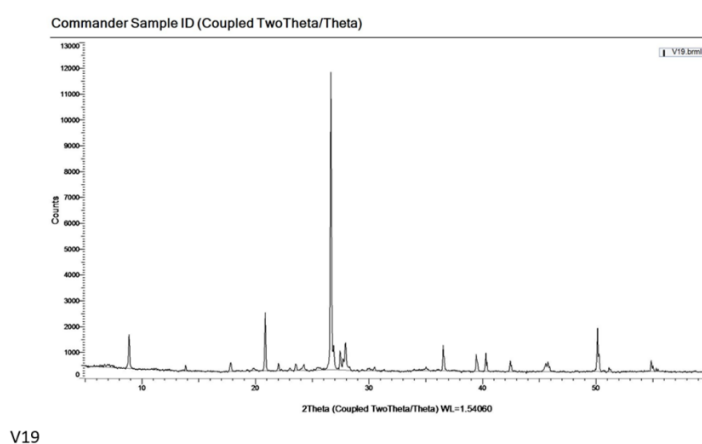
Δείγματος	Κύρια Ορυκτολογική Φάση	Δευτερεύουσες Ορυκτολογικές Φάσεις
V14	Χαλαζίας	ασβεστίτης, αλβίτης, μικροκλινης, μοσχοβίτης, ανορθόκλαστα
V18	Χαλαζίας	αλβίτης, μοσχοβίτης, μικροκλινης
V19	Χαλαζίας	αλβίτης, μοσχοβίτης, μικροκλινης

Πίνακας 4.11 : Ορυκτολογικές συστάσεις οπτόπλινθων που μελετήθηκαν

Τα γωνιογράμματα των οπτόπλινθων:



Εικόνα 4.41: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το V14 (αριστερά) και V18 (δεξιά)



Εικόνα 4.42: Γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X για το V19

4.4. Αποτελέσματα των Θερμικών Αναλύσεων (TG/DTA)

Σε επιλεγμένα δείγματα δομικών υλικών των τοιχοποιιών των Κελιών της ΙΜ Βαρνάκοβας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις θερμικής ανάλυσης και συγκεκριμένα θερμοβαρυμετρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης, με σκοπό τη μελέτη της σύστασης των δειγμάτων.

4.4.1 Θερμικές Αναλύσεις στους Λίθους

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

Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα (°C)				Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (%)
	<120°C	120-200°C	200-600°C	>600°C	
V1	0,20	0,04	1,19	5,44	12,38
V2	1,11	0,13	1,04	1,64	3,73
VU4B	2,94	0,48	3,60	2,35	5,35
V4	0,74	0,11	1,15	0,93	2,12
VU5B	0,26	0,12	0,68	2,71	6,17
V5	0,04	0,02	0,35	7,31	16,63
V6	0,14	0,03	0,23	39,30	89,41
V8	0,12	0,01	0,16	38,92	88,54
VU7B	0,19	0,05	0,63	40,04	91,09
V7	0,17	0,02	0,36	38,99	88,70
V9 black	0,05	0,03	0,28	41,85	95,21
V10 black	0,23	0,24	0,21	41,54	94,50
V9 beige	0,12	0,05	1,04	39,48	89,82
V10 beige	0,15	0,02	0,34	39,52	89,91

Πίνακας 4.12: Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακά διαστήματα

Όσον αφορά στον πράσινο ψαμμίτη, είναι εμφανές ότι το καμένο δείγμα V2 παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό φυσικά προσροφημένου νερού (απώλεια μάζας <120°C), το οποίο μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση της πυρκαγιάς και την επακόλουθη αύξηση της προσρόφησης νερού στη δομή του λόγω φυσικοχημικών αλλοιώσεων και μεταβολών της μικροδομής. Το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου μειώνεται αισθητά στο καμένο δείγμα, υποδηλώνοντας την επίδραση της πυρκαγιάς στη χημική σύσταση του ασβεστιτικού ψαμμίτη σε αυτήν την περιοχή της τοιχοποιίας των κελιών.

Στην περίπτωση του καφέ ψαμμίτη, παρουσιάζεται η αντίστροφη τάση, με το μη καμένο δείγμα (VU4B) να παρουσιάζει αρκετά υψηλότερο ποσοστό φυσικά ροφημένου νερού από το καμένο δείγμα, λόγω της παρουσίας υγροσκοπικών αλάτων σε αυτή την περιοχή δειγματοληψίας (β.λ. Κεφ. 1.6). Ο καμένος καφέ ψαμμίτης παρουσιάζει χαμηλότερα ποσοστά απώλειας μάζας σε όλα τα θερμοκρασιακά διαστήματα, λόγω της επίδρασης της πυρκαγιάς. Και σε αυτή την περίπτωση λιθότυπου το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου μειώνεται μετά την πυρκαγιά. Επίσης, σε όλα τα δείγματα ψαμμίτη που εξετάστηκαν παρουσιάζεται μία ενδόθερμη κορυφή στους 575°C περίπου,

που αντιστοιχεί στην αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β, η οποία δε συνοδεύεται από απώλεια μάζας.

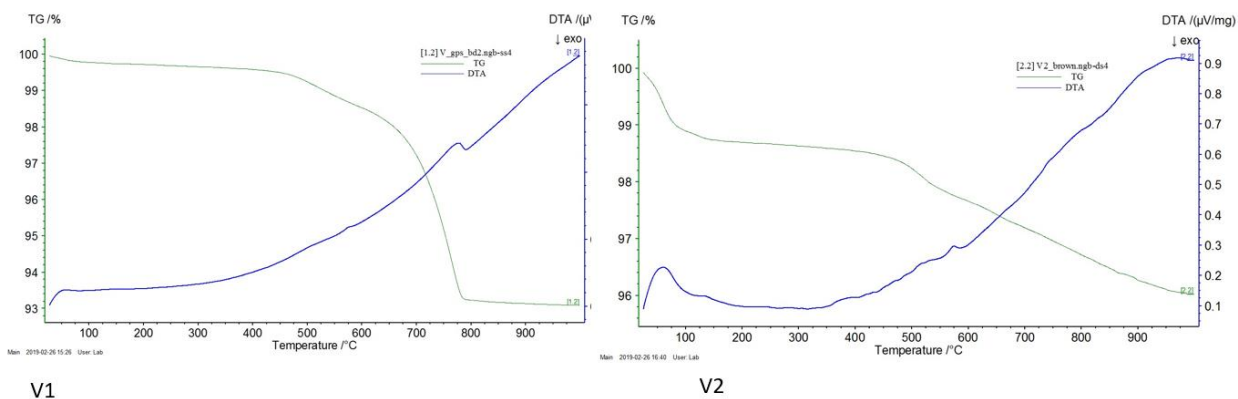
Τα δείγματα από το έγκλεισμα του πυριτόλιθου (καμένος-μη καμένος) στον συμπαγή ασβεστόλιθο, παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην απώλεια μάζας στα διάφορα θερμοκρασιακά διαστήματα. Στην περίπτωση της απώλειας μάζας άνω των 600°C που αντιστοιχεί στις ανθρακικές ενώσεις, η μεγάλη διαφορά ποσοστών πιθανότατα οφείλεται στην αυξημένη παρουσία ασβεστόλιθου στο καμένο δείγμα, το οποίο δεν ήταν εμφανές μακροσκοπικά και συμπεριλήφθη στον κονιοποιημένο δείγμα. Η χαλαζιακή σύσταση των δύο αυτών δειγμάτων επιβεβαιώνεται από την παρουσία στους 575°C περίπου ενδόθερμης κορυφής που αντιστοιχεί στην αλλαγής φάσης του χαλαζία από α σε β.

Τα δυο δείγματα του ιστορικού συμπαγούς γκρίζου-μπεζ ασβεστόλιθου (VU7B, V7) παρουσιάζουν παρόμοιες απώλειες μάζας σε όλα τα θερμοκρασιακά διαστήματα τόσο μεταξύ τους, όσο και σε σύγκριση με τα δείγματα του νέου γκρίζου-μπεζ ασβεστόλιθου από τη νέα τοιχοποιία (V6, V8). Το ποσοστό απώλειας μάζας άνω των 600°C, δηλαδή αυτό που αντιστοιχεί στην παρουσία ανθρακικών ενώσεων, κυμαίνεται μεταξύ 38.92% και 40.04% στα παραπάνω δείγματα, και είναι σαφές ότι δεν παρατηρείται διαφοροποίηση στη χημική τους σύσταση λόγω της φωτιάς. Όμως αξίζει να σημειωθεί ότι τα δύο δείγματα ασβεστόλιθου που ελήφθησαν από τη νέα τοιχοποιία (καμένο και μη καμένο), παρουσιάζουν μια απαλή διπλή ενδόθερμη κορυφή στο διάγραμμα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης μετά τους 600°C υποδεικνύοντας την παρουσία ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου (δολομίτης), εκτός από ανθρακικό ασβέστιο. Η παρουσία του ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου επιβεβαιώνεται από την καμπύλη της πρώτης παραγωγού της διαφορικής θερμικής ανάλυσης.

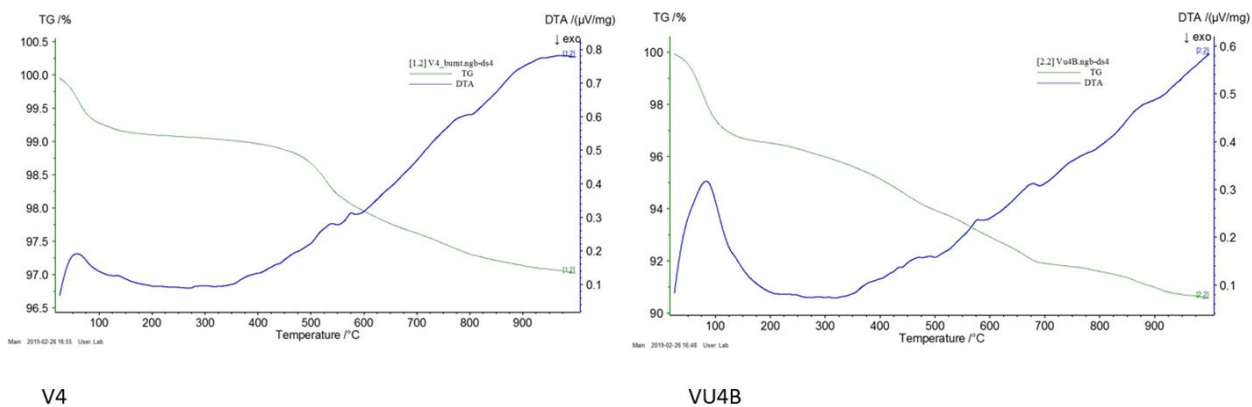
Όσον αφορά στον διζωνικό ασβεστόλιθο, η ζώνη μπεζ χρωματισμού παρουσιάζει μεγάλες ομοιότητες στην θερμική ανάλυση με τον συμπαγή μπεζ ασβεστόλιθο, ενώ η τεφρή ζώνη παρουσιάζει και πάλι παρόμοιες τιμές, αλλά ακόμη υψηλότερα ποσοστά ανθρακικού ασβεστίου (~95%).

Είναι εμφανές ότι η σύσταση των δύο τύπων ψαμμιτών (ασβεστιτικού-πράσινος και σιδηρούχου-καφέ) μεταβλήθηκε λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν από τη φωτιά (μείωση του ποσοστού των ανθρακικών ενώσεων), σε αντιδιαστολή με τους συμπαγείς ασβεστόλιθους, όπου δεν έλαβε χώρα μεταβολή της σύστασης τους εξαιτίας της πυρκαγιάς. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ασβεστόλιθοι της νέας τοιχοποιίας παρουσιάζουν ανθρακικό ασβέστιο και μαγνήσιο (δολομίτης), εκτός από ανθρακικό ασβέστιο, γεγονός που τους διαφοροποιεί από τους ιστορικούς ασβεστόλιθους που εξετάστηκαν.

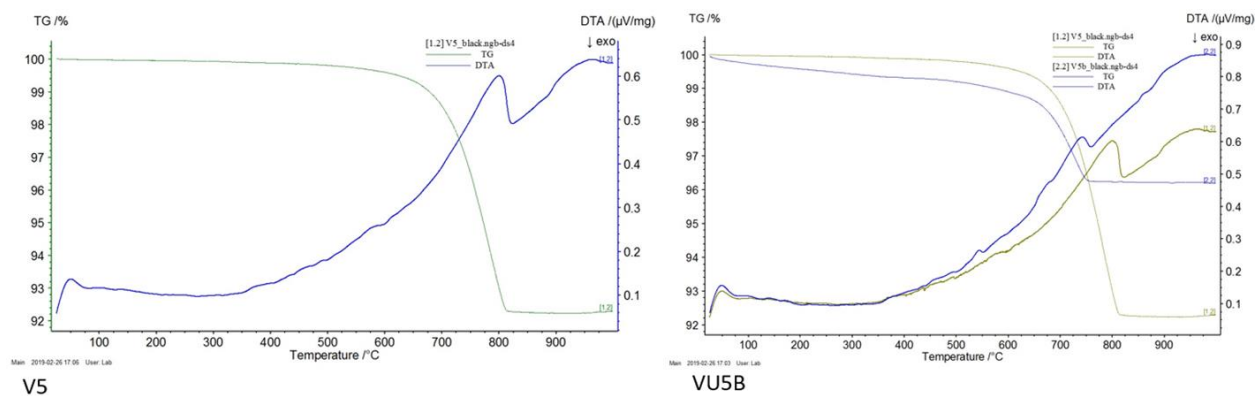
Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται αναλυτικά τα διαγράμματα θερμικής ανάλυσης (TG/DTA) των δειγμάτων των λίθων που μελετήθηκαν.



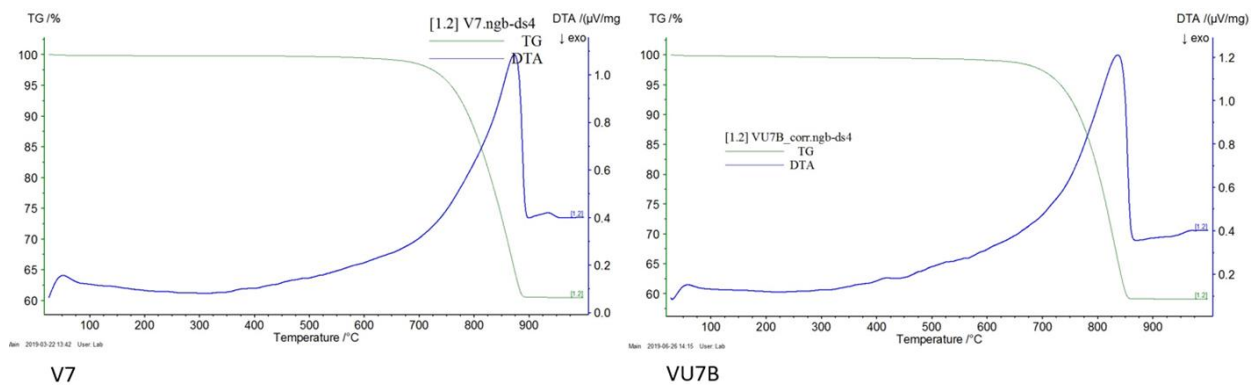
Εικόνα 4.43: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης μη καμένου (V1) και καμένου πράσινου ψαμμίτη (V2)



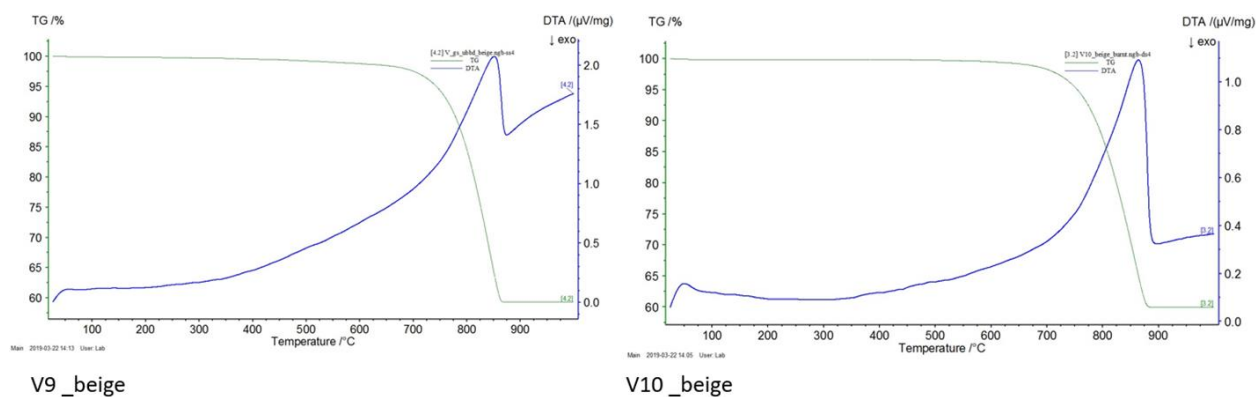
Εικόνα 4.44: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης καμένου (V4) και μη καμένου καφέ ψαμμίτη (VU4B)



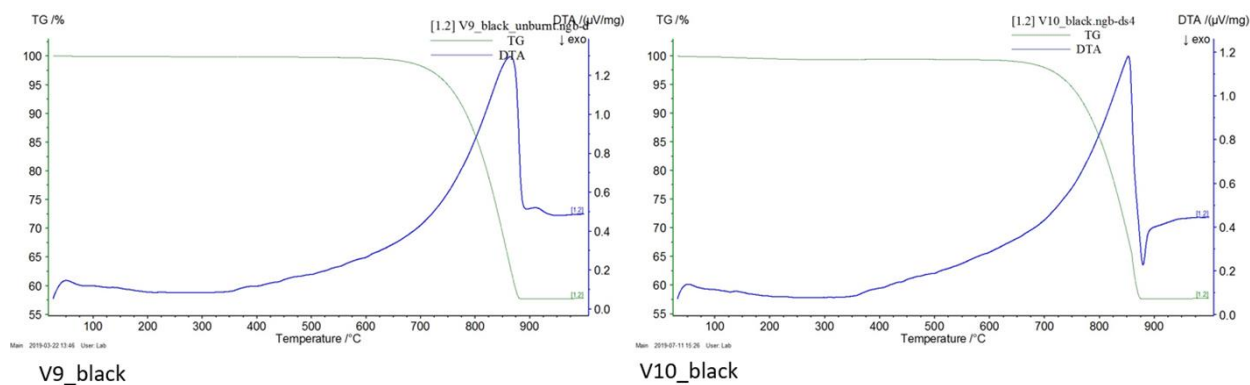
Εικόνα 4.45: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης καμένου (V5) και μη καμένου μαύρου πυριτόλιθου (VU5B)



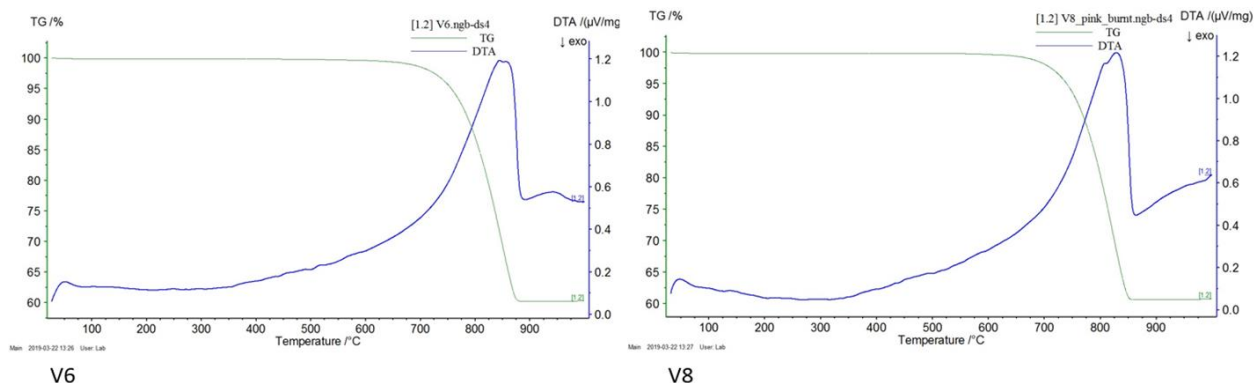
Εικόνα 4.46 : Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης καμένου (V7) και μη καμένου ιστορικού συμπαγή γκριζού-μπεζ ασβεστόλιθου (VU7B)



Εικόνα 4.47: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης μη καμένου (V9_beige) και καμένου (V10_beige) ανοιχτόχρωμου τμήματος διζωνικού ασβεστόλιθου



Εικόνα 4.48: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης μη καμένου (V9_black) και καμένου (V10_black) τεφρού τμήματος διζωνικού ασβεστόλιθου



Εικόνα 4.49: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης μη καμένου (V6) και καμένου (V8) γκριζου-μπεζ συμπαγή ασβεστόλιθου νέας τοιχοποιίας

4.4.2. Θερμικές Αναλύσεις στα Κονιάματα

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

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

Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας υπολογίζεται ως ο λόγος $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}_{\text{CBW}}$ και χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της υδραυλικότητας ενός κονιάματος, όπου όσο χαμηλότερη η τιμή του δείκτη, τόσο πιο υδραυλική η φύση του. Συγκριμένα, κονιάματα που εμφανίζουν δείκτη υδραυλικότητας χαμηλότερο του 7.5, θεωρούνται ως υδραυλικά. Ο δείκτης αυτός δεν ισχύει για πηλοκονιάματα, ωστόσο ο λόγος είναι ενδεικτικός σε σχέση με την κατηγοριοποίηση των κονιαμάτων.

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

Κωδικός Δείγματος	Απώλεια μάζας (%) ανά θερμοκρασιακό διάστημα ($^{\circ}\text{C}$)					Ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (%)
	$<120^{\circ}\text{C}$	$120-200^{\circ}\text{C}$	$200-600^{\circ}\text{C}$	$600-1000^{\circ}\text{C}$	$\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}_{\text{CBW}}$	

VM1	1,17	0,44	4,02	7,96	1,98	18,11
VM2	0,54	0,22	1,49	20,19	13,55	45,93
VM3	1,00	0,25	2,84	8,32	2,93	18,93
VM4	1,17	0,45	4,32	8,41	1,95	19,13
VM5	1,23	0,43	3,81	7,33	1,92	16,68
VM6	1,23	0,27	3,31	14,45	4,37	32,87
VM7	1,37	0,51	2,99	20,93	7,00	47,62
VM8	1,28	0,47	4,04	6,62	1,64	15,06
VM9	1,50	0,62	3,11	18,57	5,97	42,25
VM10	1,15	0,47	2,28	18,27	8,01	41,56
VM11	0,83	0,42	2,12	22,54	10,63	51,28
VM12	1,57	0,69	3,27	13,59	4,16	30,92
VM13	1,05	0,37	2,26	13,28	5,88	30,21
VM14	1,56	0,68	4,44	26,05	5,87	59,26
VM15	2,36	0,71	5,39	23,63	4,38	53,76
VM16	1,96	0,45	3,00	5,73	1,91	13,04
VM17	2,90	0,83	4,42	9,58	2,17	21,79
VM18	0,69	0,26	1,30	30,76	23,66	69,98

Πίνακας 4.13: Απώλειες μάζας (%) ανά θερμοκρασιακά διαστήματα (κονιάματα)

Όλα τα κονιάματα αργιλώδους υφής (VM1, VM3, VM4, VM5, VM8, VM16, VM17), παρουσιάζουν υψηλές τιμές φυσικά ροφημένου νερού (1-2,90%), καθώς και χαμηλά ποσοστά απώλειας μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα άνω των 600°C (1,64-2,93%) και συνεπώς σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο (<22%), υποδηλώνοντας την κύρια χαλαζιακή τους σύσταση, η οποία επιβεβαιώνεται και από την παρουσία της ενδόθερμη κορυφής στους 575°C λόγω της μετάπτωσης του χαλαζία α σε β, η οποία δεν συνοδεύεται από απώλεια μάζας. Ωστόσο, το γεγονός ότι παρουσιάζουν ανθρακικό ασβέστιο άνω του 13% υποδεικνύει τη χρήση ασβέστη κατά την παρασκευή τους. Η μοναδική διαφοροποίηση που παρατηρείται στα μη καμένα δείγματα (VM16, VM17) σε σύγκριση με τα καμένα αργιλώδους υφής είναι η παρουσία υψηλότερων ποσοστών φυσικά ροφημένου νερού στα δείγματα που δεν έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά.

Τα κονιάματα τσιμεντιτικής υφής παρουσιάζουν χαμηλότερα ποσοστά φυσικά ροφημένου νερού (0,54-1,5%), ενώ τα δείγματα VM2, V11 και V18 παρουσιάζουν κάτω από 1% απώλεια μάζας, το οποίο είναι ασυνήθιστο για κονιάματα υδραυλικής φύσεως. Η σύστασή τους προσδιορίζεται ως ασβεστιτική, αφού η απώλεια μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα άνω των 600°C είναι υψηλή και η περιεκτικότητά τους σε ανθρακικό ασβέστιο κυμαίνεται από έως 41.6% έως 70%. Οι σχετικά χαμηλές τιμές απώλειας μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα 200-600°C, σε συνδυασμό με τα μεγάλα ποσοστά απώλειας μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα άνω των 600°C, υποδεικνύουν την εξαλλοίωση των υδραυλικών ενώσεων του τσιμέντου, αλλά και τη χρήση ασβεστιτικών αδρανών και, πιθανότατα, την μίξη αερικής άσβεστου και τσιμέντου στο πρωταρχικό μίγμα. Οι δείκτες υδραυλικότητας είναι υψηλοί και παρουσιάζουν μεγάλο εύρος τιμών, τόσο για τα καμένα (VM2, VM7, VM9, VM18), όσο και για τα μη καμένα κονιάματα τσιμεντιτικής υφής (VM10, VM11), οπότε δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση της φωτιάς. Ωστόσο αναδεικνύεται η χαμηλή ανθεκτικότητά τους.

Επιπλέον, ελήφθησαν δείγματα από την τοιχοποιία, τα οποία παρουσίαζαν μικτή αργιλώδη και τσιμεντιτική υφή (VM6, VM12, VM13). Τα κονιάματα αυτά παρατηρούνται στον αρμό της

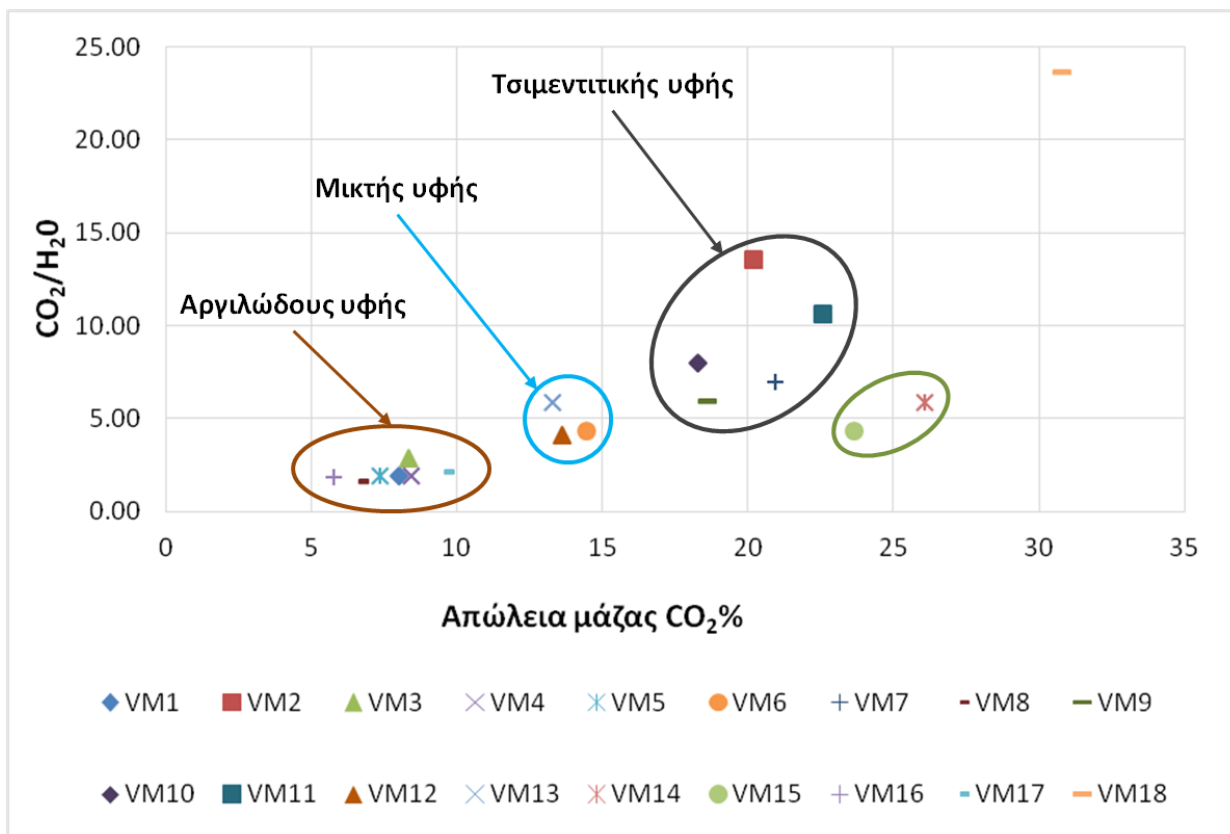
τοιχοποιία ως εξωτερική στρώση, σε περιοχές όπου φαίνεται να έχει γίνει νεότερη επέμβαση, η οποία αφορά σε περιοχές των ιστορικών τοιχοποιιών, όπου φαίνεται να μην προηγήθηκε καθαίρεση σε επαρκές βάθος των ιστορικών κονιαμάτων αργιλώδους υφής πριν την εφαρμογή τσιμεντιτικών αρμολογημάτων συμπλήρωσης. Όπως αναμένεται, τα κονιάματα αυτά παρουσιάζουν τιμές ενδιάμεσες των δυο κατηγοριών (αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής).

Δυο κονιάματα από την ιστορική τοιχοποιία (VM14, VM15), δεν ήταν ούτε αργιλώδους ούτε τσιμεντιτικής υφής, ενώ παρουσίαζαν διαφορετικό χρωματισμό και υφή σε σχέση με τις προαναφερθείσες κατηγορίες. Τα κονιάματα αυτά παρουσιάζουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο από όλα τα εξεταζόμενα δείγματα (πλην του VM18), καθώς και σχετικά χαμηλούς δείκτες υδραυλικότητας (~5), υποδεικνύοντας ότι πρόκειται για κονιάματα ασβεστιτικής βάσεως, υδραυλικής φύσεως. Τα υψηλά για ιστορικά κονιάματα ποσοστά ροφημένου νερού υποδεικνύουν ότι ίσως πρόκειται για ασβεστοποζολανικά κονιάματα.

Παράλληλα, στα διαγράμματα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης, είναι εμφανής η παρουσία γύψου στα δείγματα VM10, VM11, VM12, VM14.

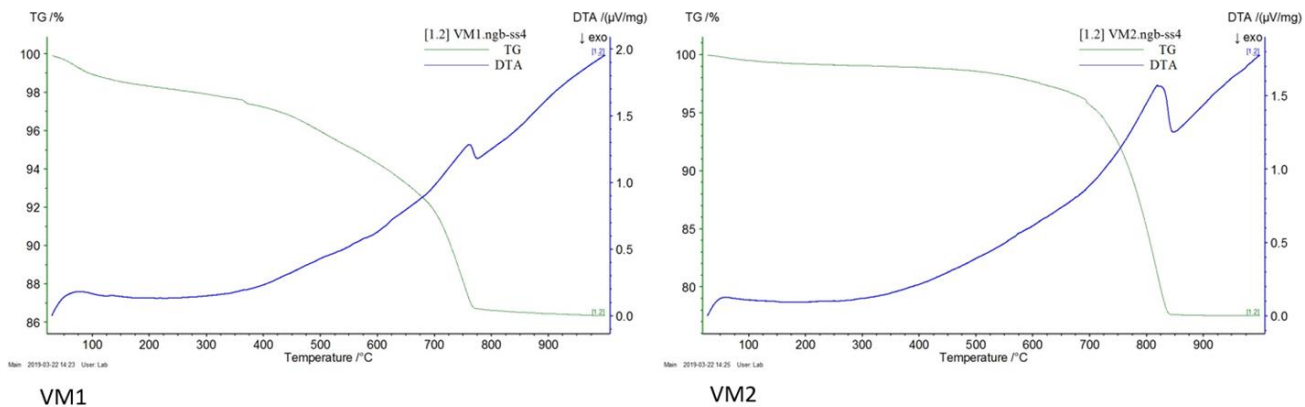
Στην παρακάτω εικόνα παρατίθεται σχηματικά η απώλεια μάζας άνω των 600°C (CO₂%) σε σχέση με τον λόγο CO₂/H₂O_{CBW}. Είναι εμφανές ότι τα κονιάματα αργιλώδους υφής ομαδοποιούνται σε μια σχετική μικρή περιοχή του διαγράμματος, όπως επίσης και τα τσιμεντιτικά. Επιπλέον, τα μικτής αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής κονιάματα ομαδοποιούνται σε ενδιάμεση περιοχή, ενώ τα σχετικά υψηλής υδραυλικότητας ασβεστοκονιάματα ομαδοποιούνται σε διακριτή περιοχή, μη σχετιζόμενη με όλες τις παραπάνω. Το δείγμα VM18 δεν ομαδοποιείται σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες, υποδεικνύοντας πιθανότατα την καταστροφική επίδραση της πυρκαγιάς στο υλικό.

Τα κονιάματα των τοιχοποιιών του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας ταξινομούνται σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες: ιστορικά πηλοκονιάματα, τσιμεντιτικά, μικτής αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής και ιστορικά ασβεστιτικά σχετικά υψηλής υδραυλικότητας. Τα πηλοκονιάματα παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό φυσικά ροφημένου νερού μετά τη φωτιά, ωστόσο, καθώς τα περισσότερα ήταν κονιάματα δόμησης, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση της φωτιάς, λόγω της φύσης, και της θέσης τους στην τοιχοποιία. Αντίθετα, τα τσιμεντιτικά κονιάματα εμφανίζονται σαφώς επηρεασμένα από την πυρκαγιά, γεγονός που τεκμαίρεται από την εξαλλοίωση των υδραυλικών τους φάσεων και την σχετικά υψηλή τιμή του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας που παρουσιάζουν.

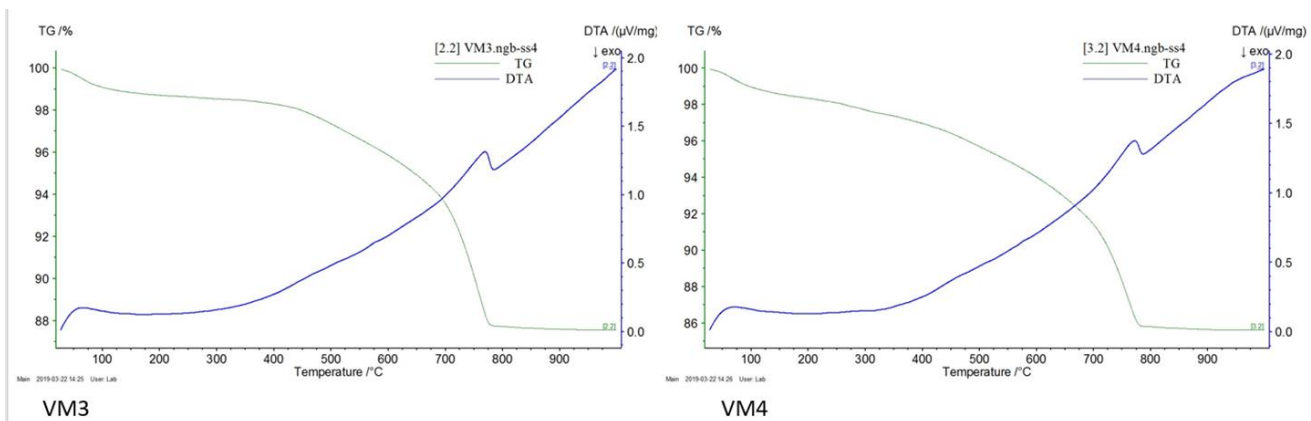


Εικόνα 4.50: Συγκριτικό διάγραμμα αποτελεσμάτων θερμικής ανάλυσης για τα κονιάματα

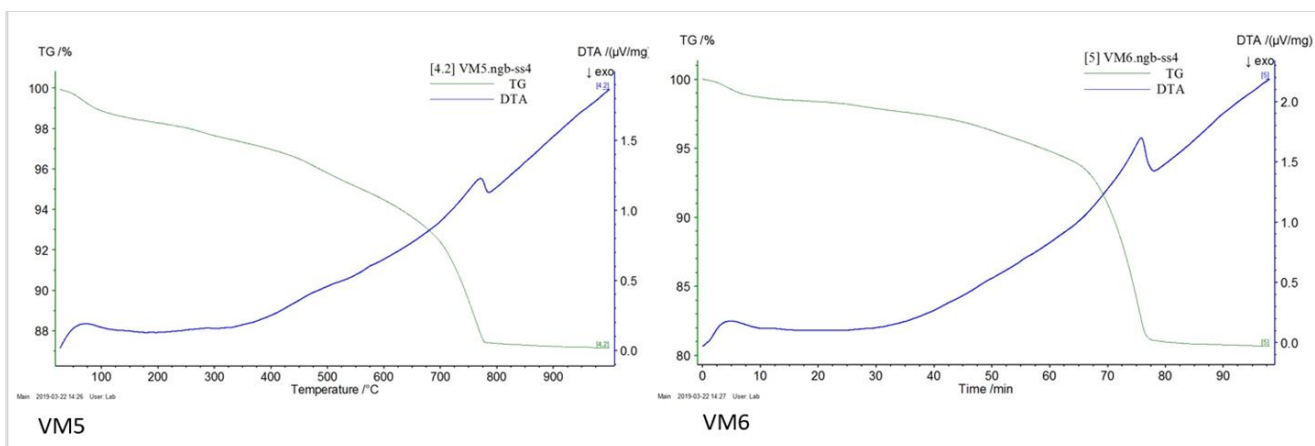
Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμικής ανάλυσης όπως μετρήθηκαν για τα δείγματα κονιαμάτων των Κελιών.



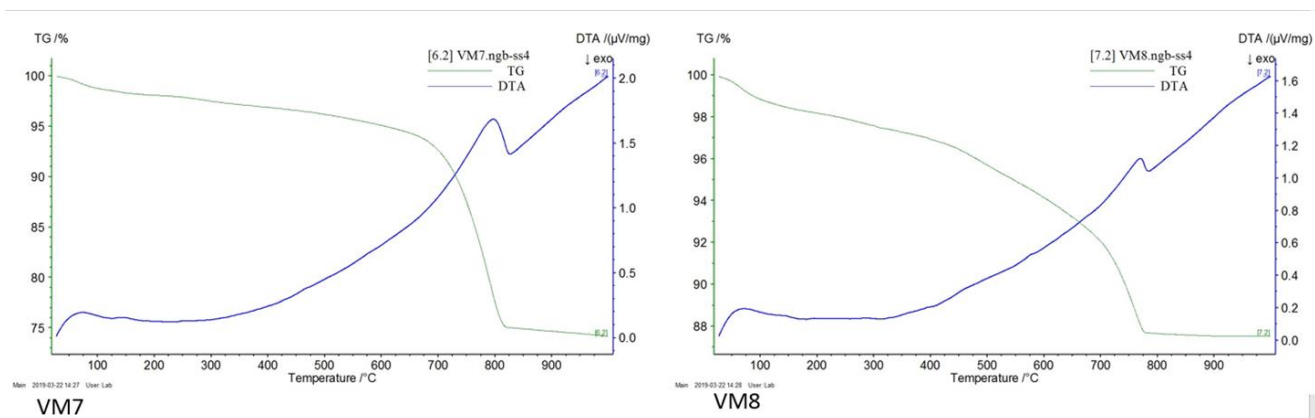
Εικόνα 4.51: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM1 και VM2 από τα Κελιά



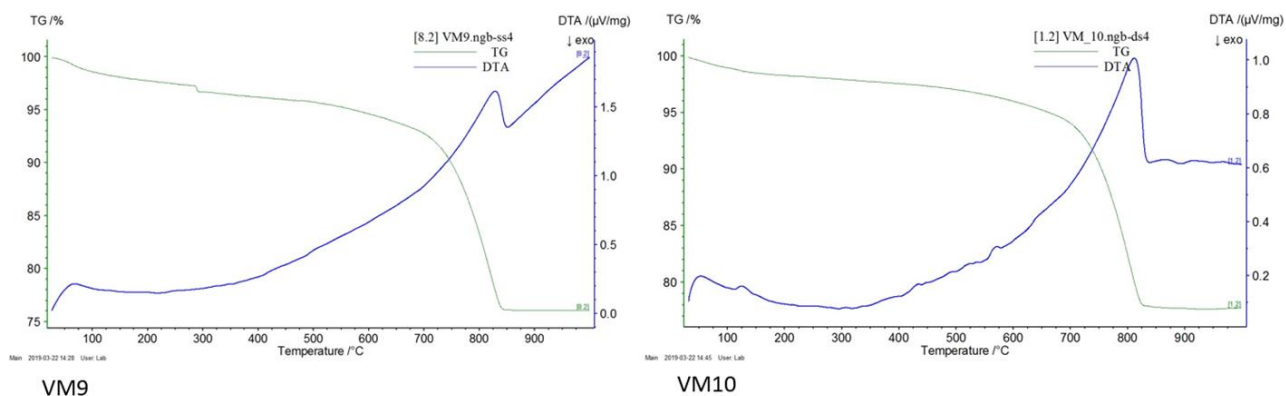
Εικόνα 4.52: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κοιναμάτων VM3 και VM4 από τα Κελιά



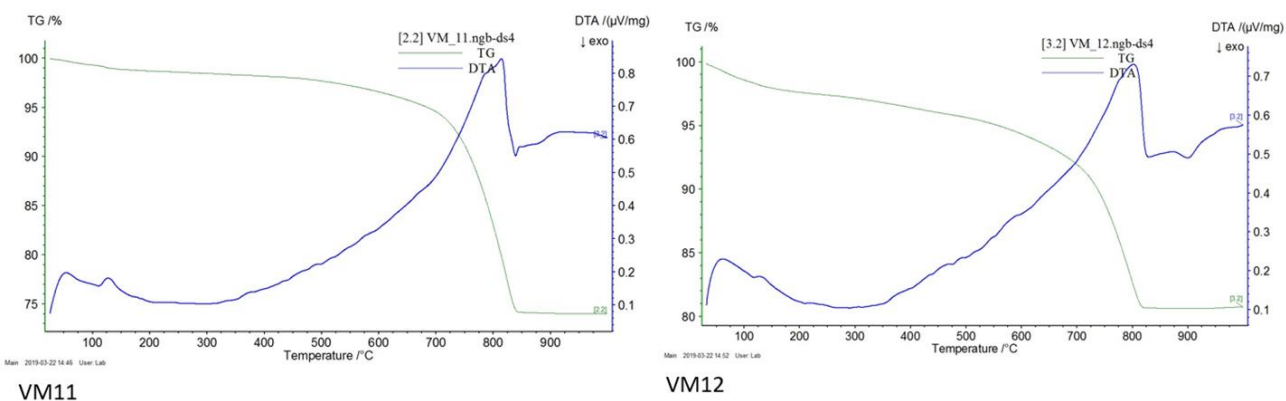
Εικόνα 4.53: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κοιναμάτων VM5 και VM6 από τα Κελιά



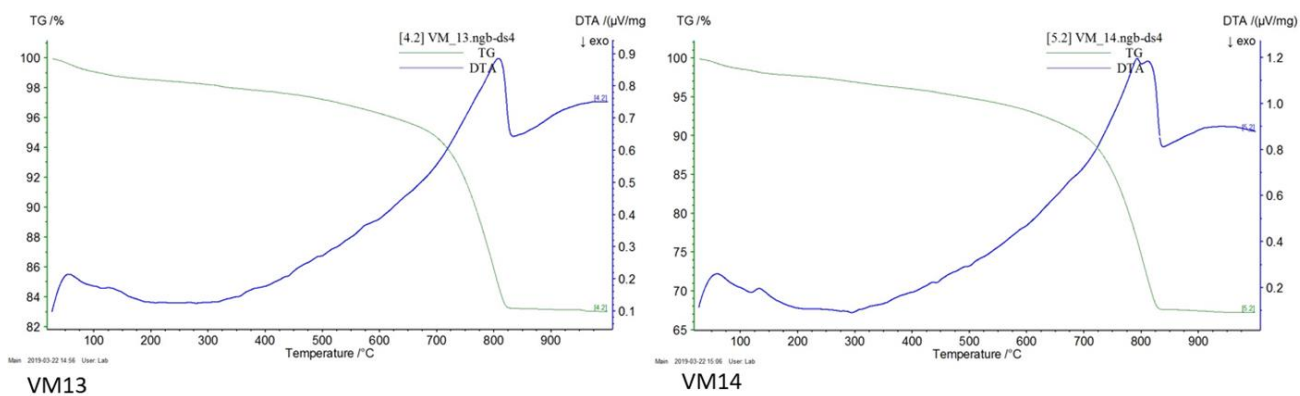
Εικόνα 4.54: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κοιναμάτων VM7 και VM8 από τα Κελιά



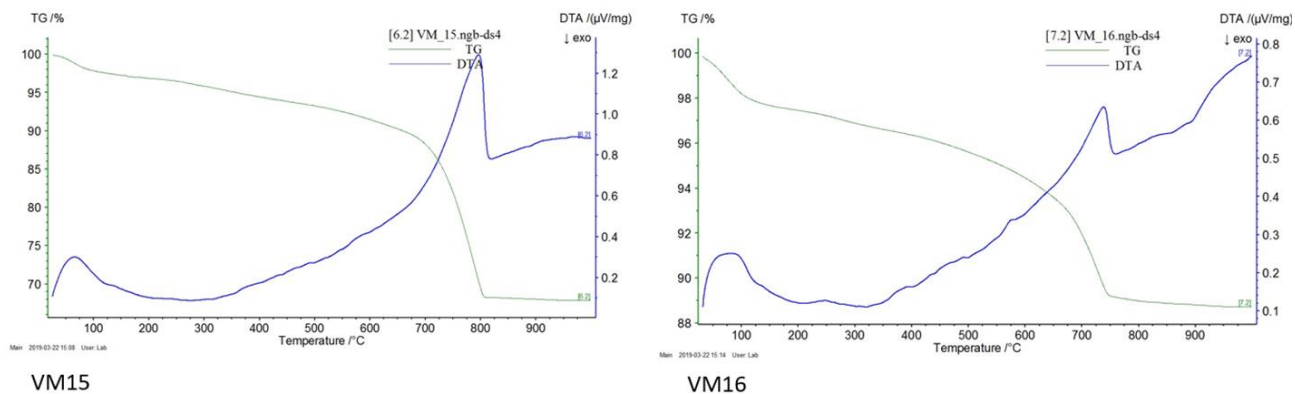
Εικόνα 4.55: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM9 και VM10 από τα Κελιά



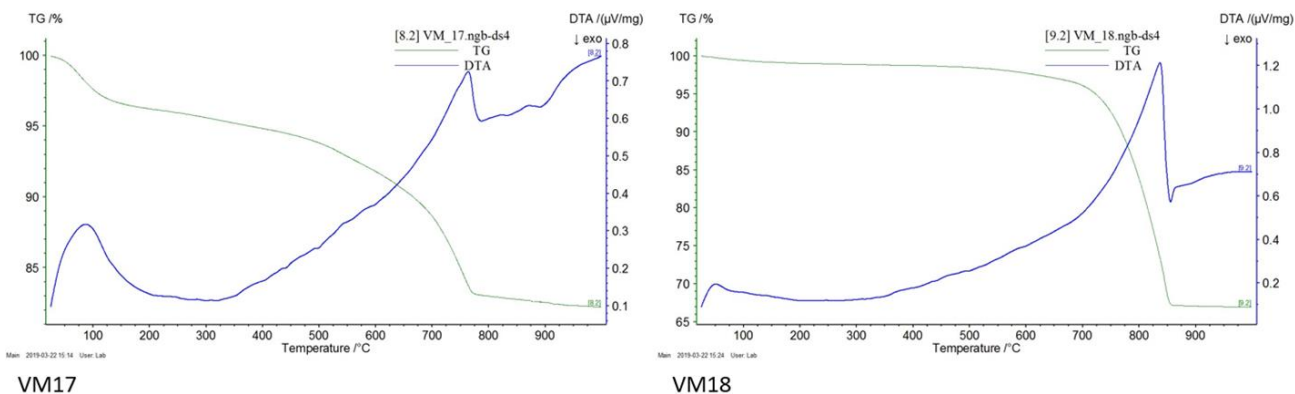
Εικόνα 4.56: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM11 και VM12 από τα Κελιά



Εικόνα 4.57: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM13 και VM14 από τα Κελιά



Εικόνα 4.58: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM15 και VM16 από τα Κελιά



Εικόνα 4.59: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης των κονιαμάτων VM17 και VM18 από τα Κελιά

4.5. Αποτελέσματα από τις Δοκιμές Εμβάπτισης

4.5.1. Δοκιμές Εμβάπτισης στους Λίθους

Σε επιλεγμένα δείγματα λίθων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ολικής εμβάπτισης στο νερό ώστε να προσδιοριστεί το ολικό ανοιχτό πορώδες (%) προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης. Παράλληλα, μέσω της δοκιμής, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της φαινόμενης πυκνότητας των επιλεγμένων δειγμάτων, αλλά και του ποσοστού απορρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτισης (WAC%). Τα δείγματα επιλέχθηκαν με κριτήριο την καταλληλόλητά τους για την εν λόγω μέτρηση, ήτοι γεωμετρία και μέγεθος δείγματος. Οι λίθοι που υποβλήθηκαν σε δοκιμές ολικής εμβάπτισης ήταν τα δείγματα V1 και V2, που αντιστοιχούν σε μη καμένο και καμένο πράσινο ψαμμίτη αντίστοιχα (ο δομικός λίθος που απαντάται με τη δεύτερη μεγαλύτερη συχνότητα στις ιστορικές τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών), τα δείγματα V6 και V8, που αντιστοιχούν στον μη καμένο και καμένο γκρίζο-μπεζ συμπαγή ασβεστόλιθο αντίστοιχα (ο δομικός λίθος από τον οποίο έχει χτιστεί εξολοκλήρου η νέα τοιχοποιία), ενώ δοκιμή ολικής εμβάπτισης πραγματοποιήθηκε και στον καμένο ιστορικό γκρίζο-μπεζ συμπαγή λίθο V7 (επηρεασμένος από τη φωτιά).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στο πίνακα.

Κωδικός δείγματος	Ολικό πορώδες (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)	W.A.C. (%)
V1	3,7	2,4	1,5
V2	6,1	2,2	2,8
V6	2,6	2,3	1,1
V7	2,9	2,1	1,4
V8	2,1	2,3	0,9

Πίνακας 4.14: Αποτελέσματα δοκιμής ολικής εμβάπτισης στους δομικούς λίθους των Κελιών της IM Βαρνάκοβας

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του επηρεασμένου από τη φωτιά πράσινου ψαμμίτη, παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του μη επηρεασμένου από τη φωτιά ψαμμίτη, επιβεβαιώνοντας την μακροσκοπική, μικροσκοπική και πετρογραφική μελέτη των εν λόγω δειγμάτων. Συγκεκριμένα το ολικό πορώδες του δομικού λίθου φαίνεται να αυξάνεται κατά 65% λόγω της επίδρασης της φωτιάς, υποδεικνύοντας τη δημιουργία νέων πόρων και μικρορηγματώσεων. Αυτή η διαφοροποίηση είναι σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα της θερμικής ανάλυσης, όπου φαίνεται μεγάλη διαφοροποίηση στο ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου (συνδετική ύλη λίθου) ανάμεσα σε επηρεασμένο και μη επηρεασμένο από τη φωτιά δείγμα ψαμμίτη. Η φαινόμενη πυκνότητα μειώνεται από 2,4 g/cm³ σε 2,2 g/cm³ εξαιτίας της αύξησης του πορώδους και μεταβολών που λαμβάνουν χώρα σε επίπεδο ορυκτολογικό και χημικής σύστασης. Το ποσοστό απορρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτισης αυξάνεται στον λίθο που έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά, προφανώς λόγω του μεγαλύτερου πορώδους που έχει αναπτυχθεί. Η αυξημένη τάση απορρόφησης νερού του καμένου δείγματος σε σχέση με το μη καμένο δείγμα επιβεβαιώνεται και από το αυξημένο ποσοστό φυσικά ροφημένου νερού του καμένου δείγματος, όπως υπέδειξε η θερμική ανάλυση (απώλεια μάζας στο θερμοκρασιακό διάστημα <120°C).

Ο γκρίζος-μπεζ συμπαγής ασβεστόλιθος φαίνεται να έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά σε πολύ μικρότερο βαθμό. Το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης του καμένου

λίθου της νέας τοιχοποιίας, V6, εκτιμήθηκε στο 2,1%, το οποίο είναι εξαιρετικά κοντά στο ολικό πορώδες που εκτιμήθηκε για τον μη καμένο λίθο της νέας τοιχοποιίας, V8, το οποίο εκτιμήθηκε στο 2,6%. Η φαινόμενη πυκνότητα των προαναφερθέντων δειγμάτων είναι πανομοιότυπη, $2,3 \text{ g/cm}^3$, ενώ και τα ποσοστά απορρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτισης υπολογίστηκαν σε εξαιρετικά κοντινές τιμές. Ο καμένος συμπαγής λίθος V7 από την ιστορική τοιχοποιία παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με τα δυο προαναφερθέντα δείγματα, το οποίο ήταν αναμενόμενο καθώς πρόκειται για τον ίδιο λιθότυπο, από άλλη περίοδο (και πιθανότατα περιοχή) λατόμησης. Το ελάχιστο αυξημένο πορώδες αυτού του λίθου μπορεί να αποδοθεί στην φυσική γήρανση του δομικού λίθου σε συνδυασμό με την επίδραση της φωτιάς, καθώς ελήφθη από την ιστορική (πρώτη) φάση του μνημείου. Στους ίδιους παράγοντες πιθανότατα αποδίδονται και η ελαφρώς μικρότερη φαινόμενη πυκνότητα που εμφανίζει ο V7 σε σχέση με την φαινόμενη πυκνότητα του V6, V8 ($2,1 \text{ g/cm}^3$ σε σχέση με $2,3 \text{ g/cm}^3$) που εμφανίζει ο λίθος της νέας τοιχοποιίας, και το χαμηλότερο ποσοστό ροφημένου νερού μέσω ολικής εμβάπτισης (1,4% σε σχέση με 0,9% που εμφανίζει ο καμένος λίθος V8).

4.5.2. Δοκιμές Εμβάπτισης στα Κονιάματα

Δοκιμές ολικής εμβάπτισης πραγματοποιήθηκαν και σε επιλεγμένα κονιάματα των τοιχοποιιών του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας. Επιλέχθηκαν τα δείγματα κονιαμάτων που παρουσίαζαν ικανοποιητική συνεκτικότητα, ώστε να είναι δυνατή η δοκιμή της ολικής εμβάπτισης και να εξαχθούν αντιπροσωπευτικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα μελετήθηκαν τα κονιάματα VM2, VM9 (τσιμεντιτικής υφής, καμένα) και το κονίαμα VM4 (πηλώδους υφής, καμένο). Τα αποτελέσματα παρατίθενται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα.

Κωδικός δείγματος	Ολικό πορώδες (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm^3)	W.A.C. (%)
VM2	17,00	1,45	14,33
VM4	31,18	1,63	25,38
VM9	22,00	1,34	17,15

Πίνακας 4.15: Αποτελέσματα δοκιμής ολικής εμβάπτισης στα κονιάματα των Κελιών της IM Βαρνάκοβας

Τα τσιμεντιτικά κονιάματα (VM4 και VM9) παρουσιάζουν σχετικά αυξημένο ολικό πορώδες για κονιάματα αυτής της κατηγορίας, ωστόσο αρκετά χαμηλό ώστε να πιστοποιείται το γεγονός ότι είναι κονιάματα με βάση το τσιμέντο. Οι αυξημένες σχετικά τιμές πορώδους (17% και 22% αντίστοιχα) πιθανότατα οφείλονται στην συμμετοχή ασβέστη στην παρασκευή του κονιάματος, μια σύνηθης πρακτική που μεταβάλλει ελαφρώς τα χαρακτηριστικά ενός τσιμεντοκονιάματος, σε συνδυασμό με την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών και την δημιουργία νέων πόρων λόγω φυσικοχημικών μεταβολών που υπέστη το κονίαμα, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη ότι οι υδραυλικές ενώσεις καταρρέουν στο θερμοκρασιακό διάστημα μέχρι 600°C . Το VM9 που είναι από περιοχή του κτηριακού συγκροτήματος που είχε πληγεί πιο έντονα από την πυρκαγιά σε σχέση με το VM2, παρουσιάζει σχετικά μεγαλύτερο πορώδες σε σχέση με το VM2 (22% σε σχέση με 17%),

χαμηλότερη φαινόμενη πυκνότητα ($1,34 \text{ g/cm}^3$ σε σχέση με $1,45 \text{ g/cm}^3$) και υψηλότερο ποσοστό ρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτυσης (17,15% σε σχέση με 14,33%).

Το κονίαμα πηλώδους υφής παρουσιάζει χαρακτηριστικά αναμενόμενα για πηλοκονίαμα, υψηλό ολικό πορώδες της τάξεως του 31,18% (εμφανώς υψηλότερο από το πορώδες των τσιμεντιτικών κονιαμάτων) και ποσοστό ροφημένου νερού 25,38% σε σχέση με 14,33% και 17,15% που εμφάνιζαν αντίστοιχα τα τσιμεντοκονιάματα. Η φαινόμενη πυκνότητα του πηλοκονιάματος VM4 παρουσιάζει τυπική τιμή για αυτήν την κατηγορία, της τάξεως του $1,63 \text{ g/cm}^3$, υποδεικνύοντας ότι το αργιλώδες ιστορικό κονίαμα δόμησης δεν επλήγη από τη φωτιά στον ίδιο βαθμό με το τσιμεντοκονίαμα, σε βαθμό ώστε να μεταβληθούν αισθητά τα φυσικοχημικά του χαρακτηριστικά. Μάλιστα, η μεγαλύτερη τιμή φαινόμενης πυκνότητας του πηλοκονιάματος σε σχέση με τα δυο τσιμεντιτικά κονιάματα, είναι ένδειξη της καταστροφικής επίδρασης της φωτιάς στα τσιμεντοκονιάματα.

Οι πράσινοι ψαμμίτες παρουσιάζουν έντονη διαφοροποίηση στα φυσικά τους χαρακτηριστικά λόγω της επίδρασης της φωτιάς, ενώ η ανάπτυξη των υψηλών θερμοκρασιών δεν φαίνεται να έχει επηρεάσει τους γκρίζους-μπεζ συμπαγείς ασβεστόλιθους στον ίδιο βαθμό. Ο ιστορικός συμπαγής ασβεστόλιθος παρουσιάζει απομειωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τον ίδιο λιθότυπο που υπάρχει στις νέες τοιχοποιίες. Η απομείωση αυτή αποδίδεται στην επίδραση της πυρκαγιάς, αλλά και στη φυσική γήρανση που έχει υποστεί το υλικό, καθώς προέρχεται από την ιστορική τοιχοποιία. Τα τσιμεντοκονιάματα πιθανότατα να ήταν μίξης τσιμέντου και αερικής άσβεστου. Τα κονιάματα αυτού του τύπου έχουν απωλέσει σε μεγάλο βαθμό τα φυσικά τους χαρακτηριστικά, λόγω της ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της φωτιάς, ενώ τα πηλοκονιάματα, λόγω των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών, αλλά και λόγω της θέσης τους σε βάθος της τοιχοποιίας, φαίνεται να είναι σε καλύτερη σχετικά κατάσταση διατήρησης.

4.6. Αποτελέσματα Μετρήσεων Ανίχνευσης Ολικών Διαλυτών Αλάτων

Ο προσδιορισμός των ολικών διαλυτών αλάτων των δειγμάτων των λίθων προσδιορίστηκε όπως αναφέρθηκε σύμφωνα με το πρότυπο Normal 13/83 και εφαρμόστηκε σε όλα τα δείγματα καθώς και σε μέρη αυτών.

4.6.1. Μετρήσεις στους Λίθους

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

Κωδικός δείγματος	TSS%
V1	2,0
V16	2,6
V2	1,7
V3	2,6
VU4B	5,7
V17	2,3
V4	0,4
VU5B	2,6
V5	2,2
V6	2,1
V8	2,4

V9 μπεζ μέρος	2,5
V10 μπεζ μέρος	2,3
V9 μαύρο μέρος	2,6
V10 μαύρο μέρος	2,1

Πίνακας 4.16: Ολικά διαλυτά άλατα και ποιοτική ανίχνευση στα δείγματα των λίθων

Όλα τα δείγματα λίθων παρουσιάζουν χαμηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων, κάτω του 3% που θεωρείται κρίσιμο κατώφλι τιμής για την επίδραση των διαλυτών αλάτων στα στοιχεία τοιχοποιίας, με εξαίρεση το δείγμα VU4B, το οποίο παρουσιάζει υψηλή τιμή διαλυτών αλάτων (5,7%).

Η επίδραση της φωτιάς δεν διαφοροποιεί τα προσδιοριζόμενα ποσοστά διαλυτών αλάτων. Πιθανώς αυτό μπορεί να αποδοθεί μερικώς στο γεγονός ότι οι εν λόγω εξεταζόμενοι λίθοι κατέρρευσαν από την τοιχοποιία μετά την πυρκαγιά και συνεπώς δεν υπόκεινται σε φαινόμενα τριχοειδούς αναρρίχησης και συσσώρευσης αλάτων από το υπέδαφος και τα γειτνιάζοντα υλικά της τοιχοποιίας (με εξαίρεση τα δείγματα V17, VU5B, VU4B). Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί ότι τα δείγματα V17 και VU5B, που έχουν ληφθεί από περιοχές της τοιχοποιίας που φαίνεται να μην έχει επηρεαστεί από τη φωτιά, παρουσιάζουν χαμηλές και μη κρίσιμες τιμές ολικών διαλυτών αλάτων. Η υψηλή τιμή ολικών διαλυτών αλάτων του δείγματος VU4B, που ελήφθη από τη βόρεια όψη της εξωτερικής τοιχοποιίας, υποδεικνύει ότι η συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να υπόκειται σε φαινόμενα τριχοειδούς αναρρίχησης από το υπέδαφος.

4.6.2. Μετρήσεις στα Κονιάματα, στα Επιχρίσματα και στα Σκυροδέματα

Τα αποτελέσματα των κονιαμάτων παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα :

Κωδικός δείγματος	TSS%
VM1	3,3
VM2	2,6
VM3	2,5
VM4	3,2
VM5	2,2
VM6	3,7
VM7	4,6
VM8	2,8
VM9	1,9
VM10	4,1
VM11	4,7
VM12	3,6
VM13	2,8
VM14	4,9
VM15	5,9
VM16	4,1
VM17	3,7
VM18	2,9

Πίνακας 4.17: Ολικά διαλυτά άλατα στα δείγματα των κονιαμάτων

Τα κονιάματα αργιλώδους υφής που προέρχονται από περιοχές της τοιχοποιίας που φαινομενικά δεν έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά (VM16, VM17), παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων πάνω από το κρίσιμο κατώφλι του 3%. Τα κονιάματα αργιλώδους υφής που έχουν ληφθεί από περιοχές της τοιχοποιίας επηρεασμένες από τη φωτιά (VM1, VM3, VM4, VM5, VM8), παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές από τα αντίστοιχα μη επηρεασμένα κονιάματα, ενώ μόνο τα δείγματα VM1 και VM4 ξεπερνούν την τιμή του 3%.

Τα τσιμεντιτικά κονιάματα αρμολόγησης που φαίνεται να μην έχουν επηρεαστεί από την πυρκαγιά (VM10, VM11) παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων (4,1 και 4,7 % αντίστοιχα). Αντίθετα, τα τσιμεντιτικά κονιάματα αρμολόγησης από περιοχές που έχουν επηρεαστεί από την πυρκαγιά (VM2, VM7, VM9, VM18) παρουσιάζουν τιμές χαμηλότερες του 3%, με εξαίρεση το δείγμα VM7.

Τα κονιάματα μικτής αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής (VM6, VM12, VM13), παρουσιάζουν υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων, άνω του 3%, εκτός από το VM13, το οποίο παρουσιάζει τιμή ολικών διαλυτών αλάτων ίση με 2.8%.

Τα κονιάματα VM14 και VM15, που εμφανίζουν διαφορετική υφή και μορφολογία από τα υπόλοιπα, παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων, 3,7 και 4,1% αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο ιστορικός λίθος που βρίσκεται πλησίως των εν λόγω κονιαμάτων παρουσιάζει χαμηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων, υποδεικνύεται ότι ίσως η υγρασία και τα διαλύματα διαλυτών αλάτων στην τοιχοποιία, άγονται προς τα κονιάματα δόμησης και αρμού.

Συνολικά, σε σχέση με τους λίθους, τα κονιάματα των τοιχοποιιών του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας, παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ολικών διαλυτών αλάτων σε σύγκριση με τα δείγματα των λιθοσωμάτων, ενώ σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνούν το κρίσιμο κατώφλι του 3%.

Το επίχρισμα των Κελιών (VP), που έχει ληφθεί από περιοχή της τοιχοποιίας επηρεασμένη από τη φωτιά, αποτελείται από τρία διακριτά στρώματα: το εξωτερικό στρώμα (VP1), το ενδιάμεσο στρώμα (VP2) και το εσωτερικό στρώμα (VP3). Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα ποσοστά διαλυτών αλάτων που εκτιμήθηκαν για το κάθε στρώμα του επιχρίσματος.

Κωδικός δείγματος	TSS%
VP1	4,1
VP2	2,8
VP3	3,2

Πίνακας 4.18: Ολικά διαλυτά άλατα στα δείγματα των τριών στρωμάτων του επιχρίσματος των Κελιών

Το εξωτερικό στρώμα παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή διαλυτών αλάτων σε σχέση με το ενδιάμεσο και το εσωτερικό στρώμα, με τιμή 4,1%, εμφανώς υψηλότερη από το κρίσιμο κατώφλι του 3%. Το εσωτερικό στρώμα, παρουσιάζει επίσης τιμή υψηλότερη του 3%, ωστόσο χαμηλότερη του εξωτερικού. Το ενδιάμεσο στρώμα εμφανίζει τιμή οριακά χαμηλότερη του 3% και τη χαμηλότερη τιμή των τριών στρωμάτων.

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται τα ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων που μετρήθηκαν στα δείγματα σκυροδεμάτων του πατώματος, των δοκών και του σενάζ των Κελιών, τα οποία είναι όλα επηρεασμένα από την πυρκαγιά.

Κωδικός δείγματος	TSS%
-------------------	------

VCC1	2,4
VCC2	2,3
VCC3	6,2
VCC4	2,9

Πίνακας 4.19: Ολικά διαλυτά άλατα στα δείγματα των σκυροδεμάτων των Κελιών

Όλα τα δείγματα των σκυροδεμάτων παρουσιάζουν χαμηλότερες του 3% τιμές ολικών διαλυτών αλάτων, εκτός από το δείγμα VCC3, το οποίο αντιστοιχεί σε σενάζ τοιχοποιίας και το οποίο παρουσιάζει τιμή 6.2%, υποδεικνύοντας την συσσώρευσης διαλυτών αλάτων στο άνω μέρος της τοιχοποιίας.

4.6.2. Μετρήσεις στους Οπτόπλινθους

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ολικών διαλυτών αλάτων στα δείγματα των ιστορικών πλίνθων που ελήφθησαν από τις τοιχοποιίες των Κελιών της IM Βαρνάκοβας.

Κωδικός δείγματος	TSS%
V14	9,0
V18	1,5
V19	0,7

Πίνακας 4.20 : Ολικά διαλυτά άλατα στα δείγματα των ιστορικών πλίνθων των Κελιών

Ο πλίνθος που ελήφθη από τη νότια όψη της εξωτερικής τοιχοποιίας (V14) εμφανίζει πολύ υψηλή ποσότητα ολικών διαλυτών αλάτων (9%), ενώ οι άλλοι δυο πλίνθοι που μελετήθηκαν παρουσιάζουν πολύ χαμηλά ποσοστά ολικών διαλυτών αλάτων, σαφώς κάτω από το όριο του 3%. Επιπροσθέτως, ο πλίνθος V19 που έχει επηρεαστεί από τη φωτιά, παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή τιμή ολικών διαλυτών αλάτων.

Η εξαιρετικά υψηλή τιμή ολικών διαλυτών αλάτων του πλίνθου V14 υποδεικνύει τη σημαντική παρουσία υγρασίας στη νότια όψη της εξωτερικής τοιχοποιίας, αποτέλεσμα που συνάδει με τα υψηλά ποσοστά διαλυτών αλάτων που μετρήθηκαν στο δείγμα του καφέ ψαμμίτη VU4B και των κονιαμάτων αργιλώδους υφής, VM16, VM17 που προέρχονται από την ίδια περιοχή δειγματοληψίας.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα δομικών υλικών των τοιχοποιιών των Κελιών της IM Βαρνάκοβας επηρεασμένων από τη φωτιά παρουσιάζουν χαμηλότερες (και ενίοτε ίσες) τιμές διαλυτών αλάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα δομικά υλικά που δεν είναι επηρεασμένα από τη φωτιά.

4.7. Αποτελέσματα των Μηχανικών Αντοχών

Οι λίθοι που απαντώνται πιο συχνά στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας είναι οι γκρίζοι-μπεζ βιομικρικοί ασβεστόλιθοι και οι πράσινοι ασβεστιτικοί ψαμμίτες. Στο πλαίσιο της μελέτης των μηχανικών ιδιοτήτων των παραπάνω λιθότυπων ελήφθησαν δυο δείγματα του βιομικρικού ασβεστόλιθου, καθώς και ένα δείγμα ασβεστιτικού ψαμμίτη επηρεασμένο από τη φωτιά.

Τα δείγματα του βιομικρικού ασβεστόλιθου που δεν είναι επηρεασμένα από τη φωτιά προέρχονται από λιθοσώματα που βρέθηκαν στον προαύλιο χώρο του Καθολικού. Όπως προκύπτει από την αντίστοιχη διαγνωστική μελέτη που αφορά στα δομικά υλικά του Καθολικού, η οποία και

παρουσιάζεται στην υπό εκπόνηση μεταπτυχιακή εργασία του Χ. Μιχάλαρου (ΔΠΜΣ Προστασία Μνημείων: Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης) [80], οι γκρίζοι-μπεζ βιομικριτικοί ασβεστόλιθοι των Κελιών είναι ίδιοι λίθοι με αυτούς των τοιχοποιιών του Καθολικού, καθώς και με τα λιθοσώματα του προαύλιου χώρου του. Συνεπώς, τα δείγματα του προαύλιου χώρου του Καθολικού των οποίων οι μηχανικές αντοχές μελετήθηκαν, μπορούν να αντιστοιχηθούν πλήρως με λιθοσώματα βιομικριτικού ασβεστόλιθου των Κελιών πριν την καταστροφική φωτιά. Τα δείγματα των δύο λιθότυπων διαμορφώθηκαν σε κυβικά δοκίμια για τη μελέτη της θλιπτικής αντοχής, καθώς και σε πρισματικά δοκίμια για τη μελέτη της καμπτικής τους αντοχής, ενώ σε κυλινδρικά δοκίμια για τη μελέτη της εφελκυστικής αντοχής διαμορφώθηκαν μόνο τα δείγματα του ασβεστόλιθου. Τα δείγματα περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα και παρουσιάζονται και στη αντίστοιχη υπό εκπόνηση Διδακτική Διατριβή του Β. Κεραμίδα [79]

Κωδικός δειγμάτων	Περιγραφή
Vi	Ιστορικός μπεζ βιομικριτικός ασβεστόλιθος, μη επηρεασμένος από τη φωτιά
Vw	Ιστορικός γκρίζος βιομικριτικός ασβεστόλιθος, μη επηρεασμένος από τη φωτιά
Vp	Ιστορικός πράσινος ασβεστιτικός ψαμμίτης, επηρεασμένος από τη φωτιά

Πίνακας 4.21: Κωδική ονομασία και περιγραφή τύπων λίθου

4.7.1. Δοκιμή θλιπτικής αντοχής σε κυβικά δοκίμια

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή θλιπτικής αντοχής στους 3 διαφορετικούς τύπους δοκιμίων (6 δείγματα από κάθε είδος λίθου) διαστάσεων 5cmx5cmx5cm με στόχο τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής τους. Το πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση είναι το EN 1926:2006.

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή θλιπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	166,31±26,92
Vw	98,00±39,80
Vp	95,20±16,17

Πίνακας 4.22 : Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της θλιπτικής αντοχής των δειγμάτων [79]

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

Ο ασβεστιτικός ψαμμίτης παρουσιάζει σχετικά υψηλές τιμές θλιπτικής αντοχής αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι μετρήθηκαν δείγματα που έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά. Βέβαια, η σχετικά υψηλή διασπορά των τιμών της θλιπτικής αντοχής πιθανά υποδηλώνει την καταστροφική επίδραση της πυρκαγιάς στο εν λόγω λιθότυπο. [79]

4.7.2. Δοκιμή αντιδιαμετρικής θλίψης δίσκων σε κυλινδρικά δοκίμια - (Brazilian test)

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

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

Πίνακας 4.23 : Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της εφελκυστικής αντοχής του κυλινδρικού δοκιμίου [79]

4.7.3. Δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα δοκίμια

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή μηχανικής αντοχής σε κάμψη στους δύο διαφορετικών αποχρώσεων ιστορικούς βιομικρικούς ασβεστόλιθους, καθώς και σε επηρεασμένο από τη φωτιά ασβεστιτικό ψαμμίτη (6 δοκίμια από κάθε δείγμα) διαστάσεων 5cmx5cmx30cm με στόχο τον προσδιορισμό της καμπτικής αντοχής τους. [79]

Κωδικός δειγμάτων	Μέση τιμή καμπτικής αντοχής και τυπική απόκλιση (Μρα)
Vi	22,29±9,92
Vw	20,48±5,03
Vp	7,18±7,49

Πίνακας 4.24: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της καμπτικής αντοχής των δειγμάτων [79]

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

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

Επιπλέον, η τιμή καμπτικής αντοχής του επηρεασμένου από τη φωτιά ψαμμίτη σε συνδυασμό με την πολύ μεγάλη τυπική απόκλιση, η οποία υπερβαίνει την καταγραφόμενη μέση τιμή, αποτυπώνει την καταστροφική επίδραση της πυρκαγιάς στο εν λόγω λιθότυπο.

4.8. Αποτελέσματα μετρήσεων Κρουσιμέτρησης (SHR)

Οι δοκιμές κρουσιμέτρησης σφύρας Schmidt (SHR) διεξήχθησαν σε διάφορους λιθότυπους και σε διάφορες περιοχές των κελιών της Ι. Μονής Βαρνάκοβας με σκοπό την αξιολόγηση της επιφανειακής σκληρότητας των διαφόρων λιθότυπων, καθώς και την επίδραση των παραγόντων

της πυρκαγιάς. Σε κάθε εξεταζόμενο οικοδομικό υλικό πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον 10 μετρήσεις. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με το κρουσίμετρο σε κάθετη θέση ως προς την εξεταζόμενη επιφάνεια.

Περιοχή 1: Η περιοχή 1 βρίσκεται στην πρόσοψη των Κελιών δίπλα την είσοδο της Μονής και δομείται κυρίως από τον μπεζ-γκρίζο ασβεστόλιθο, πράσινο ψαμμίτη και καφέ ψαμμίτη. Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις αναπήδησης με το κρουσίμετρο παρουσιάζονται στον Πίνακα. Όπως αναφέρθηκε ήδη, αυτό το τμήμα της τοιχοποιίας ανήκει στην ιστορική φάση του 1831-1838 και είναι φαινομενικά ανεπηρέαστο από τη φωτιά.



Εικόνα 4.60: Περιοχή 1: Πρόσοψη των κελιών, δίπλα στην είσοδο της Μονής στην περιοχή (ιστορική τοιχοποιία, δυτική όψη). Οι κουκίδες και η αρίθμηση υποδεικνύουν τα λιθοσώματα πού εκτελέστηκαν οι μετρήσεις SHR.

Περιοχή 1	
Λιθότυποι	Μέση τιμή αναπήδησης ± Τυπική απόκλιση
1.Μπεζ – Γκρίζος Ασβεστόλιθος	51,04±1,97

2. Πράσινος Ψαμμίτης	43,96±3,14
3. Πυριτόλιθος - Μαύρο έγκλεισμα ασβεστόλιθου	56,92±4,72
4. Διζωνικός Ασβεστόλιθος 4a. Μαύρο έγκλεισμα 4b. Μπεζ ασβεστολιθική ζώνη	47,58±14,20 50,08±5,22
5. Καφέ Ψαμμίτης	36,69±1,46

Πίνακας 4.25: Τιμές αναπήδησης της σφύρας Schmidt περιοχής 1.

Όπως παρουσιάζεται στο πίνακα, η υψηλότερη τιμή αναπήδησης της σφύρας αντιστοιχεί στο μαύρο έγκλεισμα, δηλαδή στο έγκλεισμα πυριτόλιθου στον βιομικρικό συμπαγή ασβεστόλιθο (Πίνακας 4.25, θέση 3). Ο γκριζο-μπεζ ασβεστόλιθος (Πίνακας 4.25, θέση 1) παρουσιάζει υψηλότερες τιμές δείκτη σκληρότητας επιφάνειας από τους ψαμμίτες πράσινο (Πίνακας 4.25, θέση 2) και καφέ (Πίνακας 4.25, θέση 5) που εξετάστηκαν.

Περιοχή 2: Η ανατολική όψη της ενδιάμεσης ιστορικής τοιχοποιίας διερευνήθηκε αφού χωρίστηκε ανά ύψος σε δύο περιοχές: κάτω από 50cm και πάνω από 1 μέτρο). Η περιοχή αυτή επηρεάστηκε άμεσα από τη φωτιά.



Εικόνα 4.61: Περιοχή 2: Ενδιάμεση τοιχοποιία των κελιών (ιστορικό τείχος, ανατολική όψη). Οι κουκίδες και η αρίθμηση υποδεικνύουν τις περιοχές στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις SHR: (α) Τρεις υποπεριοχές που εξετάστηκαν κάτω από 50 cm. β) Δύο υποπεριοχές που εξετάστηκαν παραπάνω από 1 m. (γ) Ο εξεταζόμενος ψαμμίτης που έχει επηρεαστεί από τη φωτιά σε ενδιάμεσο ύψος μεταξύ 50cm και 1m. Οι κουκίδες και η αρίθμηση υποδεικνύουν τα λιθοσώματα που εκτελέστηκαν οι μετρήσεις SHR

Περιοχή 2 – κάτω από τα 50 cm ύψος	
Λιθότυποι	Μέση τιμή τιμών αναπήδησης ± Τυπική απόκλιση
1. Πράσινοι Ψαμμίτης	42,14±2,67

2. Μαύρο έγκλεισμα σε ασβεστόλιθο	30,00±3,96
3. Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	15,79±1,95
Περιοχή 2 – πάνω από το 1 m ύψος	
4. Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	17,14±1,52
5. Πράσινος Ψαμμίτης	36,87±2,54
Περιοχή 2 – μεταξύ 50cm – 1m	
6. Πράσινος Ψαμμίτης	25,83±5,29

Πίνακας 4.26: Τιμές αναπήδησης της σφύρας Schmidt περιοχής 2.

Το μαύρο έγκλεισμα του πυριτόλιθου στον μπεζ γκρίζο ασβεστόλιθο, παρόλο που μακροσκοπικά φαινόταν λιγότερο επηρεασμένο από την πυρκαγιά, παρουσίασε μείωση της τιμής αναπήδησης σχεδόν 50% σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή του από την τοιχοποιία της περιοχής 1 που δεν επηρεάστηκε από την πυρκαγιά. Και στις δύο ζώνες, ο μπεζ-γκρίζος ασβεστόλιθος εμφανίζει τις χαμηλότερες τιμές αναπήδησης σε σύγκριση με τον πράσινο ψαμμίτη, γεγονός που υποδηλώνει υψηλότερο βαθμό φθοράς του λόγω της πυρκαγιάς, τουλάχιστον στην εξωτερική του στοιβάδα.

Οι χαμηλότερες τιμές αναπήδησης για τον ψαμμίτη που καταγράφηκαν στην ενδιάμεση τοιχοποιία βρίσκονται στην υποπεριοχή μεταξύ 50cm και 1m, υποδεικνύοντας ότι πρόκειται για μια περιοχή που επηρεάστηκε έντονα από τη φωτιά.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές αναπήδησης από τις περιοχές 1 και 2 (μη επηρεασμένη και επηρεασμένη από τη φωτιά τοιχοποιία), καθώς και τα ποσοστά μεταβολής τους για κάθε λιθότυπο.

Λιθότυπος	Τιμές αναπήδησης από λιθότυπο μη επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 1	Τιμές αναπήδησης από λιθότυπο επηρεασμένο από τη φωτιά –Περιοχή 2	Ποσοστό μεταβολής (%)
Πράσινος ψαμμίτης	43,96	42,14 - (θέση 1)*	-4,14
Πράσινος ψαμμίτης	43,96	36,87 - (θέση 5)*	-16,13
Πράσινος ψαμμίτης	43,96	25,83 - (θέση 6)*	-41,24
Μαύρος Πυριτόλιθος	56,92	30,00	-47,29
Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	51,04	15,79 - (θέση 3)*	-69,06
Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	51,04	17,14 - (θέση 4)*	-66,92

Πίνακας 4.27: Συγκριτικός Πίνακας τιμών αναπήδησης διαφορετικών λιθότυπων και ποσοστά μεταβολής (το * υποδηλώνει τη θέση της μέτρησης στη περιοχή)

Από τα ποσοστά μεταβολής για τον πράσινο ψαμμίτη από την περιοχή 1 που δεν είναι επηρεασμένη από τη φωτιά σε σύγκριση με τα δείγματα των πράσινων ψαμμιτών που μετρήθηκαν

από τη μεσοτοιχία που είναι επηρεασμένη από τη φωτιά, αρχικά στην περιοχή κάτω από τα 50cm παρατηρείται μείωση περίπου 4% των τιμών αναπήδησης από τις μετρήσεις του κρουσίμετρου (εικόνα 4.61α, θέση 1) όπως και μείωση σχεδόν 17% σε ύψος πάνω από 1m στη μεσοτοιχία (εικόνα 4.61β, θέση 5). Η μεγαλύτερη μείωση του ποσοστού των τιμών αναπήδησης στις μετρήσεις για την επιφανειακή σκληρότητα του πράσινου ψαμμίτη εμφανίζεται στην ενδιάμεση περιοχή της υπό εξέταση τοιχοποιίας (μεταξύ των 50cm και του ενός μέτρου από το έδαφος) με ποσοστό σχεδόν 41% (Εικόνα 4.61γ, θέση 6).

Από τις μετρήσεις αυτές φαίνεται ότι η επίδραση της πυρκαγιάς ήταν μεγαλύτερη στην περιοχή αυτή της τοιχοποιίας (μεταξύ 50cm και ενός μέτρου από το έδαφος), τουλάχιστον σε ότι αφορά τον πράσινο ψαμμίτη, αφού εκεί λαμβάνει χώρα η μεγαλύτερη απομείωση της ιδιότητας της επιφανειακής σκληρότητας του.

Για τον μπεζ γκρίζο βιομικριτικό ασβεστόλιθο τα ποσοστά μεταβολής των τιμών της κρουσιμέτρησης σε λιθοσώματα επηρεασμένα και μη επηρεασμένα από την πυρκαγιά είναι αρκετά υψηλά. Ανεξαρτήτως του ύψους των υπό εξέταση λιθοσωμάτων (κάτω από τα 50cm από το έδαφος, Εικόνα 4.61α, θέση 3, ή και πάνω από 1m, Εικόνα 4.61β, θέση 4) το ποσοστό μεταβολής είναι μεγαλύτερο του 66% και στις δύο περιπτώσεις (69%, ~67%, αντιστοίχως), υποδεικνύοντας μεγάλη επίδραση της φωτιάς σε αυτόν τον λιθότυπο.

Συνεπώς, παρατηρείται παρόμοια απομείωση της ιδιότητας της επιφανειακής σκληρότητας του μπεζ γκρίζου βιομικριτικού ασβεστόλιθου και στις δύο θέσεις με ελάχιστη αυξημένη την επίδραση της πυρκαγιάς στη περιοχή μετρήσεων κάτω από τα 50cm.

Περιοχή 3: Η επιχρισμένη νοτιοδυτική όψη της ενδιάμεσης τοιχοποιίας είχε επίσης επηρεαστεί από τη φωτιά. Το επίχρισμα στην περιοχή αυτή έχει συνολικό πάχος που κυμαίνεται από 3,5 cm (παχύτερο στη δυτική πλευρά) έως 2cm (λεπτότερο στη νότια πλευρά). Οι δοκιμές SHR πραγματοποιήθηκαν και στις δύο πλευρές των λιθοσωμάτων (δυτική και νότια πλευρά) μετά την πλήρη απομάκρυνση του επιχρίσματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.28.



Εικόνα 4.62: Περιοχή 3: Νοτιοδυτική όψη της ενδιάμεσης τοιχοποιίας. Η περιοχή εξετάστηκε μετά την αφαίρεση του επιχρίσματος. (α) Νότια όψη της ενδιάμεσης τοιχοποιίας. (β) Δυτική όψη της ενδιάμεσης τοιχοποιίας. Η αρίθμηση δείχνει τους γωνιακούς λίθους που εξετάζονται από το SHR από τα νότια προς τα δυτικά.

Περιοχή 3	
Λιθότυποι	Μέση τιμή αναπήδησης ± Τυπική απόκλιση
1. Πράσινος Ψαμμίτης	47,35±1,33
2. Πράσινος Ψαμμίτης	34,57±4,02
3. Μπεζ – Γκρίζος Ασβεστόλιθος	42,5±5,62
4. Μπεζ – Γκρίζος Ασβεστόλιθος	46,16±4,69

Πίνακας 4.28: Τιμές αναπήδησης της σφύρας Schmidt περιοχής 3.

Οι υψηλότερες τιμές αναπήδησης μετρήθηκαν στα σημεία του λίθου που ήταν καλυμμένα από το παχύτερο στρώμα επιχρίσματος, στη δυτική πλευρά του λίθου (Εικόνα 4.62β). Αυτό μπορεί να υποδεικνύει αυξημένη προστατευτική λειτουργία του παχύτερου στρώματος επιχρίσματος στην τοιχοποιία.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές αναπήδησης από τις περιοχές 1 και 3 (μη επηρεασμένη και επηρεασμένη από τη φωτιά τοιχοποιία παρουσία επιχρίσματος), καθώς και τα ποσοστά μεταβολής τους για κάθε λιθότυπο.

Λιθότυπος	Τιμές αναπήδησης από λιθότυπο μη επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 1	Τιμές αναπήδησης από λιθότυπο επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 3	Ποσοστό μεταβολής (%)
Πράσινος ψαμμίτης	43,96	47,35 - (θέση 1)*	7,71%
Πράσινος ψαμμίτης	43,96	34,57 - (θέση 2)*	-21,36%
Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	51,04	42,5 - (θέση 3)*	-17,64%
Μπεζ γκρίζος ασβεστόλιθος	51,04	46,16 - (θέση 4)*	-10,54%

Πίνακας 4.29: Συγκριτικός Πίνακας τιμών αναπήδησης διαφορετικών λιθότυπων και ποσοστά μεταβολής (το * υποδηλώνει τη θέση της μέτρησης στη περιοχή)

Στη περίπτωση του πράσινου ψαμμίτη παρατηρείται αύξηση των τιμών αναπήδησης, (περίπου 8% - θέση 1) σε σχέση με αυτές της περιοχής 1, υποδεικνύοντας ότι αυτό, το προστατευμένο από το

επίχρισμα, λιθόσωμα δεν επηρεάστηκε από την πυρκαγιά. Αντίθετα, το λιθόσωμα του πράσινου ψαμμίτη της θέσης 2 παρουσιάζει μείωση στις τιμές αναπήδησης περίπου 21%, σε σχέση με αυτές της περιοχής 1, δείχνοντας ότι το συγκεκριμένο λιθόσωμα έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά. Παράλληλα, είναι εμφανές ότι η μείωση της τιμής αναπήδησης αυτού του λιθοσώματος είναι αντίστοιχη τάξης με αυτή της θέσης 5 της περιοχής 2.

Η μείωση της τιμής αναπήδησης SHR για τον μπεζ-γκρίζο ασβεστόλιθο είναι μικρότερη (θέσεις 3 και 4, περιοχής 3) σε σύγκριση με την μείωση που εμφάνισε στην ανατολική όψη της ενδιάμεσης τοιχοποιίας(θέσεις 3 και 4, περιοχής 2) η οποία δεν είχε επίχρισμα. Παράλληλα, είναι εμφανές ότι οι τιμές αναπήδησης μπεζ-γκρίζου ασβεστόλιθου μειώνονται, αν και σε σχετικά μικρό βαθμό, σε σχέση με αυτές της περιοχής 1 (που δεν έχει επηρεαστεί από τη φωτιά), υποδεικνύοντας ότι το επίχρισμα λειτούργησε προστατευτικά σε ότι αφορά την επίδραση τις φωτιάς.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι τα λιθοσώματα τα οποία είναι επιχρισμένα έχουν επηρεαστεί λιγότερο από τη φωτιά, σε σχέση με αυτά που δεν έφεραν επίχρισμα στην επιφάνειά τους (π.χ. περιοχή 2).

Περιοχή 4 : Η παρακάτω περιοχή εξέτασης είναι η νέα τοιχοποιία, (πρόσοψη Κελιών προς την εσωτερική αυλή του Καθολικού), η οποία είναι φαινομενικά ανεπηρέαστη από τη πυρκαγιά και η οποία δομείται αποκλειστικά από νέο γκρίζος βιομικρικό ασβεστόλιθο.



Εικόνα 4.63 : Νέα τοιχοποιία στο μεσαίο τμήμα των κελιών. Υπόδειξη σημείου μέτρησης περιοχής 4

Περιοχή 4

Λιθότυποι	Μέση τιμή τιμών αναπήδησης ± Τυπική απόκλιση
Νέος Γκρίζος ασβεστόλιθος	51,6±3,46

Πίνακας 4.30: Μετρήσεων της εξεταζόμενης περιοχής 4

Όπως παρατηρείται, οι τιμές αναπήδησης του νέου γκρίζου ασβεστόλιθου είναι αρκετά υψηλές και παρόμοιες με αυτές του ιστορικού γκρίζου ασβεστόλιθου της περιοχής 1 (Πίνακας 4.25), γεγονός που επιβεβαιώνει τη μακροσκοπική παρατήρηση ότι η ανατολική όψη της νέας τοιχοποιίας δεν έχει επηρεαστεί από την πυρκαγιά.

Τιμές αναπήδησης από Νέο γκρίζο ασβεστόλιθο μη επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 4	Τιμές αναπήδησης από Ιστορικό Μπεζ γκρίζο ασβεστόλιθο μη επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 1	Ποσοστό μεταβολής (%)
51,6	51,04 - (θέση 1)*	1,10%

Πίνακας 4.31: Σύγκριση τιμών αναπήδησης νέου και ιστορικού γκρίζου ασβεστόλιθου

Από τη σύγκριση του νέου γκρίζου ασβεστόλιθου με τον ιστορικό γκρίζο ασβεστόλιθο, και τα δύο από περιοχές που δεν επηρεάστηκαν από τη πυρκαγιά βλέπουμε μικρή διαφορά στο ποσοστό μεταβολής των τιμών αναπήδησης που είναι 1%. Συνεπώς, η επιφανειακή σκληρότητα των δυο λιθότυπων είναι παρόμοια.

Περιοχή 5: Προκειμένου να εκτιμηθεί περαιτέρω ο αντίκτυπος της πυρκαγιάς επί του νέου γκρίζου συμπαγούς ασβεστόλιθου, εξετάστηκε πλευρά πεσσού της νέας τοιχοποιίας (βόρεια πρόσοψη, από το εσωτερικό προς το εξωτερικό) (Σχήμα 4.64), όπου βάσει μακροσκοπικών παρατηρήσεων προκύπτει ζώνη λιθοσωμάτων επηρεασμένων από την πυρκαγιά (προς το εσωτερικό του κτηρίου) και ζώνη λιθοσωμάτων μη επηρεασμένων από την πυρκαγιά (προς το εξωτερικό του κτηρίου).

Η πυρκαγιά του 2017 φαίνεται να κράτησε άθικτη την ανατολική όψη της τοιχοποιίας, (εκείνη που βλέπει στην αυλή), ενώ παρατηρείται έντονη επίδραση της φωτιάς στην εσωτερική (δυτική) όψη, όπως αποχρωματισμός, απολέπιση και αποκόλληση τμημάτων των λίθων.

Η εξεταζόμενη περιοχή, που απεικονίζεται στην Εικόνα..., χωρίστηκε σε ζώνες για τις μετρήσεις SHR που πραγματοποιήθηκαν:

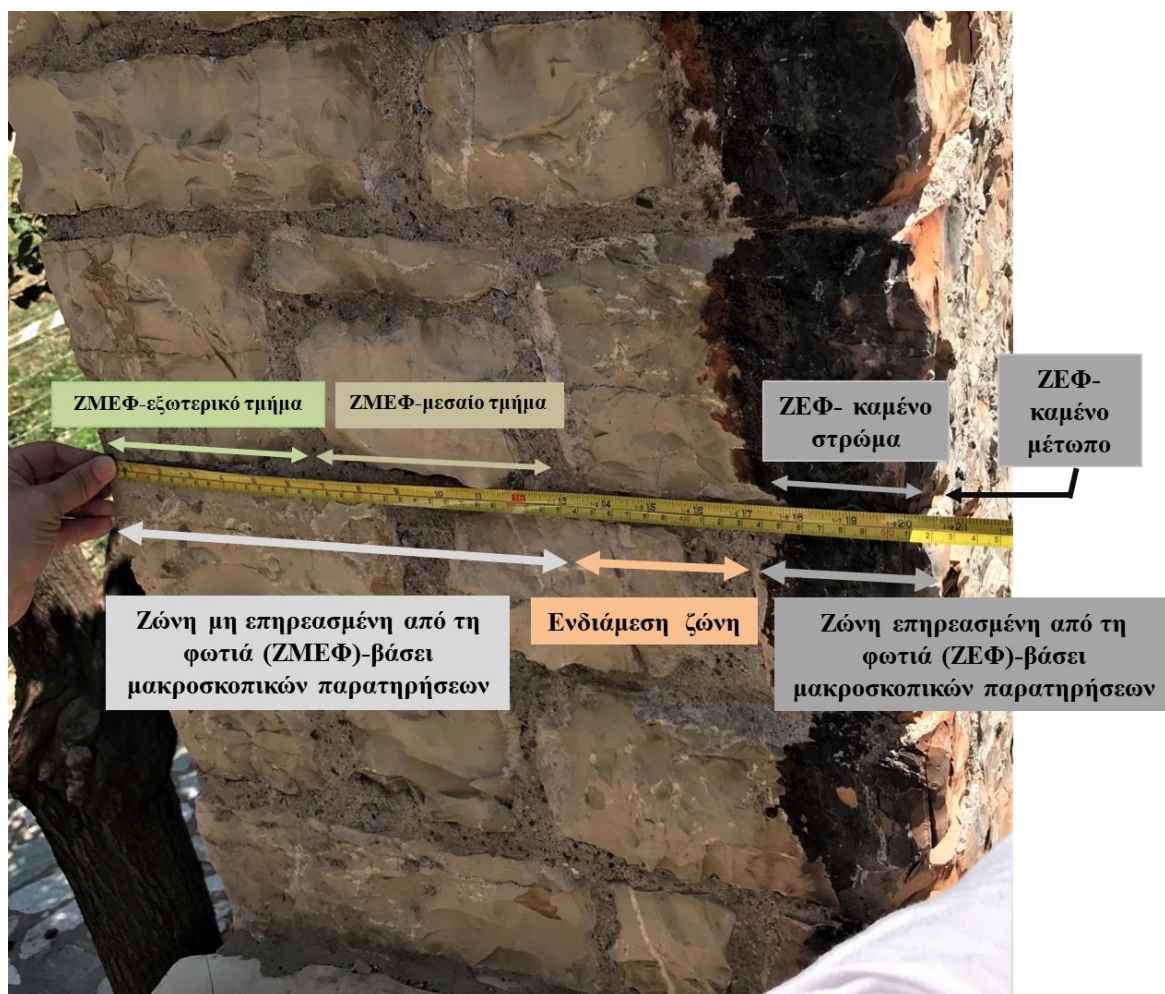
A) Σε ζώνη επηρεασμένη από τη φωτιά (ΖΕΦ), συνολικού μήκους περίπου 8εκ., όπου αποτελείται από καμένο μέτωπο και καμένο στρώμα

B) Σε ζώνη μη επηρεασμένη από τη φωτιά (ΖΜΕΦ), η οποία αποτελείται από το εξωτερικό και το μεσαίο τμήμα, καθώς και

Γ) σε ζώνη ανάμεσα στις δύο προηγούμενες – Ενδιάμεση Ζώνη μήκους ~ 10 εκ.

Το συνολικό πλάτος του εξεταζόμενου τμήματος είναι 51 εκ., και 60 εκ. καθ' ύψος (ύψος έξι λιθοσωμάτων).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα.



Εικόνα 4.64 : Νέα τοιχοποιία (βόρεια όψη). Πεσσός από νέο γκρίζο ασβεστόλιθο. Οι περιοχές που εξετάστηκαν από το SHR εμφανίζονται με επισήμανση.

Περιοχή 5	
Ζώνες επίδρασης της πυρκαγιάς	Μέση τιμή ± Τυπική απόκλιση
Ζώνη επηρεασμένη από τη φωτιά (ZΕΦ)	
Καμένο μέτωπο - ZΕΦ	23.86±1.95
Καμένο στρώμα - ZΕΦ	32.57±1.99
Ενδιάμεση ζώνη	
Ενδιάμεση ζώνη	48.93±3.67

Ζώνη μη επηρεασμένη από τη φωτιά (ZMEΦ)	
Μεσαίο τμήμα - ZMEΦ	50.25±4.80
Εξωτερικό τμήμα - ZMEΦ	57.14±3.38

Πίνακας 4.32: Πίνακας Μετρήσεων της εξεταζόμενης περιοχής 5

Οι τιμές αναπήδησης της επηρεασμένης από τη φωτιά ζώνης (ZEΦ) είναι αρκετά χαμηλότερες σε σύγκριση με αυτές της ενδιάμεσης ζώνης, καθώς και της ζώνης που μακροσκοπικά χαρακτηρίζεται ως μη επηρεασμένη (ZMEΦ). Οι τιμές αναπήδησης των λιθοσωμάτων της ZMEΦ είναι αντίστοιχες με αυτές του νέου ασβεστόλιθου από την περιοχή 4, δείχνοντας ότι οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις που ταξινομούν την περιοχή της ZMEΦ ως μη επηρεασμένη από την πυρκαγιά ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.

Πιο συγκεκριμένα όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.33 παρατηρείται προοδευτική πτώση στις τιμές αναπήδησης από την εξωτερική στην εσωτερική επιφάνεια του εξεταζόμενου πεσσού, δηλ. από το εξωτερικό τμήμα της ZMEΦ, στο μεσαίο, την ενδιάμεση ζώνη και τέλος στα δύο τμήματα της ZEΦ.

Γκρίζος Νέος ασβεστόλιθος			
Ζώνες της εξεταζόμενης περιοχής	Τιμές αναπήδησης από το νέο γκρίζο ασβεστόλιθο μη επηρεασμένο από τη φωτιά – Περιοχή 4	Τιμές αναπήδησης από το νέο γκρίζο ασβεστόλιθο επηρεασμένο από τη φωτιά –Περιοχή 5	Ποσοστό μεταβολής (%)
Ζώνη μη επηρεασμένη από τη φωτιά (ZMEΦ)			
Εξωτερικό τμήμα- ZMEΦ	51,6	57,14	10,74%
Μεσαίο τμήμα - ZMEΦ	51,6	50,25	-2,62%
Ενδιάμεση Ζώνη	51,6	48,93	-5,17%
Ζώνη επηρεασμένη από τη φωτιά (ZEΦ)			
Καμένο στρώμα-ZEΦ	51,6	32,57	-36,88%
Καμένο μέτωπο- ZEΦ	51,6	23,86	-53,76%

Πίνακας 4.33 : Συγκριτικές μετρήσεις και ποσοστά μεταβολής του νέου γκρίζου ασβεστόλιθου με τις ζώνες επίδρασης της πυρκαγιάς.

Από τα ποσοστά μεταβολής των μέσων τιμών αναπήδησης των λιθοσωμάτων του πεσσού σε σχέση με αυτό της περιοχής 4, επιβεβαιώνονται οι μακροσκοπικές παρατηρήσεις για τη προοδευτική επίδραση της πυρκαγιάς στο υλικό. Το εξωτερικό τμήμα της ZMEΦ παρουσιάζει υψηλότερη μέση τιμή αναπήδησης από αυτή της περιοχής 4 κατά 11% περίπου, καταδεικνύοντας ότι όντως δεν έχει δεχθεί καταστροφική επίδραση από την πυρκαγιά (η διαφορά αυτή προφανώς οφείλεται σε διασπορά των τιμών που κάθε φυσικό υλικό μπορεί να παρουσιάσει). Επίσης, παρατηρείται μικρή αρνητική μεταβολή στις τιμές αναπήδησης στο μεσαίο τμήμα που εμφανίζει ποσοστό μειωμένο κατά 2,62% σε σύγκριση με τη μέτρηση του νέου γκρίζου ασβεστόλιθου της περιοχής 4.

Η ενδιάμεση ζώνη εμφανίζει μεγαλύτερη μείωση τιμών επιφανειακής σκληρότητας περίπου στο 5%. Η επηρεασμένη από τη φωτιά ζώνη παρουσιάζει στα δύο τμήματά της (καμένο στρώμα και

καμένο μέτωπο) πολύ μεγάλη μείωση μέσων τιμών αναπήδησης, σε σύγκριση με τις τιμές του μη επηρεασμένου από τη φωτιά ασβεστόλιθου της περιοχής 4 και αγγίζει τις τάξεις του 35% και 50% αντιστοίχως. Είναι σαφές ότι η επίδραση της πυρκαγιάς σε αυτό το τμήμα του πεσσού είναι μεγάλη, καθώς και ότι η ταξινόμηση σε επηρεασμένες και μη επηρεασμένες ζώνες βάσει μακροσκοπικών παρατηρήσεων ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

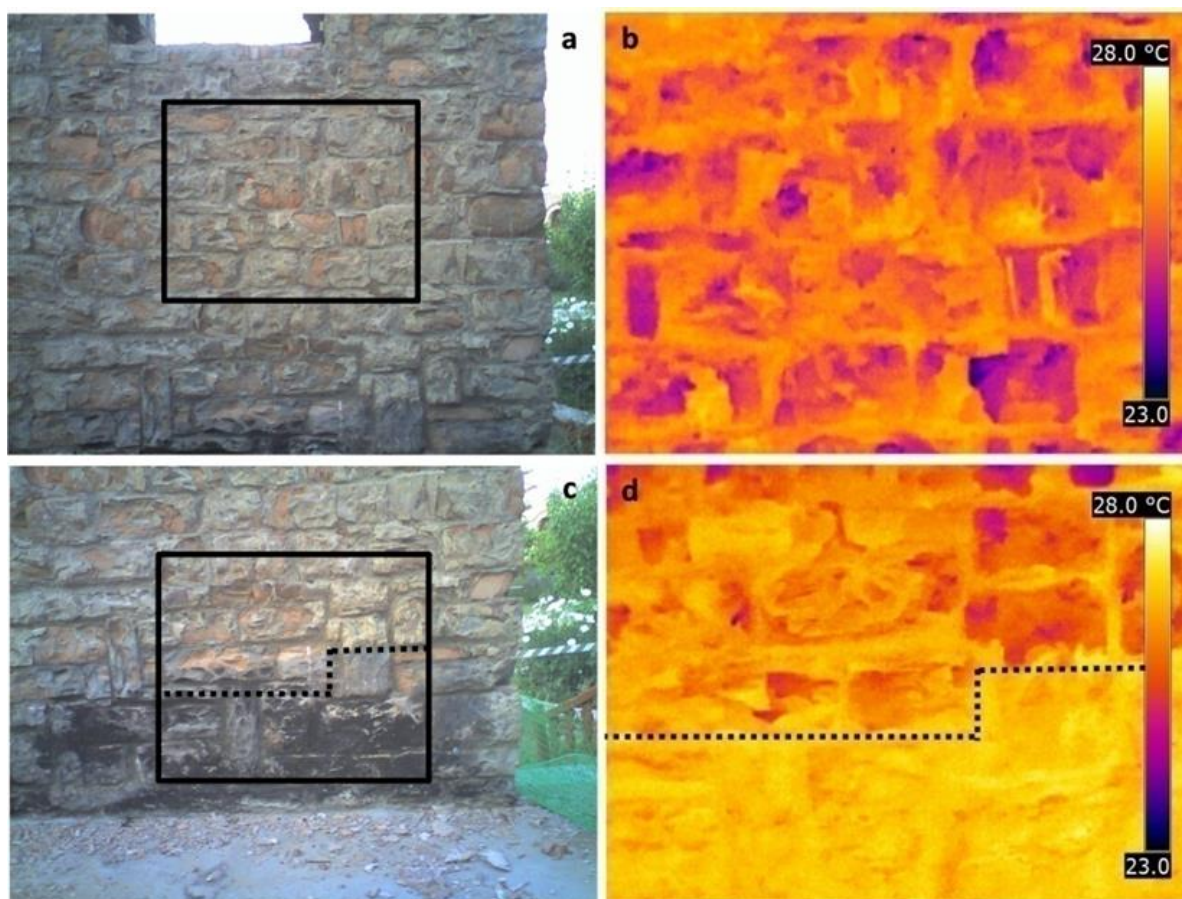
4.9. Αποτελέσματα της Θερμογραφίας Υπερύθρου (IRT)

Η τεχνική της θερμογραφίας υπερύθρου (IRT) πραγματοποιήθηκε σε διάφορα τμήματα της νέας και της ιστορικής τοιχοποιίας και παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά αποτελέσματα.

Το υψηλότερο τμήμα της νέας τοιχοποιίας (πάνω από 1m) παρουσιάζει χαμηλότερες ενδείξεις θερμοκρασίας σε σύγκριση με το χαμηλότερο τμήμα τοιχοποιίας, καθώς και ένα ενδιάμεσο εύρος κατανομής θερμοκρασίας 3°C (από 23°C έως 27°C), (Εικόνα 4.65).

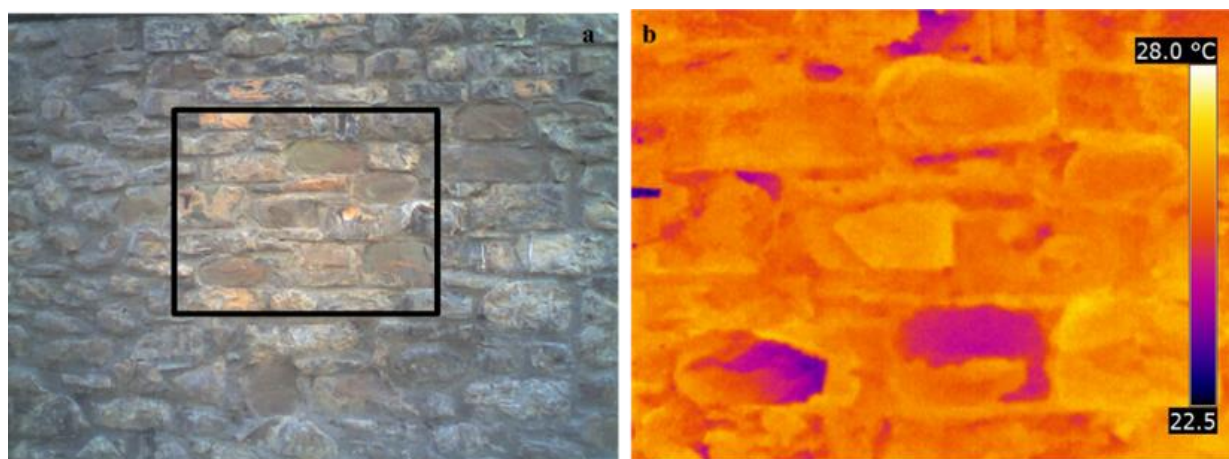
Όσον αφορά το κατώτερο τμήμα της τοιχοποιίας, η κατώτερη ζώνη παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες ζώνη κάτω από τη διακεκομμένη γραμμή) σε σύγκριση με την ανώτερη ζώνη (Εικόνα 4.65c και 4.65d) ζώνη πάνω από τη διακεκομμένη γραμμή), καθώς και μια κατανομή θερμοκρασίας με μικρότερο εύρος 2°C (από 26°C έως 28°C), ενώ η ανώτερη ζώνη εμφανίζει εύρος κατανομής θερμοκρασίας 4°C (από 23,5°C έως 27,5°C).

Μπορεί να υποθεθεί από τη συν-αξιολόγηση δύο εικόνων IRT ότι η νέα τοιχοποιία παρουσιάζει διαφορετικές ζώνες θερμοκρασίας ανά ύψος. Συγκεκριμένα, τα χαμηλότερα τμήματα τοιχοποιίας παρουσιάζουν υψηλότερες ενδείξεις θερμοκρασίας σε σύγκριση με τα ανωτέρα. Αυτό δείχνει μια διαφοροποίηση της επίδρασης φωτιάς στις νέες τοιχοποιίες, ανάλογα με το ύψος και τη θέση τους, παρόλο που δεν έχει αποδειχθεί κάποιο ακριβές σχέδιο (μοτίβο).



Εικόνα 4.65: (α) Φωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής 1 για τη νέα τοιχοποιία (υψηλότερο σημείο τοιχοποιίας). (β) Θερμογραφία της περιοχής 1. (γ) Φωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής 2 για τη νέα τοιχοποιία (κατώτερο τμήμα 2 της τοιχοποιίας βρίσκεται κάτω από την περιοχή 1). δ) Θερμογραφία περιοχής 2.

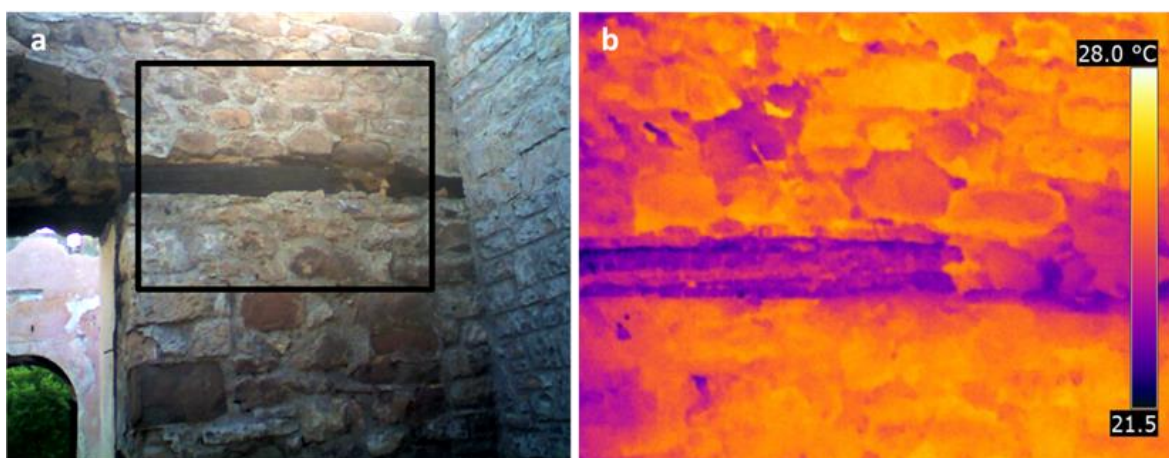
Η μελέτη της θερμογραφίας υπέρυθρου (IRT) της ενδιάμεσης ιστορικής τοιχοποιίας παρουσιάζει μεταβολές θερμοκρασίας μεταξύ των διαφόρων εξεταζόμενων λιθότυπων (Εικόνες 4.66α και 4.6β), οι οποίες αποδίδονται στον διαφορετικό βαθμό της επιφανειακής απόσπασης μερών του λίθου λόγω της επίδρασης της φωτιάς. Η ενδιάμεση ιστορική τοιχοποιία παρουσιάζει ευρύ πλάτος κατανομής θερμοκρασίας $4,5^{\circ}\text{C}$ (από $22,5^{\circ}\text{C}$ έως 27°C).



Εικόνα 4.66: (α) Φωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής 3 της ενδιάμεσης ιστορικής τοιχοποιίας. β) Θερμογραφία περιοχής 3

Η εφαρμογή της τεχνικής της θερμογραφίας υπερύθρου IRT σε υψηλότερα τμήματα ιστορικής τοιχοποιίας (πάνω από 2m) εμφανίζει χαμηλότερες ενδείξεις θερμοκρασίας σε σύγκριση με τα χαμηλότερα τμήματα τοιχοποιίας (Εικόνα 4.67). Το ξύλινο στοιχείο στη μέση της εικόνας IRT παρουσιάζει θερμοκρασίες μέχρι 25,5°C, ενώ τα τμήματα τοιχοποιίας πάνω και κάτω, φτάνουν μέχρι τους 26,8°C. Το εύρος κατανομής της θερμοκρασίας της τοιχοποιίας, εκτός από το ξύλινο στοιχείο, είναι περίπου 4,5 C.

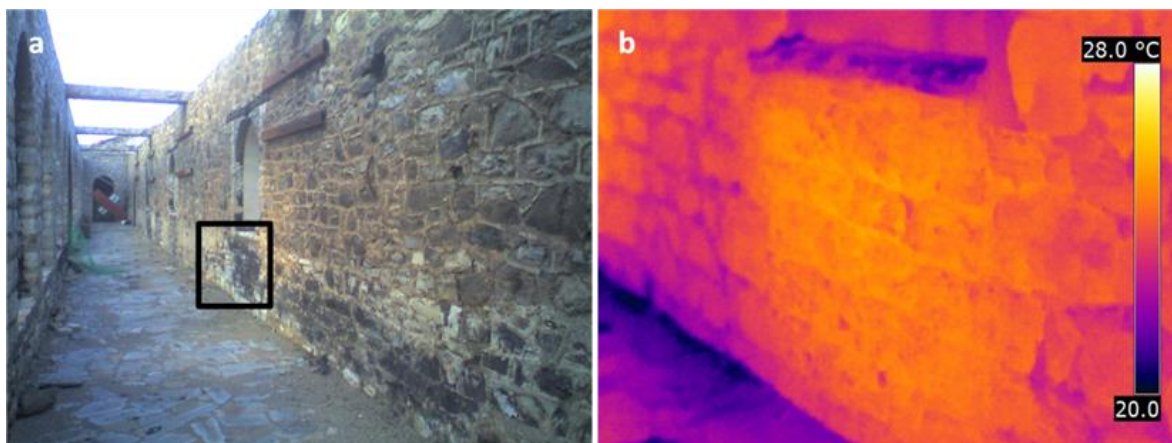
Έτσι, αποδεικνύεται ότι η ιστορική τοιχοποιία έχει παρόμοια θερμοκρασιακά χαρακτηριστικά με τη νέα. Τα υψηλότερα μέρη της τοιχοποιίας παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τα χαμηλότερα μέρη.



Εικόνα 4.67: (α) Φωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής 4 της ενδιάμεσης ιστορικής τοιχοποιίας. β) Θερμογραφία περιοχής 4.

Επιπλέον, η διερεύνηση των ιστορικών ενδιάμεσων επιφανειών της τοιχοποιίας που είναι μαυρισμένες από τη φωτιά κατέγραψε υψηλότερες ενδείξεις θερμοκρασίας (Εικόνα 4.68). Ένα αποτέλεσμα το οποίο βρίσκεται να συμφωνεί με την εξέταση της θερμογραφίας υπερύθρου IRT των αντίστοιχων περιοχών της νέας τοιχοποιίας.

Το εύρος της κατανομής της θερμοκρασίας της μαυρισμένης επιφάνειας είναι 2°C (από 23,5°C έως 25,5°C), ενώ τα υπόλοιπα τμήματα της υπό μελέτη τοιχοποιίας έχουν εύρος κατανομής θερμοκρασίας 3°C (από 22°C έως 25°C) .



Εικόνα 4.68: (α) Φωτογραφία της εξεταζόμενης περιοχής 5 της ενδιάμεσης ιστορικής τοιχοποιίας. (β) Θερμογραφία περιοχής 5.

5. Συμπεράσματα

Στις ιστορικές τοιχοποιίες απαντώνται διάφοροι λιθότυποι, ενώ στην νέα τοιχοποιία, που αποτελεί νεότερη προσθήκη, εμφανίζεται ένας μόνο λιθότυπος.

Πιο συγκεκριμένα, στις ιστορικές τοιχοποιίες εμφανίζονται οι παρακάτω λιθότυποι:

- **Συμπαγής βιομικρικός ασβεστόλιθος**, που διατρέχεται από πλήθος διακλάσεων και συλόλιθων. Η επίδραση της πυρκαγιάς στο λίθο είναι εμφανής μέσω της διάρρηξης φλεβιδίων πληρωμένων με δευτερογενή ασβεσίτη, καθώς και μέσω της αλλαγής του χρώματος του από γκριζο-μπεζ σε ροδίζον, η οποία οφείλεται στη διάχυση πληθώρας υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του, ενώ η χημική και η ορυκτολογική του σύσταση δεν μεταβάλλεται. Παράλληλα, δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στις φυσικές του ιδιότητες. Πρόκειται για τον λιθότυπο που απαντάται με την μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.
- **Διζωνικός λίθος**, που συνίσταται σε ζώνη βιομικρικού ασβεστόλιθου σε επαφή με ζώνη τεφρού απολιθωματοφόρου ασβεστόλιθου. Η επίδραση της πυρκαγιάς είναι εμφανής μακροσκοπικά από την χρωματική αλλοίωση της ανοιχτόχρωμης ζώνης (από μπεζ-γκρίζα σε ροδίζουσα), η οποία οφείλεται στην οξείδωση των κόκκων των σιδηρούχων ορυκτών και την διάχυση υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του πετρώματος, ως συνέπεια των υψηλών θερμοκρασιών που δέχτηκε το πέτρωμα κατά την πυρκαγιά. Επιπλέον, η φωτιά προκάλεσε διάρρηξη διακλάσεων, τριχοειδούς εύρους, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν. Η τεφρή ζώνη του πετρώματος δεν φαίνεται να παρουσιάζει αλλοιώσεις από τη φωτιά βάσει του πετρογραφικού ελέγχου. Και οι δυο ζώνες δεν παρουσιάζουν διαφορές στη χημική και την ορυκτολογική τους σύσταση πριν και μετά την πυρκαγιά. Ο λιθότυπος αυτός παρατηρείται με σχετικά χαμηλή συχνότητα στις ιστορικές τοιχοποιίες.
- **Μαύρος πυριτόλιθος**, ο οποίος απαντάται συνήθως σαν έγκλεισμα ωσειδούς ή και επιμήκους σχηματισμού στην μάζα του βιομικρικού ασβεστόλιθου. Η παρουσία του ως αυτόνομο λιθοσώματος είναι σπάνια και προφανώς οφείλεται στο ότι χρησιμοποιήθηκαν μπλοκ

βιομικριτικού ασβεστόλιθου, στα οποία το μέγεθος του εγκλείσματος ήταν αρκετά μεγάλο ώστε να επιτρέπει την κοπή του σε αυτόνομο δομικό λίθο. Δεν φαίνεται να παρουσιάζει αλλοιώσεις από τη φωτιά βάσει του πετρογραφικού ελέγχου.

- **Πράσινος ασβεστιτικός ψαμμίτης.** Η πυρκαγιά προκαλεί χρωματική αλλοίωση σε αυτόν τον λιθότυπο και οι επιπτώσεις της είναι εμφανείς πετρογραφικά εξαιτίας της μεγαλύτερης έντασης των φαινομένων οξειδωσης των σιδηρούχων ορυκτών που περιέχει, ενώ στα επηρεασμένα από τη φωτιά δείγματα δεν ανιχνεύεται μικροκλινής. Παρατηρείται έντονη διαφοροποίηση στην μικροδομή του λόγω της πυρκαγιάς. Πρόκειται για τον λίθο που απαντάται με τη δεύτερη μεγαλύτερη συχνότητα στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών.
- **Καφέ σιδηρούχος ψαμμίτης.** Η επίδραση της πυρκαγιάς οδηγεί στην απώλεια μέρους του συνδετικού υλικού, δηλαδή του μίγματος αργιλικών ορυκτών και υδροξειδίων του σιδήρου που το συνιστούν, με αποτέλεσμα τη χρωματική του αλλοίωση, ενώ στα δείγματα που έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά δεν ανιχνεύεται ασβεσίτης. Επιπλέον, η υφή του πετρώματος, μετά την πυρκαγιά, είναι σχετικά πορώδης και παρατηρούνται στη μάζα του πετρώματος πόροι ποικίλων σχημάτων και διαστάσεων. Ο καφέ σιδηρούχος ψαμμίτης απαντάται σε μικρή σχετικά συχνότητα στις τοιχοποιίες του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της Ι.Μ. Βαρνάκοβας.

Στη νέα τοιχοποιία απαντάται ένα είδος λίθου:

- **Συμπαγής βιομικριτικός ασβεστόλιθος,** ο οποίος είναι όμοιος με τον συμπαγή βιομικριτικό ασβεστόλιθο που απαντάται στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών όσον αφορά στα πετρογραφικά του χαρακτηριστικά. Η επίδραση της πυρκαγιάς στον λίθο έχει συντελέσει στη διάρρηξη φλεβιδίων πληρωμένων με ασβεσίτη, ως αποτέλεσμα της υψηλής θερμότητας που απορρόφησε το πέτρωμα, καθώς και στην χρωματική αλλοίωση της εξωτερικής στοιβάδας του λίθου από μπεζ σε ροδίζον εξαιτίας διάχυσης πληθώρας υδροξειδίων του σιδήρου στη μάζα του, ενώ η χημική και η ορυκτολογική του σύσταση δεν μεταβάλλεται.

Είναι εμφανές ότι η σύσταση των δύο τύπων ψαμμιτών (ασβεστιτικού-πράσινος και σιδηρούχου-καφέ) μεταβλήθηκε λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν από τη φωτιά (μείωση του ποσοστού των ανθρακικών ενώσεων), σε αντιδιαστολή με τους συμπαγείς ασβεστόλιθους, όπου δεν έλαβε χώρα μεταβολή της σύστασης τους εξαιτίας της πυρκαγιάς. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ασβεστόλιθοι της νέας τοιχοποιίας παρουσιάζουν ανθρακικό ασβέστιο και μαγνήσιο (δολομίτης), εκτός από ανθρακικό ασβέστιο, γεγονός που τους διαφοροποιεί από τους ιστορικούς ασβεστόλιθους που εξετάστηκαν.

Οι πράσινοι ψαμμίτες παρουσιάζουν έντονη διαφοροποίηση στα φυσικά τους χαρακτηριστικά λόγω της επίδρασης της φωτιάς, ενώ η ανάπτυξη των υψηλών θερμοκρασιών δεν φαίνεται να έχει επηρεάσει τους γκρίζους-μπεζ συμπαγείς ασβεστόλιθους στον ίδιο βαθμό. Ο ιστορικός συμπαγής ασβεστόλιθος παρουσιάζει απομειωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τον ίδιο λιθότυπο που υπάρχει στις νέες τοιχοποιίες. Η απομείωση αυτή αποδίδεται στην επίδραση της πυρκαγιάς, αλλά και στη φυσική γήρανση που έχει υποστεί το υλικό, καθώς προέρχεται από την ιστορική τοιχοποιία.

Παράλληλα, ο ιστορικός βιομικριτικός ασβεστόλιθος παρουσιάζει υψηλές μηχανικές αντοχές με υψηλή όμως τυπική απόκλιση, γεγονός που αποδίδεται στην ύπαρξη διακλάσεων και στυλόλιθων, μη σαφούς προσανατολισμού, που παρουσιάζει το συγκεκριμένο πέτρωμα, όπως κατέδειξε και ο πετρογραφικός έλεγχος. Ο πράσινος ψαμμίτης παρουσιάζει σχετικά υψηλές τιμές θλιπτικής

αντοχής λαμβάνοντας υπόψη ότι τα δοκίμια που εξετάστηκαν είναι επηρεασμένα από τη φωτιά, ενώ η αντοχή του σε κάμψη παρουσιάζει πολύ μεγάλη τυπική απόκλιση, η οποία υπερβαίνει την καταγεγραμμένη μέση τιμή καμπτικής αντοχής, αποτυπώνοντας την καταστροφική επίδραση της πυρκαγιάς στο εν λόγω λιθότυπο.

Οι τιμές αναπήδησης, όπως μετρήθηκαν με κρουσιμέτρηση επί τόπου στο μνημείο, δείχνουν μείωση της επιφανειακής σκληρότητας των ψαμμιτών μετά την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της φωτιάς, ανάλογα με τον βαθμό έκθεσής τους στην πυρκαγιά, ο οποίος εξαρτάται από τη θέση τους στην τοιχοποιία. Όσον αφορά στον συμπαγή βιομικρικό ασβεστόλιθο, το φαινόμενο της διάρρηξης των διακλάσεων που καταγράφηκε κατά τον πετρογραφικό έλεγχο, λόγω ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών κατά την πυρκαγιά, αντικατοπτρίζεται στην έντονη μείωση των τιμών αναπήδησης σε αυτόν τον λιθότυπο (νέο και ιστορικό), σε σχέση με τις τιμές που παρουσιάζει ο ίδιος λιθότυπος σε τοιχοποιίες που δεν έχουν επηρεαστεί από τη φωτιά. Αντίστοιχα μεγάλη μείωση τιμών αναπήδησης, στις περιοχές που έχουν εκτεθεί στη φωτιά, παρουσιάζει και ο μαύρος πυριτόλιθος υποδεικνύοντας ότι τα λιθώματα ασβεστόλιθου που φέρουν μαύρα εγκλείσματα πυριτόλιθου υφίστανται σε μεγάλο βαθμό αλλοίωση της επιφανειακής τους σκληρότητας από την επίδραση της πυρκαγιάς.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες ιστορικών κονιαμάτων (πηλοκονιάματα και ασβεστιτικά υδραυλικής φύσεως), ενώ η νέα τοιχοποιία έχει χτιστεί με κονίαμα τσιμεντιτικής βάσης. Σε περιοχές των ιστορικών τοιχοποιιών έχει χρησιμοποιηθεί κονίαμα τσιμεντιτικής βάσης ως επιφανειακό συμπλήρωμα αρμού, το οποίο προφανώς αφορά σε νεότερη επέμβαση.

Εν τω συνόλω, τα κονιάματα των τοιχοποιιών του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας ταξινομούνται σε τέσσερις διακριτές κατηγορίες: ιστορικά πηλοκονιάματα, τσιμεντιτικά, μικτής αργιλώδους και τσιμεντιτικής υφής και ιστορικά ασβεστιτικά σχετικά υψηλής υδραυλικότητας. Τα πηλοκονιάματα παρουσιάζουν χαμηλότερο ποσοστό φυσικά ροφημένου νερού μετά τη φωτιά, ωστόσο, καθώς τα περισσότερα ήταν κονιάματα δόμησης, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την επίδραση της φωτιάς, λόγω της φύσης, και της θέσης τους στην τοιχοποιία. Αντίθετα, τα τσιμεντιτικά κονιάματα εμφανίζονται σαφώς επηρεασμένα από την πυρκαγιά, γεγονός που τεκμαίρεται από την εξαλλοίωση των υδραυλικών τους φάσεων και την σχετικά υψηλή τιμή του αντίστροφου δείκτη υδραυλικότητας που παρουσιάζουν, ενώ παρουσιάζεται αλλοίωση και των φυσικών τους χαρακτηριστικών.

Τα δείγματα **σκυροδεμάτων** που μελετήθηκαν είναι όλα σαφώς επηρεασμένα από την πυρκαγιά. Παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική σύσταση τον χαλαζία, ή χαλαζία και ασβεσίτη, ανά περίπτωση. Ωστόσο, κανένα δείγμα σκυροδέματος δεν παρουσιάζει χαρακτηριστικές κορυφές τσιμεντιτικών ενώσεων, υποδεικνύοντας την καταστροφή των υδραυλικών ενώσεων του τσιμέντου λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύχθηκαν κατά την πυρκαγιά. Όλα τα δείγματα των σκυροδεμάτων παρουσιάζουν χαμηλότερο του 3% ποσοστό ολικών διαλυτών αλάτων, με εξαίρεση το δείγμα από το σενάζ της τοιχοποιίας, το οποίο παρουσιάζει τιμή 6.2%, υποδεικνύοντας τη συσσώρευση διαλυτών αλάτων στο άνω μέρος της τοιχοποιίας. Στο ίδιο δείγμα εντοπίστηκε εντριγκίτης, χαρακτηριστικό προϊόν φθοράς του σκυροδέματος.

Σποραδικά στις ιστορικές τοιχοποιίες των Κελιών εντοπίζονται **πλίνθοι** επιπροσθέτως των λίθων που προαναφέρθηκαν. Οι οπτόπλινθοι που εξετάστηκαν παρουσιάζουν ως κύρια ορυκτολογική σύσταση τον χαλαζία και ως δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις αλβίτη, μοσχοβίτη και

μικροκλινή. Ο μη επηρεασμένος από τη φωτιά οπτόπλινθος, παρουσιάζει και ασβεστίτη και ανορθόκλαστα, ορυκτά τα οποία δεν ανιχνεύονται στους επηρεασμένους από τη φωτιά οπτόπλινθους. Η διαφοροποίηση αυτή στην ορυκτολογική τους σύσταση, μπορεί να οφείλεται είτε στην διαφορετική τεχνολογία παρασκευής τους, είτε στην επίδραση της πυρκαγιάς.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δείγματα δομικών υλικών των τοιχοποιιών των Κελιών της IM Βαρνάκοβας επηρεασμένων από τη φωτιά παρουσιάζουν χαμηλότερες (και ενίοτε ίσες) τιμές διαλυτών αλάτων σε σχέση με τα αντίστοιχα δομικά υλικά που δεν είναι επηρεασμένα από τη φωτιά. Συνολικά, σε σχέση με τους λίθους, τα κονιάματα των τοιχοποιιών του κτηριακού συγκροτήματος των Κελιών της IM Βαρνάκοβας, παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές ολικών διαλυτών αλάτων σε σύγκριση με τα δείγματα των λιθοσωμάτων, ενώ σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνούν το κρίσιμο κατώφλι του 3%.

Επιπλέον, οι υψηλές τιμές ολικών διαλυτών αλάτων των δομικών υλικών που εξετάστηκαν από τη νότια όψη της εξωτερικής τοιχοποιίας (κονιάματα αργιλώδους υφής, καφέ ψαμμίτης και οπτόπλινθος) υποδεικνύουν σημαντική παρουσία υγρασίας σε αυτήν την περιοχή του κτηριακού συγκροτήματος.

Η χρήση της θερμογραφίας υπερύθρου σε τοιχοποιίες των κελιών, καταδεικνύει ότι η ιστορική τοιχοποιία παρουσιάζει σχετικά υψηλές θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, λόγω της παρουσίας διαφορετικών λιθότυπων, καθώς και του διαφορετικού βαθμού της επίδρασης της φωτιάς. Παρόμοια διακύμανση των θερμοκρασιών παρατηρείται και στη νέα τοιχοποιία, παρά το γεγονός ότι είναι δομημένη εξ ολοκλήρου από έναν λιθότυπο (τον νέο γκρίζο-μπεζ ασβεστόλιθο) και συνεπώς το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να αποδοθεί στην πυρκαγιά.

Τόσο η ιστορική όσο και η νέα τοιχοποιία παρουσιάζουν διαφορετικές ζώνες θερμοκρασίας με τα ανώτερα μέρη τους να παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα κατώτερα. Αυτό είναι ένδειξη του διαφορετικού αποτελέσματος που είχε η επίδραση της φωτιάς ανά ύψος. Ωστόσο, παρόλο που η επίδραση της φωτιάς φαίνεται να εξαρτάται από τη θέση, το ύψος και τον λιθότυπο, δεν καταγράφεται κάποιο σαφές μοτίβο.

Επιπλέον, οι μαυρισμένες από τη φωτιά επιφάνειες, τόσο στις ιστορικές όσο και στις νέες τοιχοποιίες, παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες υποδεικνύουν διαφορές στη θερμογερική συμπεριφορά της τοιχοποιίας και μεγαλύτερες επιπτώσεις σε αυτές τις περιοχές, λόγω της συσσώρευσης αιθάλης από τη φωτιά.

Τέλος, από τα αποτελέσματα της θερμογραφίας υπερύθρου προκύπτει ότι η ιστορική τοιχοποιία παρουσιάζει μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιακής κατανομής σε σύγκριση με τη νέα τοιχοποιία. Ωστόσο, οι καταγεγραμμένες θερμοκρασιακές τιμές της ιστορικής τοιχοποιίας είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με αυτές της νέας τοιχοποιίας. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στη διαφοροποιημένη εξέλιξη της πυρκαγιάς, καθώς και στη διαφορετική επίδραση της πυρκαγιάς στην ιστορική τοιχοποιία, λόγω της ποικιλίας των δομικών υλικών που την αποτελούν.

Καταλήγοντας, στο πλαίσιο αναζήτησης λίθων συμβατών με τους ιστορικούς για πιθανή χρήση τους στο επικείμενο έργο αποκατάστασης του συγκροτήματος των Κελιών που έχει καταστραφεί από την πυρκαγιά του 2017 και βάσει των ανωτέρω δεδομένων, θα πρέπει να διερευνηθούν λατομεία για λιθότυπους πλήρως συμβατούς με τους ιστορικούς.

6. Βιβλιογραφία :

- [1]. Α. Μοροπούλου, Γ. Μπατής 'Δομικά Υλικά', Αθήνα ΕΜΠ, 2012
- [2]. Winkler, E. M. 'Stone in Architecture'. Properties, durability. Berlin: Springer-Verlag, 1997
- [3]. Γ. Χριστοφίδης, Τ. Σολδάτος 'Ορυκτολογία' τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. 2004
- [4]. Λεγάκης 'Δομικά Υλικά' s.l. : Εκδόσεις Ευγενίδιο Ίδρυμα, 1997.
- [5]. Μοροπούλου Α. , *Εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών*, Αθήνα, Εκδόσεις 2013
- [6]. Μοροπούλου Α., *Χαρακτηρισμός, Έλεγχος ποιότητας, Διάγνωση φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών – Μεθοδολογία Ενόργανων και μη Καταστρεπτικών Τεχνικών*, Αθήνα: s.n., 2016
- [7]. Reed, J.S. *Principles of Ceramics Processing*. 2nd Edition. New York : John Wiley & Sons, 1995
- [8]. P.A. Webb. *Volume and density determinations for particle technologists*. USA : Micromeritics Instrument Corp, 2001
- [9]. Μοροπούλου Α., *Επιστήμη και τεχνική των υλικών*, Μέρος Α, Αθήνα, s.n., 2015
- [10]. Μοροπούλου Α., *Φυσικοχημεία της φθοράς και τεχνική συντήρησης των δομικών υλικών*, Αθήνα, s.n., 2006
- [11]. Theoulakis P., Moropoulou A., *Microstructural and Mechanical Parameters determining the susceptibility of porous building stones to salt decay*. 1997
- [12]. Moropoulou A., και συν., και συν., *Microstructural criteria to evaluate stone susceptibility to sea salt decay on Mediterranean and Atlantic coast monuments*. 2000
- [13]. Τριανταφύλλου Α. Χ, 'Δομικά Υλικά', 10^η έκδοση, Πάτρα, 2013.
- [14]. Μπακόλας – Καραγιάννης Α., 'Κριτήρια και μέθοδοι χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων', Διδακτορική Διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα 2002
- [15]. Τζιότζιου Μ., 'Μελέτη του μηχανισμού πήξης κονιαμάτων τύπου ασβέστη – φυσικής ποζολάνης', Διδακτορική Διατριβή Πολυτεχνείο Κρήτης, 2013
- [16]. Τσίμας Σ., Τσιβιλής Σ., 'Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου', Αθήνα, Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ 2010.
- [17]. Ελένη Ε. Αγγελικοπούλου. 'Κριτήρια και Μέθοδοι Αποτίμησης Φυσικοχημικών και Μηχανικών Χαρακτηριστικών κατά την διερεύνηση Αριστοποίησης Συμβατών Κονιαμάτων και Σκυροδεμάτων Αποκατάστασης Ιστορικών Τοιχοποιιών, με έμφαση στις ποζολανικές πρώτες ύλες',. Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., 2006.
- [18]. http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm.
- [Ηλεκτρονικό]
- [19]. Αναγνωστοπούλου, Σοφία Ηλ., 'Μεθοδολογία Αποτίμησης του Ρόλου των Αδρανών για τον Επιτελεστικό Σχεδιασμό Κονιαμάτων Αποκατάστασης'. Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π, 2012.
- [20]. Shi Qiang Fanga, Hui Zhang, Bing Jian Zhanga, Ye Zhenga. 'The identification of organic additives in traditional lime mortar'. Journal of Cultural Heritage. 2014, Τόμοι 15, 14, [144-150].

- [21]. Moropoulou, A. Bakolas, S. Anagnostopoulou. 'Composite Materials in Ancient Structures'. Cement and Concrete Composites. (2005), Τόμ. 27, [295-300].
- [22]. P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou. 'Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete.'. Cement and Concrete Research . 2005.
- [23]. A. Moropoulou, G. Biscontin, A. Bakolas, K. Bisbikou. 'Technology and behavior of rubble masonry mortars'. Construction and Building Materials. 1996, Τόμ. 11.
- [24]. ARC, ICCROM. 'Conservation of architectural heritage, Historic structures and materials'. Laboratory Handbook. 1999, Τόμ. 1/99.
- [25]. Apostolopoulou, M., Delegou, E. T., Alexakis, E., Kalofonou, M., Lampropoulos, K. C., Aggelakopoulou, E., Bakolas, A., Moropoulou, A.: *Study of the historical mortars of the Holy Aedicule as a basis for the design, application and assessment of repair mortars: A multispectral approach applied on the Holy Aedicule. Construction and Building Materials.* 30 August 2018, Τόμ. 181, Pages 618-637.
- [26]. A. Kioussia, M. Karogloua, A. Bakolasa, K. Labropoulos, A. Moropoulou. *DOCUMENTATION PROTOCOLS TO GENERATE RISKINDICATORS REGARDINGDEGRADATION PROCESSES FOR CULTURAL HERITAGE RISK EVALUATION.* International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 6 September 2013, Τόμ. L-5/W2.
- [27]. Α. Μοροπούλου, 'Δομικά Υλικά (Πλίνθοι – Κέραμοι)' Αθήνα ΕΜΠ, 2012
- [28]. Σκουληκίδης Θ.Ν. (2000), *Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων*, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο.
- [29]. Camuffo, D. (1998), *Microclimate for cultural heritage*, Elsevier.
- [30]. Μοροπούλου Α., «Προστασία Μνημείων-Υλικά και επεμβάσεις συντήρησης», 2013-2015.
- [31]. Bottari, C. (2005), *Ancient constructions as markers of tectonic deformation and strong seismic motions, Pure and applied geophysics*, 162(4), 761-765.
- [32]. Camuffo, D. (1995), *Physical weathering of stones, Science of the Total Environment*, 167(1), 1-14.
- [33]. Λαμπρόπουλος, Κ. *Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας*, Ιδιωτική έκδοση, 2004.
- [34]. Κασσωμένος Π. Α., *Χαρτογραφική απεικόνιση της διασποράς στην Αθήνα με τη βοήθεια γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (ΓΣΠ)*, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. (www.srcosmos.gr)
- [35]. ΕΚΘΕΣΗ 2000: Η ατμοσφαιρική ρύπανση στην Αθήνα, ΥΠΕΧΩΔΕ, Τμήμα Ποιότητας Ατμόσφαιρας, Ιούνιος 2001.
- [36]. Athuman M. K. Ngoma. 'Characterisation and Consolidation of Historical Lime Mortars in Cultural Heritage Buildings and Associated Structures in East Africa'. Stockholm : Doctoral Thesis, 2009.
- [37]. Brotóns,V.; Tomás,R.;Ivorra, S.;Alarcón,J.C. *Temperature influence on the physical and mechanical properties of a porous rock: San Julian' scalcarenite.* Eng. Geol. 2013,167,117–127.
- [38]. Kompaníková,Z., Gomez-Heras, M., Michňová, J.;Durmeková, T.;Vlčko,J. *Sand stone alterations triggered by fire-related temperatures.* Environ. Earth Sci. 2014,72,2569–2581.

- [39]. Ozguven,A., Ozcelik, *Effects of high temperature on physico-mechanical properties of Turkish natural building stones*. Eng. Geol. 2014,183,127–136.
- [40]. Vázquez,P., Shushakova,V. ,Gómez-Heras,M. *Influence of mineralogy on granite decay induced by temperature increase: Experimental observations and stresss imulation*. Eng. Geol. 2015,189,58–67.
- [41]. Sanjurjo-Sánchez,J., Gomez-Heras,M., Fort,R.; Alvarez deBurgos,M., Izquierdo Benito,R.,Angel Brud,M., *Dating fires and estimating the temperature attained on stone surfaces. The case of Ciudad de Vascos (Spain)*. Microchem. J. 2016,127,247–255.
- [42]. Calia,A., Colangiuli, D.;Lettieri, M.;Quarta, G.;Masieri, M. *Microscopic techniques and a multi-analytical approach to study the fire damage of the painted stuccoes from the Petruzzelli Theatre (Bari, Southern Italy)*. Microchem. J. 2016,126,42–53.
- [43]. Freire-Lista, D.M.;Fort,R., Varas-Muriel, M.J. *Thermal stress-induced micro cracking in building granite*. Eng. Geol. 2016,206,83–93.
- [44]. Peng,J., Rong,G., Cai,M., Yao,M., Zhou, C. *Comparison of mechanical properties of undamaged and thermal-damaged coarse marbles under triaxial compression*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2016,83,135–139.
- [45]. Vazquez,P., AcuñaB,M., Benavente, D.;Gibeaux, S.;Navarro, I.;Gomez-Heras,M. *Evolution of surface properties of ornamental granitoids exposed to high temperatures*. Constr. Build. Mater. 2016,104,263–275.
- [46]. Ingham,J.P., *Application of petrographic examination techniques to the assessment of fire-damaged concrete and masonry structures*. Mater. Character. 2009,60,700–709.
- [47]. Martinho,E., Mendes,M. Dionísio,A. *3Dimaging of P-waves velocity as a tool for evaluation of heatind uced limestone decay*. Constr. Build. Mater. 2017,135,119–128.
- [48]. McCabe,S., Smith,B.J., Warke,P., *Exploitation of inherited weakness in fire-damaged building sandstone: The ‘fatiguing’ of ‘shocked’ stone*. Eng. Geol. 2010, 115,217–225.
- [49]. Murru,A.; Freire-Lista,D.M.; Fort,R.; Varas-Muriel,M.J.; Meloni,P. *Evaluation of post-thermal shock effects in Carraramar bleand Santa Caterina di Pittinuri limestone*. Constr. Build. Mater. 2018,186,1200–1211.
- [50]. Haaland,M.M.; Friesem,D.E.; Miller,C.E.; Henshilwood,C.S. *Heat-induced alteration of glauconitic minerals in the Middle Stone Agelevels of Blombos Cave, South Africa: Implications for evaluating site structure and burning events*. J. Arch. Sci. 2017,86,81–100.
- [51]. Felicetti,R., *The drilling resistance test for the assessment of fire damaged concrete*. Cem. Concr. Compos. 2006,28,321–329.
- [52]. Khoury,G.A. *Effect of fire on concrete and concrete structures*. Prog. Struct. Eng. Mater. 2000,2,429–447.
- [53]. Kardamitsi Adami, M. *The Catholikon of the Monastery Varnakova and the Architect Andreas Gasparis Kalandros*. Archaologia2011,6,78–84.
- [54]. Bouras,Ch.; Boura,L. *Church Architecture in Greece around the 12th Century*; Commercial Bank of Greece: Athens, Greece,2002.

- [55]. Zacharopoulos,S. *Topographical Study of the Holy Monastery of Panagia Varnakova*; Field Report; 2002
- [56]. Moropoulos, N. *World Monuments Watch: Holy Monastery of Panagia Varnakova*. 2019, submitted.
- [57].Orlandos, A. *The Monastery of Virgin Mary of Varnakova*, Doric Association of Athens: Athens, Greece, 1922.
- [58].<https://www.newsit.gr/topikes-eidhseis/naypaktos-megali-fotia-tora-stin-iera-moni-varnakovas/1085140/> (accessed on 10 September 2018).
- [59]. *The Effect of Fire on Building Materials: The Case Study of the Varnakova Monastery Cells in Central Greece*, E. T. Delegou, Maria Apostolopoulou, Ioanna Ntoutsis, **Marina Thoma**, Vasileios Keramidas, Christos Papatrechas, George Economou and Antonia Moropoupou, MDPI heritage, 2019
- [60]. Borelli, E. *ARC Laboratory Handbook: Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials*. 2. Porosity; International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property: 1999.
- [61]. Demirdag,S.; Yavuz,H. ;Altindag,R. *The effect of samples on Schmidt rebound hardness value of rocks*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2009,46,725–730.
- [62]. Fort,R.; AlvarezdeBuerger,M.; Perez-Monserrat, E.M. *Non-destructive testing for the assessment of granite decay in heritage structures compared to quarry stone*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2013,61,296–305.
- [63]. Matthews,J.A.; Owen,G.; Winkler,S.; Vater,A.E.; Wilson,P.; Mourne,R.W. ;Hill,J.L. *A rock-surface micro weathering index from Schmidt hammer R-values and its preliminary application to some common rock types in southern Norway*. Catena2016,143,35–44.
- [64]. *Proceq Operating Instructions Beton Prüfhammer N/NR-L/LR*; ProceqSA: Schweizenbach, 2006
- [65]. Vasanelli,E.; Sileo,M.; Calia,A.; Aiello,M.A. *Non-destructive techniques to assess mechanical and physical properties of soft calcarenitic stones*. Procedia Chem. 2013,8,35–44.
- [66]. Vasanelli,E.; Calia,A.; Colangiuli,D.; Micelli,F.; Aiello,M.A. *Assessing the reliability of non-destructive and moderately invasive techniques for the evaluation of uniaxial compressive strength of stone masonry units*. Constr. Build. Mater. 2016,124,575–581.
- [67]. Alexakis, E.; Delegou, E.T.; Lampropoulos, K.C.; Apostolopoulou, M.; Ntoutsis, I.; Moropoulou, A. *NDT as a monitoring tool for the works progress and the assessment of materials and rehabilitation interventions at the Holy Aedicule of the Holy Sepulchre*. Constr. Build. Mater. 2018,189,512–526.
- [68]. Moropoulou, A., Labropoulos, K. C., Delegou, E. T., Karoglou, M., & Bakolas, A. (2013). *Non-destructive techniques as a tool for the protection of built cultural heritage*. *Construction and Building Materials*, 48, 1222-1239.
- [69]. http://www.geo.auth.gr/212/0_properties/microscope.htm [Ηλεκτρονική πηγή]
- [70]. Κουή Μ. (2005), *Μέθοδοι και τεχνικές ανάλυσης και χαρακτηρισμού υλικών*, ΕΜΠ, Αθήνα.
- [71]. Moropoulou, A., Bakolas, A., & Bisbikou, K. (1995), *Characterization of ancient, byzantine and later historic mortars by thermal and X-ray diffraction techniques*, *Thermochemica Acta*, 269, 779-795.

- [72]. Moropoulou, A., Bakolas, A., & Bisbikou, K. (2000), *Investigation of the technology of historic mortars*. Journal of Cultural Heritage,1(1), 45-58.
- [73]. *Conversation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials*, Rome, Italy : ICCROM, 1999
- [74]. UNI EN 15801 (2010), (English/Italian) : *Conservation of cultural property – Tests Methods-, Determination of water absorption by capillarity* , Brussels : European Committee for standardization, 2010
- [75]. 13/83:, *Normal. Dosage of Soluble Salts* Rome; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR). Rome, Italy : s.n., 1983.
- [76]. A. Neville 1975 & Taywood Eng. Ltd 1986
- [77]. *Proceq operating instructions hammer Schmidt – Concrete Test Hammer*
- [78]. Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 12504-2: 2012 «Έλεγχος σκυροδέματος στις κατασκευές – Μη καταστροφικός έλεγχος αντοχής με κρουσιμέτρηση».
- [79]. Υπό εκπόνηση Διδακτορική Διατριβή Υπ. Δ. Β. Κεραμίδα, επιβλέπουσα: Αντωνία Μοροπούλου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
- [80]. Υπό εκπόνηση Μεταπτυχιακή Εργασία Χ. Μιχάλαρος, επιβλέπουσα: Αντωνία Μοροπούλου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
- [81]. D.J. Titman, Applications of Thermography in Non-Destructive Testing of Structures, In J. NDT&E International, Vol. 34, 2001, pp.149-15
- [82]. Κ. Σπυράκος, Αν. Καθ. ΕΜΠ, «Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία», ΤΕΕ 2004.
- [83]. Διδακτορική Διατριβή Βασιλείου Χάνδακα, Πολ. Μηχ., Ε.Μ.Π. / Σχολή Χημικών Μηχανικών, «Κριτήρια και μεθοδολογία ελέγχου ποιότητας στα έργα συντήρησης – προστασίας ιστορικών μνημείων και κτιρίων», Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών», Αθήνα, Νοέμβριος 2004.
- [84]. Χ. Σπανός, Μ. Σπιθάκης, Κ. Τρέζος, «Μέθοδοι για την Επιτόπου Αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των Υλικών», Εκδ. Τ.Ε.Ε., Αθήνα 2006.
- [85]. M.H.A. Larbi Youcef, V. Feuillet, L. Ibos, Y. Candau, P. Balcon, A. Filloux, *In situ quantitative diagnosis of insulated building walls using passive infrared thermography*, In Proc. of 11th Int. Conf. on Quantitative Infrared Thermography (QIRT11), Napoli, Italy, 2012.