

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ: Β' ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ



Μεταπτυχιακή εργασία

Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την
αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία
Ακρόπολη της Ρόδου

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Καθ. Α. Μοροπούλου, Εργαστήριο Επιστήμης και
Τεχνικής των Υλικών, Σχολή Χημικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: Σκουλά Χαρίκλεια

Α.Μ.: 41001918

Συντηρήτρια Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης

Αθήνα 2019

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Επιτροπή Επίβλεψης και Υποστήριξης

- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ (Επιβλέπουσα)
- Δρ. Α. Δελέγκου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δρ. Κ. Λαμπρόπουλος, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- ΥΔ Μ. Αποστολοπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- ΥΔ Β. Κεραμίδας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ

Επιτροπή Εξέτασης

- Ομότ. Καθ. Γ. Μπατής, Σχ. ΕΜΠ
- Καθ. Α. Μοροπούλου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Αν. Καθ. Α. Μπακόλας, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δρ. Α. Δελέγκου, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ
- Δρ. Κ. Λαμπρόπουλος, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία υλοποιήθηκε και εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Διατμηματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προστασία Μνημείων» για την κατεύθυνση Β, η οποία είναι Υλικά & Επεμβάσεις Συντήρησης. Βασικό αντικείμενο εφαρμογής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι ο Ναός του Πύθιου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου. **Σκοπός** αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η Μελέτη των υλικών και των επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου, σε σχέση με επεμβάσεις καθαρισμού και στερέωσης, καθώς και συμβατών κονιαμάτων συμπλήρωσης, στερέωσης και συγκόλλησης θραυσμάτων.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στα πλαίσια της εκπόνησης της μεταπτυχιακής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Αντωνία Μοροπούλου για την εμπιστοσύνη της, για την ανάθεση του θέματος της μεταπτυχιακής μου εργασίας, την Δρ Αικ. Δελέγκου ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ, για την καθοδήγηση, τις πολύτιμες επισημάνσεις, καθώς και τις χρήσιμες γνώσεις της, τον Δρ. Κ. Λαμπρόπουλο ΕΔΙΠ Σχ. ΧΜ ΕΜΠ, για την πολύτιμη συμβολή του στα πειράματα της Υπερηχοσκόπησης, την Υπ. Διδάκτορα Μ. Αποστολοπούλου για την συνεχόμενη ενθάρρυνσή της και υποστήριξή της με τις πολύτιμες γνώσεις της, την άμεση συνεννόηση και άψογη συνεργασία της, καθώς και την αισιοδοξία και την πρόσχαρη προσωπικότητά της που μας έδινε κουράγιο. Χωρίς την κα. Αποστολοπούλου δεν θα είχε επιτευχθεί η μεταπτυχιακή αυτή.

Επίσης, την Εφορεία Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου για την υλική συμβολή της και την Δημοτική Αρχή της Ρόδου για την φιλοξενία. Εν συνεχεία, τους συμφοιτητές μου, με τους οποίους μελετήσαμε από κοινού την αποκατάσταση του Ναού του Πύθιου Απόλλωνα, με αλφαβητική σειρά: την χημικό μηχανικό Ν. Γαλανάκη, την χημικό μηχανικό Μ. Καλοφώνου και τον πολιτικό μηχανικό Ε. Κόνιαρη. Καθώς επίσης, και τον ΥΔ Β. Κεραμίδα, Σχ. ΧΜ ΕΜΠ, για την στήριξή του.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου, με τους οποίους μοιραστήκαμε γνώσεις και εμπειρίες πολύτιμες, ως προς την προσέγγιση της διεπιστημονικής συνεργασίας, σε θέματα προστασίας της πολιτιστικής μας κληρονομιάς.

Τέλος, δεν μπορώ να μην αναφερθώ στους φίλους μου και την οικογένειά μου και δεν θα μπορούσα να αφήσω εκτός την αγαπημένη μου μητέρα, για την στήριξή της στις σπουδές μου και στην ζωή μου, εν γένει.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, το βασικό αντικείμενο έρευνας καθώς και ο σκοπός είναι η μελέτη υλικών και επεμβάσεων για την αποτελεσματικότερη συντήρηση και αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα, στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου.

Η εργασία αυτή εντάχθηκε στο ευρύτερο πλαίσιο μίας ολοκληρωμένης μελέτης διάγνωσης για την παθολογία του μνημείου και για την φθορά των υλικών, καθώς και ενός ολοκληρωμένου σχεδιασμού και αποτίμησής υλικών επεμβάσεων συντήρησης, που αφορούν στον καθαρισμό και τη στερέωση. Συνεπώς εξετάστηκαν τα δομικά υλικά του ναού για να σχεδιαστεί η κατάλληλη μεθοδολογία καθαρισμού με τα προτεινόμενα μέσα, καθώς και οι συγκεκριμένες εργασίες στερέωσης.

Εν συνεχεία, μελετήθηκαν επιχρίσματα του Ναού και αυτά είναι τυπικά ασβεστιτικά, όπως υπέδειξαν τα αποτελέσματα των μετρήσεων από την Περίθλαση Ακτίνων Χ, των θερμικών αναλύσεων, τον Προσδιορισμό Ολικών Διαλυτών Αλάτων και την Ψηφιακή Μικροσκοπία.

Ακόμη, μελετήθηκαν επί τόπου οι επιφανειακές φθορές με μη καταστρεπτικές μεθόδους, καθώς και στο εργαστήριο η μορφολογία και η σύστασή τους με την Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης,. Έτσι, διαπιστώθηκε ότι το μνημείο έχει προσβληθεί από βιοδιάβρωση και παρουσιάζει ως κύριο τύπο φθοράς την κυψέλωση από τη συνεργιστική δράση της αλατονέφωσης, των ισχυρών βορειοδυτικών ανέμων και της ασύμβατης υγρομετρικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος, που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες επεμβάσεις.

Στην συνέχεια, στην παρούσα μεταπτυχιακή, για την συμπλήρωση και συγκόλληση μικρών θραυσμάτων μελετήθηκε το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου και υποβλήθηκε σε μη καταστρεπτικές μεθόδους ανάλυσης (όπως ψηφιακή μικροσκοπία, χρωματομετρία, υπερηχοσκόπηση), καθώς και σε υγρομετρικές δοκιμές-μετρήσεις-πειράματα (όπως Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό και Υδατοαπορρόφηση με την μέθοδο της Τριχοειδούς Αναρρίχησης) και συγκρίθηκε με άλλες συνθέσεις που βασίζονται στον Ασβέστη και Φυσική Ποζολάνη, στην Φυσική Υδραυλική Άσβεστο και Μετακαολίνη, αλλά και στο εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης Ασβέστη-Μετακαολίνη.

Συνολικά εξετάστηκαν στην μεταπτυχιακή αυτή εργασία, πέντε διαφορετικά μείγματα συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης, ως κονιάματα αρμού και συγκόλλησης για μικρά μέρη σημαντικών απολεσθέντων κομματιών αρχαίου λίθου σε αρχιτεκτονικά μέρη, που θα μπορούσαν να συμπληρωθούν με λίθο αποκατάστασης. Συγκεκριμένα, παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο τρία διαφορετικά μείγματα σύνθεσης κονιαμάτων αποκατάστασης: i) Ασβέστη και Φυσική Ποζολάνη, ii) Φυσική Υδραυλική Άσβεστο και Μετακαολίνη iii) Ασβέστη και Φυσική Ποζολάνη με υψηλότερο ποσοστό νερού και τέλος, χρησιμοποιήθηκαν δύο έτοιμα εμπορικά: i) Ασβέστη - Μετακαολίνη, ii) Φυσικής Υδραυλικής Ασβέστου.

Στην πορεία, πραγματοποιήθηκε διερεύνηση και αξιολόγηση της καταλληλότητας του λιθότυπου Σφουγγάρια Α, για ενδεχόμενη χρήση στο έργο της αποκατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα. Όπως προέκυψε από την αξιολόγηση αυτή, που περιλαμβάνει την

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μελέτη των ορυκτολογικών, φυσικοχημικών, μηχανικών και αισθητικών χαρακτηριστικών του υπό εξέταση λίθου, ο λιθότυπος Σφουγγάρια Α παρουσιάζει ικανοποιητική συμβατότητα με τον αρχαίο λίθο και επομένως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως λίθος αποκατάστασης.

Τέλος, κατασκευάστηκαν σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης, τα οποία στην συνέχεια υποβλήθηκαν σε μη καταστρεπτικές μεθόδους ανάλυσης (όπως, ψηφιακή μικροσκοπία, χρωματομετρία, υπερηχοσκόπηση, θερμογραφία υπερύθρου), καθώς και υγρομετρικές δοκιμές-μετρήσεις-πειράματα (όπως Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό, Υδατοαπορρόφηση με την μέθοδο της Τριχοειδούς Αναρρίχησης και ο Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων), για την αποτίμηση κυρίως της φυσικοχημικής συμβατότητας του λίθου αυτού με τα κονιάματα αποκατάστασης.

Συνοπτικά, η μελέτη των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, έδειξε ότι το πιο συμβατό από όλα τα κονιάματα αποκατάστασης που παρουσιάζονται στη μελέτη αυτή, είναι το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, όπου φαίνεται να έχει ικανοποιητικές τιμές μηχανικών αντοχών και να συνάδει φυσικοχημικά με το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α.

Αυτό έγινε αποδεκτό πλήρως, σχεδόν από όλες τις τεχνικές που υποβλήθηκαν τα σύνθετα, πλην της χρωματομετρίας, όπου πρέπει να προστεθεί χρωστική (μίξη με ψημένη όμπρα και ώχρα) στο κονίαμα για το καλύτερο δυνατό αισθητικό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα, από την θερμογραφία Υπερύθρου, από την εξέταση των πέντε σύνθετων δοκιμίων λίθου-κονιάματος προέκυψε ότι το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζει μεγαλύτερη φυσικοχημική συμβατότητα ως προς τον λιθότυπο Σφουγγάρια Α, σε ότι αφορά στην υγρομετρική του συμπεριφορά. Εν συνεχεία, από την ψηφιακή μικροσκοπία έδειξε την καλύτερη δυνατή πρόσφυση διεπιφανειών λίθου – κονιάματος αποκατάστασης. Έπειτα, από την Υδατοαπορρόφηση διαπιστώθηκε ότι τα σύνθετα με το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου, παρουσιάζουν τις πιο συμβατές τιμές και την πιο συμβατή συμπεριφορά ως σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, συγκριτικά με το κάθε μέρος χωριστά που τα αποτελεί. Τέλος, οι μετρήσεις από την Υπερηχοσκόπηση κατέδειξαν μια ικανοποιητική φυσικομηχανική συμπεριφορά του σύνθετου.

Συνοπτικά, τα αποτελέσματα καθώς και τα συμπεράσματα της μεταπτυχιακής εργασίας έδειξαν, ότι εν γένει, η διεπιστημονικότητα αποτελεί βασικό πυλώνα στην τεκμηριωμένη έρευνα καθώς και στην διάγνωση φθορών. Εν συνεχεία, η επαρκής και επιστημονική καταγραφή μιας ολοκληρωμένης κατάστασης διατήρησης ενός μνημείου διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την εκτιμώμενη παθολογία ενός μνημείου. Συνεπώς, έχοντας μια άρτια καταγραφή δεδομένων για την παθολογία του μνημείου (φθορές, ιστορικά υλικά, κλίμα και μικροκλίμα), θα σχεδιαστούν έπειτα και οι κατάλληλες και αρμόζουσες επεμβάσεις συντήρησης και αποκατάστασης.

Εν κατακλείδι, με βάση την εξέταση και την μελέτη που πραγματοποιήθηκε πάνω στις προηγούμενες επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης, διαπιστώθηκε ότι η ασυμβατότητα των επεμβάσεων με τσιμεντοκονία υλικά και σιδηροπλισμό προκάλεσε εκτεταμένες φθορές στο μνημείο. Οι φθορές αυτές σε μεγάλο ποσοστό αποτελούν την αποκόλληση δομικού υλικού, σε συνέργια με την ισχυρή αιολική διάβρωση και των αιωρημάτων με διαλυτά άλατα, προερχόμενα από την θάλασσα.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

ABSTRACT

In this master thesis, the main subject of research is the study of materials and interventions for more efficient conservation and restoration of the Apollo Pythios Temple in the Ancient Acropolis of Rhodes.

This study has been integrated into the broader context of a comprehensive diagnostic study of the pathology of the temple and of the decay of the materials, as well as an integrated design and evaluation of these conservation and cleaning operations.

Consequently, the historical building materials of the temple were examined in order to propose the appropriate method of cleansing with the appropriate cleaning agents, as was the case for the consolidation of the stone and coated surfaces of the Temple. Subsequently, coated samples of Temple were studied in the laboratory, with destructive methods of analysis (XRD, TDA/TG SST%).

The decay of ancient stone surfaces by non-destructive methods was also studied, as well as in the laboratory with Scanning Electron Microscopy (SEM), their morphology and composition. Thus, it has been found that the monument is affected by biodegradation and presents as a major type of deterioration the honeycomb from the synergistic action of salinity, strong northwest winds and incompatible hygrometric behavior of concrete used in previous operations.

Subsequently, in the present Master thesis, commercial hydraulic lime restoration mortar was studied and subjected to non-destructive analysis methods (such as Digital Microscopy, Chromatometry, Ultrasound US) for filling and welding small fragments, as well as in hygrometric tests-measurements-experiments (such as Total Immersion in Water and by the Water Absorption Capillary) and compared with other compositions based on Lime and Natural Pozzolan, Natural Hydraulic Lime and Metakaolin, and commercial mortar of Lime – Metakaolin.

Three compositions of mortars prepared in the laboratory: i) Lime and Natural Pozzolane, ii) Natural Hydraulic Lime NHL3.5 and Metakaolin, iii) Lime and Natural Pozzolane with a higher percentage of water. Finally, two commercial mortars were used: i) Lime-Metakaolin, ii) Natural Hydraulic Lime.

In conclusion, five different mixtures of restorative mortar compositions were examined in total as joint and solder mortars for small parts of important lost ancient stone pieces in architectural parts, which could be supplemented with a restoration stone.

Along the way, the suitability of the restoration stone lithotype Sponges A was evaluated for potential use in the task of restoring of the Apollo Pythios Temple. As it emerged from this assessment, which includes the study of the mineralogical, physicochemical, mechanical and aesthetic characteristics of the stone under examination, the stone the restoration Stone from Location A of Rhodes quarry has good compatibility with the ancient stone and could therefore be used as a restoration stone.

Finally, complex stone-mortar restoration were manufactured and then subjected to non-destructive methods of analysis (such as Digital Microscopy, Chromatometry, US, Infrared

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Thermography), as well as hygrometric tests such as (Water Absorption Capillary and the Determination of Water-Soluble Salts), to assess mainly the physicochemical compatibility of this stone with the restoration mortars.

In summary, the study of the three compositions and the two ready-commercial mortars restoration and the complex of stone-mortar restoration showed that the most compatible mortar is the restoration mortar Commercial Natural Hydraulic Lime (C_NHL), which appears to have satisfactory mechanical strength values and physico-chemical compatibility with the restoration Stone from Location A of Rhodes quarry, PAR_Sa.

This was completely accepted based on the results of almost all the methods used, except from the Chromatometry, where pigment (a mix of burnt umber and ochre) should be added on the mortar to achieve the best results aesthetically.

Specifically, based on the results of the Infrared Thermography (IR), after the examination of five complex formations of stone-mortar the conclusion that was drawn, is the fact that the mortar Commercial Natural Hydraulic Lime, presents the best physicochemical compatibility with the restoration Stone from Location A of Rhodes quarry, regarding its hygrometric behavior. Also, the Digital Microscopy indicates the best possible adhesion between interfaces. Furth more, the results of Water Absorption Capillary show that the complex using the commercial mortar restoration based on Natural Hydraulic Lime, present the most compatible numerical values and the most compatible behavior as a complex of stone-mortar restoration, in comparison with the individual parts they consist of. Finally, the results from the Ultrasound (US) tests show a satisfying physico-mechanical behavior of the complex stone-mortar restoration.

In summary, the results of the master thesis have shown that, in general that the interdisciplinarity plays a very important role in the integrated documentation and diagnosis. Furthermore, a combination of techniques is necessary for the complete documentation of complex monuments, and no technique is efficient in itself. Also, regarding data about the historic materials, decay, climatic and microclimatic conditions of a historical construction can lead to useful conclusions on the conservation status, pathology and prior interventions. Regarding the monument under study and the interdisciplinary results generated by analysis procedures, the incompatibility of the previous interventions with cementitious materials is worth to be mentioned. Furthermore, it was discovered that a significant percentage of the degradation was the detachment of materials, a combining product of the strong winds and the suspensions with soluble salts originating from the sea.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
1. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	11
1.1. ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	11
1.2. ΦΘΟΡΑ ΣΕ ΑΡΧΑΙΟΥΣ ΝΑΟΥΣ	14
1.3. ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΛΙΘΩΝ	16
1.4. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	25
1.4.1. Κονίες.....	26
1.4.2. Αδρανή.....	27
1.4.3. Πρόσθετα.....	28
1.4.4. Είδη Κονιαμάτων	31
1.4.4.1.Υδραυλικές Κονίες	31
1.4.4.2. Αερικές Κονίες	32
1.4.5 Φθορά κονιαμάτων	34
2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ	37
2.1. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΝΗΜΕΙΟΥ	37
2.1.1. Ιστορικά στοιχεία.....	37
2.1.2. Αρχιτεκτονικά στοιχεία.....	38
2.2. ΙΤΑΛΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	41
2.3. ΠΑΘΟΛΟΓΙΑ ΜΝΗΜΕΙΟΥ – ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ	44
2.3.1. Παθολογία Μνημείου.....	44
2.3.2. Απαιτούμενες Επεμβάσεις	46
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	49
3.1. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	49
3.2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	52
3.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία.....	52
3.2.2. Χρωματομετρία.....	53
3.2.3. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)	54
3.2.4. Θερμική Ανάλυση (DTA-TG)	55
3.2.5. Περίθλαση ακτίνων Χ, (XRD)	56
3.2.6. Υγρομετρικές Μετρήσεις.....	57
3.2.6.1. Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό	57
3.2.6.2.Υδατοαπορρόφηση μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης	59

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

3.2.7. Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων	60
3.2.8. Θερμογραφία Υπερύθρου IR.....	61
3.2.9. Υπερηχοσκόπηση.....	63
3.3. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΩΝ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	65
3.3.1. Λίθοι και Επιχρίσματα του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα.....	65
3.3.2. Κανονικοποιημένα δοκίμια λίθου λατομείου	66
3.3.3. Κονιάματα αποκατάστασης.....	67
3.3.4. Σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης	69
4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	80
4.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΡΟΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΤΟΥ ΝΑΟΥ ΤΟΥ ΠΥΘΙΟΥ ΑΠΟΛΛΩΝΑ	80
4.1.1 Λίθινες και επιχρισμένες επιφάνειες του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα – Χαρακτηρισμός και τύποι φθοράς	80
4.1.1.1 Λίθινες επιφάνειες.....	80
4.1.1.2. Επιχρισμένες επιφάνειες	90
4.1.1.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία και Φωτογραφική τεκμηρίωση	90
4.1.1.2.2. Αποτελέσματα Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD) - Ορυκτολογική Μελέτη ...	92
4.1.1.2.3. Θερμοβαρυμετρική και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA/TG).....	96
4.1.1.2.4. Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων (SST%)	100
4.1.1.3 Διαμόρφωση προτάσεων για τη μεθοδολογία επεμβάσεων καθαρισμού ...	101
4.1.1.4 Διαμόρφωση προτάσεων για τη μεθοδολογία επεμβάσεων στερέωσης	104
4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΙΚΟΥ ΛΙΘΟΥ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΑ Α.....	105
4.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία	106
4.2.2. Υδατοαπορρόφηση με Δοκιμές Τριχοειδούς Αναρρίχησης	107
4.2.3. Ολική Εμβάπτιση Δοκιμίων σε Νερό	109
4.2.4. Υπερηχοσκόπηση.....	110
4.2.5. Χρωματομετρία	111
4.3 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ – ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ – ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ	112
4.3.1 Φωτογραφική τεκμηρίωση και Ψηφιακή Μικροσκοπία.....	112
4.3.2. Θερμοβαρυμετρική και Διαφορική Θερμική ανάλυση (DTA/TG)	113
4.3.3. Υδατοαπορρόφηση με Δοκιμές Τριχοειδούς Αναρρίχησης.....	114
4.3.4. Ολική Εμβάπτιση Δοκιμίων σε νερό	118
4.3.5. Υπερηχοσκόπηση	118
4.3.6. Χρωματομετρία.....	119
4.3.7. Συγκριτική μελέτη εξεταζόμενων κονιαμάτων αποκατάστασης.....	119
4.3.7.1. Ως προς τα νωπά χαρακτηριστικά κονιαμάτων αποκατάστασης	120
4.3.7.2. Ως προς τα χαρακτηριστικά σκληρυμένων κονιαμάτων αποκατάστασης....	121
4.3.7.2.1. Εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων	121

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

4.3.7.2.2. Έλεγχος Υγρομετρικής συμπεριφοράς με την μέθοδο ολικής εμβάπτισης σε νερό	122
4.3.7.2.3. Ως προς τις δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης	123
4.3.7.2.4. Συγκριτική μελέτη δεδομένων της μικροδομής των κονιαμάτων αποκατάστασης	124
4.3.7.2.5. Ως προς τις μηχανικές αντοχές κονιαμάτων αποκατάστασης	125
4.3.7.2.6. Υπερηχοσκόπηση	126
4.3.7.2.7. Ως προς την χρωματομετρία.....	126
4.3.7.3. Μερικά συμπεράσματα	127
4.4. ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΛΙΘΟΥ – ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	128
4.4.1 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης	128
4.4.2. Δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης στα σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης.....	135
4.4.3. Έλεγχος υγρομετρικής συμπεριφοράς σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης με θερμογραφία υπερύθρου	158
4.4.4. Μετρήσεις υπερηχοσκόπησης σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης.....	168
4.4.5. Μετρήσεις χρωματομετρίας σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης.....	170
4.4.6. Έλεγχος συμβατότητας λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης – Μερικά Συμπεράσματα	172
Θερμογραφία Υπερύθρου.....	173
5. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	175
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	180
ΝΟΡΜΕΣ / ΠΡΟΤΥΠΑ	183
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	185
ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΑΜΜΟΥ ΩΣ ΑΔΡΑΝΕΣ ΣΤΗΝ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	185
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΕΛΤΙΩΝ	188
Π.1. Άμμος Ποταμού 0-2.....	188
Π.2. Υδράσβεστος.....	191
Π.3. Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου	193
Π.4. Μετακαολίνη.....	196
Π.5. Φυσική Υδραυλική Άσβεστος	197
Π.6. Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης Ασβέστη – Μετακαολίνη	200

1. ΓΕΝΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

1.1. Πετρώματα

Η πέτρα είναι ένα δομικό υλικό που το χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από τους προϊστορικούς χρόνους στην κατασκευή και δημιουργία ποικίλων αντικειμένων, εργαλείων, κτισμάτων, τεχνουργημάτων και έργων. Είναι ένα υλικό φθινό, ευρέως διαδεδομένο στην φύση, με μεγάλες δυνατότητες επεξεργασίας και πλήθος φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, με μεγάλη ποικιλία ειδών και χρωματισμών. Μεγάλο μέρος της παγκόσμιας υλικής πολιτιστικής κληρονομιάς αποτελείται από πέτρινα μνημεία, αντικείμενα, τεχνουργήματα και έργα μεγάλης ιστορικής καλλιτεχνικής και πολιτιστικής σημασίας.

Τα πετρώματα ως δομικό υλικό αποτελούν ένα μεγάλο ποσοστό στις αρχαίες κατασκευές των Ναών. Τα πετρώματα ονομάζονται και ορυκτά και αποτελούν μέρος του στερεού φλοιού της Γης. Τα πετρώματα της επιφάνειας της Γης ανήκουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ✓ Τα Πυριγενή
- ✓ Τα Μεταμορφωσιγενή
- ✓ Τα Ιζηματογενή

Και η υπόλοιπη επιφάνεια καλύπτεται από πάγους.

Τα πετρώματα ταξινομούνται κατά πολλούς τρόπους. Όσον αφορά στην σύστασή τους μπορεί να είναι ομογενή όταν αποτελούνται από ένα είδος πέτρας ή ετερογενή όταν αποτελούνται από πολλά. Όσον αφορά στις φυσικές τους ιδιότητες ταξινομούνται σε πορώδη, συμπαγή και μη συμπαγή. Η βασικότερη όμως ταξινόμηση γίνεται με τον τρόπο σχηματισμού τους, οπότε διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- ✓ Στα πυριγενή ή εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα
- ✓ Στα ιζηματογενή πετρώματα
- ✓ Στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Πυριγενή Πετρώματα

Τα πυριγενή πετρώματα σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση ρευστής και διάπυρης μάζας, η οποία προήλθε από το εσωτερικό της Γης και στερεοποιήθηκε στους επιφανειακούς σχηματισμούς του στερεού φλοιού της. Η ρευστή και διάπυρη μάζα λέγεται μάγμα και επομένως τα πετρώματα της κατηγορίας αυτής ονομάζονται μαγματικά. Επίσης, ονομάζονται και εκρηξιγενή, διότι η μετακίνηση του μάγματος από τα βαθύτερα προς τα επιφανειακά στρώματα του στερεού φλοιού αποτελεί ένα είδος έκρηξης.

Το μάγμα πολλές φορές κατά την άνοδό του δεν κατορθώνει να φθάσει μέχρι την επιφάνεια της Γης και κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης ψύχεται και στερεοποιείται μέσα στο στερεό φλοιό. Τότε τα πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται ονομάζονται πλουτώνια πυριγενή πετρώματα. Μέσα σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν ο γρανίτης, ο γρανοδιორίτης, ο γάββρος και ο περιοδοτίτης (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Όμως, όταν το μάγμα κατά την άνοδό του βγαίνει και σταθεροποιείται στην επιφάνεια της Γης, τότε τα πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται ονομάζονται ηφαιστειογενή πετρώματα και είναι η περίπτωση των ηφαιστειών, όπου η λάβα που βγαίνει από τους κρατήρες τους στερεοποιείται πάνω στην επιφάνεια της Γης. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ο λιπαρίτης, ο τραχείτης, ο ανδεσίτης, ο βασάλτης και ο διαβάσης.

Τέλος, υπάρχει και η κατηγορία των φλεβιτών, που σχηματίστηκαν κάτω από ενδιάμεσες συνθήκες, όπως μέση ταχύτητα ψύξης, μέτρια πίεση και μερική διαφυγή των αερίων του μάγματος.

Ιζηματογενή Πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίστηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων που ήδη υπήρχαν. Σχηματίστηκαν από την καθίζηση αποσαθρωμένων προϊόντων, υπό μορφή χημικών και μηχανικών ιζημάτων, μέσα στο νερό και γι’ αυτό και ονομάστηκαν ιζηματογενή. Για να σχηματιστεί ένα τέτοιο πέτρωμα προϋποθέτει και απαιτεί ύπαρξη υλικών, τα οποία κυρίως προέρχονται από την αποσάθρωση και διάβρωση άλλων πετρωμάτων που προϋπήρχαν (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Για να σχηματιστεί ένα ιζηματογενές πέτρωμα, είναι απαραίτητο να υπάρχουν παράγοντες δημιουργίας των πετρωμάτων που ανήκουν σ’ αυτήν την κατηγορία. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

Α) Η **αποσάθρωση**: περιλαμβάνει όλες τις μηχανικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που συντελούν στον κατακερματισμό και τελικά στην καταστροφή ενός πετρώματος. Οι παράγοντες αποσάθρωσης είναι η μηχανική δράση του νερού, με την μορφή βροχής, χιονιού, πάγου, ποταμών, οι διακυμάνσεις της ηλιακής θερμότητας, η μηχανική δράση των ανέμων και η διάλυση, υδρόλυση, οξείδωση και αναγωγή ορισμένων ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων. Παράδειγμα διάλυσης ή χημικής αποσάθρωσης είναι η επίδραση του της βροχής στους ασβεστόλιθους σύμφωνα με την αντίδραση: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Στην αποσάθρωση των πετρωμάτων συντελούν ακόμη και οργανικοί παράγοντες, όπως οι ρίζες των φυτών, οι τερμίτες, τα λιθοφάγα όστρακα της θάλασσας.

Β) Η **μεταφορά**: είναι η δεύτερη φάση κατά την οποία δημιουργείται ένα ιζηματογενές πέτρωμα, όπου τα υλικά της αποσάθρωσης από ένα πέτρωμα που προϋπήρχε μεταφέρονται μακριά από τον τόπο προέλευσης. Σαν μέσα μεταφοράς θεωρούνται το νερό, υπό μορφή χειμάρρων, ποταμών και ο αέρας. Ανάλογα βέβαια με το μέγεθος και το ειδικό βάρος των υλικών, γίνεται κατά τη μεταφορά στα υλικά αυτά και κάποια διαλογή. Η μεταφορική ικανότητα του νερού εξαρτάται από την κινητική του ενέργεια και όταν η κινητική αυτή ενέργεια μειωθεί, όπως στις εκβολές των ποταμών, τα υλικά που αιωρούνται αρχίζουν να κατακάθονται. Η φάση αυτή είναι η τρίτη απαραίτητη φάση σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων και καλείται απόθεση.

Γ) Η **διαγένεση - λιθοποίηση**: τα ιζήματα που έχουν κατακαθίσει παθαίνουν την λεγόμενη λιθοποίηση, μεταβαλλόμενα σε συμπαγή πετρώματα από χαλαρά ιζήματα. Οι παράγοντες διαγένεσης είναι η πίεση που προκαλείται από μεταγενέστερες πάνω σε αυτά τα υλικά αποθέσεις και η κυκλοφορία διαφόρων διαλυμάτων μεταξύ των κενών των ιζημάτων, τα οποία συμβάλλουν στην συγκόλληση των κόκκων τους. Τα ιζηματογενή πετρώματα

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

διακρίνονται δε, με βάση το είδος και την προέλευση του ιζηματογενούς σχηματισμού, σε κλαστικά ή μηχανικά, σε χημικά και βιογενή ή οργανογενή.

Κλαστικά ιζηματογενή Πετρώματα

Τα Κλαστικά ιζηματογενή Πετρώματα προέρχονται από διαγένεση ιζημάτων που είναι προϊόντα φυσικής αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων, χωρίς προηγούμενης μεσολάβησης κάποιας χημικής μεταβολής. Αυτά διακρίνονται σε τρογμάλες, λατύπες, κροκάλες, χαλίκια, άμμο, ιλύ και σε αργίλους.

Σχηματισμός και Καταβύθιση Αργιλικών Ιζημάτων

Ο Σχηματισμός και Καταβύθιση Αργιλικών Ιζημάτων ευθύνεται για το φαινόμενο της κροκίδωσης, το οποίο λαμβάνει χώρα υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Χημικά και Βιογενή Ιζηματογενή Πετρώματα

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα πετρώματα στον οποίων τα ιζήματα συμμετέχει και ο οργανικός κόσμος. Τα σπουδαιότερα πετρώματα που έχουν σχέση με τεχνικά έργα είναι ο **ασβεστόλιθος**, οι μάρμαρα, ο τραβερτίνης, η κρητίδα ή κιμωλία, ο δολομίτης και οι κερατόλιθοι.

Ασβεστόλιθος: κύριο συστατικό του ο ασβεστίτης (CaCO_3) και περιέχει μικρά ποσοστά οξειδίων και υδροξειδίων αργιλίου και σιδήρου. Οι ασβεστόλιθοι σχηματίζονται από τα κελύφη και τον σκελετό φυτικών και ζωικών οργανισμών κυρίως στον βυθό της θάλασσας. Τα υπόλοιπα ορυκτολογικά συστατικά των ασβεστόλιθων είναι τα εξής: τα αργιλικά ορυκτά, τα πυρίτια, ο αιματίτης-λειμωνίτης, οι ανθρακούχες και μαλθούχες ουσίες, οι πυρίτες (σιδηροπυρίτης, μαρκασίτης), τα οξείδια του Μαγγανίου, οι δολομίτες, ο γλαυκωνίτης, αλβίτης, και ο τουρμαλίνης.

Δολομίτης αποτελείται από μίγμα CaCO_3 και MgCO_3 και μπορεί να έχει βιογενή προέλευση, δηλαδή μπορεί να σχηματιστεί από το σκελετό και το κέλυφος οργανισμών που εκτός από CaCO_3 περιέχουν MgCO_3 σε ποσοστό 20%.

Μεταμορφωσιγενή Πετρώματα

Τα Μεταμορφωσιγενή Πετρώματα προέρχονται από τη μεταμόρφωση ορισμένων ορυκτολογικών συστατικών των ηφαιστειογενών και ιζηματογενών πετρωμάτων, υπό την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων κυρίως. Άρα, πρόκειται για μεταβολές που πραγματοποιούνται στα ορυκτολογικά συστατικά των αρχικών πετρωμάτων, όταν αυτά βρίσκονται κάτω από ορισμένες συνθήκες. Οι μεταβολές αυτές είναι, η παράλληλη διάταξη των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων, η ανακρυστάλλωση τους και η δημιουργία νέων ορυκτολογικών συστατικών. Πρόκειται για μια ισοχημική διαδικασία μεταβολής της δομής του πετρώματος με ανακρυστάλλωση, χωρίς προηγούμενη τήξη ή διάλυση και χωρίς μεταβολή στην χημική σύσταση του πετρώματος. Τα Μεταμορφωσιγενή Πετρώματα είναι σε ποσότητα τα πιο συνηθισμένα στο σύνολο των πετρωμάτων του στερεού φλοιού της γης (Λαμπρόπουλος Β., 1993).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Οι διάφοροι τύποι μεταμόρφωσης εξαρτώνται από το σύνολο των πιέσεων που ασκούνται, ενώ η θερμοκρασία καθορίζει το βαθμό της μεταμόρφωσης και είναι η Δυναμική Μεταμόρφωση, τη Μεταμόρφωση Επαφής και την Περιφερειακή Μεταμόρφωση. Από τα πιο σημαντικά είναι η Μεταμόρφωση Επαφής, όπου προκύπτει και το Μάρμαρο, το οποίο είναι ένα πέτρωμα που έχει προέλθει από ασβεστόλιθο με ανακρυστάλλωση του ορυκτού που περιέχει, δηλαδή του ασβεστίτη (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Ιδιότητες των λίθων

- Πορώδες
- Πυκνότητα
- Διαπερατότητα – Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης
- Σκληρότητα
- Μηχανικές Αντοχές Λίθων

1.2. Φθορά σε αρχαίους ναούς

Η ισχυρότερη σήμερα απειλή για τη διατήρηση της πολιτιστικής μας κληρονομιάς, είναι η ρύπανση και η μόλυνση του περιβάλλοντος, η οποία έχει οδηγήσει στην καταστροφή μερικών από τα σημαντικότερα έργα τέχνης και αρχαία μνημεία, προκαλώντας διάβρωση της επιφάνειας, αποχρωματισμό και αμαύρωση. Τα δομικά υλικά που φθείρονται από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους είναι τα διάφορα είδη πέτρας, το ξύλο, τα κεραμικά, το γυαλί και τα μέταλλα. Όσον αφορά στους αρχαίους ναούς φθείρονται κυρίως τα πετρώματα άλλα και τα μεταλλικά στοιχεία μέσα στην πέτρινη δομή από προηγούμενες αποκαταστάσεις, τα οποία οξειδώνονται και διαβρώνονται δημιουργώντας φθορές στα γειτνιάζοντα ιστορικά δομικά υλικά των μνημείων. Η τελειότητα της αρχαίας οικοδομικής τέχνης εξασφάλιζε την υψηλή αντοχή των μνημείων στις φυσικές δράσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε πολλές περιπτώσεις, ωστόσο, η ανθρώπινη δραστηριότητα διατάραξε τη ισορροπία της αρχαίας οικοδομικής, καθιστώντας τα μνημεία περισσότερο ευάλωτα στην φθορά από φυσικά αίτια.

Είναι χαρακτηριστικό ότι η πλειονότητα των φθορών που καλούμαστε να αντιμετωπίσουμε σήμερα δεν οφείλονται πρωταρχικά στη δράση φυσικών παραγόντων, αλλά σε ανθρώπινη επέμβαση. Εκτεταμένες φθορές προκλήθηκαν από αναστηλωτικές επεμβάσεις του πρόσφατου παρελθόντος. Η αστοχία των επεμβάσεων αυτών συνίσταται, κυρίως στη χρήση κοινού σιδήρου ως στοιχείου σύνδεσης θραυσμένων αρχιτεκτονικών μελών ή ενίσχυσης της αντοχής άλλων. Οι κυριότερες φθορές των αρχαίων μνημείων που αντιμετωπίζονται στο πλαίσιο της σύγχρονης επέμβασης διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, αυτές είναι οι μηχανικές, οι χημικές και οι βιολογικές.

Φθορές που προκαλούνται από μηχανικά αίτια

Είναι εκείνες οι φθορές που οφείλονται σε σεισμούς, σε εκρήξεις, βομβαρδισμούς, έντονες θερμοκρασιακές διαφορές όπως πυρκαγιές και παγετό, έντονη αιολική δραστηριότητα στην περιοχή, καθώς και στη διόγκωση των οξειδωμένων σιδήρων συνδέσμων των νεώτερων επεμβάσεων.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Φθορές που προκαλούνται από χημικά αίτια

Πρόκειται για μορφές διάβρωσης που προκαλούνται στο δομικό υλικό που προσβάλλουν, κυρίως από την όξινη βροχή, ένα σοβαρό πρόβλημα συνδεδεμένο με την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης, με την μόλυνση του εξωτερικού περιβάλλοντος προκαλούνται διάφορες χημικές αντιδράσεις πάνω στις επιφάνειες των δομικών υλικών, οπότε δημιουργούνται διάφορες επικαθήσεις, δηλαδή η σκόνη, η αιθάλη και τα μεταλλοξείδια.

Φθορές που προκαλούνται από βιολογικά αίτια (βιοδιάβρωση)

Η βιοδιάβρωση πρόκειται για μορφή διάβρωσης που προκαλείται από τους μύκητες, τις λειχήνες, τα βρύα, τα περιττώματα των πτηνών και ζώων, τις ρίζες των φυτών και τα εκχύματά τους. Τέλος, η προσβολή του πετρώματος από μικροοργανισμούς σε συνδυασμό με τις φυσικοχημικές συνθήκες του περιβάλλοντος ευθύνονται για την καλλιτεχνική, αισθητική και ιστορική υποβάθμιση των μνημείων.

Η επιδεκτικότητα των λίθων στη φθορά.

Η επιδεκτικότητα των λίθων στη φθορά είναι συνάρτηση των μηχανικών και δομικών παραμέτρων τους: (i) της αντοχής τους σε θλίψη, (ii) του μέτρου συμπίεστότητας, (iii) του πορώδους και της κατανομής του μεγέθους των πόρων και (iv) της ειδικής επιφάνειας των πόρων (Theoulakis & Μογορούλου, 1997) (Μογορούλου Α. Κ.-F., 2000). Παράλληλα όμως είναι αντιστρόφως ανάλογη της ανθεκτικότητας τους σε περιβαλλοντικά φορτία.

Συγκεκριμένα, τα κριτήρια για την επιδεκτικότητα της πέτρας σε φθορά από θαλάσσια άλατα, είναι η φθορά της πέτρας από διαλυτά άλατα – το περισσότερο πιθανό ενδεχόμενο - έπειτα, η διάρρηξη της πέτρας κατά την κρυστάλλωση του χλωριούχου νατρίου (Theoulakis & Μογορούλου, 1999) (NaCl) –ένα πιθανό ενδεχόμενο – και τέλος η ευαισθησία της πέτρας από κρυστάλλωση αλάτων είναι συνάρτηση των μηχανικών και δομικών παραμέτρων, όπως η αντοχή σε θλίψη, το μέτρο συμπίεστότητας και το πορώδες καθώς και η κατανομή μεγέθους πόρων.

Συγκεκριμένα η ευαισθησία της πέτρας με την κρυστάλλωση αλάτων δημιουργεί τα εξής μοντέλα φθοράς (Μοροπούλου & Μπατής., 2014)

- Στα ιζηματογενή πετρώματα όπως είναι ο βιοκαλκαρενίτης, ιζηματογενές πέτρωμα που συναντάται στην Μεσαιωνική Πόλη της Ρόδου όπως και στο Ναό του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη στην Ρόδο, όπου στο εσωτερικό του λίθου συσσωρεύεται εντονότατη ποσότητα αλάτων, συνεπώς αναπτύσσονται μηχανικές τάσεις. Για τον λόγο αυτό η φθορά του βιοκαλκαρενίτη παρουσιάζεται με απόσπαση κόκκων, μέσω κρυστάλλωσης NaCl στους πόρους του.
- Στα μαγματικά πετρώματα όπως είναι ο γρανίτης, εμφανίζονται απολεπίσεις καθώς και απόσπαση κόκκων, μέσω κρυστάλλωσης NaCl στους πόρους του.
- Στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα όπως είναι το μάρμαρο, εμφανίζεται απόσπαση κρυστάλλων, μέσω κρυστάλλωσης NaCl στην κρυσταλλική δομή του, η λεγόμενη κρυσταλλική ρηγμάτωση μαρμάρου.

Τέλος, η εξωτερική επιφάνειά των μνημείων, που εκτίθενται στη μολυσμένη ατμόσφαιρα των πόλων, καλύπτεται από εναποθέσεις που προσφύονται και προσκολλώνται στο

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

υπόστρωμα, παίρνοντας χρώμα από γκρίζο μέχρι μαύρο. Γενικά οι επικαθίσεις στην επιφάνεια των δομικών υλικών είναι:

- ορυκτολογικής προέλευσης (χώμα, λάσπη, ασβεστολιθικά υλικά και άμμος).
- προϊόντα οικιακών και βιομηχανικών καύσεων (στάχτη, επικαθίσεις καυσαερίων, πίσσα και αιθάλη).
- τέλος, βιολογικές επικαθίσεις (άλγη, λειχήνες, βακτήρια, μύκητες).

Οι εναποθέσεις παραμένουν ιδιαίτερα σε περιοχές του μνημείου που προφυλάσσονται από το νερό της βροχής και διαθέτουν διαφορετικό πάχος και δομή. Τα είδη των εναποθέσεων ποικίλουν από εικόνα σκόνης, που είναι χαλαρά συνδεδεμένη με την επιφάνεια των δομικών υλικών ή περισσότερο προσκολλημένες σε αυτή, έως πολύ συμπαγής και ισχυρά στερεωμένες στο πέτρινο υπόστρωμα, οι αποκαλούμενες **μαύρες κρούστες**.

Αυτές οι κρούστες είναι υπεύθυνες σχεδόν πάντα για την πρόκληση σοβαρών φαινομένων διάβρωσης του πέτρινου υλικού σε μορφή απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και εξογκωμάτων. Στις περιοχές όπου η μαύρη κρούστα με την πάροδο του χρόνου ρηγματώνεται και σπάζει, εμφανίζεται από κάτω το πέτρινο υλικό που έχει ήδη διαβρωθεί και ξαναδημιουργείται στο ίδιο σημείο καινούργιο μαύρη κρούστα εκ νέου. Εξετάζοντας την προέλευση των διάφορων συστατικών της μαύρης κρούστας (με μεθόδους όπως: ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, Περίθλαση Ακτίνων Χ –XRD, χρωματογραφία), διαπιστώνεται ότι μεταξύ άλλων υπάρχει ανθρακούχο υλικό που προέρχεται από τα υπολείμματα των καύσεων των πετρελαιοειδών, που βρίσκονται σε διασπορά στην ρυπασμένη ατμόσφαιρα των πόλεων, ασβέστιο που προέρχεται από το ασβεστολιθικό υλικό της πέτρα καθώς και ο σίδηρος από σιδηρούχα υλικά που περιέχονται στην πέτρα ή προϊόντα διάβρωσης από μεταλλικά υλικά (σιδηρούχοι σύνδεσμοι), κ.α.

1.3. Επεμβάσεις Καθαρισμού Λίθων

Αρχικά, ο ορισμός και η τεκμηρίωση της αναγκαιότητας εφαρμογής των μεθόδων καθαρισμού, είναι η απομάκρυνση κάθε ουσίας η οποία είναι επιβλαβής για την πέτρα: διαλυτά άλατα, κρούστες όχι πολύ διαλυτές ή αδιάλυτες, διαστρωματώσεις διαφορετικών υλικών σκόπιμα εφαρμοσμένων και μη σταθερών, εκκρίσεις ζώων, ανεπτυγμένη βλάστηση, κ.α. (Normal document 20/85, ICR-CNR).

Κατά δεύτερον, να σημειωθεί ότι με βάση την διάβρωση που έχουν υποστεί τα δομικά υλικά ενός μνημείου, θα σχεδιαστούν και θα πραγματοποιηθούν και οι κατάλληλες επεμβάσεις συντήρησής του. Αυτές μπορούν να διακριθούν στον καθαρισμό, στην στερέωση επιφανειών, στην προστασία, στην συγκολλήσεις, στις συμπληρώσεις και τέλος στην αισθητική αποκατάσταση. Στο παρόν κεφάλαιο θα εξεταστεί ένα από τα στάδια επεμβάσεων συντήρησης αυτό του καθαρισμού.

Ο καθαρισμός αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια στον στρατηγικό σχεδιασμό μίας επέμβασης συντήρησης σε ένα αντικείμενο, σε ένα έργο τέχνης ή σε ένα μνημείο. Συνήθως, το πρώτο στάδιο συντήρησης ξεκινάει με μία ήπια μεθοδολογία καθαρισμού, ως προς την

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

χρήση των καθαριστικών μέσων. Ακολουθώντας την αρχή της ηπιότερου μεθόδου συντήρησης, ώστε να μην προκληθούν περαιτέρω φθορές από αυτές τις ίδιες εργασίες καθαρισμού.

Για να καταλήξει κάποιος στη μεθοδολογία και στα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν απαιτείται εκτεταμένη έρευνα, διότι εξαρτώνται από το είδος και την δομή της επιφάνειας του δομικού υλικού, τους παράγοντες που επιδρούν σε αυτήν και επηρεάζουν τη διαδικασία φθοράς, το βαθμό αλλοίωσης της και το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται. Επίσης, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και ο τρόπος χρήσης ενός υλικού στο στάδιο του καθαρισμού, έτσι για να κριθεί το αποτέλεσμα μιας επέμβασης συντήρησης από αισθητική και ποιοτική άποψη, απαιτείται να πραγματοποιηθεί αξιολόγηση της μεθόδου και του αποτελέσματος της χρήσης του καθαριστικού υλικού.

Οι λόγοι καθαρισμού της πέτρας είναι αισθητικοί, φυσικοχημικοί, για ενεργειακή αναβάθμιση στη φθαρμένη επιφάνεια και για την ανάδειξη – προβολή του μνημείου και της καλλιτεχνικής του αξίας. Συγκριμένα οι φυσικοί και φυσικοχημικοί λόγοι που είναι και οι κύριοι είναι για να επιτευχθεί η απομάκρυνση επικαθήσεων- αποθέσεων, τα προϊόντα διάβρωσης και αλλοίωσης της επιφάνειας, οι βιολογικοί παράγοντες διάβρωσης καθώς και τα διαλυτά άλατα. Να σημειωθεί ότι στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή το βασικό αντικείμενο μελέτης είναι ένας αρχαίος ναός, οπότε θα αναφερθεί ο καθαρισμός πέτρας, συνεπώς πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στο θέμα πάτινας η λεγόμενη «ευγενής πάτινα», που είναι στην επιφάνεια των μνημείων.

Κριτήρια καθαρισμού της πέτρας

- Η ελεγχόμενη ταχύτητα δράσης, (αν τυχόν παραστεί ακαριαία ανάγκη για διακοπή το στάδιο του καθαρισμού).
- Αποφυγή παραγωγής βλαβερών προϊόντων για την μελλοντική κατάσταση της πέτρας, όπως τα διαλυτά άλατα.
- Να προκύπτει λεία και καθαρή επιφάνεια όσο το δυνατόν, χωρίς ρωγμές και εσοχές, τόσο για το αισθητικό αποτέλεσμα όσο και για την επιβράδυνση περαιτέρω διάβρωσης.
- Προστασία από τον καθαρισμό της ευγενούς πάτινας.
- Πριν την τελική επιλογή της μεθοδολογίας και της χρήσης καθαριστικών αλλά και εργαλείων, θα πρέπει να πραγματοποιείται προληπτικά μια πιλοτική εφαρμογή του καθαρισμού σε ένα μικρό, λιγότερο ορατό και με μικρό ενδιαφέρον σημείο του μνημείου.
- Η αρχή της αντιστρεψιμότητας, η οποία ορίζει ότι κάθε υλικό συντήρησης πρέπει να είναι αναστρέψιμο, όσον το δυνατό αυτό είναι εφικτό, διότι ο καθαρισμός είναι ένα μη αντιστρεπτό αλλά απαραίτητο στάδιο επέμβασης συντήρησης.
- Να διέπεται και να τηρεί πρότυπα, νόμους, χάρτες και κώδικες δεοντολογίας.

Πρώτου εφαρμοστεί η μέθοδος καθαρισμού πρέπει πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη η χημική και ορυκτολογική δομή του υλικού, το πορώδες του, ο τύπος και η ένταση της φθοράς, το είδος των αποθέσεων που πρέπει να απομακρυνθούν, το είδος της επιφάνειας, το ιστορικό και καλλιτεχνικό ενδιαφέρον της κατασκευής, καθώς και το κόστος και η διάρκεια της επέμβασης του καθαρισμού.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Η στρατηγική, για προσεκτική προετοιμασία και εφαρμογή των επεμβάσεων καθαρισμού, πρέπει να σχεδιαστεί από αρμόδιο ερευνητικό κέντρο με διεπιστημονική συνεργασία από έμπειρο και καλά εκπαιδευμένο προσωπικό. Οι έρευνες αφορούν στον χαρακτηρισμό του υποστρώματος σύμφωνα με το πορώδες, την ταχύτητα υπερήχων, την πετρογραφία, το χρώμα, το βάθος της φθοράς, το περιεχόμενο στα διαλυτά άλατα καθώς και τα χαρακτηριστικά της υδατοαπορρόφησης. Επίσης, οι έρευνες αφορούν στον χαρακτηρισμό της φθοράς σε ότι αφορά το πάχος, τη συνοχή, τα περιεχόμενα άλατα, το χρώμα, τη χημική σύσταση, καθώς και την προέλευση επικαθήσεων – αποθέσεων και προϊόντων διάβρωσης. Στην πορεία η στρατηγική για προσεκτική προετοιμασία και εφαρμογή των επεμβάσεων καθαρισμού, πρέπει να συμφωνεί με την επιλογή των μεθόδων καθαρισμού που θα εφαρμοστούν πιλοτικά, τον προσδιορισμό των κριτηρίων αποτίμησης επεμβάσεων καθαρισμού σε σχέση με την επιτελεσματικότητα της μεθόδου καθαρισμού, καθώς και με την ανθεκτικότητα στο χρόνο και την αισθητική της καθαρισμένης επιφάνειας. Τέλος, όσον αφορά στην εφαρμογή μιας επέμβασης καθαρισμού απαιτείται πρωτίστως η λειτουργική ρύθμιση του εργοταξίου και έπειτα η τελική αποτίμηση των επεμβάσεων καθαρισμού με τα προεπιλεγμένα κριτήρια.

Τώρα, όσον αφορά στην κατάλληλη σειρά εργασιών για τον καθαρισμό ενός ιστορικού κτιρίου πρώτο και κύριο είναι οι προσεκτικές και μακροσκοπικές παρατηρήσεις και η καταγραφή των παρουσιαζόμενων τύπων φθοράς. Στην συνέχεια, πρέπει να πραγματοποιηθεί η επιλογή ζωνών-επιφανειών διάγνωσης της φθοράς με μη καταστρεπτικές τεχνικές επί τόπου, καθώς και αναλυτικές τεχνικές στο εργαστήριο κατόπιν δειγματοληψίας. Εν συνεχεία, να χαρακτηριστούν τα δομικά υλικά και η διάγνωση της φθοράς τους και έπειτα να εφαρμοστούν πιλοτικές επεμβάσεις καθαρισμού στις ήδη προεπιλεγμένες ζώνες και να γίνει η αποτίμηση τους, in situ με NDT ή στο εργαστήριο κατόπιν δειγματοληψίας. Συνεπώς, με βάση την αποτίμηση των πιλοτικών εφαρμογών καθαρισμού μπορούν να διατυπωθούν οι πρώτες προτάσεις επεμβάσεων συντήρησης ανά υλικό και παρουσιαζόμενο τύπο φθοράς. Στην συνέχεια, μπορεί να γίνει μια χαρτογράφηση δομικών υλικών και παρουσιαζόμενων τύπων φθοράς-παθολογία του κτιρίου, των επεμβάσεων καθαρισμού και προστασίας, καθώς και την κοστολόγηση εργασιών.

Μέθοδοι Καθαρισμού

Οι μέθοδοι καθαρισμού χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες, τις φυσικές, τις χημικές, τις θερμικές και της μεθόδους κατά της βιοδιάβρωσης. Παρακάτω θα αναφερθούν αναλυτικά οι τέσσερις αυτές κατηγορίες.

i) Φυσικές μέθοδοι καθαρισμού

Με βάση το νερό

Ράντισμα με νερό χαμηλής πίεσης

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία ελεγχόμενη και σχετικά εύκολη και ήπια μέθοδος, που σκοπό έχει την απομάκρυνση διαλυτών αλάτων, που είναι επικίνδυνα για τις πορώδεις πέτρες, από τις πέτρινες επιφάνειες. Ο κύριος λόγος που χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος καθαρισμού είναι όταν οι επικαθίσεις είναι διαλυτές στο νερό και δεν είναι ισχυρά συνδεδεμένες με την πέτρινη επιφάνεια. Επίσης, με την μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η διαλυτοποίηση των επικαθήσεων εξαιτίας της χαμηλής μηχανικής της δράσης (πίεση: 2.5-4

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

atm). Η μέθοδος δεν εγγυάται ολοκληρωτική απομάκρυνση επικαθήσεων, άρα δεν συνιστάται για πολύ διαβρωμένες πέτρινες επιφάνειες. Τέλος, είναι μία μέθοδος που δεν χρησιμοποιείται σε υψηλής καλλιτεχνικής αλλά και αισθητικής αξίας κτίρια, διότι με την απομάκρυνση της κρούστας απομακρύνονται και οι λεπτομέρειες που έχουν γυψοποιηθεί, με πολύ άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Υδρονέφωση

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία μη ελεγχόμενη μέθοδο, με την οποία απομακρύνονται καλύτερα τα διαλυτά άλατα και οι μαύρες κρούστες. Η μέθοδος αυτή απαιτεί μεγάλη προσοχή στις πορώδεις πέτρες, διότι οι εκνεφωτές παράγουν αιώρημα σταγονιδίων νερού υπό μεγάλη πίεση 60-120 atm. Η μέθοδος αυτή δε συνιστάται ούτε σε μνημεία άλλα ούτε ακόμη και σε κτίρια χωρίς ιστορικό και καλλιτεχνικό ενδιαφέρον (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Ατμός

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία μη ελεγχόμενη μέθοδο καθώς εκτοξεύεται ατμός με πίεση 5-10 atm και με θερμοκρασία 150-250° C. Έχει καλύτερα αποτελέσματα σε τραχείες επιφάνειες πέτρας, όπου ο μηχανικός καθαρισμός δεν μπορεί να επιτευχθεί. Πριν την χρήση της μεθόδου, πρέπει να γίνουν δοκιμές αντοχής της πέτρας σε υψηλή θερμοκρασία. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ πιθανό να προκαλέσει διάβρωση στα πέτρινα αντικείμενα. Επομένως, μέθοδος αυτή δε συνιστάται, ακόμη και σε κτίρια χωρίς ιστορικό και καλλιτεχνικό ενδιαφέρον (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Ατομικό νερό

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία ελεγχόμενη μέθοδο, καθώς εκτοξεύονται μικρές ποσότητες νερού, χωρίς πίεση. Η μέθοδος αυτή διαθέτει πολύ μικρή μηχανική δράση και ενδείκνυται για μνημεία με ιστορικό και καλλιτεχνικό χαρακτήρα, για πολυχρωμίες και τοιχοποιίες με έντονη διάβρωση και για απρόοπτες περιοχές (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Υγρή ψηγματοβολή (Αμμοβολή)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία μη ελεγχόμενη μέθοδο, καθώς εκτοξεύονται μεγάλες ποσότητες νερού με άμμο ή ψήγματα από άλλα στερεά που βάλονται μέσα στις μεγάλες αυτές ποσότητες νερού, υπό πίεση (0.5-3 kg/cm²). Είναι μια οικονομικότερη μέθοδος και πολύ αποτελεσματική στις σκληρές επικαλύψεις, επίσης δεν προκαλεί σκόνη. Οι παράγοντες αποτελεσματικότητας της μεθόδου είναι η αναλογία άμμου/ νερού, η κοκκομετρία και η σκληρότητα της άμμου, η πίεση του νερού και η απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια. Δεν συνιστάται σε καμία περίπτωση για μνημεία μεγάλου ιστορικού και καλλιτεχνικού ενδιαφέροντος, καθώς εφαρμόζεται σε νεότερα κτίρια μικρότερου ιστορικού και καλλιτεχνικού ενδιαφέροντος (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

➤ Ξηρή ψηγματοβολή (αμμοβολή)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία μη ελεγχόμενη μέθοδο, καθώς εκτοξεύονται μεγάλες ποσότητες άμμου ή άλλα στερεά, τα οποία βάλονται με αέρα υπό πίεση. Η μέθοδος αυτή είναι επικίνδυνη για το χειριστή. Δε συνιστάται για οποιοδήποτε κτίριο πόσο μάλλον για μνημεία αξίας, διότι έχουμε απώλεια αυθεντικού υλικού (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

➤ Μικροψηγματοβολή, (μικροαμμοβολή)

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία ελεγχόμενη, ακριβή και αργή μέθοδο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί σκόνη αλουμίνας διαμέτρου 27 - 40μm, που βάλλεται με ξηρό αέρα ή άζωτο, υπό ρυθμιζόμενη πίεση. Επίσης, διαθέτει εύκολη ρύθμιση της αποξεστικής ικανότητας και απομακρύνει μεγάλους πάχους και σκληρές κρούστες, λεπτές κρούστες, εναποθέσεις ή μαύρες κρούστες που καλύπτουν πολυχρωμίες. Συνιστάται για κτίρια μικρής ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας, και υπό προϋποθέσεις για μνημεία μεγάλου ιστορικού και καλλιτεχνικού ενδιαφέροντος (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Με υπερήχους

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία πλήρως ελεγχόμενη μέθοδο ακριβείας, καθώς εκπέμπονται δονήσεις μέσω ενός διαβιβαστή και λεπτού στρώματος νερού. Η μέθοδος αυτή είναι μια εξαιρετικά χρήσιμη μέθοδος για την απομάκρυνση μαύρων κρουστών και βρώμικων στρωμάτων στις πολυχρωμίες. Συνιστάται και εφαρμόζεται σε επιφάνειες μικρής έκτασης, εξαιτίας της μικρής της ταχύτητας (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Με εργαλεία

Η μέθοδος αυτή αποτελεί μία πλήρως ελεγχόμενη μέθοδο ακριβείας, καθώς είναι μία αργή μέθοδος, που εξαρτάται από την επιδεξιότητα του χειριστή. Κυρίως εφαρμόζεται αυτή η μέθοδος μηχανικού καθαρισμού με εργαλεία για την απομάκρυνση της μαύρης κρούστας. Τα προτεινόμενα εργαλεία είναι τα νυστέρια, οι μαλακές βούρτσες νάιλον, τα ξέστρα, τα δονούμενα ξέστρα, τα μικρά τύμπανα, τα οδοντιατρικά εργαλεία και τα λεπτά γυαλόχαρτα κα σμυριδόχαρτα (400-600Mesh) κ.α. η μέθοδος αυτή δε συνιστάται σε καμία περίπτωση όμως, για μνημεία μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Με ειδικές αργίλους- χρήση προσροφητικών αργίλων

Ο καθαρισμός με ειδικές αργίλους αποτελεί μια οικονομική και εύκολη μέθοδο. Τα πλεονεκτήματα της είναι αρκετά καθώς απορρόφα τα διαλυτά άλατα, μειώνει τις χημικές δράσεις στην επιφάνεια της πέτρας. Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο άργιλοι, που είναι αργιλοπυριτικά μαγνησιούχα ορυκτά. Οι ειδικές άργιλοι είναι ο Ατταπουλγίτης $(Al Mg Fe)_5 (Al Si_7)O_{20} (OH)_2 \cdot 4H_2O$ και ο Σηπιόλιθος $Mg_9Si_{12}O_{30}(OH)_6 \cdot 4H_2O - 6H_2O$, που απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού, χωρίς διόγκωση. Επίσης, διαθέτουν ιοντοανταλλακτική δράση των διαπλεγματικών κατιόντων τους, διαλύουν και απομακρύνουν τις λεπτές κρούστες (μέγιστο πάχος 1mm), προκαλούν διάλυση γύψου. Τέλος καλύπτονται με φύλλα πολυαιθυλενίου και με χρήση ιαπωνικού χαρτιού (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Όμως, τα μειονεκτήματα της μεθόδου με ειδικές αργίλους είναι ότι είναι αργή, μη εύκολα ελεγχόμενη και μη αποτελεσματική σε κρούστες μεγάλου πάχους (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

ii) Χημικές μέθοδοι καθαρισμού

Με οξέα, βάσεις, απορρυπαντικά

Τα απορρυπαντικά έχουν ως κύριο πλεονέκτημα το γεγονός ότι μειώνουν την επιφανειακή τάση και διαλυτοποιούν τα έλαια και τα λίπη. Όσον αφορά στα οξέα και τα άλατά τους,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

αφαιρούν τις μαύρες κρούστες καθώς διαθέτουν ισχυρή δράση, όμως το μειονέκτημα τους είναι η μη ελεγχόμενη δράση τους. Επίσης, μπορούν να προκαλέσουν κηλίδες οξείδωσης, οι οποίες ευθύνονται για το κιτρίνισμα της επιφάνειας του δομικού υλικού. Στην πέτρα τώρα μπορεί να διαλύσουν τον ασβεστόλιθο και να σχηματίσουν ευδιάλυτα άλατα. Τέλος, δε συνιστώνται σε καμία περίπτωση για κτίρια μεγάλης ιστορικής και καλλιτεχνικής αξίας.

Τα αλκάλια, είναι μια μη ελεγχόμενη χημική μέθοδος καθαρισμού. Τα αλκάλια και οι ουσίες με αλκαλική δράση καταστρέφουν τις λιπαρές κηλίδες, η λεγόμενη σαπωνοποίηση. Έπειτα, απομακρύνουν τις μαύρες κρούστες, όμως μπορούν να δημιουργήσουν ευδιάλυτα άλατα. Τέλος, δεν συνιστώνται σε καμία περίπτωση για κτίρια μεγάλης καλλιτεχνικής και ιστορικής αξίας (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Πάστες για εφαρμογή στην επιφάνεια της πέτρας

Πάστα Mora, AB57

Η πάστα αυτή χρησιμοποιήθηκε από το ζεύγος Ρ. και L. Mora στο Institute Centrale di Restauro της Ρώμης, η παρασκευή του μίγματος έγινε με την ονομασία AB57 και αποτελείται από τα εξής: H₂O 1000ml, NH₄HCO₃ 30g, NaHCO₃ 50g, EDTA (δινατριούχο άλας), 25g desogen 10ml και τέλος καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη 60g. Όπου το Ph θα πρέπει να είναι ουδέτερο και να ισούται με 7.5 για την αποφυγή διάβρωσης του ασβεστόλιθου. Έπειτα η πάστα θα πρέπει να ξεπλένεται πολύ καλά και η επιφάνεια να τρίβεται κατ’ επανάληψη μετά την αφαίρεση της πάστας, για να μην μένουν στην επιφάνεια υπολείμματα των αλκαλικών αλάτων και τα υπολείμματα της καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη (κολλώδη υφή), που θα μπορούσαν να προκαλέσουν περαιτέρω διάβρωση. Η πάστα αυτή είναι γρήγορη, εύκολη στην προετοιμασία και εφαρμογή και με χαμηλό κόστος. Είναι μια σχετικά ελεγχόμενη μέθοδος και αν εφαρμοστεί σε μάρμαρο ή σε πορώδεις ασβεστόλιθους θα πρέπει να γίνει υπό προϋποθέσεις (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Χρήση ιοντοεναλλακτικών ρητινών

Ο χημικός καθαρισμός με χρήση ιοντοεναλλακτικών ρητινών στοχεύει στην απομάκρυνση γύψου σε επιφάνειες πολυχρωμιών και σε τοιχογραφίες. Πραγματοποιείται μια δράση ανταλλαγής που αντικαθιστά τα επιβλαβή ιόντα των επικαθήσεων με αβλαβή στη διεπιφάνεια ρητίνης-πέτρας. Η χημική αυτή μέθοδος είναι ικανοποιητική για τοιχογραφίες με χρωστικές του χαλκού (αζουρίτη, μαλαχίτη), όπως επίσης πραγματοποιεί εξαγωγή πρωτεϊνών και λιπών από τα χρώματα στις τοιχογραφίες (υψηλό pH). Όμως δεν δείχνουν μεγάλη ικανότητα στην εξαγωγή διαλυτών αλάτων, διότι δρουν στην επιφάνεια του υποστρώματος). Όσον αφορά στον χημικό καθαρισμό της πέτρας με ιοντοανταλλακτικές ρητίνες, δρουν οι συγκεκριμένες με σύστημα ανταλλαγής, δηλαδή πραγματοποιείται μια δράση ανταλλαγής που αντικαθιστά τα επιβλαβή ιόντα των επικαθήσεων με αβλαβή στη διεπιφάνεια ρητίνης- πέτρας (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Οργανικοί διαλύτες

Η χημική αυτή μέθοδος με την χρήση οργανικών διαλυτών αποσκοπεί και στοχεύει στην απομάκρυνση των λιπών, καθώς και των λιπιδίων. Κάποιοι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται ευρέως στο στάδιο του καθαρισμού είναι οι αλκαλικοί διαλύτες (διαλύτες αμινών), οι χλωριούχοι διαλύτες (διχλωροαιθάνιο ή τριχλωροαιθυλένιο), τέλος

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

αρωματικοί διαλύτες (όπως το τολουόλιο). Όμως, θέλει προσοχή ο χρήστης που τις εφαρμόζει να έχει λάβει τα κατάλληλα μέτρα προστασίας (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Χρήση Βιολογικού Επιθέματος- Πάστας (Επίθεμα Hembel)

Ο χημικός καθαρισμός με Χρήση Βιολογικού Επιθέματος - Πάστας (Επίθεμα Hembel), εφαρμόζεται με πάστες σηπιολίθου ή ατταπουλγίτη και περιλαμβάνει τα παρακάτω προϊόντα: νερό H₂O στο 1Lt , ουρία (NH₂)₂ CO σε 50g και τέλος γλυκερίνη CH₂OH₂ CHOH στα 20ml. Η άργιλος πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 2 cm και πρέπει να καλύπτεται με φύλλα πολυαιθυλενίου. Στο τέλος, κατά την αφαίρεση του βιολογικού επιθέματος πρέπει να γίνει με νερό και με ένα βιοκτόνο, και είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για καθαρισμό σκληρών και μεγάλου πάχους κρουστών (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Ειδικές Περιπτώσεις Καθαρισμών

Η απομάκρυνση των ανθρακικών κρουστών:

Όξινο νερό βροχής διαλύει τον ασβεστίτη των μαρμάρων ή των ιζηματογενών ασβεστόλιθων, σύμφωνα με την αντίδραση:



Αν η παραπάνω αντίδραση προχωρά από τα δεξιά στα αριστερά, λαμβάνει χώρα εναπόθεση το ανθρακικό ασβέστιο CaCO₃ και οι σχηματιζόμενες κρούστες είναι πολύ συμπαγείς. Συνεπώς, η απομάκρυνση της κρούστας γίνεται μέσω αργής διάλυσης και είναι ελεγχόμενη, ακριβής και μη επιβλαβής με την χρήση ιοντοανταλλακτικών ρητινών (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Επιφάνειες με προχωρημένη διάβρωση ή πολυχρωμία

Στην ειδική αυτή περίπτωση καθαρισμού το στάδιο της στερέωσης προηγείται του καθαρισμού, ο οποίος εφαρμόζεται ποικιλοτρόπως. Κάποιοι τρόποι είναι με μηχανικά μέσα, με βιολογικό επίθεμα, ακόμα και με Μικροψηγηματοβολή σε περίπτωση όπου η συνοχή του υποστρώματος το επιτρέπει (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Εξαγωγή Αλάτων

Στην ειδική αυτή περίπτωση καθαρισμού μπορεί να πραγματοποιηθεί συνδυαστική εφαρμογή των ειδικών ροφητικών παστών (σηπιόλιθος, ατταπουλγίτης), ή παστών κυτταρίνης ή χαρτοπολτού, με απιονισμένο νερό. Πρέπει να παρεμβάλλεται ένα ικανοποιητικό διάστημα στεγνώματος (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Καθαρισμός με αναστροφή του γύψου:

Η πρώτη περίπτωση είναι αυτή με διάλυμα K₂CO₃ κορεσμένου σε CaCO₃.

Οι κρύσταλλοι του CaCO₃ είναι μικροί και προσανατολισμένοι και άρα μεγάλης αντοχής και σκληρότητας της τάξεως των 75kp/mm². Τέλος, ο καθαρισμός είναι συνάρτηση του αριθμού των ψεκασμών με διάλυμα K₂CO₃ κορεσμένο σε CaCO₃.

Η δεύτερη περίπτωση είναι εκείνη με την χρήση αναερόβιων θειοβακτηρίων. Η λατινική ονομασία των αναερόβιων θειοβακτηρίων είναι τα λεγόμενα *Desulphovibrio desulphuricans*, τα οποία μεταβολίζουν το θείο του γύψου ώστε να παράγονται ανθρακικά,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

συνεπώς ο σχηματισμός υδρόθειου H_2S σαν παραπροϊόν, εμφανίζεται ως μαύρο ίζημα θειούχου σιδήρου (FeS) (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

iii) Θερμικές μέθοδοι

Συσκευή Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Η θερμική αυτή μέθοδος βασίζεται στην ενίσχυση του φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Είναι μια αρκετά χρονοβόρα αλλά και ακριβή μέθοδος. Αρχικά, έχουμε το Q-switched laser δηλαδή βραχύπαλμο και είναι πολύ αποτελεσματικό στην απομάκρυνση των μαύρων κρουστών, έχει όμως το μειονέκτημα να καταστρέφει το υπόστρωμα. Έπειτα, έχουμε το normal-mode (μακρόπλαμο), το οποίο είναι πιο επιλεκτικό σε σχέση με τις ανοιχτόχρωμες και τις σκουρόχρωμες επιφάνειες. Επομένως, η επαναλαμβανόμενη εφαρμογή σε λευκές επιφάνειες δεν επηρεάζει το λευκό μάρμαρο. Η προς καθαρισμό επιφάνεια πρέπει να βρέχεται, διότι η υγρασία σκουραίνει την κρούστα οπότε λαμβάνει χώρα υψηλότερη απορρόφηση ακτινοβολίας και η απομάκρυνση των κρουστών καθίσταται πιο αποτελεσματική. Εν αντιθέσει με ξηρή επιφάνεια όπου κατά την επέμβαση παράγονται μεγάλες ποσότητες επιβλαβών υπολειμμάτων άνθρακα και αερίων στη ζώνη αναπνοής του χειριστή.

Οι τύποι Laser που υπάρχουν είναι το Excimer στο άπυ υπεριώδες φάσμα (248nm, 30ns), το Dye στο ορατό (590nm 20μs), το Nd: YAG στο εγγύς υπέρυθρο (1.06μm, 10ns και 100μs). Τέλος, το laser του CO_2 , στο άπυ υπέρυθρο (10.6μm, 100ns).

Για τις λίθινες αρχιτεκτονικές επιφάνειες χρησιμοποιείται κυρίως ο τύπος Laser Nd: YAG (Neodimium, Yttrium Aluminium Garnet) (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy)

Το LIBS χρησιμοποιείται σαν μια αυτόνομη on-line διαγνωστική τεχνική. Η επίτευξη ημιποσοτικής στοιχειακή ανάλυσης της κρούστας, με την ίδια ακτίνα Laser και παράλληλα η μελέτη της κρούστας ως προς το ρυθμό απομάκρυνσης της, παρέχει πληροφορίες για το πάχος και την μορφολογία της. Να σημειωθεί ότι μετά από χρόνια ερευνών κατά την μελέτη καθαρισμού της δυτικής ζωφόρου του Παρθενώνα προτάθηκε σύστημα laser για τον καθαρισμό της με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Παλμικό σύστημα laser (έως τα 10ns – Q-switched Nd:YAG), με λειτουργία σε δύο μήκη κύματος, το εγγύς υπέρυθρο (1064nm) και στην Τρίτη αρμονική του υπεριώδους (355nm).
- Η παρεχόμενη πυκνότητα ενέργειας πρέπει να κυμαίνεται στα 0.6-2.3J/cm².
- Η διάμετρος δε της ακτίνας του laser δεν πρέπει να ξεπερνά τα 4mm.
- Τέλος, ο σχετικός λόγος των δύο δεσμών (E_{UV}/E_{IR}) μπορεί να αλλάζει ανάλογα με τον προς καθαρισμό τύπο φθοράς και πρέπει να κυμαίνεται έως ¼ .

Τέλος, μεγάλο μειονέκτημα της θερμικής μεθόδου LIBS είναι το ότι ανιχνεύει το θείο μόνο υπό κενό (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

iv) Μέθοδοι κατά της βιοδιάβρωσης

Οι μέθοδοι κατά της βιοδιάβρωσης διακρίνονται σε έμμεσες και σε άμεσες, οι οποίες με την σειρά τους διακρίνονται σε μηχανικές (από τον άνθρωπο), σε χημικές (βιοκτόνα), σε βιολογικές (ανταγωνιστικές) και σε φυσικές (ακτινοβολία). Να σημειωθεί ότι η καλύτερη λύση επιτυγχάνεται με το συνδυασμό εφαρμογής έμμεσων και άμεσων μεθόδων. Ο τρόπος επιλογής καταλληλότερης μεθόδου πραγματοποιείται ανάλογα τον τύπο της βιολογικής ανάπτυξης. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι και ο τύπος, η έκταση και η κατάσταση σε επίπεδα φθοράς της προς καθαρισμό επιφάνειας. Τέλος, η καλύτερη αναλογία κόστους-ρίσκου εν συναρτήσει του οφέλους δεν μπορεί να αψηφιστεί (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Αρχικά, θα εξεταστούν οι έμμεσες μέθοδοι, οι οποίες τροποποιούν τις περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως την Υγρασία, Θερμοκρασία, Φως και τους Θρεπτικούς Παράγοντες. Με τις έμμεσες μεθόδους επιτυγχάνεται η μείωση της υγρασίας καθώς και της θερμοκρασίας με στέγαστρα – καλύμματα, ώστε να μειωθεί η ανάπτυξη καθώς και η δράση όλων των μικροοργανισμών, βρύων και υδρόφιλων φυτών. Έπειτα, η μείωση της επίδρασης του ηλιακού φωτός με στέγαστρα- καλύμματα και του τεχνητού με μείωση του χρόνου φωτισμού, ώστε να αποφευχθεί η χλωρίδα και η μικροχλωρίδα. Τέλος, με τις έμμεσες μεθόδους επιτυγχάνεται η μείωση των θρεπτικών υποστρωμάτων (οργανικών – ανόργανων κρουστών), με επεμβάσεις καθαρισμού (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Δευτερευόντως, θα παρουσιαστούν εν συντομία και οι άμεσες μέθοδοι οι οποίες είναι μηχανικές, βιολογικές, φυσικές και χημικές. Αρχικά οι μηχανικές μέθοδοι εφαρμόζονται για την απομάκρυνση ανώτερων φυτών, βρύων και λειχήνων με χρήση εργαλείων, διότι οι ρίζες των φυτών καταπονούν με έντονη μηχανική δράση τις τοιχοποιίες καθώς καταστρέφουν τα κονιάματα και τα επιχρίσματα. Γι’ αυτό τον λόγο πρέπει να αφαιρούνται μηχανικά γιατί παρατηρείται απομάκρυνση υλικού. Συνεπώς συντελείται μια βραχυπρόθεσμη αντιμετώπιση της βιοδιάβρωσης (Λαμπρόπουλος Β. , 1993).

Στην συνέχεια, έχουμε τις βιολογικές μεθόδους, αυτές είναι εκλεκτικές και εκμεταλλεύονται τις θρεπτικές ιδιαιτερότητες των μικροοργανισμών και των ανώτερων φυτών. Έπειτα, έχουμε τις φυσικές μεθόδους, όπου χρησιμοποιείται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στα μήκη κύματος του υπεριώδους φάσματος (10-380nm) και των μικροκυμάτων (1cm-100μm). Το σύστημα αυτό όμως είναι πολύ ακριβό και δύσκολα μεταφέρεται στο εργοτάξιο. Έπειτα, η μέθοδος αυτή πρέπει να εφαρμόζεται με ειδικά προληπτικά μέτρα. Να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που η επιφάνεια είναι φυσικά χρωματισμένη ή ζωγραφισμένη (frescoes), επιδρά καταστρεπτικά στις χρωστικές. Τέλος, η μέθοδος αυτή διαθέτει χαμηλή διεισδυτική ικανότητα, διότι δεν μπορεί να εξουδετερώσει τη μικροχλωρίδα στο εσωτερικό της πέτρας). Συνεχίζοντας με τις άμεσες μεθόδους, οι χημικές μέθοδοι είναι μη εκλεκτικές μέθοδοι, αφού χρησιμοποιούν βιοκτόνα ευρέως φάσματος. Συνεπώς, για την επιλογή χημικών μεθόδων πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη ειδική τοξικότητα τους, τα έμμεσα τοξικολογικά χαρακτηριστικά και οι επιδράσεις τους, η ρύπανση που προκαλούν στο περιβάλλον, η αλληλεπίδραση με το υπόστρωμα και η αποτελεσματικότητα με όσο το δυνατόν μικρότερες δόσεις και τέλος το κόστος τους. Ένα από τα πιο διαδεδομένα χημικά που χρησιμοποιούνται χωρίς όμως να λαμβάνονται τα παραπάνω είναι οι ενώσεις του τεταρτογενούς αμμωνίου (Desogen), ενώσεις χαλκού με αμμωνία και σύμπλοκα χαλκού με υδραζίνη για την καταπολέμηση των αλγών,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

κυανοφύκων και των χλωροφυκών. Τέλος, και η αμπικιλίνη, για του μύκητες και τους ακτινομύκητες.

Εν κατακλείδι, ο λόγος για τον οποίο πραγματοποιούνται πιλοτικές επεμβάσεις καθαρισμού καθώς και της διαδικασίας αποτίμησής τους, είναι για να εξασφαλιστεί ότι κάθε μεταβολή της επιφάνειας, μετά από τον προτεινόμενο καθαρισμό, θα πρέπει να τηρεί τους κοινώς αποδεκτούς και επιδιωκόμενους στόχους για κάθε κριτήριο και τις παραμέτρους που το ορίζουν. Τέλος θα πρέπει εξ αρχής να ορίσουμε τους επιδιωκόμενους στόχους, όπως επίσης και τις κρίσιμες παραμέτρους των κριτηρίων αποτίμησης επεμβάσεων, σε ικανές και αναγκαίες. Επίσης, θα πρέπει να ορίζονται και οι τεχνικές μέτρησης που τις αποδίδουν αντικειμενικότερα (Μοροπούλου 2013).

1.4. Κονιάματα

Τα κονιάματα ως σύνθετα υλικά αποτελούνται από τη συνδετική κονία (υδραυλική ή αερική), τα αδρανή, τα πρόσθετα καθώς και το νερό.

Οπότε, το κονίαμα είναι το μίγμα που προκύπτει από την ανάμιξη κονιών (συγκολλητικού υλικού), άμμου και νερού. Σε ορισμένες περιπτώσεις οργανικά ή ανόργανα πρόσμικτα σε μικρές αναλογίες προστίθενται στα κονιάματα. Τα υλικά αναμιγνύονται με ορισμένες αναλογίες (Κ/Α, Ν/Κ) που εξαρτώνται από το είδος της κονίας και την εφαρμογή του κονιάματος. Το κονίαμα είναι σύνθετο, ετερογενές και πορώδες υλικό. Σύνθετο γιατί αποτελείται από περισσότερα από ένα υλικά. Ετερογενές επειδή οι ιδιότητές του αλλάζουν από σημείο σε σημείο και Πορώδες, επειδή τα κενά καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό του όγκου.

Σε πρώτο στάδιο το κονίαμα είναι σε πλαστική κατάσταση ικανό να υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία χωρίς καμία αλλοίωση. Στο στάδιο αυτό το μίγμα είναι ομοιογενές και κάθε κόκκος άμμου καλύπτεται από πολτό. Τα κενά των κόκκων πρέπει να γεμίζουν με κονία ώστε να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα. Μετά από ορισμένο χρόνο το κονίαμα αρχίζει να στερεοποιείται λόγω πήξης της κονίας και τελικά μετατρέπεται σε στερεό κι συμπαγές σώμα. Η άμμος δεν συμμετέχει στην στερεοποίηση (δεν δρα χημικά) και λέγεται αδρανές υλικό.

Η στερεοποίηση γίνεται ανάλογα με την κονία. Έτσι :

- ✓ πηλοκονιάματα στερεοποιούνται λόγω εξάτμισης του νερού της πηλοκονίας
- ✓ ασβεστοκονιάματα πρέπει να έρθουν σε επαφή με αέρα
- ✓ υδραυλικά κονιάματα γίνεται ενυδάτωση της αντίστοιχης κονίας.

Ανάλογα με τον τρόπο που στερεοποιούνται τα κονιάματα χωρίζονται σε αερικά και υδραυλικά. Έπειτα, βάση της αντοχής χωρίζονται σε χαμηλής, μέτριας και υψηλής αντοχής, καθώς και βάση της ποσότητας της κονίας σε ισχνά, κανονικά και παχιά.

Βασικοί κανόνες παρασκευής κονιάματος:

- ✓ η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει ο μικρότερος όγκος κενών.
- ✓ χρήση της απαραίτητης ποσότητας κονιών για την πλήρωση των κενών.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

- ✓ ελεγχόμενη ποσότητα νερού.

Οι ιδιότητες των κονιαμάτων επηρεάζονται από:

- ✓ Τα αδρανή (είδος, ποσοστό, σχήμα).
- ✓ Την/ τις κονίες (δραστικότητα, αναλογία).
- ✓ Την επιφάνεια επαφής τους.
- ✓ Το νερό ανάμιξης.
- ✓ Τις συνθήκες συντήρησης των δοκιμίων.

Τέλος, η κατάταξη των κονιαμάτων ανάλογα με τις χρήσεις του είναι ποικίλες. Στην πορεία, να αναφερθούν τα κονιάματα αρμών, τα οποία σκοπό έχουν την σύνδεση των δομικών στοιχείων. Έπειτα, είναι τα κονιάματα υποστρωμάτων, τα οποία αποτελούν διαδοχικά στρώματα σε δάπεδα, ψηφιδωτά, μωσαϊκά και τοιχογραφίες. Τέλος, τα επιχρίσματα, τα οποία αποτελούν μια μορφή επιστρώματος επιφανειών, προστατευτικό για διαβρωτικούς παράγοντες (βροχή, υγρασία) και έχουν διακοσμητικό χαρακτήρα.

Παρακάτω αναλύονται τα μέρη ενός κονιάματος, που είναι τα εξής: *i) κονίες, ii) αδρανή και τέλος iii) πρόσθετα.*

1.4.1. Κονίες

Κονία είναι το στερεό συνδετικό υλικό, σε λεπτό διαμερισμό. Σε ανάμιξη με ρευστό μέσο αναπτύσσει πλαστικές ιδιότητες. Εν συνεχεία, είναι τα συνδετικά υλικά τα οποία είναι συνήθως σε μορφή σκόνης, μπορεί όμως να είναι και σε υγρή μορφή (πολτός), και κατά την επαφή τους με νερό μετατρέπονται σε πλαστικό πολτό με συγκολλητικές ιδιότητες. Η πλαστικότητα αυτή που αποκτά το υλικό έχει ως αποτέλεσμα όταν αναμιχθεί με φυσικά ή τεχνητά αδρανή δομικά υλικά να σχηματίζει μία μάζα πλαστική μέσα στην οποία συγκρατούνται αμοιβαία μικρά ή μεγάλα τεμάχια ύλης που μετά την πάροδο ορισμένου χρόνου, διαφορετικό για κάθε κονία, σχηματίζουν ένα συμπαγές σύνολο, το κονίαμα, με ιδιότητες και συμπεριφορά εντελώς διαφορετική πολλές φορές από εκείνη της κονίας. Έτσι έχουν την ικανότητα να μορφοποιούνται εύκολα και να αναπτύσσουν πρόσφυση με αδρανή υλικά. Εν συνεχεία, μετά την ανάμιξή του με νερό ο πολτός πήζει, σκληραίνει και αποκτά αντοχή. **Πήξη** ονομάζεται η κατάσταση εκείνη του πολτού στην οποία λόγω φυσικών και χημικών μεταβολών η μάζα έχει χάσει το μεγαλύτερο μέρος από τις πλαστικές και συγκολλητικές της ιδιότητες. Η αντοχή της μάζας στην κατάσταση αυτή είναι μικρή ενώ οποιαδήποτε μεταβολή στο σχήμα καταστρέφει την συνοχή της.

- Αρχική πήξη ονομάζεται η κατάσταση του πολτού, κατά την οποία δεν είναι πλέον δυνατό να μεταβληθεί το σχήμα που έχει ήδη λάβει, χωρίς να καταστραφεί η συνοχή των μορίων της συνδετικής ύλης.
- Τελική πήξη ονομάζεται η κατάσταση όπου ο πολτός σκληραίνει τόσο, ώστε να έχει φτάσει σε ένα βαθμό μηχανικής αντοχής καθοριζόμενο από κανονισμούς για κάθε είδος κονιάματος. Ο χρόνος πήξης διαρκεί από μερικά λεπτά (π.χ. γύψος) μέχρι αρκετές ώρες (τσιμέντο).

Η αντοχή μιας κονίας εξακολουθεί να αυξάνεται και μετά τον συμβατικό χρόνο της τελικής πήξης. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **σκλήρυνση**. Ο χρόνος σκλήρυνσης είναι από μερικές ώρες (γύψος) ως αρκετά χρόνια (άσβεστος). Επομένως, χρονικά προηγείται η πήξη και

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ακολουθεί η σκλήρυνση τόσο στις κονίες όσο και στα κονιάματα και αυτό είναι αποτέλεσμα φυσικών, χημικών και φυσικοχημικών φαινομένων.

Στην συνέχεια, ως **μηχανική αντοχή** εννοείται η αντίσταση που προβάλλει το στερεό υλικό έναντι φόρτισης, με τάση παραμόρφωσης ή απόσπασης τμήματος αυτού. Η αντίσταση αυτή είναι αποτέλεσμα της συνοχής των μορίων του υλικού. Ως συνέπεια αναπτύσσονται εσωτερικές δυνάμεις (τάσεις), αντίθετες προς τη μεταβολή του σχήματος και του όγκου του σώματος του υλικού. Πέρα ανώτατου ορίου φόρτισης, λύεται η συνοχή των μορίων και επέρχεται η θραύση του υλικού.

Οι κονίες διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες **α) Αερικές** οι οποίες πήζουν σκληραίνουν και αποκτούν αντοχή όταν έρχονται σε επαφή με τον αέρα αποδίδοντας νερό και συντηρούνται μόνο στο περιβάλλον του αέρα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν η άσβεστος, η γύψος, οι πηλοί. Έχουν το γενικό γνώρισμα ότι υφίστανται λύση από το νερό ακόμη και όταν βρεθούν σε περιβάλλον με μεγάλη υγρασία. **β) Υδραυλικές** που πήζουν, σκληραίνουν και αποκτούν αντοχή όχι μόνο στον αέρα αλλά και μέσα στο νερό. Η ικανότητα των κονιών που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, είναι αποτέλεσμα των ιδιοτήτων ορισμένων συστατικών τους, τα οποία αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν η υδραυλική άσβεστος, οι ποζολάνες, το κεραμάλευρο, το φυσικό τσιμέντο, τα ποζολανικά τσιμέντα κλπ. (Μοροπούλου, Μπακόλας, & Αποστολοπούλου) (Αγγελακοπούλου & Μοροπούλου) όπου θα πραγματοποιηθεί εκτενής ανάλυσή τους στο Υποκεφάλαιο 1.4.1.

1.4.2. Αδρανή

Τα αδρανή είναι εκείνα τα υλικά που έχουν κοκκώδη μορφή. Χρησιμοποιούνται σαν *filler* μέσα στα κονιάματα. Η παραγωγή τους χωρίζεται σε δύο είδη. Το πρώτο είδος εμπίπτει στο πεδίο της παραγωγής κονιάματος, όπου το μέγεθος κόκκων αδρανών δεν ξεπερνά, είναι δηλαδή μικρότερο από τα 5mm. Το δεύτερο είδος εμπίπτει στο πεδίο της παραγωγής σκυροδέματος, όπου το μέγεθος κόκκων αδρανών ξεπερνά, είναι δηλαδή μεγαλύτερο από τα 5mm. Όσον αφορά στην κατάταξη των αδρανών ανάλογα πάντα με την φύση τους, αυτά χωρίζονται σε φυσικά και βιομηχανικά αδρανή. Τα φυσικά αδρανή είναι οι πέτρες, τα βότσαλα και τα χαλίκια, τα οποία είτε είναι επεξεργασμένα είτε είναι θραυσμένα. Εν αντιθέσει με τα βιομηχανικά αδρανή που είναι ο διογκωμένος περλίτης, η διογκωμένη άργιλος και ο βερμικουλίτης. Τώρα, όσον αφορά στα πιο συνηθισμένα αδρανή αυτά είναι τα εξής: i) Άμμος, είτε θαλασσινή, δηλαδή ανθρακικής σύστασης, είτε ποταμίσια, δηλαδή χαλαζιακής σύστασης, είτε λατομείου. ii) Θραύσματα από ασβεστολιθικά πετρώματα, από γρανίτες, δολομίτες, χαλαζία κ.τ.λ. iii) Θραύσματα κεραμικού. iv) Κίσηρη.

Να σημειωθεί ότι για το iii) λόγω δημιουργίας *ενυδατωμένων αργιλοπυριτικών προϊόντων του ασβεστίου* παρουσιάζεται, συνεπώς, καλύτερη πρόσφυση και καλύτερες μηχανικές αντοχές. Επίσης, για το iv) λόγω της παραγωγής ελαφρού κονιάματος, παρουσιάζεται μεγαλύτερη ελαστικότητα.

Εν συνεχεία, ο έλεγχος στα χρησιμοποιούμενα αδρανή πραγματοποιείται μέσω κοκκοδιαβάθμισης. Επίσης, επιβάλλεται να πραγματοποιείται έλεγχος στην πιθανή ύπαρξη αλάτων μέσα στα αδρανή. Τέλος, πρέπει να εξετάζεται η παρουσία χρωματοειδών υλικών καθώς και η υγρασία, που καθιστούν την πρόσφυση μεταξύ αδρανούς και του συνδετικού υλικού δύσκολη (Αναγνωστοπούλου, 2012).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

1.4.3. Πρόσθετα

Τα πρόσθετα χρησιμοποιούνται στα κονιάματα για την βελτίωση διαφόρων χαρακτηριστικών των κονιαμάτων και χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε Ανόργανα και Οργανικά.

Όσον αφορά στα ανόργανα πρόσθετα, αυτά με την σειρά τους χωρίζονται σε i) φυσικές ποζολάνες και σε ii) τεχνητές ποζολάνες και αναλύονται παρακάτω.

- Οι φυσικές ποζολάνες είναι από πυροκλαστικά πετρώματα (ηφαιστειακής προέλευσης), υαλώδους μορφής, με περιεχόμενο ποσοστό ενεργού πυριτίου 45-60%, όπως είναι η Θηραϊκή γη, η Μηλαϊκή γη, ιταλικές ποζολάνες, γη διατόμων, trass.
- Οι τεχνητές ποζολάνες χωρίζονται σε αρχαίες και σε μοντέρνες. Οι αρχαίες είναι λεπτά θραύσματα από κεραμικά, πλίνθους και αγγεία. Η δραστηριότητά τους εξαρτάται από την αρχική σύνθεση της αργίλου και την θερμοκρασία έψησης. Οι μοντέρνες τεχνητές ποζολάνες είναι ιπτάμενες τέφρες (PFA: pulverized fly ash), σκωρίες υψικαμίνων (Blast furnace slag), silica fume και ο μετακαολίνης που προκύπτει από έψηση του καολινίτη.

Να σημειωθεί ότι η ποζολάνη ορίζεται κατά ASTM C618 ως εξής: «Πυριτικό ή αργιλοπυριτικό υλικό, το οποίο από μόνο του δεν παρουσιάζει υδραυλικές ιδιότητες, αλλά σε λεπτοαλεσμένη μορφή και με την παρουσία υγρασίας, αντιδρά με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σε συνήθη θερμοκρασία και δημιουργεί ενώσεις που έχουν συνδετικές ιδιότητες». Επίσης, τα ποζολανικά υλικά αφθονούν στις παρά τη Μεσόγειο χώρες. Μπορεί να είναι και μη ηφαιστειογενούς προέλευσης, όπως διατομίτες, ζεολιθικά υλικά. Στον Ευρωπαϊκό χώρο υπάρχουν και άλλα ποζολανικά υλικά, όπως η rozzolan trass. Τέλος, επί αιώνες ο συνδυασμός ασβέστου-πουζολάνης αποτέλεσε τη μοναδική φυσική υδραυλική κονία μέχρι την εμφάνιση της υδραυλικής ασβέστου και του τσιμέντου.

Όσον αφορά στα οργανικά πρόσθετα, είναι εκείνα όπου πραγματοποιείται η πρόσθεση ενώσεων οργανικής φύσης για την βελτίωση μιας σειράς ιδιοτήτων όπως εργασιμότητα, αύξηση μηχανικών αντοχών και ανθεκτικότητα στον πάγο (Μοροπούλου & Μπατής., ‘Δομικά Υλικά’. : 9ο Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών, 2014). Παρακάτω παρουσιάζονται στον πίνακα τα κύρια πρόσθετα, που έχουν χρησιμοποιηθεί στα ιστορικά κονιάματα.

Πίνακας 1: Τα κύρια πρόσθετα που έχουν χρησιμοποιηθεί στα ιστορικά κονιάματα

Πρόσθετο	Επίδραση στο Κονίαμα	Υλική Οργανική Προέλευση
Αερακτικό Σταθεροποιητής	Βελτιώνει την ανθεκτικότητα Σε μικρές ποσότητες λειτουργεί σαν σταθεροποιητής	Βύνη, μύρα, δέρμα ζώων, κρόκος αυγού, λίπη, κερί
Filler	Βελτιώνει την σκληρότητα	Κόλλα, αραβική μαστίχα, αλκής, ζάχαρη, χυμούς φρούτων, γλουτένη, ρύζι
Πρόσθετο Διαστολής	Προκαλεί διαστολή κατά την πήξη	Ζωικές και φυτικές κόλλες
Μετατροπέας	Βελτιώνει τις συγκολλητικές ουσίες	Ασπράδι αυγού, αίμα, αλευρόκολλα, κερατίνη, κολλαγόνο, καζεΐνη, βόραξ, φυτικές ρητίνες

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Αναστολέας μεταβολής όγκου	Δρα ανασταλτικά στην συστολή (μεταβολή όγκου)	Κερί μέλισσας
Πλαστικοποιητής	Παρέχει πλαστικότητα, μειώνει την ψαθυρότητα, αυξάνει την εργασιμότητα	Ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, λάδι λιναρόσπορου, λίπος χοίρου, γάλα σύκου, ζωική κόλλα
Επιβραδυντής	Επιβραδύνει την ταχύτητα πήξης	Ζάχαρη, γάλα, ασπράδι αυγών, σακχαρίνη, αλευρόκολλα, βόραξ
Σταθεροποιητής	Αυξάνει την σκληρότητα και την ακαμψία	Ζάχαρη, φυτικές και ζωικές 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, ζωικές κόλλες, χυμός σύκου με κρόκο αυγού, ζάχαρη, ασπράδι αυγού

Παρακάτω παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθείται για την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να κριθούν συμβατά και επιτελεστικά. Όπως, επίσης, και τα κριτήρια που πρέπει να τηρούν τα κονιάματα αυτά, καθώς και τις προδιαγραφές που πρέπει να φέρουν, ώστε να χρησιμοποιηθούν με συνέπεια και υπευθυνότητα στο μνημείο, συγκεκριμένα στον αρχαίο ναό του Πυθίου Απόλλωνα στη Ρόδο, που εξετάζεται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία.

Κονιάματα Αποκατάστασης και i)Κριτήρια Σχεδιασμού ως προς την συμβατότητα και την επιτελεστικότητά τους, ii)Αντίστροφη Μηχανική Προσέγγιση (Reverse Engineering), iii)Χαρακτηρισμός και αποτίμηση ιστορικών κονιαμάτων, ώστε με βάση τα χαρακτηριστικά τους, να σχεδιαστούν τα κονιάματα αποκατάστασης, τα οποία να είναι συμβατά ως προς την φυσικοχημική τους σύσταση και μικροδομή, καθώς και σε μηχανικές αντοχές με τα ιστορικά κονιάματα.

Τώρα, όσον αφορά στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να εξεταστούν και να μελετηθούν οι ιδιότητες τους και να αποτιμηθεί σε τι και ποιο βαθμό είναι αυτά συμβατά με τον προτεινόμενο λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, για την χρήση τους στο Ναό του Πυθίου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου. **i)** Συνεπώς, τα κονιάματα αυτά ακολούθησαν τα **κριτήρια του σχεδιασμού**, που οφείλουν να τηρούν τα ορθώς συμβατά κονιάματα αποκατάστασης, και είναι τα εξής:

- ✓ Προσομοίωση των ιδιοτήτων των ιστορικών κονιαμάτων, ώστε να είναι συμβατά.
- ✓ Βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων, ώστε να είναι επιτελεστικά.
- ✓ Αναπαραγωγισιμότητα και έλεγχος της παρασκευής τους βάσει προδιαγραφών.

Ο **σχεδιασμός και η αποτίμηση** συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης ιστορικών και αρχαίων μνημείων με κριτήρια τις ορυκτολογικές –φυσικοχημικές– φυσικομηχανικές τους ιδιότητες, στόχο έχουν την διερεύνηση σε σχέση με κριτήρια και προδιαγραφές στις οποίες πρέπει να ανταποκρίνονται τα κονιάματα αποκατάστασης, και είναι τα εξής:

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

- ✓ Κριτήρια επιλογής και χαρακτηρισμού πρώτων υλών
- ✓ Κριτήρια αποτίμησης νωπών κονιαμάτων. Συνεπώς, εξεταζόμενες παράμετροι: Ελάχιστη ποσότητα νερού, Εργασιμότητα, Εύκολη εφαρμογή σε πιλοτική τοιχοποιία.
- ✓ Κριτήρια αποτίμησης στην φάση πήξης και πρόσληψης των αντοχών. Συνεπώς, η συμβατότητα στη μικροδομή, έπειτα η επιτελεστικότητα σε σχέση με τις μηχανικές αντοχές, καθώς και η εξέλιξη ενανθράκωσης, δηλαδή η ανάπτυξη υδραυλικών φάσεων.
- ✓ Συσχέτιση των ιδιοτήτων που ελέγχουν την παρασκευή συμβατών & επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης μεταξύ τους και με τις πρώτες ύλες παρασκευής.

Στην συνέχεια, **ii)** παρουσιάζεται η Μεθοδολογία Σχεδιασμού Συμβατών Κονιαμάτων Αποκατάστασης (**Αντίστροφη Μηχανική Προσέγγιση** (Μοροπούλου, Μούνδουλας, & Αποστολοπούλου.) – **Reverse Engineering**), που ακολουθεί τα εξής στάδια:

- ✓ Χαρακτηρισμός και αποτίμηση ιστορικών κονιαμάτων – επιλογή πρώτων υλών – επιλογή συνθέσεων.
- ✓ Προετοιμασία συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης. Συντήρηση σε ελεγχόμενες συνθήκες κατά την πήξη και σκλήρυνση
- ✓ Αποτίμηση ιδιοτήτων κονιαμάτων αποκατάστασης
- ✓ Αριστοποίηση – Τυποποίηση βάσει χαρακτηριστικών
- ✓ Πιλοτική επί τόπου εφαρμογή για την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης στην κλίμακα της τοιχοποιίας

Στην πορεία, **iii)** παρουσιάζονται τα **όρια αποδοχής** (Μοροπούλου, Μούνδουλας, & Αποστολοπούλου.) για τα κονιάματα αποκατάστασης, ώστε να επιτευχθεί ο **χαρακτηρισμός** τους καθώς και να αποτιμηθούν τα ιστορικά κονιάματα, με τις εξής μεθόδους ανάλυσης:

- ✓ Έλεγχο των χαρακτηριστικών της μικροδομής με την **Ποροσιμετρία υδραργύρου**.
- ✓ Έλεγχο υδραυλικότητας και ποιοτικό προσδιορισμό με τις **Θερμικές Μεθόδους Ανάλυσης**.
- ✓ **Κοκκοδιαβάθμιση** των ιστορικών κονιαμάτων
- ✓ Προσδιορισμό των μηχανικών αντοχών

Ο Χαρακτηρισμός των Ιστορικών Κονιαμάτων μας δίνει συνήθως μια από τις τρεις μεγάλες κατηγορίες κονιαμάτων, που είναι οι εξής:

- ✓ Τυπικά ασβεστιτικά κονιάματα
- ✓ Κονιάματα θραυσμένου κεραμικού
- ✓ Κονιάματα ασβέστη-ποζολάνας

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

1.4.4. Είδη Κονιαμάτων

1.4.4.1.Υδραυλικές Κονίες

Όσον αφορά στις **υδραυλικές κονίες**, είναι οι κονίες που πήζουν και σκληρύνονται και κάτω από την επίδραση του νερού, με ή χωρίς παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό. Σε αυτές ανήκουν η **υδραυλική άσβεστος** και το **τσιμέντο**.

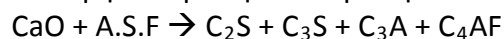
Στην πορεία, θα γίνει αναφορά στα χαρακτηριστικά της Υδραυλικής Ασβέστου, η οποία είναι άσβεστος που κυρίως συνίστανται από πυριτικά άλατα του ασβεστίου και του αργιλίου καθώς και υδροξείδιο του ασβεστίου. Ακόμη, αυτή παράγεται από την έψηση αργιλικών ασβεστόλιθων, που αποτελούνται από μίγμα ανθρακικού ασβεστίου και αργίλων (μάργες). Στην συνέχεια, η έψηση πραγματοποιείται σε κλιβάνους ανάλογους με αυτούς της παραγωγής της αερικής άσβεστου. Επίσης, η θερμοκρασία η οποία αναπτύσσεται μέσα στον κλίβανο, πρέπει να διατηρείται στους 900-950°C. 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 ασβέστους. Οι υδραυλικές ιδιότητες της οφείλονται στις διάφορες προσμίξεις της, κυρίως το πυρίτιο, το αργίλιο και το σίδηρο, οι οποίες παίζουν σημαντικό ρόλο και στην πήξη (Μπακόλας, 2002) (Μοροπούλου, Μπακόλας, & Αποστολοπούλου).

Το μεγάλο και σημαντικό μειονέκτημα της όμως είναι το μεγάλο ποσοστό του ελεύθερου CaO, το οποίο 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 περιέχουν. Να αναφερθεί ότι η υδραυλική άσβεστος συνήθως αναμιγνύεται με ποζολάνες και χρησιμοποιείται κυρίως σε κονιάματα επισκευών (επίστρωση, αρμολόγημα, επιχρίσματα), κυρίως σε κατασκευές μνημειακού χαρακτήρα.

Τέλος, οι υδραυλικοί άσβεστοι διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες:

- ✓ NHL: Πρόκειται για φυσικές υδραυλικές άσβεστοι, χωρίς προσθήκη άλλων υλικών.
- ✓ FHL: Πρόκειται για τεχνητές υδραυλικές άσβεστους, οι οποίες αποτελούνται από αερική άσβεστο και/ή υδραυλική άσβεστο και πρόσθετα υλικά που βελτιώνουν τις υδραυλικές ιδιότητες και/ή ποζολάνη.
- ✓ HL: Πρόκειται για άσβεστους με προσθήκη υλικών, όπως τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα κ.α..

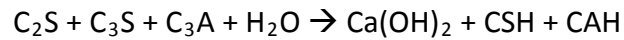
Όσον αφορά στο **Τσιμέντο**, είναι η τεχνητή, λεπτόκοκκη κονία που παρασκευάζεται με άλεση του κλίνκερ, όπως ονομάζεται διεθνώς και είναι προϊόν της όπτησης μίγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων σε ποσοστό. Η παραγωγή του τσιμέντου γίνεται με τα εξής βήματα. Αρχικά, πραγματοποιείται η εξόρυξη πρώτων υλών (ασβεστόλιθος και άργιλος). Στη συνέχεια γίνεται η άλεση και η παραγωγή φαρίνας. Έπειτα, γίνεται η έψήσή της σε υψικάμινο σε θερμοκρασίες 1400-1450oC 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, ιπτάμενη τέφρα αλλά και ποζολάνες,). Τέλος, πραγματοποιείται η άλεση και παραγωγή λεπτόκοκκης σκόνης

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

(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 σειράς 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 συγκέντρωση πυριτίου, λευκό τσιμέντο, ανθεκτικό στα θειικά, κ.τ.λ.

Τώρα, όσον αφορά στην πήξη του τσιμέντου, αυτή προκαλείται λόγω των αλληλοεμπλεκόμενων δομών των προϊόντων ενυδάτωσης. Το χρονικό διάστημα μεταξύ της ενυδάτωσης και της σκλήρυνσης του τσιμέντου ονομάζεται χρόνος πήξης (setting time). Οι παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο πήξης είναι η λεπτότητα του τσιμέντου, τα ποσοστά του αργιλικού τριασβεστίου (C_3A) και της ελεύθερης ασβέστου (% CaO), καθώς και από το λόγο W/C (νερό/τσιμέντο). Η ρύθμιση του χρόνου πήξης πραγματοποιείται με την προσθήκη γύψου κατά την άλεση του κλίνκερ (Τσίμας & Τσιβιλής, 2010).

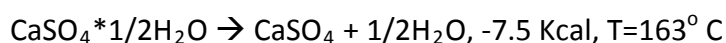
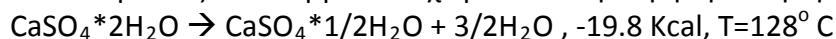
1.4.4.2. Αερικές Κονίες

Όσον αφορά στις **αερικές κονίες**, είναι οι κονίες εκείνες που πήζουν και σκληραίνουν με μόνη την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα. Συνεπώς, για το λόγο αυτό, τα κονιάματα που έχουν παρασκευαστεί με αερικές κονίες δεν παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά σε υγρά περιβάλλοντα. Παρακάτω θα γίνει αναφορά στις κυριότερες και σημαντικότερες κονίες που υπάρχουν (Μοροπούλου, Μπακόλας, & Αποστολοπούλου). Δύο είναι οι μεγάλες κατηγορίες αερικών κονιών, η Γύψος και η Υδράσβεστος.

Όσον αφορά στη **Γύψο**, είναι το θειικό ασβέστιο είτε στην άνυδρη ($CaSO_4$), είτε στην διένυδρη μορφή του ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), που βρίσκεται με την μορφή ορυκτών στην φύση και μπορεί να περιέχουν προσμίξεις όπως $CaCO_3$, $MgCO_3$, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 κ.α.

Κατά την αρχαιότητα και αρχικά στην ανατολή, χρησιμοποιήθηκε η γύψος, κυρίως για διακοσμητικούς λόγους δεδομένου ότι είναι υλικό που χαρακτηρίζεται από μεγάλη πλαστικότητα.

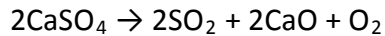
Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την έψηση-όπτηση του $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ είναι:



Από την πρώτη αντίδραση λαμβάνεται ημιυδρίτης ($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$). Ονομάζεται, επίσης, πλαστική γύψος και χρησιμοποιείται ευρέως στην οικοδομική, χάρη στην ιδιότητα της, όταν αναμιγνύεται με νερό, να σκληρύνεται γρήγορα και να μεταπίπτει πάλι σε γύψο. Το προϊόν της δεύτερης αντίδρασης είναι ο ανυδρίτης, ο οποίος με περεταίρω θέρμανση

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μεταπίπτει σε νεκρά γύψο. Σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες (>700° C) η γύψος διασπάται σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα προϊόντα της όπτησης ολοκληρώνονται σε δύο στάδια την πήξη και την σκλήρυνση. Οι αντοχές του υλικού επηρεάζονται από την ποσότητα του νερού, τον τρόπο ανάμειξης, καθώς και από την θερμοκρασία. Κατά τη διαδικασία της πήξης του ημιυδρίτη μπορεί να παρατηρηθεί εμφάνιση αύξησης της θερμοκρασίας καθώς και διόγκωση της μάζας.

Εν συνεχεία, η Γύψος κατατάσσεται στις αερικές κονίες, διότι δεν διατηρείται σε υγρό περιβάλλον. Ο χρόνος πήξης και σκλήρυνσης μπορεί να ελεγχθεί με χρήση πρόσθετων υλικών (επιταχυντών ή επιβραδυντών), ενώ με προσθήκη λεπτής άμμου μπορούμε να αυξήσουμε τις αντοχές του κονιάματος.

Οι κυριότερες χρήσεις της γύψου είναι στα κονιάματα επιχρισμάτων και αρμών, στην κατασκευή και την ένωση δομικών πλακών, σε διακοσμητικά στοιχεία και ψευδοροφές, αλλά και σε αντικείμενα που μορφοποιούνται σε καλούπια (Μπακόλας, 2002).

Όσο αφορά στην **Υδράσβεστο**, είναι η πιο διαδεδομένη μεταξύ των αερικών συνδετικών κονιών (Ca(OH)_2), η οποία παραγόταν από αρχαιοτάτων χρόνων.

Μέσω της διεργασίας όπτησης των ασβεστόλιθων σε θερμοκρασίες περίπου 900-950 °C και της επακόλουθης σβέσης του προϊόντος της καύσης (άσβεστος, CaO) και μπορεί να έχει μορφές καθαρού (CaCO_3) ή δολομιτικού ($\text{CaMg(CO}_3)_2$). Ανάλογα με την μορφή του αρχικού πετρώματος λαμβάνεται διαφορετική ποιότητα ασβέστη. Κατά κανόνα δεν σκληραίνουν κάτω από το νερό καθόσον δεν έχουν υδραυλικές ιδιότητες.

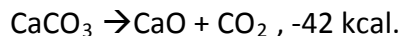
Η παραγωγή της γίνεται σε *τρία στάδια*:

1^ο στάδιο: Έψηση- όπτηση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων και παραγωγή του CaO

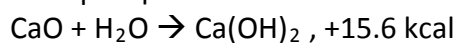
2^ο στάδιο: Σβέση του CaO και παραγωγή του Ca(OH)_2

3^ο στάδιο: Πήξη και σκλήρυνση του Ca(OH)_2 και παραγωγή του CaCO_3

Η έψηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων γίνεται με την ενδόθερμη αντίδραση:



Ανάλογα με το περιεχόμενο ποσοστό σε MgCO_3 στον αρχικό ασβεστόλιθο παράγεται άσβεστος πλούσια σε Ca (2-5%), παράγεται μαγνησιακή (δολομιτική) άσβεστος (>5%). Χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, η άσβεστος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ασβεστοπυριτικών πλίνθων και αεριοσκυροδεμάτων. Στη συνέχεια η σβέση της παραγόμενης ασβέστου και παραγωγή της υδρασβέστου γίνεται με την εξώθερμη αντίδραση:



Στην πορεία, ανάλογα με την ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται, η σβέση διακρίνεται σε υγρή και ξηρή. Στην υγρή σβέση, η παραγόμενη υδράσβεστος είναι υπό μορφή πολτού,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ενώ στην ξηρή σβέση προκύπτει ως σκόνη με μικρό ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας (<1% κ.β.). Μετά το πέρας της σκλήρυνσης, η άσβεστος μετατρέπεται σε στερεό και αποκτά τις τελικές αντοχές της. Οι απαραίτητες προϋποθέσεις για την σκλήρυνση είναι η παρουσία CO₂ και το ξηρό περιβάλλον για την εξάτμιση του νερού.

Η αερική άσβεστος δίνει εύπλαστα κονιάματα, ενώ παρουσιάζει καλή εργασιμότητα και υψηλή πρόσφυση. Χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή κονιαμάτων τοιχοδομών και επιχρισμάτων, είτε αυτούσια, είτε σε συνδυασμό με τσιμέντο γύψο ή ποζολάνη (Μπακόλας, 2002).

1.4.5 Φθορά κονιαμάτων

Όταν αναφερόμαστε στον όρο φθορά, εννοείται η σταδιακή υποβάθμιση ενός υλικού, αντικειμένου, μνημείου ή έργου τέχνης σε σχέση με τους παράγοντες που το επηρεάζουν. Οι παράγοντες αυτοί είναι πολυπαραγοντικοί και μερικές φορές δυσνόητοι στο να γίνουν αντιληπτοί, ώστε να αντιμετωπιστούν σωστά με τα κατάλληλα μέσα.

Όσον αφορά τώρα στην φθορά των κονιαμάτων, αυτή νοείται ως η υποβάθμιση και η αλλοίωση των επιμέρους συστατικών που τα απαρτίζουν. Σύνηθες φαινόμενο η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Αυτή η αλληλεπίδραση γίνεται ορατή σε βάθος χρόνου και είναι ικανή για την αλλοίωση την αισθητική του κονιάματος, αλλά κυρίως και πιο σημαντική την λειτουργική του κατάσταση. Η διαφορετική σύσταση των δομικών υλικών ενός κονιάματος ταυτόχρονα με την διαφορετική φύση του κονιάματος, το καθιστά να φθείρεται με διαφορετικό τρόπο και να αντιστέκεται στην επικείμενη διάβρωση του με διαφορετική αντίσταση. Να σημειωθεί ότι η φθορά που θα εμφανιστεί, εξαρτάται από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το υλικό αυτό.

Οι παράγοντες που είναι υπεύθυνοι για την φθορά που προκαλούν στα δομικά υλικά και δη στα κονιάματα, κατατάσσονται σε –κυρίως- τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Μηχανικές ή φυσικές
- Χημικές
- Βιολογικές δράσεις

Οι παράγοντες αυτοί δρουν είτε μεμονωμένα είτε συνδυαστικά. Επίσης, δύναται στο να είναι ενδογενείς ή εξωγενείς (Μπακόλας, 2002).

A) Μηχανικές Δράσεις

Εξωτερικής προέλευσης

Πρόκειται για τα τις καταπονήσεις του υλικού από τα φορτία που καταπονούν τα υλικά σαν μέρος του δομικού συνόλου,

- Τις θερμοκρασιακές μεταβολές (ημερήσιες ή εποχιακές)
- Τις διαστολές και συστολές (μέσα στα υλικά),

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

- Τους διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής μεταξύ όμορων υλικών και ανάμεσα στις διεπιφάνειες τους
- Την ανάπτυξη τάσεων που καταπονούν τα υλικά
- Τη διαστολή λόγω προσρόφησης - εξάτμισης της υγρασίας του περιβάλλοντος,
- Τις καταπονήσεις που οφείλονται στον κακό σχεδιασμό του οικοδομήματος, οι οποίες προκαλούν γρήγορη αστοχία του υλικού
- Τις καταπονήσεις από φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, βομβαρδισμοί, πόλεμοι, κατακλυσμοί, πυρκαγιές, βανδαλισμοί, κ.τ.λ.

Εσωτερικής προέλευσης

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

Παγετός

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η κατακρατούμενη από το υλικό υγρασία μετατρέπεται σε πάγο, με αποτέλεσμα να διογκώνεται το υλικό προκαλώντας τάσεις στο εσωτερικό του κονιάματος.

Κρυστάλλωση των αλάτων

Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η υγρασία που διεισδύει στο κονίαμα μεταφέρει διαλυτά άλατα, τα οποία κρυσταλλώνονται μέσα στους πόρους του κονιάματος και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τάσεων στο εσωτερικό του. Τώρα εάν η εξάτμιση του νερού γίνει κοντά στην επιφάνεια, προκαλούνται και εξανθήσεις. Οι πηγές της υγρασίας μπορεί να είναι τριχοειδής αναρρίχηση (από το έδαφος), γειτονικά υλικά όπως το τσιμέντο, από το ίδιο το κονίαμα, από τη βροχή και από τον ατμοσφαιρικό αέρα (Μοροπούλου Α.).

Β) Χημικές Δράσεις

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

Ασβεστιτικά Κονιάματα

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) όταν διαλυτοποιείται στο νερό δίνει ($\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) και στη συνέχεια αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) και σχηματίζεται το $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, που είναι προϊόν αρκετά ευδιάλυτο, το οποίο ξεπλένεται εύκολα με το νερό της βροχής με αποτέλεσμα την σταδιακή αποικοδόμηση των κονιαμάτων.

Έπειτα, τα οξείδια του αζώτου (NO_x), μετατρέπονται σε NO_2 , το οποίο διαλυτοποιείται στο νερό σχηματίζοντας νιτρικό οξύ (HNO_3) και αντιδρά με το ανθρακικό ασβέστιο, παράγοντας το επίσης ευδιάλυτο $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$.

Στην πορεία με το Διοξείδιο του θείου (SO_2). Πρόκειται για το φαινόμενο της γυψοποίησης κατά το οποίο το CaCO_3 προσβάλλεται από SO_2 με αποτέλεσμα την παραγωγή γύψου. Ο γύψος είναι πιο ευδιάλυτος από το CaCO_3 , με αποτέλεσμα το κονίαμα να χάσει την αρχική του συνοχή και γίνεται ευπαθές στην βροχή και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Στην συνέχεια, πραγματοποιείται και η προσβολή από HCl, το οποίο έχει διαλυτική δράση στο ανθρακικό ασβέστιο.

Υδραυλικά κονιάματα

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

Άλλοι παράγοντες χημικής φθοράς:

Αλκαλική προσβολή: Κατά το φαινόμενο αυτό τα οξείδια του νατρίου, καλίου που περιέχονται σε υδραυλικά, τσιμεντιτικά κονιάματα ή σαν πρόσμιξη στα αδρανή αντιδρούν με το οξείδιο του πυριτίου που υπάρχει στους πλίνθους της τοιχοποιίας ή στα αδρανή του κονιάματος. Μετά την πραγματοποίηση του φαινομένου ακολουθεί αύξηση του όγκου, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε δημιουργία ρωγμών.

Κύκλοι ύγρυνσης-ξήρανσης: Υπάρχουν δύο φάσεις στο φαινόμενο αυτό. Η υγρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η δημιουργία ενός φιλμ νερού λόγω συμπύκνωσης και η ταυτόχρονη διαλυτοποίηση ρυπαντών. Το νερού εισχωρεί στο εσωτερικό του υλικού. Και η ξηρή φάση κατά την οποία λαμβάνει χώρα η μετακίνηση νερού προς την επιφάνεια του υλικού, καθώς και η εξάτμισή του. Υπάρχουν δύο δυνατότητες εξάτμισης. Η πρώτη συμβαίνει ή στο εσωτερικό της μάζας του υλικού. Ως αποτέλεσμα πραγματοποιείται κρυστάλλωση αλάτων με συνέπεια την διόγκωση του υλικού, την δημιουργία τάσεων και τέλος την ρήξη του υλικού. Η δεύτερη συμβαίνει στην επιφάνεια του υλικού με συνέπεια την δημιουργία εξανθημάτων και την δημιουργία σκληρής κρούστας (Μπακόλας, 2002).

Γ) Βιολογικές Δράσεις

Στην βιοδιάβρωση που προκαλείται στα δομικά υλικά, 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.

Ακόμη, οι ανώτεροι φυτικοί οργανισμοί αποτελούν απειλή για τα κονιάματα, όταν βρίσκονται σε άμεση επαφή με αυτά, γιατί δημιουργούν μηχανικές τάσεις στο υλικό.

Τέλος, τα προϊόντα του μεταβολισμού των μικροοργανισμών είναι όξινα και δρουν διαλυτικά για τα κονιάματα. Σε συνδυασμό με την 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 (Μοροπούλου Α. , 2012).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πύθιου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

2. ΕΙΔΙΚΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

2.1. Γενικά στοιχεία μνημείου

2.1.1. Ιστορικά στοιχεία

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί μια περιεκτική και συνοπτική περιγραφή των ιστορικών στοιχείων του Ναού του Πύθιου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου. Συγκεκριμένα θα γίνει μια ιστορική αναδρομή του Ναού. Αρχικά, ο ναός του Πύθιου Απόλλωνα βρίσκεται στο νησί της Ρόδου, πρωτεύουσα του Νομού Δωδεκανήσων, στο νοτιοανατολικό άκρο της Ελλάδας, κοντά στα δυτικά παράλια της Τουρκίας.

Συγκεκριμένα ο Ναός βρίσκεται στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου και δεσπόζει στο Λόφο του Μόντε Σμιθ ή Λόφος του Αγίου Στεφάνου ή Άνω Ακρόπολη της Αρχαίας Ρόδου, στο δυτικό μέρος της πόλης, σε μικρή απόσταση από την θάλασσα. Ο ναός βρίσκεται στο νότιο τμήμα του λόφου, στη δυτική πλευρά διαμορφωμένου μεγάλου ορθογωνίου πλατώματος. Σε αυτή δέσποζε πλήθος σημαντικών κτισμάτων όπως ο ναός του Πύθιου Απόλλωνα, ο ναός της Αθηνάς Πολιάδος και του Διός, το Ωδείο, τα Νυμφαία, το Στωϊκό κτίσμα, το Αρτεμίσιο, το Στάδιο, η Βιβλιοθήκη και το Γυμνάσιο, τα οποία χρονολογούνται στην Ελληνιστική και Υστεροελληνιστική εποχή (3^{ος}- 2^{ος} αιώνα π.Χ), όπως προκύπτει από τις επιγραφές που εντοπίστηκαν στον χώρο. Τέλος, η ακρόπολη της Ρόδου δεν είχε οχυρωματικό χαρακτήρα όπως οι παλιές Ακροπόλεις. Ήταν δομημένη σε κλιμακωτά επίπεδα με τα οικοδομήματα θεμελιωμένα σε πλατώματα που συγκρατούνταν από ενισχυμένους αναλημματικούς τοίχους. Αποτελούσε μια μνημειακή ζώνη με Ιερά, μεγάλους ναούς, δημόσια κτίρια και υπόγειους χώρους λατρείας. Ήταν "πεδίων και αλσών μεστή" σύμφωνα με την περιγραφή του ρήτορα Αίλιου Αριστείδη (2ος αιώνας μ.Χ.). Η αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου στο Λόφο του Μόντε Σμιθ, προοριζόταν για λατρευτικές, παιδαγωγικές και αθλητικές δραστηριότητες αποτελώντας το πολιτιστικό κέντρο της πόλης (Ψυχάρης, 2018)



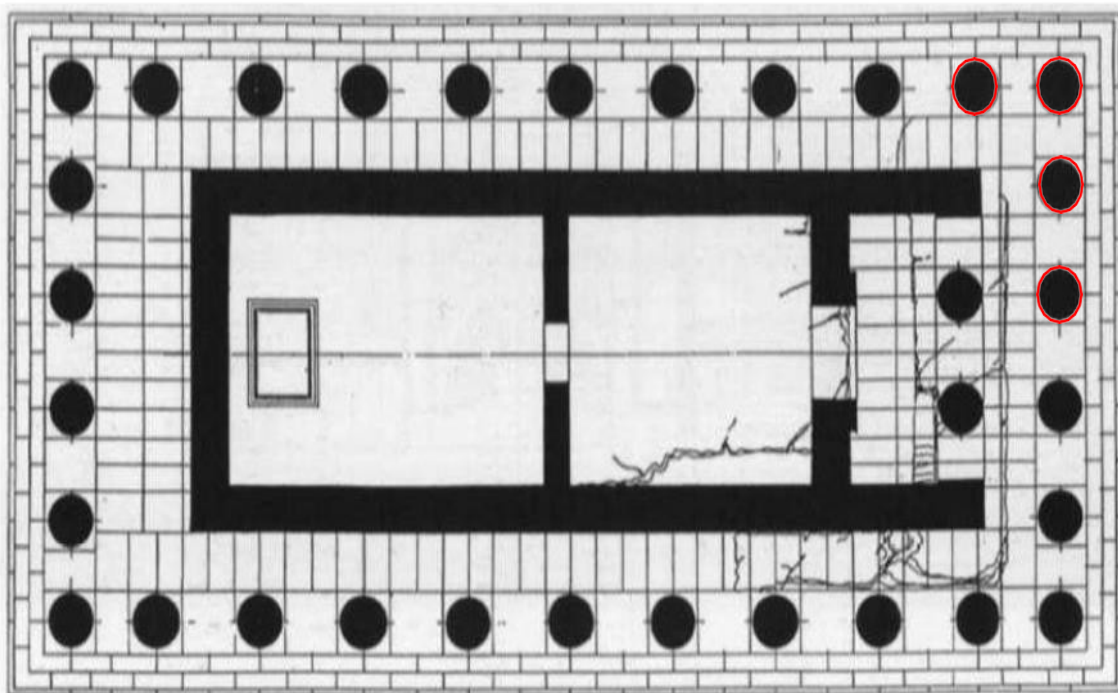
Εικόνα 1: Η σημερινή εικόνα του ναού Πύθιου Απόλλωνα (Fain *et al.* 2015)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

2.1.2. Αρχιτεκτονικά στοιχεία

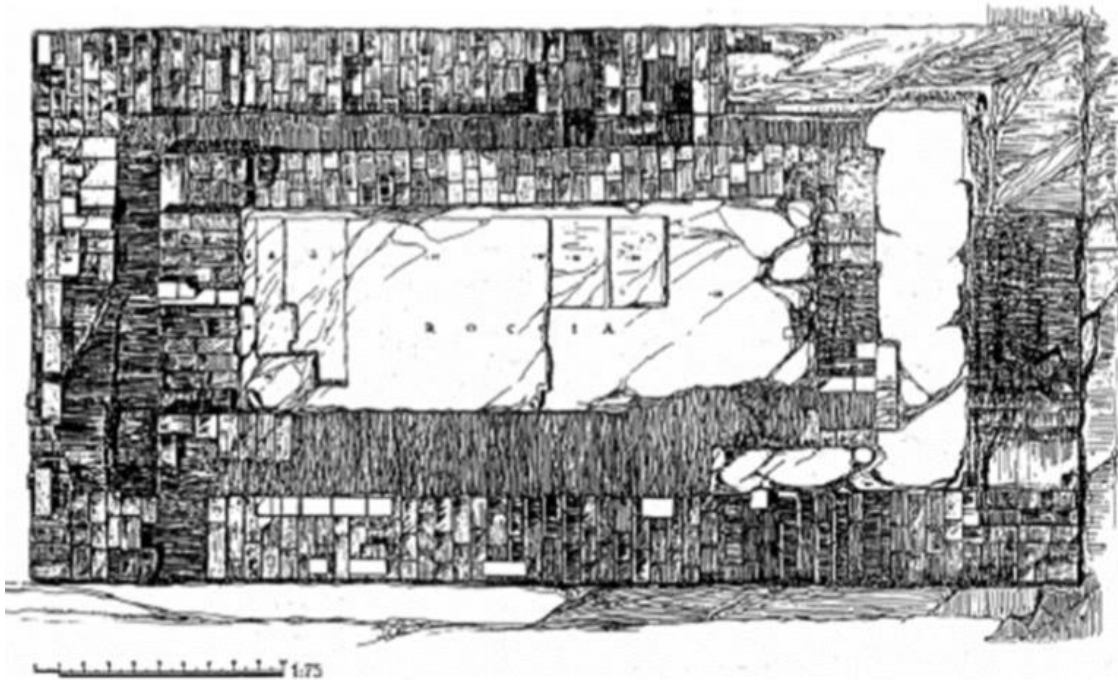
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια αναφορά για τα αρχιτεκτονικά στοιχεία του ναού του Πυθίου Απόλλωνα, στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου. Ο ναός ανασκάφτηκε από την Ιταλική Αρχαιολογική Σχολή στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, από το 1920 έως το 1930, κατά την διάρκεια της ιταλικής κατοχής του νησιού της Ρόδου. Πρόκειται για έναν περίπτερο ναό δωρικού ρυθμού, δομημένου από πωρόλιθο, τοπικό λίθο της περιοχής. Όσον αφορά στον προσανατολισμό του ναού, έχει προσανατολισμό από την Ανατολή στη Δύση και θεμελιωνόταν σε σηκό πάχους 3,5 μέτρων από πωρόλιθο. Σύμφωνα με τα επιγραφικά ευρήματα πρόκειται για έναν ναό αρχικών διαστάσεων 37.70 μέτρων και 20.05 μέτρων, που αποτελούσαν από έντεκα κίονες στη μεγάλη διάσταση και έξι στη μικρή. Κάθε κίονας είχε ύψος 11.52 μέτρα και διάμετρο στη στάθμη της βάσης του 1.78 μέτρα, όπως τεκμηριώνεται από τα αξιολογημένα στοιχεία που αντλήθηκαν για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας. Στην πορεία, ιδιαίτερη σημασία από αρχιτεκτονικής άποψης παρουσιάζει η τράπεζα που υπήρχε στο κέντρο του ναού. Η τράπεζα αυτή ήταν θεμελιωμένη επί ειδικά διαμορφωμένου τεχνητού βράχου, όπως και η ύπαρξη υπόγειων δωματίων εγκιβωτισμένων στα θεμέλια του ναού. Εν συνεχεία, για τα θεμέλια του ναού η πρόσβαση επιτυγχάνονταν μέσω μιας κυκλικής, λαξευτής στο βράχο, κλίμακας.

Στην συνέχεια, κατά την διάρκεια της πρώτης ανασκαφής από το 1912 έως το 1936, το μνημείο βρέθηκε σε επίπεδο θεμελίωσης. Έπειτα, εντοπίστηκαν διάσπαρτα και λιγοστά τμήματα από τα ερείπια του ναού, στο δυτικό τμήμα της τάφρου θεμελίωσης. Τέλος, όλα τα στοιχεία που συλλέχθηκαν από τις ανασκαφές επιχειρούν μία ανάλυση της αρχιτεκτονικής φυσιognωμίας του ναού καθώς και των ιδιαίτερων γνωρισμάτων των επιμέρους τμημάτων που τον αποτελούν. Παρακάτω παρουσιάζεται η Κάτοψη του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα σε σχέδιο του M. Paolini (Livadiotti & Rocco, 1996), όπου, οι αναστηλωμένοι κίονες επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα.



ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

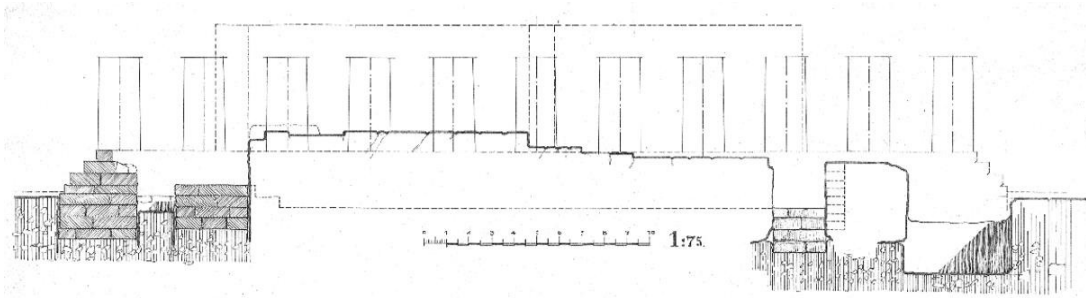
Συνεχίζοντας για την θεμελίωση του ναού, να αναφερθεί ότι η περιμετρική θεμελίωσή του πραγματοποιήθηκε σε 2 με 3 στρώσεις λίθων στη Νότια και Δυτική πλευρά, ομοίως και στο μεγαλύτερο μέρος της Βόρειας. Συγκεκριμένα για την Βόρεια πλευρά, να αναφερθεί ότι ένα μικρό τμήμα της μόνο, η θεμελίωση γίνεται σε 4 με 5 στρώσεις λίθων, καθώς και στο σύνολο της Ανατολικής πλευράς (εικόνα 3). Η θεμελίωση άλλων τμημάτων του ναού όπως του σηκού θεμελιώνεται σε ψηλότερη στάθμη, ομοίως και οι κίονες του Πρόναου που εδράζονται σε αρκετά ψηλότερη στάθμη επί του φυσικού βράχου.



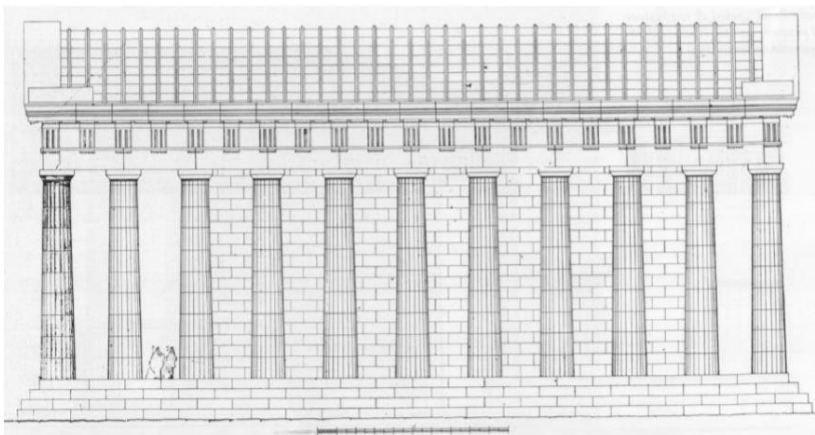
Εικόνα 2: Κάτοψη θεμελίωσης ναού μετά την Ιταλική ανασκαφή (σχέδιο του M. Paolini (Livadiotti & Rocco, 1996)

Όσον αφορά στην θεμελίωση της **κρηπίδας** του ναού, αυτή εδράζεται επί της στάθμης της θεμελίωσης. Συγκεκριμένα, η πρώτη βαθμίδα της κρηπίδας λειτουργεί σαν ευθυντήρια και διαμορφώνεται σε δυο επίπεδα. Πάνω στην κρηπίδα εδράζεται ο στυλοβάτης. Έπειτα, για τις **ραβδώσεις των κίωνων**, αυτές παρουσιάζουν πολλές ανομοιομορφίες μεταξύ τους. Το πλάτος τους δεν είναι σταθερό αλλά κυμαίνεται από 21.5 έως 27 εκ. και πολλές φορές μεταβάλλεται ακόμα και καθ' ύψος του ίδιου σπονδύλου (Livadiotti & Rocco, 1996).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 3: Διαμήκης τομή Θεμελίωσης Ναού κατά την αποτύπωση του M. Paolini το 1938 (Livadiotti & Rocco, 1996)



Εικόνα 4: Βόρεια προοπτική – γραφική απεικόνιση ναού (σχεδίαση από M. Paolini (Livadiotti & Rocco, 1996)

Τέλος, για το επιστύλιο δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία, αφού δεν διασώζεται κανένα αυθεντικό τμήμα του. Εν αντιθέσει με την ζωοφόρο που σώζεται ένα μεγάλο τμήμα της, η οποία είναι καλά τεκμηριωμένη λόγω μεγάλου σχεδόν ακέραιου μέλους που βρέθηκε με δύο τρίγλυφα και μία μετώπη. Το τύμπανο του αετώματος βρισκόταν σε εισχώρηση 77 εκ. και όχι στο ίδιο μέτωπο με τα γείσα, όπως λανθασμένα έχει αναστηλωθεί.

Τα εμφανή σήμερα λείψανα του ναού εμφανίζουν μερικώς την εικόνα και τα μέρη που αποκαλύφθηκαν από την ανασκαφή.

Με τη διαφαινόμενη ανασύνθεση της θεμελίωσης της βόρειας πλευράς, της επέκτασης της αναστηλωμένης κρηπίδας λίγο πέρα από τη ΝΑ γωνία, εμφανές είναι μόνο το 1/3 περίπου της δομής που αποκαλύφθηκε ανασκαφικά.

Εν κατακλείδι, το πνεύμα της ελληνιστικής αρχιτεκτονικής στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου, εκφράζεται τέλεια με τον συνδυασμό του φυσικού κάλλους του τοπίου (Livadiotti & Rocco, 1996).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

2.2.Ιταλική Αποκατάσταση

Η ιταλική αναστήλωση του ναού έλαβε χώρα την περίοδο της ιταλικής κατοχής του νησιού της Ρόδου, δηλαδή την περίοδο 1937 έως 1938. Η αναστήλωση αυτή είναι υπεύθυνη σε μεγάλο βαθμό για τη σημερινή μορφή και εικόνα του Ναού Πύθιου Απόλλωνα, με τον αρχιτέκτονα Ραολίνι να τοποθετείται επικεφαλής. Επίσης, για να αποκαλυφθεί η θεμελίωση του ναού πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη ανασκαφή, συνεπώς από τα στοιχεία που προέκυψαν, ο Ραολίνι αποφάσισε την αναδόμηση της Ανατολικής γωνίας του ναού χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα τμήματα της ανωδομής του ναού, που βρέθηκαν στο δυτικό μέρος της τάφρου θεμελίωσης, κατά την ανασκαφή όπως φαίνεται και από αρχαιακές φωτογραφίες.

Η σημερινή κατάσταση του ναού είναι 3 κίονες υπό ορθή γωνία από αυθεντικό και νέο υλικό επί των οποίων εδράζεται ο θριγκός και ο τέταρτος κίονας είναι ελεύθερα ιστάμενος. Οι τρεις αυτοί κίονες, οι οποίοι απαρτίζονται από αυθεντικούς αλλά και πρόσθετους από αναστηλώσεις σπόνδουλους, και ένα μέρος του αναστηλωμένου αετώματος που εδράζεται σε τρεις από αυτούς φαίνονται στην εικόνα 7. Έτσι ανακατασκευαστήκαν στην Ανατολική γωνία τρεις κίονες από αυθεντικό και νέο υλικό επί των οποίων εδράζεται ο θριγκός, ο οποίος περιλαμβάνει τμήμα του αετώματος που διασώζεται.

Στην πορεία ανακατασκευάστηκε και ένας τέταρτος ελεύθερα ιστάμενος κίονας, ώστε να επιτευχθεί μια ασφαλής και στοχευμένη αναστήλωση, η οποία σκοπό είχε να αναδείξει την αρχική εκτιμώμενη εικόνα του ναού, όπως την είχε οραματιστεί ο Ιταλός Αρχιτέκτονας Μ. Ραολίνι.

Κατά την ιταλική αναστήλωση εφαρμόστηκε μικτό σύστημα δόμησης με βάση τον σκυροδετημένο πυρήνα κίωνων που διατρέχεται από κατακόρυφους σπλισμούς και ο οποίος περιβάλλεται εξωτερικά από λίθινο μανδύα αποτελούμενο από αυθεντικό πωρόλιθο και λίθο αποκατάστασης. Χρησιμοποιήθηκαν σύγχρονα υλικά με βάση το τσιμέντο όπως σπλισμένο και άοπλο σκυρόδεμα, τσιμεντοκονιάματα και τσιμέντο για επίχρισμα, καθώς και μεταλλικά υλικά για τη μηχανική στερέωση των λίθων.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η τοποθέτηση της κρηπίδας πάνω στο βράχο. Η διαμόρφωση της έγινε με τη δημιουργία πυρήνα από άοπλο σκυρόδεμα που περιβάλλεται εξωτερικά με μανδύα από πωρόλιθο. Πάνω σε αυτή τοποθετήθηκε ο στυλοβάτης που αποτελείται από κομμάτια λιθόπλινθων. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εσωτερική λάξευση στους αρχαίους σπόνδουλους για τη δημιουργία πυρήνων διαμέτρου 0.80 έως 1.00 m στον οποίο χυτεύτηκε σκυρόδεμα. Για τους σπονδύλους από νέο υλικό ο λίθινος μανδύας που περιβάλλει τον σκυροδετημένο πυρήνα των κίωνων αποτελείται από 3 έως 4 τοιχώματα νέου λίθου βιοκαλκαρενίτη, ενώ τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή του κονιάματος που εφαρμόστηκε, είναι αμμοχάλικο μικρών και μεσαίων διαστάσεων διαμέτρου 2 mm - 50 mm και σκύρα με διάμετρο έως και 15 cm (Ψυχάρης, 2018).

Έπειτα, στα τμήματα των σπονδύλων που κρίθηκε απαραίτητο να συμπληρωθούν με λίθο ακανόνιστου σχήματος, όπου αυτά παρουσίαζαν αποκολλήσεις, προκρίθηκε η εφαρμογή σκυροδέματος με χρωστική ουσία, ώστε να προσομοιάζει το φυσικό χρώμα του λίθου για την αποφυγή έντονης χρωματικής αντίθεσης, που θα αλλοίωνε την φυσιογνωμία του

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μνημείου. Όμως, σε μεγάλα τμήματα της επιφάνειας των κίωνων κυριαρχούν οι τσιμεντιτικές αποχρώσεις.

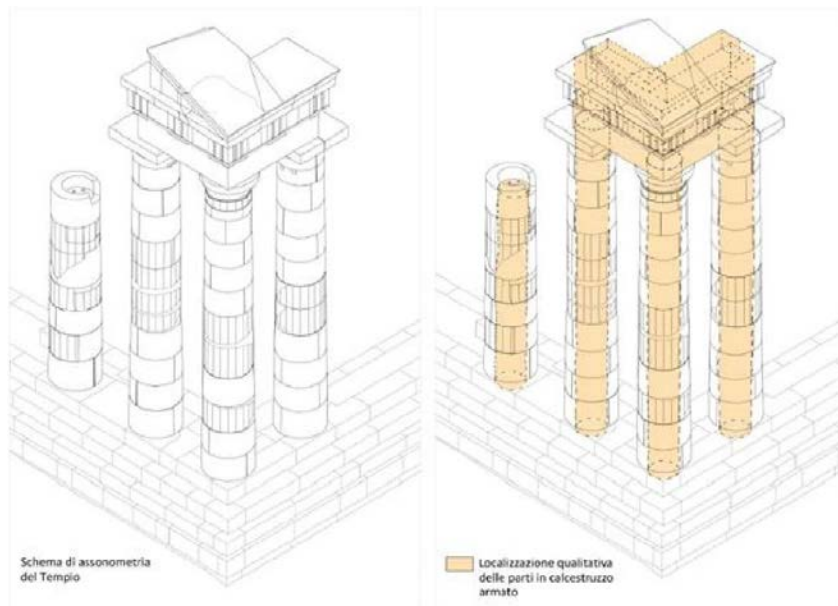
Με βάση την μελέτη του Ιταλού Αρχιτέκτονα M. Paolini για να επιτευχθεί η μεταφορά και η τοποθέτηση των σπονδύλων στις θέσεις που προέβλεπε η μελέτη του, γινόταν κοπή κάθε αρχαίου σπονδύλου σε δύο ή περισσότερα τεμάχια, ενώ για τους σπονδύλους από νέο λίθο κατασκευάζονταν δύο λίθινοι ημιδακτύλιοι ανά σπόνδυλο, ίδιων διαστάσεων με τους αρχαίους. Η επίτευξη της σύνδεσης των δύο ημιδακτυλίων γινόταν με τη χρήση δύο χαλύβδινων πιάσχημων συνδέσμων εν ξηρώ, δηλαδή χωρίς χρήση κονιάματος στη διεπιφάνεια. Στη συνέχεια ακολουθούσε η διάνοιξη οπών στο κέντρο των πλευρικών επιφανειών των σπονδύλων για την τοποθέτηση ξύλινων ή μεταλλικών στοιχείων που θα επέτρεπαν την ανύψωση τους στο ακριβές σημείο εναποθέτησής τους. Εκεί γινόταν η συγκόλληση των σπονδύλων μέσω ενός μεταλλικού συνδετήρα σχήματος πεπλατυσμένου «η» εισερχόμενου σε οπές που βρισκόταν στην κορυφή των λίθων και τη χρήση τσιμεντοκονίας. Παράλληλα τοποθετήθηκαν χαλύβδινες ράβδοι χωρίς νευρώσεις που διατρέχουν όλο το ύψος των κίωνων μέχρι και το κιονόκρανο. Στον έβδομο σπόνδυλο του ελεύθερα ιστάμενου κίονα έγινε χρήση ενός ενιαίου κομματιού λίθου, το οποίο διατηρήθηκε για την έγχυση σκυροδέματος στον πυρήνα του. Από τον σκυροδετημένο πυρήνα του σπονδύλου αυτού προεξέχουν πέντε μεταλλικοί σύνδεσμοι μορφής «η» που χρησιμοποιήθηκαν για τη μεταφορά και σωστή τοποθέτησή του στον κίονα.



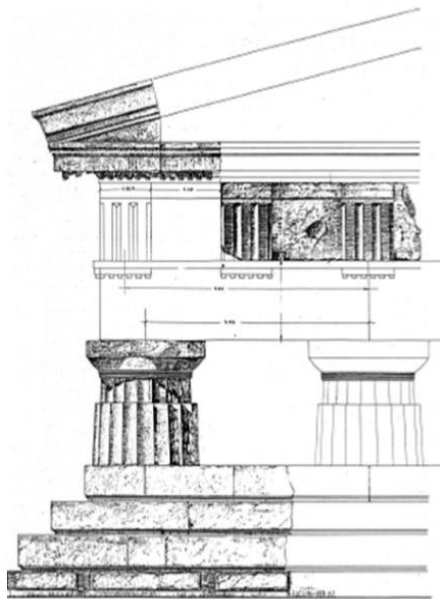
Εικόνα 5: Διαμόρφωση πυρήνα από οπλισμένο σκυρόδεμα στον κίονα κατά την ιταλική αναστήλωση

Η σύνδεση του άνω τμήματος του κιονόκρανου με το υπερκείμενο επιστύλιο που κατασκευάστηκε από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτεύχθηκε μέσω χαλύβδινων αναμονών. Για τη σταθεροποίηση του επισυλίου τοποθετήθηκε μεταλλικό πλέγμα στην κάτω πλευρά του. Τα υπόλοιπα μέλη του θριγκού, εκτός από μέρος του αυθεντικού αετώματος, που διασώζονταν αυτούσια κατασκευάστηκαν ως σύμμεικτη κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και συμπληρώματα λίθου. Για την πλήρωση των κενών σε λίθους και το κλείσιμο των αρμών έγινε χρήση τσιμεντοκονιαμάτων (Ψυχάρης, 2018).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 6: Αξονομετρικό σχέδιο ποιοτικής απεικόνισης θέσεων έγχυσης οπλισμένου σκυροδέματος (Fain, Di Biase, & Faccio, 2016)



Εικόνα 7: Συμπυγμένη όψη γωνίας ναού μετά την αναστήλωση Paolini (Livadiotti & Rocco, 1996).

Επιτακτικής ανάγκης γεγονός κατέστη η μελέτη επεμβάσεων συντήρησης και αποκατάστασης του ναού, λόγω του Β΄ Παγκόσμιου Πόλεμου, κατά την διάρκεια του οποίου έγιναν τρομερές ζημιές στο μνημείο. Προκλήθηκαν εκτεταμένες φθορές στα δομικά υλικά της υφιστάμενης κατασκευής του μνημείου, τόσο από τους βομβαρδισμούς όσο και από την τοποθέτηση πυροβόλων όπλων μέσα σε αυτό. Για μία δεκαετία ολόκληρη (1960-1970), η ελληνική αρχαιολογική υπηρεσία μελέτησε και εργάστηκε για την αποκατάσταση

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

και αναστήλωση του ναού, συγκεκριμένα στο δυτικό θεμέλιο του μνημείου, με το τέλος των επεμβάσεων να λαμβάνει χώρα το έτος 1996.

Συγχρόνως με τις εργασίες αναστήλωσης, ο χώρος χαρακτηρίστηκε αρχαιολογικός χώρος, συγκεκριμένα η ζώνη που περιβάλλει την αρχαία Ακρόπολη, η οποία διαθέτει 1250 στρέμματα γης. Επίσης, στον ναό τοποθετήθηκαν σκαλωσιές για την ενίσχυση της στατικής του επάρκειας, καθώς και για τις εργασίες συντήρησης σε αυτόν. Τέλος, εκκρεμεί ακόμη η ανασκαφή σε όλη την έκταση της Αρχαίας Ακρόπολης (Ψυχάρης, 2018).

2.3. Παθολογία μνημείου – Απαιτούμενες Επεμβάσεις

2.3.1. Παθολογία Μνημείου

Ο Ναός του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου είναι κατασκευασμένος από βιοκλαστικό ψαμμιτικό ασβεστόλιθο και η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιείται είναι ασβεστιτικής προέλευσης, με κλαστικούς κρυστάλλους, κυρίως χαλαζία και ασβεσίτη. Έπειτα, οι αναβαθμοί του μνημείου είναι δομημένοι από πωρόλιθο. Στην συνέχεια, όσον αφορά στους κίονες του ναού, αυτοί είναι κατασκευασμένοι από δυο διαφορετικούς λίθους, τον αυθεντικό λίθο και τον λίθο αποκατάστασης. Οι λίθοι αυτοί, παρουσιάζουν παρόμοια φυσικοχημικά καθώς και μηχανικά χαρακτηριστικά. Ο λίθος αποκατάστασης κυριαρχεί στους κίονες αυτούς, αφού λίγα κομμάτια αυθεντικού λίθου σώζονται. Ο αυθεντικός λίθος βρίσκεται σε καλύτερη κατάσταση από τον λίθο αποκατάστασης που είναι αποσαθρωμένος και ρηγματωμένος. Ο αυθεντικός λίθος που διασώζεται εμφανίζει σημαντικές απώλειες υλικού και βιοδιάβρωση, καθώς και υψηλές συγκεντρώσεις χλωριούχων αλάτων και μέτριες συγκεντρώσεις θειικών αλάτων. Ο λίθος αποκατάστασης παρουσιάζει πολύ έντονες απώλειες υλικού, αποχρωματισμούς και λευκές εξανθήσεις, καθώς και μέτριες συγκεντρώσεις χλωριόντων και πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις θειικών ιόντων.

Όσον αφορά στην ορυκτολογική σύσταση των λίθων του ναού, μετά από εξέταση τους, απορρέουν τα παρακάτω συμπεράσματα : **i)** Ο τοπικός συμπαγής υπόλευκος ασβεστόλιθος έχει κύρια ορυκτολογική φάση τον ελαφρώς μαγνησιακό ασβεσίτη και δευτερεύουσες τον γύψο, το χαλαζία και τον αραγωνίτη. **ii)** Ο υποκίτρινος ασβεστόλιθος που χρησιμοποιήθηκε στην αποκατάσταση, έχει κύρια ορυκτολογική φάση τον ελαφρώς μαγνησιακό ασβεσίτη και δευτερεύουσες τον αλίτη, το χαλαζία και τον αραγωνίτη . **iii)** Ο γκριζος πορώδης ασβεστόλιθος του νότιου κίονα έχει και αυτός κύρια ορυκτολογική φάση τον ελαφρώς μαγνησιακό ασβεσίτη και δευτερεύουσες το χαλαζία και τον αραγωνίτη.

Όσον αφορά στο σκυρόδεμα, το οποίο αποτελείται από αμμοχάλικο μικρών και μεσαίων διαστάσεων, δηλαδή η διάμετρος τους κυμαίνεται μεταξύ 2mm-50mm, καθώς και σκύρα των οποίων η διάμετρος φτάνει έως 15mm. Συνεπώς, η μεταφορά διαλυτών αλάτων από το σκυρόδεμα στους λίθους του ναού επιτείνει τη φθορά των τελευταίων. Η κατάσταση αυτή εμποδίζει την διαπνοή των αυθεντικών υλικών, λόγω ασύμβατης μικροδομής και εντείνει την συσσώρευση υγρασίας στα αυθεντικά υλικά. Παράλληλα, λόγω ασυμβατότητας των υλικών ασκούνται τάσεις στα αυθεντικά υλικά.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Όσον αφορά στα κονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αποκατάσταση του ναού, αυτά αποτελούνται από ασβεστίτη κατά κύριο λόγο, σε συνδυασμό με γύψο, χαλαζία και αραγωνίτη.

Όσον αφορά στα λιγοστά αυθεντικά επιχρίσματα που διασώζονται αποτελούνται από μαγνησιακό ασβεστίτη κατά κύριο λόγο, σε συνδυασμό με αραγωνίτη και χαλαζία, και παρουσιάζουν μεγάλες συγκεντρώσεις διαλυτών αλάτων.

Στα τσιμεντοκονιάματα του ναού παρατηρούνται μεγάλες συγκεντρώσεις θειικών αλάτων και αποφλοιώσεις.

Τέλος, από τα πειραματικά αποτέλεσμα γίνεται αντιληπτή η ύπαρξη του μηχανισμού τριχοειδούς αναρρίχησης της υγρασίας από τους αναβαθμούς του ναού στους κίονες, ο οποίος επιταχύνει την αποσάθρωση των σπονδύλων βάσης και την μηχανική αστάθεια των κίωνων.

Εν συνεχεία, να αναφερθεί ότι η κατάσταση διατήρησης του Ναού εν γένει, είναι κακή. Επιπλέον, είναι γνωστό ότι η κατάσταση διατήρησης των αρχαίων λίθων του ναού είναι κακή, καθώς και ότι ο ένας από τους κυρίους τύπους φθοράς που παρουσιάζουν είναι η **κυψέλωση**, προερχόμενη από τη συνεργιστική δράση της αλατονέφωσης, των ισχυρών βορειοδυτικών ανέμων και της ασύμβατης υγρομετρικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος/τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες επεμβάσεις. Δυστυχώς, το βάθος της διάβρωσης εκτείνεται σε πολλές θέσεις σε δεκάδες εκατοστά δημιουργώντας κοιλότητες και τοπικά αποκαλύπτοντας τον εσωτερικό πυρήνα οπλισμένου σκυροδέματος των κίωνων. Στα μέρη του θριγκού δεν είναι τόσο εκτεταμένη όσο στους κίονες. Ενώ, ο δεύτερος κύριος τύπος φθοράς που απαντάται είναι η **βιοδιάβρωση**, κυρίως με τη μορφή μαύρων μυκήτων και κρουστωδών επιλιθικών λειχήνων.

Συγκεκριμένα, στα εναπομείναντα τμήματα του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στη Ρόδο, παρατηρείται **μεγάλη απώλεια αυθεντικού υλικού και σημαντικές βλάβες στα δομικά του υλικά.**

Ενδεικτικά αναφέρονται οι εξής χαρακτηριστικές περιπτώσεις βλαβών που παρατηρήθηκαν (Ψυχάρης, 2018):

- Αποτμήσεις ακμών σπονδύλων
- Αποφλοίωση τμήματος εξωτερικής παρειάς των σπονδύλων
- Θραύση σπονδύλων
- Ρηγματώσεις, κυψελώσεις μικρής έκτασης στον αρχαίο λίθο
- Απότμηση τμημάτων και βλάβες στα κιονόκρανα
- Βλάβες στους ιστορικούς λίθους της ιταλικής αναστήλωσης
- Αντικατάσταση τμημάτων του θριγκού
- Αντικατάσταση ολόκληρου σπονδύλου
- Συμπλήρωση της κεντρικής οπής των σπονδύλων

Οι βλάβες αυτές οφείλονται στη συνεργιστική δράση των σεισμικών καταπονήσεων και στην μείωση της επιτελεστικότητας των υλικών λόγω της αλλοίωσης των φυσικοχημικών τους χαρακτηριστικών, ως αποτέλεσμα της συνύπαρξης ασύμβατων υλικών (αρχαίος λίθος – κονιάματα και σκυροδέματα τσιμέντου) και την αρνητική επίδραση των περιβαλλοντικών

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

παραγόντων στα ιστορικά υλικά (π.χ. λόγω κρυστάλλωσης αλάτων, κλπ). Παράλληλα με τις προαναφερθείσες βλάβες, παρατηρούνται και σπηλαιώσεις διαφορετικής έκτασης, καθώς και ρηγματώσεις, οι οποίες και επιδεινώνουν περαιτέρω την επίδραση των παραπάνω βλαβών, ενώ δρουν ως περιοχές διάχυσης περιβαλλοντικών παραγόντων στην εσωτερική δομή των υλικών, ενώ ενδέχεται ανά πάσα στιγμή να διευρυνθούν οι ρηγματώσεις (Ψυχάρης, 2018).

Κατά την ιταλική αποκατάσταση χρησιμοποιήθηκε ευρέως ένας λίθος αποκατάστασης, όπως έχει αναφερθεί και στην Τεχνική έκθεση Α΄ φάσης, ο οποίος σήμερα είναι σε κακή κατάσταση διατήρησης, έχοντας απολέσει πλήρως την επιτελεστικότητά του. Παράλληλα με τον λίθο αποκατάστασης, στην αναστήλωση των Ιταλών χρησιμοποιήθηκαν ευρέως τσιμεντοκονιάματα και σκυροδέματα με βάση το τσιμέντο, ενώ είναι έντονη και η παρουσία μεταλλικού σπλισμού, ο οποίος σήμερα είναι εντελώς διαβρωμένος. Η παρουσία του τσιμέντου επιτάχυνε τη φθορά των δομικών υλικών του μνημείου λόγω της ασυμβατότητας που παρουσιάζει με τον πορώδη αυθεντικό λίθο και τον λίθο της ιταλικής αποκατάστασης.

2.3.2. Απαιτούμενες Επεμβάσεις

Ιστορική Αναδρομή των Αποκαταστάσεων

Κάθε επέμβαση συντήρησης Μνημείων και Μνημειακών Συνόλων διέπεται από ένα διαχρονικό πλαίσιο κατευθυντήριων αρχών, αναγνωρισμένο διεθνώς. Στην περίπτωση των Μνημείων καταρτίστηκε η Χάρτα της Βενετίας στις 25-31 Μαΐου στην Βενετία, από το Διεθνές Συμβούλιο Μνημείων και Τοποθεσιών (ICOMOS). Η Χάρτα αναφέρεται τόσο στην έννοια της συντήρησης, όσο και στην διαδικασία της αποκατάστασης (Χάρτης Βενετίας , 1964).

Η συντήρηση και η αποκατάσταση των μνημείων, αποτελεί έναν επιστημονικό κλάδο ο οποίος πρέπει να αποτελείται στη συνεργασία όλων των επιστημών και όλων των τεχνών που μπορούν να συνεισφέρουν στη μελέτη και τη διάσωση της μνημειακής κληρονομιάς. (Χάρτα της Βενετίας, 1964. Άρθρο 2).

Η διαδικασία της αποκαταστάσεως είναι μια επέμβαση υψηλής εξειδίκευσης που επιβάλλεται να γίνεται κατ' εξαίρεση. Έχει σαν στόχο να διατηρήσει και να αποκαλύψει τις ιστορικές και αισθητικές αξίες του μνημείου και βασίζεται στον σεβασμό προς την αρχική του υπόσταση και τα αυθεντικά του στοιχεία. Σταματάει στο σημείο που αρχίζουν να υπάρχουν υποθέσεις. Πέρα από αυτό το σημείο, οποιαδήποτε εργασία που ενδεχομένως θα θεωρηθεί απαραίτητη για τεχνικούς ή αισθητικούς λόγους, θα πρέπει να διαχωρίζεται από την αρχική αρχιτεκτονική σύνθεση και να φέρνει την σφραγίδα της εποχής μας. Σε όλες τις περιπτώσεις η αρχαιολογική μελέτη θα προηγείται της αποκατάστασης και θα την ακολουθεί (Χάρτα της Βενετίας, 1964. Άρθρο 9).

Στην πορεία, η μελέτη επεμβάσεων είναι το στάδιο όπου διατυπώνονται, δοκιμάζονται και εφαρμόζονται επεμβάσεις στο μνημείο, ενσωματώνοντας παρατηρήσεις και συμπεράσματα των προηγούμενων φάσεων που εκτελούνται σε διεπιστημονική βάση. Μία μελέτη επεμβάσεων αφορά σε (Μοροπούλου Α. , 2004):

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Επεμβάσεις στο μνημείο

- Τεχνική, μορφολογική και λειτουργική αποκατάσταση (αρχιτεκτονική μελέτη)
διατήρηση μορφολογικών, αρχιτεκτονικών και τεχνικών στοιχείων δόμησης
- Αποκατάσταση και ενίσχυση του φορέα (δομοστατική μελέτη)
έλεγχος στατικής επάρκειας μνημείου
- Αποκατάσταση φθορών, συντήρηση υλικών και προστασία (μελέτη υλικών)
έλεγχος συμβατότητας και αυθεντικότητας

Επεμβάσεις στο περιβάλλον

- Αποκατάσταση του υπεδάφους (γεωτεχνική μελέτη)
έλεγχος στατικής επάρκειας υπεδάφους
- Μέτρα περιβαλλοντικής προστασίας (περιβαλλοντική μελέτη)
έλεγχος μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων
- Μέτρα διαχείρισης περιβάλλοντος για μείωση κινδύνων
πολεοδομικές και χωροταξικές ρυθμίσεις

Τέλος, κατά τη φάση των επεμβάσεων στο μνημείο θα πρέπει να γίνεται έλεγχος ποιότητας για τα υλικά καθαρισμού, στερέωσης, προστασίας, αποκατάστασης, αντιμετώπισης υγρασίας και ολοκλήρωσης και αξιολόγηση της τεχνολογίας παραγωγής προηγμένων υλικών. Ακόμα, αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, αξιολόγηση αποτελεσματικότητας επεμβάσεων συντήρησης στην κλίμακα αρχιτεκτονικών επιφανειών και ιστορικών τοιχοποιιών, στρατηγικός σχεδιασμός των επεμβάσεων, ολοκληρωμένη περιβαλλοντική διαχείριση και στρατηγικός πολεοδομικός σχεδιασμός (Μοροπούλου Α., 2015).

Στην πορεία, οι **αρχές** που ακολουθούνται στην συνολική Πρόταση Αποκατάστασης αφορούν κυρίως σε θέματα Αποκατάστασης και Αναστήλωσης (Χάρτης Βενετίας, 1964. Άρθρο 9) εφαρμογής νέων τεχνικών και υλικών (Χάρτης Βενετίας, 1964. Άρθρο 10), ενώ τα θέματα υπερκείμενων αξιολογών φάσεων (Χάρτης Βενετίας, 1954. Άρθρο 11) μπορούν να λογισθούν εν μέρει οι Ιταλικές επεμβάσεις της δεκαετίας του 1930 οι οποίες πλέον κατατάσσονται αδιαμφισβήτητα στην ιστορία των αναστηλώσεων.

Προτάσεις Επεμβάσεων για το Μνημείο

Όσον αφορά στην επερχόμενη αναστήλωση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στη Ρόδο, θα απομακρυνθούν τα υλικά της ιταλικής αποκατάστασης, ο μεν λίθος που τοποθετήθηκε λόγω της κακής κατάστασης διατήρησής του και τα κονιάματα και σκυροδέματα τσιμέντου λόγω της μεγάλης ασυμβατότητας που παρουσιάζουν, ενώ θα απομακρυνθούν και οι διαβρωμένοι μεταλλικοί οπλισμοί. Συνεπώς, αναδεικνύεται η ανάγκη για τη χρήση υλικών

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

αποκατάστασης, τα οποία να είναι συμβατά και επιτελεστικά, ώστε να λειτουργήσουν σαν υλικά αντικατάστασης των τμημάτων που έχουν απολεσθεί ή που θα απομακρυνθούν.

Είναι προφανές ότι ολόκληροι σπόνδυλοι όπου δεν υπάρχει παρουσία αυθεντικού υλικού, θα αντικατασταθούν πλήρως από τον νέο λίθο αποκατάστασης, ο οποίος θα πρέπει να λαβευτεί στις σωστές διαστάσεις και στη σωστή γεωμετρία. Ωστόσο, στις περιπτώσεις όπου υπάρχει αυθεντικό υλικό, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στον τρόπο που θα συμπληρωθούν τα απολεσθέντα τμήματα των σπονδύλων. Το ίδιο ισχύει και για τμήματα των κιονόκρανων και του θριγκού.

Τα δομικά υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την συμπλήρωση των απολεσθέντων τμημάτων θα πρέπει να εμφανίζουν τη μέγιστη δυνατή συμβατότητα με τον αρχαίο λίθο, ώστε να διασφαλιστεί η αειφορία του αυθεντικού υλικού, θα πρέπει να παρουσιάζουν συμβατότητα και με τον λίθο αποκατάστασης που θα επιλεγεί, ενώ θα πρέπει να παρουσιάζουν και την απαιτούμενη επιτελεστικότητα, ώστε να διασφαλιστεί η αειφορία του δομήματος εν συνόλω (Ψυχάρης, 2018).

Όσον αφορά στις απαιτούμενες επεμβάσεις με στόχο τον καθαρισμό του λίθου του Ναού, συμπεραίνουμε ότι η όποια επέμβαση καθαρισμού και αν τελικά εφαρμοστεί από τις προταθείσες (βλ. Κεφάλαιο 1.3. Καθαρισμός) , θα πρέπει πρώτα να έχει εφαρμοστεί πιλοτικά στην κλίμακα του μνημείου και να έχει αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητά της με κριτήρια συμβατότητας και αειφορίας.

Παράλληλα, κρίνεται εξίσου απαραίτητο κατά τη διάρκεια του έργου, να αποτιμώνται επί τόπου και σε πραγματικό χρόνο οι επεμβάσεις που αφορούν στα υλικά, την αναστήλωση, τη γεωμετρία και την απόκριση του μνημείου, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναπροσαρμογή των λύσεων σε πραγματικό χρόνο, εάν και όπου υπάρξει ανάγκη.

Παράλληλα, κρίνεται αναγκαία η τοποθέτηση κατάλληλων αισθητήρων για την παρακολούθηση στο χρόνο (monitoring) της δυναμικής και θερμοϋγρομετρικής συμπεριφοράς του μνημείου, καθώς και ο έλεγχος των αποκλίσεων του από την κατακόρυφο.

Εν κατακλείδι, ο σχεδιασμός της εγκατάστασης των συστημάτων αυτών, καθώς και η λήψη, καταγραφή και κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων που θα προκύπτουν, μπορεί να πραγματοποιείται από τα τρία εργαστήρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, τα οποία και θα προτείνουν, βάσει των αποτελεσμάτων, στις αρμόδιες υπηρεσίες τη βέλτιστη ανά περίπτωση λύση, σε πιθανά προβλήματα. Συνεπώς, λαμβάνοντας υπόψη τα συμπεράσματα από τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων, κρίνεται απαραίτητος ένας συνολικός διάλογος με τους υπευθύνους της Εφορείας Αρχαιοτήτων Δωδεκανήσου και το ΚΑΣ, προκειμένου το ΕΜΠ να προβεί σε μία τελική εκτίμηση επί της λύσης, που θα προκριθεί σε ότι αφορά στα υλικά και στις επεμβάσεις αναστήλωσης.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το κεφάλαιο αυτό σκοπό έχει να εισαγάγει τον αναγνώστη στον πειραματικό σχεδιασμό που έλαβε χώρα στο εργαστήριο του Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών στο τμήμα Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Παρακάτω περιγράφεται ενδελεχώς η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε, με βασικό αντικείμενο μελέτης και διερεύνησης τα υλικά αποκατάστασης για τις καταλληλότερες επεμβάσεις συντήρησης στον Ναό του Πύθιου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου.

3.1. Πειραματικός σχεδιασμός

Παρακάτω παρουσιάζεται με συνοπτική διαδικασία ο πειραματικός σχεδιασμός. Στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας εργασίας θα γίνει ενδελεχής παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας που τηρήθηκε με συνέπεια, καθώς και τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτήν. Σκοπός της μεταπτυχιακής αυτής είναι η μελέτη υλικών & επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου, σε σχέση με επεμβάσεις καθαρισμού και στερέωσης, καθώς και συμβατών κονιαμάτων συμπλήρωσης, στερέωσης και συγκόλλησης λίθινων θραυσμάτων. Επομένως, ο πειραματικός σχεδιασμός της εργασίας αυτής ακολουθεί τα στάδια αυτά με συγκεκριμένη ιεραρχία.

Πειραματικός σχεδιασμός

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν και εφαρμόστηκαν κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας χωρίζονται σε μη καταστρεπτικές και σε καταστρεπτικές αναλυτικές/εργαστηριακές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την σωστή αποτίμηση και αξιολόγηση των προς εξέταση δομικών υλικών.

Αρχικά εξετάστηκαν επιχρίσματα από επιχρισμένες επιφάνειες του μνημείου. Έπειτα, εξετάστηκαν δέκα στο σύνολο κανονικοποιημένα κυλινδρικά δοκίμια λίθων από τη θέση Α του Λατομείου της Ρόδου, λιθότυπου Σφουγγάρια Α. Όλα τα δείγματα και τα δοκίμια τεκμηριώθηκαν φωτογραφικά και συγκεκριμένα στα επιχρίσματα καταγράφηκαν μακροσκοπικά οι πρώτες ενδείξεις από φθορές και αλλοιώσεις. Να σημειωθεί ότι στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάστηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με κωδική ονομασία C_NHL.

Επιχρίσματα

Όσον αφορά στην μελέτη των επιχρισμάτων με κωδική ονομασία *plaster_trigl_east* (επίχρισμα 1), *plaster_pediment_north* (επίχρισμα 2), *plaster_pediment_east* (επίχρισμα 3) και *plaster_k2c_north* (επίχρισμα 4), τα συγκεκριμένα μελετήθηκαν με την μη καταστρεπτική μέθοδο της ψηφιακής μικροσκοπίας για μία πρώτη εκτίμηση της μικροδομής τους, αφού η μέθοδος αυτή εξετάζει τις επιφάνειες των υλικών. Στην συνέχεια, εξετάστηκαν ως προς τις ορυκτολογικές τους ιδιότητες με την καταστρεπτική μέθοδο ορυκτολογικής ανάλυσης με περίθλαση ακτίνων Χ, (XRD). Έπειτα, μελετήθηκαν ως προς τις φυσικοχημικές ιδιότητές τους με την καταστρεπτική μέθοδο της Θερμικής Ανάλυσης. Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος προσδιορισμού ολικών διαλυτών αλάτων,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

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

Συνεπώς, ο λόγος για τον οποίο μελετήθηκαν τα επιχρίσματα του Ναού ήταν για να διαπιστωθεί όσον τον δυνατόν καλύτερα το είδος φθοράς των επιχρισμένων επιφανειών του μνημείου. Έτσι ώστε να συσταθεί ο κατάλληλος καθαρισμός επιφανειών με τα κατάλληλα καθαριστικά μέσα (είτε αυτά είναι μηχανικά είτε προερχόμενα από χημικά σκευάσματα). Αλλά και επίσης, να μελετηθεί το είδος της στερέωσης, η οποία εξετάζεται εκτενώς στο παρακάτω κεφάλαιο, όπως και ο καθαρισμός.

Λίθος αποκατάστασης – λιθότυπος Σφουγγάρια Α

Στην πορεία μελετήθηκε ο προτεινόμενος λίθος αποκατάστασης λιθότυπου Σφουγγάρια Α, για να εξακριβωθούν οι φυσικοχημικές του ιδιότητες. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκαν μη καταστρεπτικές μέθοδοι όπως χρωματομετρία και υπερηχοσκόπηση, η μέθοδος προσδιορισμού ολικών διαλυτών αλάτων καθώς και η υδατοαπορρόφηση με την μέθοδο της τριχοειδούς αναρρίχησης.

Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου – C NHL

Να σημειωθεί ότι στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάστηκε μεμονωμένα το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν μη καταστρεπτικές μέθοδοι ανάλυσης όπως μικροσκοπία οπτικών ινών, χρωματομετρία, υπερηχοσκόπηση, η μέθοδος προσδιορισμού ολικών διαλυτών αλάτων και η υδατοαπορρόφηση με την μέθοδο της τριχοειδούς αναρρίχησης. Έπειτα, ένα μικρό μέρος κονιορτοποιήθηκε ώστε να εξεταστεί με την καταστρεπτική μέθοδο της θερμικής ανάλυσης σε χρόνο 28 ημερών και 90 ημερών αντίστοιχα.

Σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης

Τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης τα οποία εξετάστηκαν ήταν σε σύνολο δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθων από τη θέση Α του λατομείου της Ρόδου, λιθότυπου Σφουγγάρια Α και 5 διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης. Οι κωδικοί που δόθηκαν στα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθων ήταν Α1, Α2, Α3, Α4, Α5, Α6, Α7, Α8, Α9 και Α10. Στην πορεία, τα δοκίμια λίθου αποκατάστασης κόπηκαν ακριβώς στην μέση και μετρήθηκαν τα νέα ύψη που προέκυψαν. Ο λόγος ο οποίος κόπηκαν τα δοκίμια αυτά ήταν διότι εφαρμόστηκαν, ανάμεσα στα δύο μέρη που προέκυψαν από την κοπή τους, μείγματα από συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, για να εξεταστεί η πρόσφυση και η συγκόλληση τους. Συνεπώς, ανά δύο κυλινδρικά δοκίμια λίθων(Α1&Α2, κ.ο.κ), εφαρμόστηκε ένα μείγμα από την ίδια σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης. Οπότε προκύπτουν τα εξής:

- Στα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α, το Α1 και το Α2 εφαρμόστηκε το μείγμα 1^ο (όπου, μείγμα 1^ο η σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης Ασβέστη με Φυσική Ποζολάνη, κωδική ονομασία L_NP12.5).
- Στα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α, το Α3 και το Α4 εφαρμόστηκε το μείγμα 2^ο (όπου, μείγμα 2^ο η σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης Φυσική Υδραυλική άσβεστος με μετακαολίνη, κωδική ονομασία NHL_M1_D).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

- Στα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α, το Α5 και το Α6 εφαρμόστηκε το μείγμα 3^ο (όπου, μείγμα 3^ο η σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης ασβέστη με μετακαολίνη και υψηλότερο ποσοστό νερού, κωδική ονομασία L_NP12.5 more water).
- Στα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α, το Α7 και το Α8 εφαρμόστηκε το μείγμα 4^ο (όπου, μείγμα 4^ο η σύνθεση εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης ασβέστη μετακαολίνη, κωδική ονομασία ME).
- Στα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α, το Α9 και το Α10 εφαρμόστηκε το μείγμα 5^ο (όπου, μείγμα 5^ο η σύνθεση εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, κωδική ονομασία C_NHL).

Άρα, προκύπτουν 5 ζεύγη με διαφορετικά μείγματα συνθέσεως κονιάματος αποκατάστασης. Σε αυτά τα 5 ζεύγη με διαφορετικό μείγμα κονιάματος αποκατάστασης πραγματοποιήθηκαν συγκεκριμένες τεχνικές μη καταστρεπτικές κυρίως, στις 28 ημέρες και στις 90 ημέρες, μετά την ημερομηνία παρασκευής τους. Αρχικά, μελετήθηκε η χρωματική συμβατότητα κονιάματος αποκατάστασης με τον λίθο αποκατάστασης με την **χρήση Χρωματόμετρου**, καθώς πάρθηκε ένας ικανοποιητικός αριθμός μετρήσεων τόσο στις διεπιφάνειες όσο και στον λίθο αποκατάστασης και έπειτα έγινε η σύγκριση μεταξύ τους. Εν συνεχεία, μελετήθηκε η πρόσφυση του σύνθετου λίθου-κονιάματος αποκατάστασης στο σημείο των διεπιφανειών τους, αυτό επετεύχθη με την μη καταστρεπτική μέθοδο της **Ψηφιακής μικροσκοπίας**, που βασίζεται στην μικροσκοπία οπτικών ινών (FOM), με την οποία εξετάστηκαν εξωτερικά ως προς την μορφολογία τους οι διεπιφανειακές δράσεις των σύνθετων δοκιμίων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Έπειτα, η ζώνη που επαφτόταν στη διεπιφάνεια των σύνθετων δοκιμίων, εξετάστηκε ως προς την ανίχνευση αστοχιών, αποκόλλησης, ρηγματώσεων και ασυνεχειών του σύνθετου υλικού. Στην πορεία μελετήθηκαν με την μη καταστρεπτική μέθοδο της **Υπερηχοσκόπησης**, ούτως ώστε να εκτιμηθεί η φυσικομηχανική συμπεριφορά του σύνθετου λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, καθώς και για την ανίχνευση ατελειών στις διεπιφάνειες. Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκαν **υδρομετρικές δοκιμές-μετρήσεις όπως η Υδατοαπορρόφηση με την τεχνική της Τριχοειδούς Αναρρίχησης**. Ακόμη, εφαρμόστηκε η **Υπέρυθρη Θερμογραφία (με την χρήση θερμοκάμερας IR)**, με την οποία στόχος ήταν να αποτιμηθεί η συμβατότητα των υλικών αποκατάστασης, καθώς και να διαγνωσθεί ο ρυθμός εξάτμισης της παραμένουσας υγρασίας, η οποία είχε κατακρατηθεί από τα σύνθετα δοκίμια, διότι είχαν μείνει μέσα σε απιονισμένο νερό ένα 24ωρο ακριβώς πριν την αρχή του πειράματος,. Στην ουσία έγινε μια προσπάθεια εξέτασης των φαινομένων μεταφοράς υγρασίας.

Πίνακας 2: Σύνθετα λίθου-κονιάματος περιγραφή τους

Σύνθετα Λίθου-κονιάματος	Κωδικός Σύνθεσης Κονιάματος Αποκατάστασης
A1 & A2	Ασβέστη με Φυσική Ποζολάνη L_NP12.5
A3 & A4	Φυσικής Υδραυλικής Άσβεστου με Μετακαολίνη NHL_M1_D
A5 & A6	Ασβέστη με Φυσική Ποζολάνη με υψηλότερο ποσοστό νερού L_NP12.5 more water
A7 & A8	Εμπορικό - Ασβέστη-μετακαολίνη ME
A9 & A10	Εμπορικό - Φυσικής Υδραυλικής Ασβέστου C_NHL

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

3.2. Πειραματικές Μέθοδοι

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου, ώστε να αποκομίσουμε πληροφορίες για τα δομικά υλικά που είναι συμβατά και επιτελεστικά για την αποκατάσταση του μνημείου.

Επομένως, χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τεχνικές:

- ❖ Μικροσκόπιο οπτικών ινών (FOM), για την μελέτη της μορφολογίας των εξεταζόμενων κονιαμάτων.
- ❖ Θερμογραφία Υπερύθρου IR, για την θερμο - υγρική συμβατότητα λίθου – κονιάματος.
- ❖ Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM), για την διάγνωση φθοράς του αρχαίου λίθου.
- ❖ Θερμική Ανάλυση [The Thermogravimetry (TG) and Differential Thermal Analyzer (DTA)], για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των συστατικών των υλικών αποκατάστασης.
- ❖ Περίθλαση ακτίνων Χ, XRD (X-Ray Diffraction), για τον προσδιορισμό των ορυκτολογικών φάσεων.
- ❖ Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό για την ακριβή ποσότητα απορρόφησης νερού.
- ❖ Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων - Ποιοτική Ανίχνευση Ανιόντων, για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των κονιαμάτων σε ολικά διαλυτά άλατα και σε επιβλαβή χλωρίοντα, θειικά και νιτρικά ιόντα.
- ❖ Χρωματομετρία, με την χρήση χρωματομέτρου, για την αισθητική συμβατότητα λίθου – κονιάματος, βάσει χρώματος.
- ❖ Υπερηχοσκόπηση – για μία πρώτη εκτίμηση της φυσικομηχανικής συμβατότητας λίθου- κονιάματος.

3.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία

Η Ψηφιακή Μικροσκοπία ικανοποιεί και επιτυγχάνει έναν μη καταστρεπτικό έλεγχο των δομικών υλικών και είναι μια σχετικά πρόσφατη μέθοδος. Ξεκίνησε στην *in situ* μη καταστρεπτική εξέταση αρχιτεκτονικών μελών και επιφανειών ιστορικών κτιρίων στην Ιταλία. Η μέθοδος αυτή συνιστάται για έργα και υλικά με τεράστια καλλιτεχνική και ιστορική αξία, λόγω του μη καταστρεπτικού της χαρακτήρα. Σε άρρηκτο συνδυασμό και με τις υπόλοιπες μη καταστρεπτικές μεθόδους, δίδονται εμπειριστατωμένες και επιστημονικώς τεκμηριωμένες εκτιμήσεις αποτελεσμάτων, βάσει της επεξεργασίας των μετρήσεων που παρέχονται από τις μεθόδους αυτές. Με την μέθοδο αυτή παρέχονται σημαντικές πληροφορίες για την μορφολογία των εξωτερικών επιφανειών των δομικών υλικών, καθώς ανιχνεύει ασυνέχειες, αστοχίες, ρηγματώσεις και επιφανειακές κρούστες και φθορές εν γένει. Επίσης, μπορεί να ανιχνεύσει και παλιότερες επεμβάσεις συντήρησης, αλλά και να δώσει μια πρώτη εκτίμηση για τον βαθμό φθοράς των δομικών υλικών.

Αρχή λειτουργίας της μεθόδου με Μικροσκόπιο Οπτικών Ινών (FOM)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Η μέθοδος αυτή όπως αναφέρθηκε και παραπάνω παρουσιάζει μια πληθώρα πλεονεκτημάτων, οπότε η οπτική μετάδοση πρόκειται να αντικαταστήσει σταδιακά την ηλεκτρική μετάδοση. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για τις οπτικές ίνες είναι το γυαλί, δηλαδή το οξειδίο του πυριτίου, το οποίο είναι και χαμηλότερου κόστους. Πρόκειται για σύνθετα κεραμικά υλικά που περιέχουν πυρίτιο και βόριο και η δομή τους επιτρέπει την κατευθυνόμενη διάδοση του φωτός. Να σημειωθεί ότι οι οπτικές ίνες από αμιγώς τεχνική πλευρά διαθέτουν τεράστιο εύρος ζώνης (συχνότητες τάξης THz), καθώς και ελάχιστη απώσβεση (<0,2 Db/km). Επίσης, δεν εμφανίζουν τυχών διαφωνίες μεταξύ τους ή άλλου τύπου ηλεκτρονικές παρενοχλήσεις. Επίσης, διαθέτουν μικρό όγκο και βάρος (0,5mm με το περίβλημα, 28gr/km). Στην συνέχεια, ως φορέα των σημάτων οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν φως, αντί ηλεκτρικού ρεύματος. Έπειτα, για την μετάδοση του φωτός οι οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν οπτικές ίνες, αντί την χρήση μεταλλικών αγωγών. Όσον αφορά στο μεταδιδόμενο ηλεκτρικό σήμα, αυτό μετατρέπεται στο ένα άκρο της οπτικής ζεύξης σε μία ακολουθία από ψηφιακούς παλμούς. Αυτοί οι ψηφιακοί παλμοί με την σειρά τους διοχετεύονται στην οπτική ίνα. Τέλος, στο άλλο άκρο της ζεύξης ανιχνεύονται οι παλμοί αυτοί, συνεπώς αυτοί μετατρέπονται στο αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα.

Πειραματική Διάταξη

- ❖ Φορητή διάταξη το μικροσκόπιο της μεθόδου αυτής
- ❖ Λάμπα αλογόνου, η οποία λειτουργεί στα 100W
- ❖ Σύστημα Εστίασης
- ❖ Αντικειμενικοί Φακοί, οι οποίοι αλλάζουν για να παρθούν εικόνες διαφορετικών μεγεθύνσεων.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι είναι κατά την πειραματική διαδικασία το φως πρέπει να πέφτει κατακόρυφα στην επιφάνεια του δείγματος. Τέλος, το φορητό μικροσκόπιο το i-score της Moritex σε μεγεθύνσεις x30, x50 και x120, διαθέτει έξοδο τυποποιημένου βίντεο σήματος (PAL), το οποίο παρέχει την δυνατότητα εισαγωγής εικόνας και σε Η/Υ, με περαιτέρω δυνατότητες επεξεργασίας (Μοροπούλου, Κουή, Κροκίδα, & Καραγιάννης - Μπακόλας, 2014).

3.2.2. Χρωματομετρία

Η χρωματομετρία εμφανίζεται στους ακαδημαϊκούς χώρους ως επιστήμη κατά τις αρχές του 20^{ου} αιώνα, γύρω στο 1930. Η διεθνής επιτροπή φωτισμού CIE (Commission Internationale de L’Eclairage), βάσει πειραματικών μετρήσεων πάνω σε πειράματα οπτικής, εισαγάγει στους επιστημονικούς κόλπους την έννοια της χρωματομετρίας ως επιστήμης. Εισαγάγει το RGB ως χρωματικό μοντέλο, το οποίο βασίζεται στην αρχή των τριών διεγέρσεων όσον αφορά στον ανθρώπινο οφθαλμό, το οποίο είναι το RED, δηλαδή κόκκινο, το GREEN, δηλαδή πράσινο και το BLUE, δηλαδή μπλε. Η CIE προσπάθησε να προσδιορίσει με μαθηματική ακρίβεια το χρώμα δημιουργώντας χρωματικά μοντέλα, τα οποία εκφράζονται με μαθηματικές τιμές προκύπτουσες από μαθηματικές εξισώσεις. Συγκεκριμένα τα χρωματικά μοντέλα είναι συγκεκριμένοι χώροι όπου το κάθε χρώμα

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

αντιστοιχεί σε μια αριθμητική συντεταγμένη. Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα εξεταστεί το χρωματικό μοντέλο CIE Lab, διότι αυτό χρησιμοποιήθηκε.

Χρωματικό Μοντέλο CIE Lab ή L^ , a^* , b^**

Το 1976 από την Διεθνή Επιτροπή Φωτισμού CIE γίνεται παρουσίαση του *Μοντέλου CIE Lab*. Το μοντέλο αυτό έχει το εξής πλεονέκτημα, προσομοιάζει επαρκώς και με μεγάλη ακρίβεια από όλα τα προηγούμενα χρωματικά μοντέλα όλες τις χρωματικές διαφορές, στην ανθρώπινη αντίληψη. Κάθε χρώμα έχει περιγραφή από 3 συντεταγμένες όπως γίνεται και στον χρωματικό χώρο RGB. Στο συγκεκριμένο χρωματικό σύστημα, οι χρωματικοί παράγοντες έχουν την ονομασία L^* a^* b^* και η απεικόνισή τους γίνεται σε 3D καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων. Ο χρωματικός παράγοντας L^* (lightness) παίρνει τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (άσπρο), και αποθηκεύει όλη την πληροφορία που αφορά στην φωτεινότητα της εικόνας. Ο χρωματικός παράγοντας a^* καθώς και ο χρωματικός παράγοντας b^* δεν έχουν συγκεκριμένα αριθμητικά όρια και αποθηκεύουν την πληροφορία χρώματος. Οι θετικές τιμές του a^* πλησιάζουν αποχρώσεις του κόκκινου, ενώ οι αρνητικές τιμές αποχρώσεις πράσινου. Οι θετικές τιμές του b^* πλησιάζουν αποχρώσεις του κίτρινου, ενώ οι αρνητικές τιμές πλησιάζουν αποχρώσεις του μπλε. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρωματομετρίας με βάση το συγκεκριμένο χρωματικό μοντέλο είναι η ανεξαρτησία των πληροφοριών φωτεινότητας σε σχέση με χρώμα που μας παρέχει πολλές δυνατότητες. Συνεπώς, ο παράγοντας L^* περιγράφει την ασπρόμαυρη εκδοχή του προς εξέταση δομικού υλικού ή αντικειμένου με ένα διευρυμένο φάσμα, συνήθως.

Πλεονεκτήματα του μοντέλου CIE Lab είναι ότι μας παρέχει έναν μεγάλο χρωματικό χώρο γιατί είναι ένα υπερσύνολο όλων των υπολοίπων χρωματικών μοντέλων. Φτάνοντας στα όριά του, μπορούν να προκύψουν εξωπραγματικά χρώματα, τα οποία είναι ανέφικτο να προσδιοριστούν από πολλές άλλες συσκευές απεικόνισης. Επίσης, είναι ένα ανεξάρτητο από ιδιότητες συσκευών καταγραφής ή απεικόνισης και μπορεί να αναπαρασταθεί και σε κυλινδρικό σύστημα πολικών συντεταγμένων, δηλαδή με το μοντέλο CIE L^* , C^* , h . Όπου έχουμε τον χρωματικό παράγοντα L^* (lightness). Έπειτα, την χρωματική πυκνότητα με το C^* (Chroma), όπου προσδιορίζεται η σχέση μεταξύ της έντασης και της φωτεινότητας της υπό εξέτασης απόχρωσης. Υπολογίζεται από την σχέση: $C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$

Ο παράγοντας h (hue angle) μετριέται σε μοίρες, αυτός προσδιορίζει την απόχρωση. Παίρνει τιμές από 0° για το κόκκινο, 90° για το κίτρινο, 180° για το γαλαζοπράσινο και 270° για το μπλε (Anonymous, 1996) (Anonymous, 2000).

Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία στα δοκίμια που πραγματοποιήθηκε χρωματομετρία, λήφθηκαν μετρήσεις με την φορητή συσκευή σε αντιπροσωπευτικά σημεία του κάθε δοκιμίου. Στην συνέχεια, λήφθηκε ο μέσος όρος των μετρήσεων αυτών. Συνεπώς, με τα τελικά αποτελέσματα που απορρέουν από την παραπάνω διαδικασία έγινε ο προσδιορισμός των υπόλοιπων παραμέτρων, σύμφωνα με συγκεκριμένες μαθηματικές εξισώσεις.

3.2.3. Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Αρχή λειτουργίας της μεθόδου.

Η Ηλεκτρονική Μικροσκοπία Σάρωσης (Scanning Electron Microscopy – SEM), αποτελεί μια καταστρεπτική μέθοδο ανάλυσης της μικροδομής μεγάλης ποικιλίας στερεών υλικών. Η Αρχή Λειτουργίας της Μεθόδου βασίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ μιας προσπίπτουσας δέσμης ηλεκτρονίων και του προς εξέταση δείγματος. Η αλληλεπίδραση αυτή αποκαλύπτει πλήθος πληροφοριών σχετικά με το σημείο πρόσπτωσης (στο δείγμα), οι οποίες και ανιχνεύονται από μια σειρά αισθητήρων.

Το μεγαλύτερο Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι το SEM σε σχέση με άλλες μεθόδους ανάλυσης της μικροδομής (π.χ. οπτική μικροσκοπία), είναι η εξαιρετική ανάλυση που παρέχει και φτάνει συχνά μέχρι και 1-5nm. Ένα άλλο πλεονέκτημα αρκετά σημαντικό είναι η αίσθηση τρισδιάστατης παρουσίασης της εικόνας που είναι αποτέλεσμα του μεγάλου βάθους πεδίου που παρέχει η μέθοδος, όπως επίσης και του φαινομένου σκίασης που παρέχουν τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια και τα ηλεκτρόνια ανάκλασης.

Το SEM αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα:

- Σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων
- Σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης ηλεκτρονίων που επιτρέπει την δημιουργία συνεκτικής δέσμης και σάρωσής της πάνω στο δείγμα.
- Σύστημα πληροφοριών το οποίο περιλαμβάνει τους αισθητήρες που δέχονται τα διάφορα σήματα που εκλύονται σαν αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης της δέσμης ηλεκτρονίων με το δείγμα, καθώς και το σύστημα παρουσίασης (μεγέθυνση, παρουσίαση/ καταγραφή αποτελεσμάτων).
- Σύστημα κενού που διατηρεί τα διάφορα υποσυστήματα της στήλης στο αντίστοιχο κενό (Μοροπούλου Α. , 2012).

Τέλος, στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία η μέθοδος της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπία Σάρωσης – SEM, χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση της μικροδομής των δομικών υλικών του αρχαίου Ναού του Πύθιου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου.

3.2.4. Θερμική Ανάλυση (DTA-TG)

Η **μέτρηση (DTA)**, που σημαίνει Διαφορική Θερμική Ανάλυση, είναι μια τεχνική η οποία **μετρά τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και μίας ουσίας αναφοράς**, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, ενώ το δείγμα και η αναφορά υπόκεινται σε ελεγχόμενο θερμοκρασιακό πρόγραμμα. Βασίζεται στις ενδόθερμες (δηλαδή απορρόφηση θερμότητας, αρνητικές τιμές) και τις εξώθερμες (δηλαδή έκλυση θερμότητας, θετικές τιμές) (Λυριτζής, 2007). Εν συνεχεία, ανακαλύφθηκε το 1899 από τον Roberts Auston και υπάρχει δυνατότητα συνδυασμού της με τον θερμοζυγό, έτσι προκύπτει η DTA-TG. Επιπλέον, έχει ευρεία εφαρμογή όσον αφορά στα είδη των δειγμάτων. **Χρησιμοποιείται**, ως επί των πλείστων, για τον **προσδιορισμό της θερμικής συμπεριφοράς και σύνθεσης φυσικών και βιομηχανικών προϊόντων**, αλλά και στη μελέτη της θερμικής συμπεριφοράς τόσο των καθαρών ανόργανων ουσιών, όσο και ανόργανων υλικών, όπως τα κεραμικά, οι άργιλοι, οι καταλύτες, το γυαλί και τα πυριτικά υλικά. Επιπλέον, συμβάλλει ενεργά στη δημιουργία διαγραμμάτων φάσεων και μελέτης αλλαγής φάσεων.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Εν κατακλείδι, μια από τις σημαντικότερες πρακτικές εφαρμογές είναι ο **προσδιορισμός της θερμοκρασίας έψησης των κεραμικών**, κατά τις οποίες διάφορες αντιδράσεις δηλώνουν την παρουσία συγκεκριμένων ορυκτών, όπως τα ορυκτά του πηλού και του ασβεστίου.

Επιπλέον, μια ακόμα διαφορά τους έγκειται στην θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας, που στην DSC εκτείνεται συνήθως μέχρι τους 700 °C, ενώ στα όργανα της DTA φθάνει μέχρι τους 1600°C. Για το λόγο αυτό στη DSC χρησιμοποιούνται μικρά χωνευτήρια αλουμινίου.

Τέλος, οι τεχνικές DTA και DSC χρησιμοποιούν πολύ μικρά δείγματα (1-10 mg), δηλαδή (40~50 μl) με διαφορετικές θερμοφυσικές ιδιότητες, από τις μεγάλες ποσότητες που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές εφαρμογές. Εν συνεχεία, είναι πολύπλοκες και πολυδάπανες και δεν μπορούν να μετρήσουν ταυτόχρονα λανθάνουσα θερμότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα και θερμική αγωγιμότητα πολλών δειγμάτων.

Ως απόρροια των προηγούμενων, στο ερώτημα «πότε συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε την κάθε μία;» αρκεί να ξέρουμε τι θέλουμε να μετρήσουμε κάθε φορά. Η **DSC είναι πιο ακριβής μέθοδος και μπορούμε μέσω αυτής να παρατηρούμε άμεσα την ενέργεια που εκλύεται ή απορροφάται**, ενώ με την **DTA παρατηρούμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας από την αναφορά στο δείγμα, δηλαδή έμμεσα**. Στη τελευταία, αφήνουμε να αναπτυχθεί η διαφορά της θερμοκρασίας και τη μετασχηματίζουμε σε ενέργεια, δηλαδή χρησιμοποιούμε ένα τύπο, γεγονός που συνδέεται με απώλεια στη μέτρηση.

Τέλος, πρέπει να μετρώνται με μεγάλη επιφύλαξη από τις μεθόδους DTA και DSC, τα υπό εξέταση υλικά που περιέχουν διάφορα πρόσθετα, όπως πηκτικά και πυρηνοποιητές, , διότι σε μία πολύ μικρή ποσότητα δείγματος οι ιδιότητες μπορεί να είναι διαφορετικές από ότι στις μεγάλες, λόγω της ανομοιογενούς κατανομής των ετερογενών προσθέτων (Μοροπούλου Α. , 2012).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε η Διαφορική Θερμική Ανάλυση (**DTA**), που είναι μια τεχνική η οποία **μετρά τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του δείγματος και μίας ουσίας αναφοράς**, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, ενώ το δείγμα και η αναφορά υπόκεινται σε ελεγχόμενο θερμοκρασιακό πρόγραμμα, καθώς και η Θερμοβαρυτική ανάλυση- Θερμοζυγός (TG) οι οποίες εξυπηρετούν τις απαιτήσεις που είναι απαραίτητες για την αποτίμηση των κονιαμάτων και των επιχρισμάτων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε η θερμική ανάλυση στα επιχρίσματα. Επίσης, πραγματοποιήθηκε και στο εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με την πρώτη μέτρηση να πραγματοποιείται στις 28 ημέρες και τη δεύτερη στις 90 ημέρες.

3.2.5. Περίθλαση ακτίνων Χ, (XRD)

Η συγκεκριμένη μέθοδος ανάλυσης, η περίθλαση ακτίνων Χ, (XRD) είναι μία καταστρεπτική μέθοδος, η οποία μας δίνει πληροφορίες για την τρισδιάστατη διάταξη των μορίων ή ατόμων σε ένα κρυσταλλικό υλικό. Συνεπώς με τον τρόπο αυτό πραγματοποιείται στοιχειακή ή ορυκτολογική ανάλυση. Εφαρμόζεται σε ερευνητικό καθώς και σε βιομηχανικό επίπεδο, παρέχοντας εκτενείς πληροφορίες, τόσο για τη δομή όσο και για την χημική σύσταση διάφορων υλικών.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Αρχή Λειτουργίας Μεθόδου

Οι ακτίνες Χ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος (περιοχή 10-5-100Å), η οποία παράγεται μετά την επιβράδυνση ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας ή κατά τις ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις στις εσωτερικές στοιβάδες των ατόμων. Κατά την πρόσκρουση ακτινοβολίας Χ σε μια επιφάνεια με γωνία θ , τμήμα της σκεδάζεται από το επιφανειακό στρώμα ατόμων και τμήμα εισέρχεται στο υλικό, το οποίο με τη σειρά του αλληλεπιδρά με το δεύτερο στρώμα ατόμων κ.ο.κ. Το αθροιστικό αποτέλεσμα της σκέδασης από τα τακτικά χωροθετημένα κέντρα του κρυστάλλου ονομάζεται περίθλαση. Η θέση περίθλασης εξαρτάται από το μέγεθος και τη μορφή της επαναλαμβανόμενης δομικής μονάδας του κρυστάλλου, ενώ η ένταση της εξαρτάται από το είδος των ατόμων και τη θέση τους στη δομική μονάδα. Επομένως είναι αδύνατο δύο ουσίες να παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο περίθλασης, έτσι αποτελεί δακτυλικό αποτύπωμα της ένωσης. Η μέθοδος XRD βασίζεται στην περίθλαση μονοχρωματικής ακτινοβολίας ακτίνων Χ, γνωστού μήκους κύματος λ , στα επίπεδα του κρυσταλλικού πλέγματος. Προσδιορίζει την γωνία θ της περιθλώμενης ακτινοβολίας και υπολογίζει τα διαστήματα των κρυσταλλικών επιπέδων (d), μέσω του νόμου Bragg:

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

Με τον προσδιορισμό των κρυσταλλικών επιπέδων γίνεται ποιοτική ανάλυση, αφού είναι χαρακτηριστικά της ένωσης, ενώ η ποιοτική ανάλυση γίνεται μέσω της έντασης της περιθλώμενης ακτινοβολίας για συγκεκριμένη γωνία θ . Κατά την ανάλυση πολύπλοκων μειγμάτων, όπως τα κονιάματα, η ποσοτική ανάλυση είναι δύσκολη, οπότε στην ουσία γίνεται μόνο ποιοτική. Είναι, όμως, δυνατό να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τη σχετική ποσότητα των ορυκτών φάσεων με την σύγκριση των κορυφών τους στα φάσματα (Μοροπούλου Α. , 2012).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο D 5000 X-Ray Diffractometer της εταιρείας Siemens και πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική εξέταση στα επιχρίσματα.

3.2.6. Υγρομετρικές Μετρήσεις

3.2.6.1. Δοκιμές Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό

Ρόφηση νερού με ολική βύθιση δείγματος σε νερό

Σκοπός αυτής της μέτρησης είναι ο χαρακτηρισμός του πορώδους προσβάσιμο στο νερό των δειγμάτων-δοκιμίων. Αρχικά, τα δείγματα-δοκίμια πλύθηκαν με απιονισμένο νερό για τη μείωση σκόνης από την επιφάνεια του κάθε δείγματος. Στη συνέχεια, ακολούθησε η ξήρανση των δειγμάτων σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες, έπειτα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel, για να μειωθεί η θερμοκρασία τους σε ξηρές συνθήκες. Έπειτα, ακολουθεί η ζύγιση των ξηρών δειγμάτων (m_0) και η τοποθέτησή τους σε γυάλινα δοχεία (ποτήρια ζέσεως). Στη συνέχεια, τοποθετείται απιονισμένο νερό σε κάθε δοχείο μέχρι την πλήρη κάλυψη του κάθε δείγματος. Μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, τα δείγματα απομακρύνονται από τα δοχεία, σκουπίζονται γρήγορα με καθαρό πανί και

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

καταγράφεται η μάζα τους (m_i) και ο χρόνος στον οποίο πάρθηκε η μέτρηση. Τα δείγματα, έπειτα, επανατοποθετούνται στα αντίστοιχα δοχεία με απιονισμένο νερό και οι μετρήσεις συνεχίζονται έως ότου να υπάρχει διαφορά μικρότερη του 1% του απορροφούμενου νερού.

Στη συνέχεια, καταγράφηκε ο φαινόμενος όγκος των δειγμάτων (V_a). Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο των 500mL τοποθετήθηκε συγκεκριμένη ποσότητα απιονισμένου νερού. Μετά, τοποθετήθηκε το δείγμα με προσοχή μέσα στον ογκομετρικό κύλινδρο και σημειώθηκε η διαφορά ύψους του νερού πριν και μετά την τοποθέτηση του δείγματος.

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ξηράθηκαν πάλι σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Τέλος καταγράφηκε η τελική μάζα των δειγμάτων (m_d) και ακολούθησαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί.

Αρχικά έγινε ο υπολογισμός για την ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε στη ξηρή μάζα του δείγματος σε ποσοστό, με τον παρακάτω τύπο:

$$M_i\% = 100 * (m_i - m_o)/m_o$$

Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε γραφική παράστασή με τον άξονα τον x να αναπαριστά τον χρόνο και τον άξονα των y να αναπαριστά το $M_i\%$.

Εν συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό του ροφημένου νερού κατά τη δοκιμή ολικής εμβάπτισης του δείγματος σε νερό (water absorption capacity, WAC), με τον τύπο:

$$WAC = 100 * (m_{max} - m_d)/m_d$$

- Όπου m_{max} είναι η μέγιστη μάζα μέγιστη μάζα δείγματος και νερού.

Ακόμα υπολογίστηκε ο όγκος του ανοιχτού πορώδους. Καθώς η πυκνότητα του νερού στους 4°C είναι 1g/cm^3 ο όγκος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_{op} = m_{max} - m_o$$

Στη πορεία, υπολογίστηκε το ποσοστό του ανοιχτού πορώδους σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\% \text{ open porosity} = 100 * (V_{op} / V_a)$$

Εκρόφηση νερού

Ο στόχος της συγκεκριμένης μέτρησης είναι ο χαρακτηρισμός της ικανότητας ξήρανσης των δειγμάτων υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Τα δείγματα τα οποία επιλέχθηκαν βυθίστηκαν σε απιονισμένο νερό έως ότου να υπάρχει διαφορά μικρότερη του 1% της μάζας του απορροφημένου νερού. Στη συνέχεια, τα δείγματα σκουπίστηκαν γρήγορα με πανί και καταγράφηκε η αρχική μάζα τους (m_o). Έπειτα, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel σε θερμοκρασία δωματίου

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

(20°C). Μετά από καθορισμένα χρονικά διαστήματα, τα δείγματα απομακρύνονται από τον ξηραντήρα και καταγράφεται η μάζα τους (m_i) και ο χρόνος στον οποίο πάρθηκε η μέτρηση. Στη συνέχεια τα δείγματα επανατοποθετούνται στον ξηραντήρα και η μετρήσεις συνεχίζονται μέχρι τα δείγματα να φτάσουν σε σταθερό βάρος.

Μετά το πέρας αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ξηράθηκαν πάλι σε φούρνο στους 60°C για 24 ώρες και τοποθετήθηκαν σε ξηραντήρα με silica gel για την μείωση της θερμοκρασίας τους. Τέλος καταγράφηκε η τελική μάζα των δειγμάτων (m_d) και ακολούθησαν οι κατάλληλοι υπολογισμοί.

Αρχικά, υπολογίστηκε το ποσοστό του εναπομείναντος νερού Q_i σε κάθε χρονικό διάστημα μέσω του τύπου:

$$Q_i = 100 * (m_i - m_d)/m_d$$

Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν σε γραφική παράστασή με τον άξονα τον x να αναπαριστά τον χρόνο και τον άξονα των y να αναπαριστά το Q_i (ARC, 1999).

3.2.6.2.Υδατοαπορρόφηση μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης

Η Υδατοαπορρόφηση με τριχοειδή αναρρίχηση, είναι μία σημαντική παράμετρος, για την εκτίμηση του ρυθμού με τον οποίο ανέρχεται η υγρασία στα υλικά. Εξετάζει την συμπεριφορά των Δομικών Υλικών ως προς τα **φαινόμενα μεταφοράς υγρασίας**,

Ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης C για ένα δοκίμιο με επιφάνεια επαφής S με το νερό ορίζεται ως:

$$C = \frac{\Delta B}{S * \sqrt{t}}$$

- Όπου ΔB είναι η ποσότητα του απορροφούμενου νερού σε g σε χρόνο t (s).

Οι μετρήσεις του συντελεστή υδατοαπορρόφησης πραγματοποιήθηκαν με βάση τον Ιταλικό κανονισμό NORMAL – 11/85, ενώ ο συντελεστής C εκφράζεται σε $g/(cm^2 * \sqrt{s})$. Χρησιμοποιήθηκαν κυβικά δείγματα κανονικής γεωμετρίας τα οποία αρχικά ξηραίνονται σε φούρνο στους 60°C, μέχρι σταθεροποίησης βάρους. Στη συνέχεια, τοποθετούνται σε ξηραντήρα. Τα δοκίμια τοποθετούνται σε κλίνη άμμου εμποτισμένη με νερό, ενώ μεταξύ της άμμου και του δοκιμίου υπάρχει διηθητικό χαρτί. Σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

γίνεται ζύγιση του δοκιμίου. Η μέτρηση σταματά, όταν σταθεροποιείται το βάρος του (Πρότυπο EN15801:2010).¹

Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε Υδατοαπορρόφηση με τριχοειδή αναρρίχηση στα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, έπειτα στο εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου και τέλος στον πρώτο μήνα παρασκευής των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, καθώς και στον τρίτο μήνα παρασκευής τους.

3.2.7. Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών αλάτων

Για τον προσδιορισμό των διαλυτών αλάτων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αγωγιμομετρίας, σύμφωνα με το ιταλικό πρότυπο “Dosaggio dei sali solubili, Normal 13/83² και για τον προσδιορισμό του είδους των αλάτων που βρίσκονται στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν οι δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης (spot tests).

Για τη μέθοδο προσδιορισμού των διαλυτών αλάτων λαμβάνει χώρα ζύγιση 100 ± 5 mg ξηρού δείγματος σε σκόνη, το οποίο διαλύεται σε 100 ml απιονισμένου νερού. Παράλληλα, παρασκευάζεται και ένα «τυφλό» διάλυμα, το οποίο περιέχει μόνο 100ml απιονισμένο νερό. Εικοσιτέσσερις ώρες μετά την παρασκευή των διαλυμάτων μετρείται η αγωγιμότητά τους, η οποία εκφράζεται σε μS . Ο προσδιορισμός της επί τοις εκατό περιεκτικότητας του κάθε δείγματος σε διαλυτά άλατα δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

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

όπου:

- C: η αγωγιμότητα του προς εξέταση δείγματος σε μS με αφαιρεμένη την αγωγιμότητα του «τυφλού».
- 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.

Δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης αλάτων.

Συμπληρωματικά του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων πραγματοποιήθηκαν δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης χλωριούχων (Cl^-), θειικών αλάτων (SO_4^{2-}) και νιτρικών αλάτων (NO_2^{-1}), δεδομένης της καθοριστικής συμβολής τους στη φθορά των υλικών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν τα υδατικά διαλύματα βάσει των οποίων έγινε ο προσδιορισμός της αγωγιμότητας. Γενικά, για την παρασκευή των διαλυμάτων απαιτείται η χρήση απιονισμένου νερού υψηλής καθαρότητας.

¹ 2010, EN15801: Conservation of Cultural Property-Test Methods-Determination of Water Absorption by Capillarity. : Brussels, Belgium : European Committee for Standardisation, 2010.

² 13/83; Normal. Dosage of Soluble Salts Rome; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR). Rome, Italy : s.n., 1983.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για τον προσδιορισμό των χλωριούχων αλάτων κάθε δείγματος τοποθετήθηκε μέρος του υδατικού του διαλύματος εντός δοκιμαστικού σωλήνα και προστέθηκε μικρή ποσότητα (λίγες σταγόνες) νιτρικού αργύρου (AgNO_3) 0,1 N. Παρουσία χλωριόντων σχηματίζεται χλωριούχος άργυρος (AgCl) που δημιουργεί χαρακτηριστικό λευκό θόλωμα. Η ποσότητα των περιεχομένων χλωριόντων καθορίζει την ένταση του παρατηρούμενου θολώματος.

Για τον προσδιορισμό των θεικών ιόντων προστέθηκε, βάσει της ίδιας διαδικασίας, μικρή ποσότητα χλωριούχου βαρίου (BaCl_2) 0,1 M. Παρουσία θεικών ιόντων παράγεται θεικό βάριο (BaSO_4), που και αυτό προκαλεί λευκό θόλωμα. Η ποσοτική παρουσία των θεικών ιόντων καθορίζει την ένταση του θολώματος.

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

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία τα επιχρίσματα υποβλήθηκαν σε πειραματικές μετρήσεις για τον Προσδιορισμό υδατοδιαλυτών αλάτων καθώς και σε δοκιμές ποιοτικής χημικής ανίχνευσης αλάτων, όπως χλωριούχων & θεικών αλάτων, καθώς και νιτρικών ιόντων (Μοροπούλου Α. , 2012).

3.2.8. Θερμογραφία Υπερύθρου IR

Αρχή Λειτουργίας Μεθόδου

Ο συντελεστής εκπομπής ενός υλικού ορίζεται ως, ο λόγος της ακτινοβολίας (ενέργειας) που εκπέμπει η επιφάνεια του σώματος, προς την ακτινοβολία που εκπέμπει η επιφάνεια ενός μέλανος σώματος, στην ίδια θερμοκρασία. Ο συντελεστής εκπομπής ε εκφράζει την χαρακτηριστική εκπομπή κάθε επιφάνειας υλικού, για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Η χρησιμότητα του συντελεστή εκπομπής κατά τη διαδικασία μετρήσεων με την τεχνική της υπέρυθρης θερμογραφίας έγκειται στο ότι εάν για μία θερμοκάμερα είναι γνωστή η τιμή του ϵ ενός σώματος, τότε βρίσκεται αμέσως η θερμοκρασία του σώματος αυτού. Για παράδειγμα, εάν εισαχθεί ο συντελεστής εκπομπής του ανθρώπινου σώματος στις θερμοκάμερες των αεροδρομίων, τότε υπολογίζεται απευθείας η θερμοκρασία του εκάστοτε ανθρώπου. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εντοπιστεί εάν κάποιος έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από την φυσιολογική (γρίπη H1N1) και άρα εάν αποτελεί πιθανό κίνδυνο για τους άλλους επιβάτες.

Η υπέρυθη θερμογραφία εφαρμόζεται στην περιοχή του υπέρυθρου φάσματος, που περιλαμβάνει τα μήκη κύματος από 0,75 μm έως 1000 μm και περικλείεται μεταξύ του ορατού φάσματος και των μικροκυμάτων. Οι περιοχές υπέρυθρης ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται, έχουν επιλεγεί επειδή σε αυτά τα μήκη κύματος εμφανίζεται η μεγαλύτερη διαπερατότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας στον αέρα. Συνεπώς,

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ευκρίνειας λόγω απορρόφησης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα.

Οι δύο βασικές προσεγγίσεις – μεθοδολογίες θερμογραφικού ελέγχου είναι οι εξής:

- Καταγραφή της εκπεμπόμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας (παθητική προσέγγιση).
- Καταγραφή της ανακλώμενης υπέρυθρης ακτινοβολίας μετά από εκπομπή υπέρυθρου ακτινοβολίας πάνω στο εξεταζόμενο σώμα (ενεργητική προσέγγιση).

Ο θερμογραφικός έλεγχος περιλαμβάνει **δύο μεθόδους**, η καθεμιά από τις οποίες στηρίζεται σε κάποια ιδιότητα και δυνατότητα καταγραφής:

Η **κλασική θερμογραφία υπέρυθρου** βασίζεται στην πρώτη δυνατότητα καταγραφής. Κατά τη μεθοδολογία αυτή καταγράφεται η εκπεμπόμενη από το σώμα υπέρυθρη ακτινοβολία χωρίς την εφαρμογή κάποιας εξωτερικής πηγής θερμικής διέγερσης. Ο **παθητικός θερμογραφικός έλεγχος** πραγματοποιείται κατά βάση σε υλικά, εγκαταστάσεις, ή κατασκευές που βρίσκονται σε διαφορετική θερμοκρασία από το περιβάλλον. Τυχόν εσωτερικές φθορές, προβληματικές περιοχές, ατέλειες κ.ά., εκδηλώνονται με επιφανειακές θερμοκρασιακές μεταβολές που ανιχνεύονται και καταγράφονται από τη θερμοκάμερα. Το θερμογράφημα δείχνει την θερμότητα που ακτινοβολείται από την επιφάνεια του υπό εξέταση σώματος και για να μετατραπεί το σήμα της ακτινοβολίας σε δεδομένα θερμοκρασίας, πρέπει πρώτα να λάβουμε υπ’ όψιν τον συντελεστή εκπομπής της επιφάνειας. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20 °C) η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή υπέρυθρου είναι περίπου 0,2 °C.

Η **δεύτερη μέθοδος θερμογραφικού ελέγχου** ονομάζεται **ανακλαστογραφία υπέρυθρου (ή αλλιώς ενεργητική μέθοδος θερμογραφικού ελέγχου)**, και βασικό της στοιχείο είναι η εξωτερική πηγή θερμικής διέγερσης. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ανακλαστογραφίας είναι η ανεξαρτησία της τόσο από την θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού, όσο και από τα θερμοκρασιακά διαφορικά που αναπτύσσονται σ’ αυτήν. Ο σχεδιασμός του συστήματος γίνεται κατά τρόπο ώστε το υλικό να ανακλά την προσπίπτουσα ακτινοβολία χωρίς να θερμαίνεται, και ο ανιχνευτής να λαμβάνει μόνο την ανακλώμενη ακτινοβολία. Η παρουσία ενός άλλου υλικού μειώνει το ρυθμό διάχυσης και έτσι παρατηρώντας τη θερμοκρασία στην επιφάνεια, η ανομοιογένεια του υλικού φαίνεται σαν περιοχή με διαφορετική θερμοκρασία (διαφορετικό χρώμα) σε σχέση με τη γύρω «υγιή» ομοιογενή περιοχή. Τα **πεδία εφαρμογής** είναι τα εξής:

Εφαρμογές σε κτίρια

- Επιφανειακή φθορά τοιχοποιιών, αρχιτεκτονικών επιφανειών αλλά και τυχόν ρωγμές τους.
- Αποφλοίωση χρωμάτων και επικαλύψεων σε γέφυρες, τοίχους, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, δίκτυα κ.τ.λ.
- Έλεγχο ατελειών μονώσεων σε σωληνώσεις, δίκτυα, επιδαπέδιες θερμάνσεις.
- Ανερχόμενη και παραμένουσα υγρασία και συμπύκνωση σε τοιχοποιίες, η οποία εμφανίζεται με διαφορετικές τιμές της θερμοκρασίας στο θερμογράφημα (αύξηση της θερμοκρασίας εκφράζει αύξηση της υγρασίας).
- Έλεγχος της θερμομόνωσης σε κτίρια με θερμογράφημα, που αποτιμούν τη συμπεριφορά της τοιχοποιίας σε φαινόμενα μεταφορά μάζας και θερμότητας.
- Αξιολόγηση επεμβάσεων συντήρησης σε μνημεία και ιστορικά σύνολα.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

- Έλεγχος Συμπεριφοράς Ιστορικών Κονιαμάτων και Κονιαμάτων Αποκατάστασης.
- Εξέταση Ψηφιδωτών (Μοροπούλου Α. , 2012) (Μοροπούλου, Κουή, Κροκίδα, & Καραγιάννης - Μπακόλας, 2014).

Στην συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης υποβλήθηκαν σε εξέταση μέσω της Θερμογραφίας Υπερύθρου, ώστε να διαπιστωθεί η μεγαλύτερη φυσικοχημική συμβατότητα μεταξύ των υπό εξέταση κονιαμάτων αποκατάστασης ως προς τον λιθότυπο Σφουγγάρια Α, σε ότι αφορά την υγρομετρική τους συμπεριφορά.

3.2.9. Υπερηχοσκόπηση

Αρχή της Μεθόδου:

Η ταχύτητα μετάδοσης υπερήχων αποτελεί καλή ένδειξη της φυσικομηχανικής συμπεριφοράς των λίθων. Η ταχύτητα μετάδοσης των υπερήχων σχετίζεται με το μέτρο ελαστικότητας του λίθου, καθώς και με το λόγο του Poisson και το μέτρο του Young.

Η βασική φυσική αρχή στην οποία στηρίζεται η μέθοδος της υπερηχοσκόπησης (**US - Ultrasounds**) είναι οι πιεζοηλεκτρικές μέθοδοι παραγωγής και λήψης υπερήχων. Η παραγωγή των υπερήχων πραγματοποιείται από διατάξεις που ονομάζονται μορφοτροπείς.

Το κύριο στοιχείο των περισσότερων ακουστικών μορφοτροπέων είναι το πιεζοηλεκτρικό υλικό. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά έχουν την ιδιότητα όταν παραμορφώνονται από εξωτερική μηχανική πίεση να δημιουργείται ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνεια τους. Το φαινόμενο αυτό (απευθείας πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο) ανακαλύφθηκε από τους Curie το 1880. Το αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο, σύμφωνα με το οποίο ένα υλικό, αν τοποθετηθεί ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια, αλλάζει το σχήμα του κάτω από εφαρμογή δυναμικού, ανακαλύφθηκε λίγο αργότερα. Το απευθείας πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για μετρήσεις ενώ το αντίστροφο πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο χρησιμοποιείται για παραγωγή πιέσεων, παραμορφώσεων και ταλαντώσεων.

Οι μέθοδοι δοκιμής των υλικών με υπέρηχους ταξινομούνται με βάση τρία κύρια κριτήρια: τύπο της κύριας μετρούμενης ποσότητας, την μορφή του υπερήχου και την επίδραση μιας ανωμαλίας μέσα στο υλικό ή στην επιφάνεια του.

Για την εκτίμηση του πάχους φθοράς οι μέθοδοι χωρίζονται σε άμεσες και έμμεσες, ανάλογα με το αν υπάρχει πρόσβαση από τη μια πλευρά ή κι από την απέναντι του. Από τις μετρήσεις κατασκευάζονται διαγράμματα απόστασης - χρόνου. Τα διαγράμματα επιτρέπουν το προσδιορισμό της ταχύτητας των υπερήχων στο υγιές και στο φθαρμένο τμήμα (Μοροπούλου Α. , 2012) (Μοροπούλου, Κουή, Κροκίδα, & Καραγιάννης - Μπακόλας, 2014).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εφαρμόστηκε η μέθοδος της υπερηχοσκόπησης, η οποία αποτελεί μη καταστρεπτική μέθοδο για τη μελέτη των υλικών. Συγκεκριμένα με την υπερηχοσκόπηση μπορούμε να κάνουμε εκτίμηση του πάχους μιας φθοράς σε ένα δομικό υλικό, καθώς και της φυσικομηχανικής του συμπεριφοράς. Συγκεκριμένα εξετάστηκε και

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μελετήθηκε το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου με την μέθοδο αυτή, καθώς και τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

3.3. Παρουσίαση εξεταζόμενων δειγμάτων και δοκιμών

3.3.1. Λίθοι και Επιχρίσματα του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, εξετάστηκαν δείγματα αρχαίου λίθου του μνημείου, με διαφορετική επιφανειακή φθορά, καθώς και επιχρίσματα. Τα επιχρίσματα φαίνεται να ανήκουν στην αρχική φάση του μνημείου. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συνοπτικά οι κωδικοί των τεσσάρων επιχρισμάτων του μνημείου που μελετήθηκαν, καθώς και η περιγραφή τους.

Πίνακας 3: Κωδικοί και περιοχή προέλευσης για τα τέσσερα Επιχρίσματα

Επιχρίσματα	Κωδικός Επιχρίσματος	Περιοχή προέλευσης	Περιγραφή
plaster_trigl_east	Επίχρισμα 1	Ανατολική όψη διαζώματος, μεσαίο τρίγυφο, νότια πλευρά 1 ^{ης} ράβδωσης	Επίχρισμα, πιθανώς αρχαίο, λευκού-μπεζ χρώματος
plaster_pediment_north	Επίχρισμα 2	Βόρεια όψη του θριγκού στο αέτωμα	Αρχαίο επίχρισμα λευκού-μπεζ χρώματος
plaster_pediment_east	Επίχρισμα 3	Ανατολική όψη του θριγκού στο αέτωμα	Επίχρισμα, πιθανώς αρχαίο, υπόλευκου χρώματος
plaster_k2c_north	Επίχρισμα 4	Βόρεια όψη, κιονόκρανο (κίονας K2)	Αρχαίο επίχρισμα λευκού-γκρι χρώματος



Εικόνα 8: Περιοχή Επιχρίσματος 1



Εικόνα 9: Περιοχή Επιχρίσματος 2

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 10: Περιοχή Επιχρίσματος 3



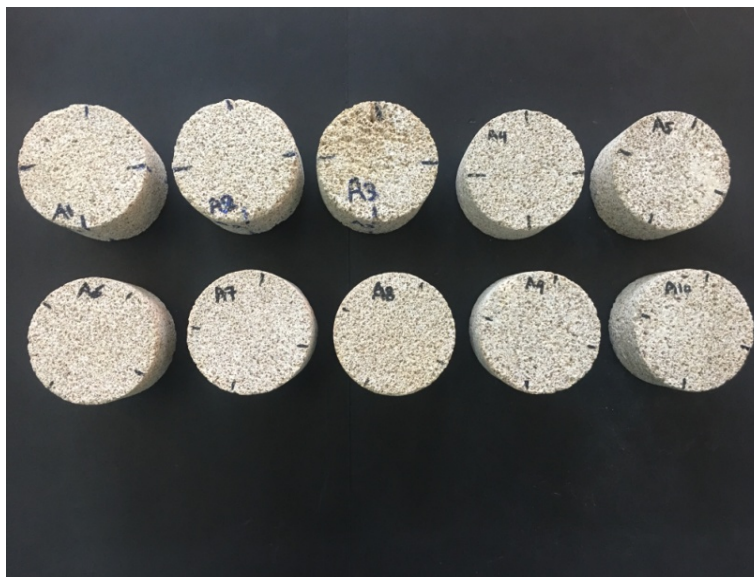
Εικόνα 11: Περιοχή Επιχρίσματος 4

3.3.2. Κανονικοποιημένα δοκίμια λίθου λατομείου

Για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας δόθηκαν δέκα κανονικοποιημένα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης, από τη θέση Α του λατομείου των Σφουγγαριών στη Ρόδο, στην περιοχή Αρχάγγελος με την κωδική ονομασία PAR_Sa. Τα συγκεκριμένα δοκίμια προσομοιώνουν επαρκώς από ορυκτολογική άποψη τον αρχαίο δομικό λίθο του μνημείου. Έχουν υψηλό μακροπορώδες και ικανοποιητική συμπεριφορά στην κρυστάλλωση αλάτων.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δέκα κανονικοποιημένα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης, Σφουγγάρια Α. Τα οποία και αριθμήθηκαν από το Sa_1 έως το Sa_10.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 12: Τα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

Τα ύψη τους, η διάμετρος και η επιφάνειά τους παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4: Διαστάσεις για τα δέκα κυλινδρικά δοκίμια του Λίθου Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

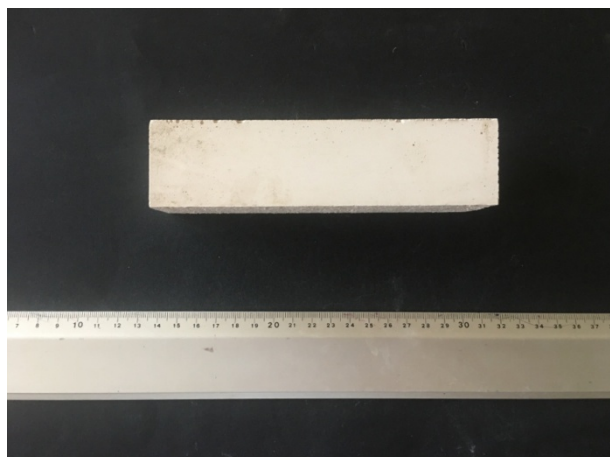
ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΑ Α	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ (cm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (cm)	Επιφάνεια (cm ²)
Sa_1	4,81	7,42	43,21
Sa_2	4,90	7,41	43,10
Sa_3	4,70	7,40	42,98
Sa_4	4,27	7,43	43,33
Sa_5	4,24	7,43	43,33
Sa_6	4,26	7,44	43,45
Sa_7	4,25	7,43	43,33
Sa_8	4,23	7,44	43,45
Sa_9	4,27	7,44	43,45
Sa_10	4,28	7,44	43,45

3.3.3. Κονιάματα αποκατάστασης

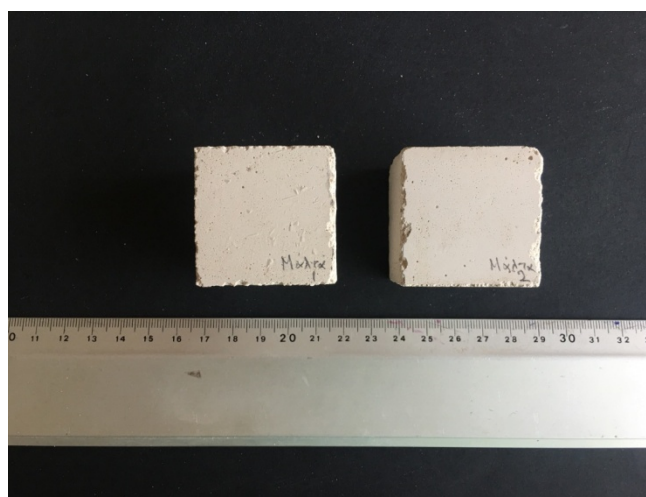
Το κονίαμα αποκατάστασης που μελετήθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ήταν το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με κωδική ονομασία C_NHL. Ένα κονίαμα αποκατάστασης, το οποίο δόθηκε στο εργαστήριο Επιστήμης και Τεχνικής Υλικών από το εργοστάσιο TITAN ΑΕ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ. Να σημειωθεί ότι το δείγμα αυτό παρασκευάστηκε στο εργαστήριο του εργοστασίου, σε ειδικά διαστασιολογημένα καλούπια για κονιάματα αποκατάστασης. Έπειτα, το δείγμα κονιάματος αποκατάστασης, που παρελήφθη για την συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία, έπρεπε να κοπεί, για να υποβληθεί σε συγκεκριμένες δοκιμές και μετρήσεις. Κόπηκε σε τέσσερις ίσους σχεδόν κύβους.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Παρακάτω παρουσιάζεται το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL, πριν την κοπή και έπειτα αφότου κόπηκε σε σχεδόν τέσσερα ίσα μέρη.



Εικόνα 13: Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (πριν την κοπή του)



Εικόνα 14: Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (μετά την κοπή του)

Κατά κύριο λόγο μελετήθηκαν τα δύο εκ των τεσσάρων δοκιμίων εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, λόγω καλύτερων διαστασιολογημένων αναλογιών, που προήλθαν κατά την κοπή τους, μέσα στο εργαστήριο του Πολυτεχνείου.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι διαστάσεις των δοκιμίων.

Πίνακας 5: Διαστάσεις των τριών δοκιμίων Εμπορικού Κονιάματος Αποκατάστασης C_NHL

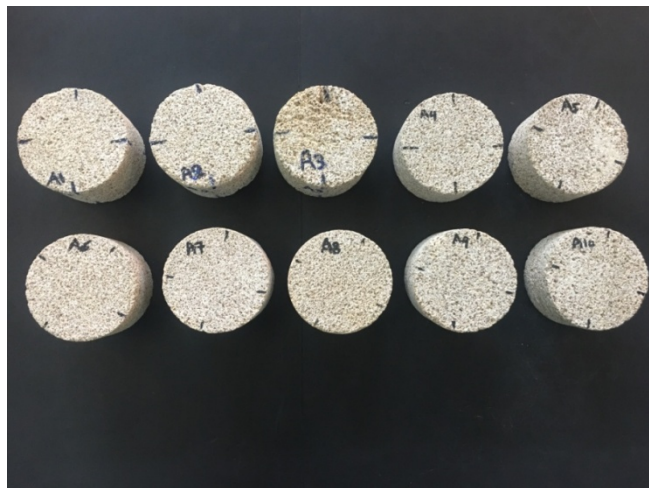
Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL)	Υψος (cm)	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Εμβαδόν (cm ²)	Όγκος (cm ³)
C_NHL 1	4,03	4,02	4,12	16,20	66,74
C_NHL 2	4,09	4,015	4	16,42	65,68
C_NHL 3	3,98	4,05	4,04	16,12	65,12

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Τα υπόλοιπα κονιάματα αποκατάστασης μελετήθηκαν το καθένα ξεχωριστά, στις μεταπτυχιακές εργασίες «Γεφύρι της Πλάκας: Χαρακτηρισμός και διάγνωση φθοράς ιστορικών κονιαμάτων – Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης» (Γρυλλάκης, 2019) και «Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα και διερεύνηση πιθανών κονιαμάτων αποκατάστασης» (Καλοφώνου, 2019), ενώ στην τελευταία μελετήθηκε και η κοκκομετρική ανάλυση της άμμου, η οποία χρησιμοποιήθηκε ως αδρανές στις συνθέσεις των κονιαμάτων αποκατάστασης που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο.

3.3.4. Σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα δέκα σύνθετα δοκίμια λίθου αποκατάστασης - κονιάματος αποκατάστασης. Αρχικά πραγματοποιήθηκε η φωτογραφική τους τεκμηρίωση, πριν την κοπή και αφότου κόπηκε το καθένα ξεχωριστά, σε δύο μέρη.



Εικόνα 15: Ολόκληρα πριν την κοπή τους



Εικόνα 16: Τα δέκα δοκίμια από τον Λίθο Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, κομμένα στη μέση

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πρόεκυψαν διαφοροποιημένα ύψη εκ των παλαιότερων του κάθε δοκιμίου ξεχωριστά, διότι κατά την κοπή χάθηκε απειροελάχιστο υλικό. Στην συνέχεια, τα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης έγιναν συνολικά είκοσι, όπου εφαρμόστηκαν πέντε διαφορετικά μείγματα κονιάματος, ένα μείγμα ίδιας σύνθεσης για κάθε ζεύγος, δηλαδή στο A1 και στο A2 εφαρμόστηκε το 1^ο μείγμα, στο A3 και A4 το 2^ο μείγμα, στο A5 και A6 το 3^ο μείγμα, στο A7 με A8 το 4^ο μείγμα και τέλος στο A9 με A10 το 5^ο μείγμα. Τέλος, να σημειωθεί ότι, τα αδρανή των τριών πρώτων μειγμάτων (διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης), ήταν κοινά για όλα και ήταν η άμμος. Για το 4^ο και 5^ο μείγμα που ήταν εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης, δεν χρειάστηκε να προστεθεί αδρανές.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις διαστάσεις των δέκα συνθέτων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, καθώς και του ενδιάμεσου στρώματος αυτού του κονιάματος αποκατάστασης.

Πίνακας 6: Διαστάσεις των δέκα κυλινδρικών δοκιμίων, των δέκα κονιαμάτων αποκατάστασης και τέλος των δέκα σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης

ΚΩΔΙΚΟΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΛΙΘΟΥ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ	ΥΨΟΣ ΛΙΘΟΥ (cm)	ΒΑΣΗΣ	ΥΨΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ (cm)	ΥΨΟΣ ΑΝΩ ΛΙΘΟΥ (cm)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ ΣΥΝΘΕΤΟΥ (cm)
Sa_1	A1	2,3		0,85	2,4	5,5
Sa_2	A2	2,5		0,8	2,4	5,7
Sa_3	A3	2,3		0,8	2,3	5,4
Sa_4	A4	2,1		0,8	2,0	4,9
Sa_5	A5	2,0		0,9	2,1	5,0
Sa_6	A6	2,1		0,8	2,0	4,9
Sa_7	A7	2,0		0,8	2,1	4,9
Sa_8	A8	2,0		0,8	2,0	4,8
Sa_9	A9	2,0		0,85	2,0	4,85
Sa_10	A10	2,0		0,8	2,1	4,9

Ας εξετάσουμε τα 3 διαφορετικά μείγματα σύνθεσης κονιαμάτων αποκατάστασης, καθώς και τα 2 έτοιμα-εμπορικά κονιάματα αποκατάστασης.

Στα σύνθετα A1 και A2 (προερχόμενα από τα δοκίμια Sa_1 και Sa_2 αντίστοιχα) εφαρμόστηκε το κονίαμα αποκατάστασης με κωδικό «L_NP12.5». Οι ποσότητες των πρώτων υλών σε g, καθώς και η προστιθέμενη ποσότητα νερού, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 7: Ποσότητα εκφρασμένη σε γραμμάρια για τις επιμέρους συνθέσεις του κονιάματος αποκατάστασης L_NP12.5

1ο μείγμα: L_NP12.5	Ασβέστης σε σκόνη	Φυσική Ποζολάνη	Άμμος	Νερό
Ποσότητα σε (g)	36,93	36,93	221,56	65,68

Στην συνέχεια, στα σύνθετα A3 και A4 (προερχόμενα από τα δοκίμια Sa_3 και Sa_4 αντίστοιχα), εφαρμόστηκε το κονίαμα αποκατάστασης με κωδικό «NHL_M1_D». Οι

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ποσότητες των πρώτων υλών σε g, καθώς και η προστιθέμενη ποσότητα νερού, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 8: Ποσότητα εκφρασμένη σε γραμμάρια για τις επιμέρους συνθέσεις του κονιάματος αποκατάστασης NHL_M1_D

2ο μείγμα: NHL_M1_D	Φυσική Υδραυλική Άσβεστος NHL3.5	Μετακαολίνης	Άμμος	Σύνολο κονιάς και αδρανών	Νερό
Ποσότητα σε (g)	73,79	3,07	230,6	307,47	57,19

Στην πορεία, στα σύνθετα A5 και A6 (προερχόμενα από τα δοκίμια Sa_5 και Sa_6 αντίστοιχα), εφαρμόστηκε το κονίαμα αποκατάστασης με κωδικό «L_NP12.5 more water». Οι ποσότητες των πρώτων υλών σε g, καθώς και η προστιθέμενη ποσότητα νερού, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 9: Ποσότητα εκφρασμένη σε γραμμάρια για τις επιμέρους συνθέσεις του κονιάματος αποκατάστασης L_NP12.5 more water

3ο Μείγμα: L_NP12.5 more water	Ασβέστης	Φυσική Ποζολάνη	Άμμος	Σύνολο κονιάς και αδρανών	Νερό
Ποσότητα σε (g)	35,80	35,80	214,78	286,38	78,46

Έπειτα, στα σύνθετα A7 και A8 (προερχόμενα από τα δοκίμια Sa_7 και Sa_8 αντίστοιχα), εφαρμόστηκε το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης με κωδικό «ME». Οι ποσότητες των πρώτων υλών σε g, καθώς και η προστιθέμενη ποσότητα νερού, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 10: Ποσότητα εκφρασμένη σε γραμμάρια για τις επιμέρους συνθέσεις του κονιάματος αποκατάστασης ME

4ο Μείγμα: ME	Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης Ασβέστης - Μετακαολίνη	Νερό
Ποσότητα σε (g)	304,45	51,76

Έπειτα, στα σύνθετα A9 και A10 (προερχόμενα από τα δοκίμια Sa_9 και Sa_10 αντίστοιχα), εφαρμόστηκε το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης με κωδικό «C_NHL». Οι ποσότητες των πρώτων υλών σε g, καθώς και η προστιθέμενη ποσότητα νερού, παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

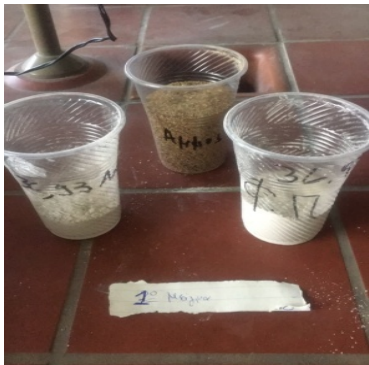
Πίνακας 11: Ποσότητα εκφρασμένη σε γραμμάρια για τις επιμέρους συνθέσεις του κονιάματος αποκατάστασης C_NHL

5ο Μείγμα: C_NHL	Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου	Νερό
Ποσότητα σε (g)	200	42

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Φωτογραφική τεκμηρίωση των σταδίων του πειραματικού σχεδιασμού της παρασκευής των συνθέτων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Αρχικά, τακτοποιούνται οι ποσότητες κονιάς και αδρανών - να σημειωθεί ότι το αδρανές που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση των κονιαμάτων αποκατάστασης παρουσιάζεται διεξοδικά στην αρχή του παραρτήματος της παρούσας μεταπτυχιακής- σε πλαστικά ποτηράκια για κάθε ένα μείγμα χωριστά. Έχουν ζυγιστεί στον ζυγό ακριβείας του εργαστηρίου και έχουν τοποθετηθεί προσεχτικά η κάθε ποσότητα κονιάματος και άμμου σε ξεχωριστά πλαστικά ποτηράκια για την σύνθεση του κάθε μείγματος, όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικόνα 17. έως Εικόνα 21.). Για το 4^ο και 5^ο μείγμα καθώς ήταν εμπορικά κονιάματα αποκατάστασης, δηλαδή έτοιμα, ζυγίστηκαν στον ζυγό ακριβείας και μπήκαν σε πλαστικά μπολ (Εικόνα 20. – Εικόνα 21.). Τέλος, στην Εικόνα 22., είναι η άμμος που χρησιμοποιήθηκε στα πρώτα τρία μείγματα ως αδρανές, η οποία τοποθετήθηκε για ένα 24ώρο στο πυριαντήριο του εργαστηρίου, ώστε να επιτευχθεί η πλήρης ξήρασή της, και έπειτα προστέθηκε στα μείγματα.



Εικόνα 17: Μείγμα 1^ο



Εικόνα 18: Μείγμα 2^ο



Εικόνα 19: : Μείγμα 3^ο



Εικόνα 20: Μείγμα 4^ο



Εικόνα 21: Μείγμα 5^ο



Εικόνα 22: Αδρανές - Άμμος

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 23: Διαβροχή επιφανειών του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, με νερό



Εικόνα 24: Διαβροχή επιφανειών του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, με νερό

Στην συνέχεια, ξεκίνησε η παρασκευή των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Να σημειωθεί ότι στα τρία πρώτα μείγματα που αποτελούνται από σύνθετα κονιάματα αποκατάστασης, πρώτα αναδεύθηκαν σε ειδικό πλαστικό μπολ οι κονίες ως πιο λεπτόκοκκα υλικά και έπειτα προστέθηκε στο ήδη αναμειγμένο μείγμα το αδρανές, δηλαδή η άμμος ως πιο χονδρόκοκκο υλικό. Στο μείγμα 5^ο και 6^ο απλά προστέθηκε η προκαθορισμένη και με ακρίβεια ζυγισμένη ποσότητα νερού. Παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος ανάδευσης των λεπτόκοκκων και έπειτα των χοντρόκοκκων δομικών υλικών αποκατάστασης (Εικόνα 25. & 26.). Να σημειωθεί πως ο τρόπος ανάδευσης και ο τρόπος εφαρμογής, καθώς και το νερό μέσα σε ένα κονίαμα παίζουν σημαντικότερο ρόλο για την παρασκευή του και έπειτα για την εφαρμογή του πάνω στο δομικό υλικό που επρόκειτο να εφαρμοστεί το παρασκευασμένο κονίαμα.



Εικόνα 25: Ανάδευση των δύο κονιών ως πιο λεπτόκοκκα υλικά.



Εικόνα 26: Προσθήκη αδρανούς (άμμος) ως πιο χονδρόκοκκο υλικού στις αναμειγμένες κονίες.

Στην πορεία, αφού οι συνθέσεις των κονιαμάτων αποκατάστασης τακτοποιήθηκαν σε πλαστικά ποτηράκια που απέξω έγραφαν το όνομα της κάθε κονίας, με την ποσότητα της εκφρασμένη σε γραμμάρια (g). Ζυγίστηκε με ακρίβεια και ιδιαίτερη προσοχή, στο ζυγό

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ακριβείας του εργαστηρίου, η ποσότητα νερού που επρόκειτο να προστεθεί στο κάθε μείγμα, εκφρασμένη σε γραμμάρια (g).

Στην συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν τα δύο γραφεία του εργαστηρίου, σαν έδρα εργασίας, ώστε να γίνει η εφαρμογή των παρασκευασμένων κονιαμάτων αποκατάστασης πάνω και ανάμεσα στα δύο κομμένα μέρη του λίθου αποκατάστασης, λιθότυπου Σφουγγάρια Α.

Να αναφερθεί το γεγονός ότι η περισσευούμενη ποσότητα των μειγμάτων, τοποθετήθηκε σε καθαρό πλαστικό ποτηράκι, όπου απέξω αναγράφεται ο κωδικός μείγματος. Να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια εφαρμογής των μειγμάτων, υπήρχε πρόχειρο μικρό χαρτί με γραμμένο το αριθμό του μείγματος, ώστε να αποφευχθούν τυχόν μπερδέματα και ασάφειες.

Παρακάτω ακολουθεί φωτογραφική τεκμηρίωση από τις εργασίες που έλαβαν χώρα, κατά την διάρκεια της αυτοσχέδιας κατασκευής, αλλά και αυτοσχέδιας «πατέντας», ώστε να επιτευχθεί το πάχος του καθενός κονιάματος αποκατάστασης, να είναι τουλάχιστον ένα εκατοστό (1cm). Έπειτα, παρουσιάζεται και η εφαρμογή τους πάνω στον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η φωτογραφική τεκμηρίωση από τις εργασίες συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν για το ζεύγος δοκιμών λίθου αποκατάστασης με κωδική ονομασία Α1 και Α2 αντίστοιχα, όπου εφαρμόστηκε σε αυτά το 1^ο μείγμα, με κωδική ονομασία L_NP 12.5. Συνεπώς, δημιουργήθηκε το σύνθετο λίθου-κονιάματος αποκατάστασης Α1 & Α2 L_NP 12.5. Να σημειωθεί ότι όπου μείγμα 1^ο σημαίνει (όπως ήδη έχει προαναφερθεί σε παραπάνω κεφάλαιο της παρούσας μεταπτυχιακής), ασβέστης με φυσική ποζολάνη.



Εικόνα 27: Αυτοσχέδια τεχνική για να γίνει λεία η επιφάνεια του κονιάματος



Εικόνα 28: Το κονίαμα παρασκευασμένο



Εικόνα 29: Ξεκινάει η τοποθέτηση πάνω στο λίθο αποκατάστασης

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 30: Τοποθέτηση του στον λίθο αποκατάστασης



Εικόνα 31: Με την σπάτουλα μαζεύεται όσο κονίαμα περισσεύει περιμετρικά



Εικόνα 32: Με μικρή σπάτουλα λειαίνεται η επιφάνεια του κονιάματος



Εικόνα 33: Μαζεύεται η περίσσεια ποσότητα περιμετρικά του κονιάματος

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ένα μεγάλο μεγέθους μυστρί, ώστε να τοποθετηθεί το κονίαμα αποκατάστασης πάνω στο λίθο αποκατάστασης, έπειτα μια μικρή σπάτουλα για να κατανεμηθεί ισομερώς η ποσότητα του μίγματος του κονιάματος αποκατάστασης πάνω στον λίθο αποκατάστασης και να επιτευχθεί το επιθυμητό και προσδόκιμο πάχος του κονιάματος αποκατάστασης, στο ένα εκατοστό (1cm).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



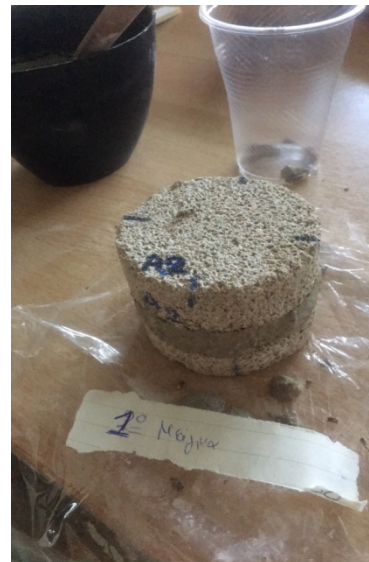
Εικόνα 34: Έτοιμο το κονίαμα αποκατάστασης πάνω στο λίθο αποκατάστασης



Εικόνα 35: Επιθυμητό πάχος του κονιάματος αποκατάστασης στα 1cm



Εικόνα 36: Τοποθέτηση υπολειπόμενου μείγματος σε πλαστικό ποτήρι



Εικόνα 37: Παρασκευασμένο σύνθετο Λίθου-Κονιάματος αποκατάστασης (A2 – L_NP_12.5)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 38: Τελικό στάδιο παρασκευής σύνθετων Λίθου - Κονιάματος αποκατάστασης (A1 & A2 L_NP 12.5)

Ομοίως, με την ίδια ακριβώς διαδικασία κατασκευάστηκαν και τα υπόλοιπα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα και ήταν τα εξής:

Πίνακας 12: Σύνθετα Λίθου-Κονιάματος Αποκατάστασης

Ζεύγος Δοκιμίων – Σύνθετα Λίθου-κονιάματος αποκατάστασης	Μείγμα α	Κωδικός Σύνθεσης Κονιάματος Αποκατάστασης
A1 & A2	1 ^ο	L_NP12.5
A3 & A4	2 ^ο	NHL_M1_D
A5 & A6	3 ^ο	L_NP12.5 more water
A7 & A8	4 ^ο	ME
A9 & A10	5 ^ο	C_NHL

Αφού λοιπόν ολοκληρώθηκε η διαδικασία κατασκευής των σύνθετων και αφού ολοκληρώθηκαν επιτυχώς οι επεμβάσεις συντήρησης, τα σύνθετα έπρεπε να παραμείνουν σε υγρό περιβάλλον, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη και επιθυμητή πρόσφυση των διεπιφανειών των δύο διαφορετικών δομικών υλικών αποκατάστασης (λίθος και κονίαμα). Για τον λόγο αυτό κλείστηκαν αεροστεγώς σε ένα μεγάλων διαστάσεων πλαστικό κουτί, τύπου «τάπερ», όπως παρουσιάζεται στις κάτωθι φωτογραφίες. Εσωτερικά του πλαστικού μπολ τοποθετήθηκε νοτισμένο βαμβάκι μέσα σε πλαστικό ποτηράκι μισογεμάτο από νερό, ώστε να προσομοιάζουν οι συνθήκες εσωτερικά του τάπερ με ένα υγρό περιβάλλον. Το τάπερ αφέθηκε κλειστό για περίπου πέντε μέρες μέσα στον εργαστηριακό χώρο.

Ο λόγος της κατασκευής τους ήταν για να εξεταστεί και να ελεγχθεί η συμβατότητα η επιτελεσματικότητα η πρόσφυση και τα κοινά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που έχει ο συγκεκριμένος λίθος με τα πέντε διαφορετικά κονιάματα αποκατάστασης. Συνεπώς, να καταλήξουμε στο πιο συμβατό σύνθετο λίθου κονιάματος ώστε να προταθεί ως μια λύση για το κονίαμα αποκατάστασης που θα μπορούσε να λειτουργήσει ως κονίαμα συγκόλλησης, στερέωσης, πλήρωσης και συμπλήρωσης.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 39: Τοποθέτηση των δέκα σύνθετων σε λεκάνη με νοτισμένο βαμβάκι, μέσα σε πλαστικό ποτηράκι ώστε να παραμείνουν αεροστεγώς κλεισμένα για πέντε μέρες

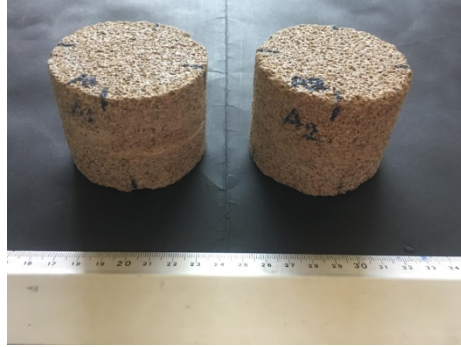
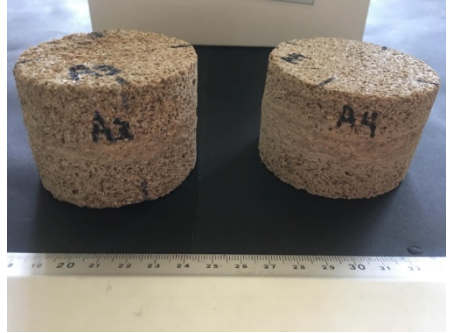


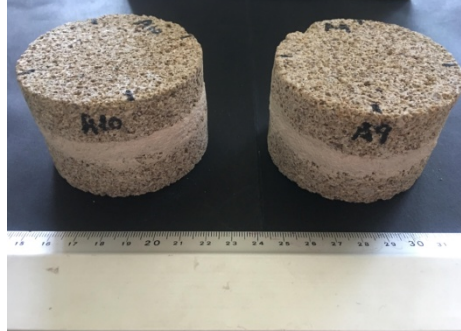
Έπειτα, ταχτοποιήθηκαν και τα υπολείμματα κονιαμάτων των μειγμάτων σε πέντε πλαστικά ποτήρια. Κλείστηκαν και αυτά με ζελατίνη σαν «καπάκι», για πέντε ημέρες. Στο πλαστικό ποτήρι αναγράφηκε ο αριθμός του κάθε μείγματος.



Εικόνα 40: Υπολείμματα από τα μείγματα που κλείστηκαν αεροστεγώς για πέντε μέρες

Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφική τεκμηρίωση των σύνθετων - εφαρμόστηκε ένα μείγμα κονιάματος αποκατάστασης, διαφορετικό για κάθε ζεύγος- αμέσως μετά το άνοιγμα τους από το -αεροστεγώς κλεισμένο πλαστικό - κουτί τους.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

<p>Στον λίθο αποκατάστασης με κωδικό A1 & A2 τοποθετήθηκε και εφαρμόστηκε το Μείγμα 1^ο, δηλαδή αυτό με το Κονίαμα Αποκατάστασης με κωδική ονομασία: L_NP12.5</p>	
<p>Στον λίθο αποκατάστασης με κωδικό A3 & A4 τοποθετήθηκε και εφαρμόστηκε το Μείγμα 2^ο, δηλαδή αυτό με το Κονίαμα Αποκατάστασης με κωδική ονομασία: NHL_M1_D</p>	
<p>Στον λίθο αποκατάστασης με κωδικό A5 & A6 τοποθετήθηκε και εφαρμόστηκε το Μείγμα 3^ο, δηλαδή αυτό με το Κονίαμα Αποκατάστασης με κωδική ονομασία: L_NP12.5 more water</p>	
<p>Στον λίθο αποκατάστασης με κωδικό A7 & A8 τοποθετήθηκε και εφαρμόστηκε το Μείγμα 4^ο, δηλαδή αυτό με το έτοιμο εμπορικό Κονίαμα Αποκατάστασης με κωδική ονομασία: ME</p>	
<p>Στον λίθο αποκατάστασης με κωδικό A9 & A10 τοποθετήθηκε και εφαρμόστηκε το Μείγμα 5^ο, δηλαδή αυτό με το έτοιμο εμπορικό Κονίαμα Αποκατάστασης με κωδική ονομασία: C_NHL</p>	

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

4.1 Διαμόρφωση προτάσεων για τη μεθοδολογία του καθαρισμού και της στερέωσης των επιφανειών του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα

4.1.1 Λίθινες και επιχρισμένες επιφάνειες του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα – Χαρακτηρισμός και τύποι φθοράς

4.1.1.1 Λίθινες επιφάνειες

Είναι δεδομένο ότι η κατάσταση διατήρησης των ιστορικών λίθων είναι κακή. Ο ένας κύριος τύπος φθοράς που παρουσιάζεται είναι η κυψέλωση από τη συνεργιστική δράση της αλατονέφωσης, των ισχυρών βορειοδυτικών ανέμων και της ασύμβατης υγρομετρικής συμπεριφοράς του σκυροδέματος/τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενες επεμβάσεις. Αυτός ο τύπος φθοράς εκδηλώνεται με ακανόνιστη απόσπαση κόκκων και σχηματισμό κοιλιοτήτων και σπηλαιώσεων. Οι κόκκοι του ψαμμιτικού ασβεστόλιθου χάνουν τη συνοχή τους και τελικά αποκολλώνται. Καθώς εξελίσσεται το φαινόμενο δημιουργούνται, στην επιφάνεια της πέτρας, άνισα μέτωπα για να προκύψει στο τέλος η χαρακτηριστική κυψελοειδής-σπηλαιώδης μορφή, η οποία είναι εμφανής κυρίως στον λίθο της Ιταλικής αποκατάστασης.



Εικόνα 41: Πυρήνας από οπλισμένο σκυρόδεμα, διαβρωμένος μεταλλικός σύνδεσμος και σπηλαιώσεις στους λίθους της Ιταλικής αποκατάστασης και τους αρχαίους λίθους

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 42: Συναρμογή τμημάτων αρχαίου λίθου με σπλισμένο σκυρόδεμα στον θριγικό



Εικόνα 43: Συμπληρώσεις αρχαίων σπονδύλων με τσιμέντο



Εικόνα 44: Συμπληρώσεις αρχαίου λίθου με τσιμέντο στον θριγικό, ανατολική όψη

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 45: Συμπληρώσεις αρχαίου λίθου με τσιμέντο στον θριγκό, βόρεια όψη

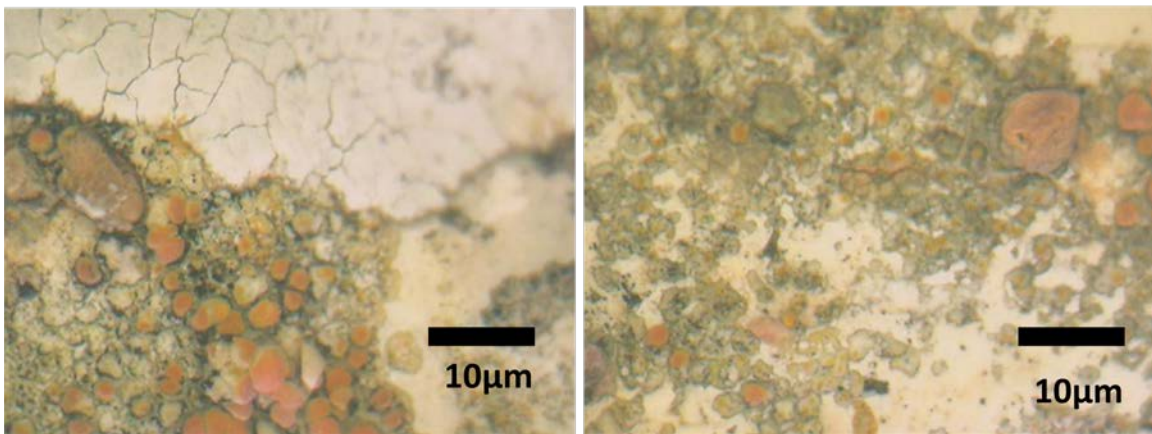
Ο άλλος κύριος τύπος φθοράς που παρουσιάζεται είναι η βιοδιάβρωση είτε με τη μορφή μαύρης βιοδιάβρωσης, είτε με τη μορφή μαύρων κρουστωδών επιλιθικών λειχήνων.

Η βιοδιάβρωση στις επιφάνειες των λίθων έχει ως συνέπεια την παράλληλη μηχανική και χημική φθορά των υλικών. Η μηχανική φθορά κατά τη μικροσκοπική παρατήρηση εμφανίζεται με τη μορφή έντονης κατάτμησης, καθώς και με την εμφάνιση μικρορηγματώσεων και μικρο-οπών, προκαλείται δε λόγω πιέσεων που ασκούν τα μυκήλια των μυκήτων και οι θαλλοί των λειχήνων στο υπόστρωμα εξαιτίας της ανάπτυξής τους στο εσωτερικό του λίθου. Επιπλέον, η διάβρωση λόγω χημικών διεργασιών είναι εξίσου σημαντική, καθώς αλλοιώνει τη σύσταση των ορυκτών του λίθου αποσπώντας από αυτά βασικά κατιόντα, ενώ μικροσκοπικά και μακροσκοπικά επιδεικνύεται με την εμφάνιση και την εναλλαγή διαφόρων αποχρώσεων λόγω της έκκρισης χημικών ουσιών, που τις περισσότερες φορές σχετίζονται με τις μεταβολικές διεργασίες των μικροοργανισμών στις διαβρωμένες επιφάνειες. Παράλληλα, υπάρχουν περιπτώσεις όπου το φυτικό σώμα της λειχήνας (θαλλός) φαίνεται, μακροσκοπικά τουλάχιστον, ενσωματωμένος στο πέτρωμα με τη μορφή συνεκτικής επιφανειακής κρούστας και δε συνοδεύεται με ορατή, εξωτερικά τουλάχιστον, απώλεια υλικού. Προκαλεί όμως εσωτερική χαλάρωση και απώλεια των αντοχών του λιθοσώματος. Η “υπονόμηση” αυτή των επιφανειακών μηχανικών αντοχών της πέτρας έχει ως τελικό αποτέλεσμα, την απόσπαση ολόκληρων τμημάτων της κρούστας-φυτικού σώματος λειχήνας όταν το πάχος της γίνει τέτοιο, ώστε να χαθεί η συνοχή με το υπόστρωμα, και τελικά την απώλεια του χαλαρού εσωτερικού υλικού.

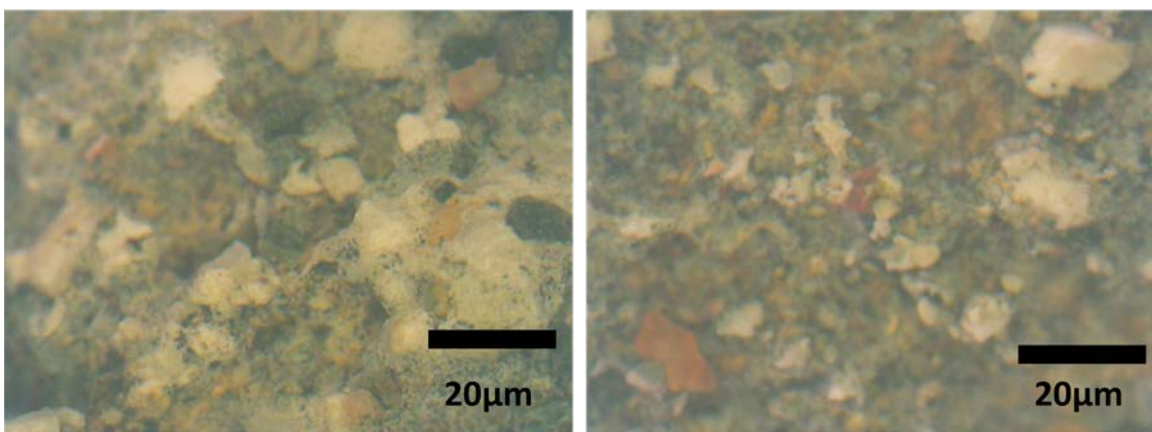
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 46: Βρύα, κρουστώδεις επιλιθικές λειχήνες και μαύρη βιοδιάβρωση στο αρχαίο δομικό υλικό



Εικόνα 47: Ψηφιακή Μικροσκοπία: φυτικό σώμα (θαλλός) και καρπικές δομές κρουστωδών επιλιθικών λειχήνων σε αρχαίο λίθο

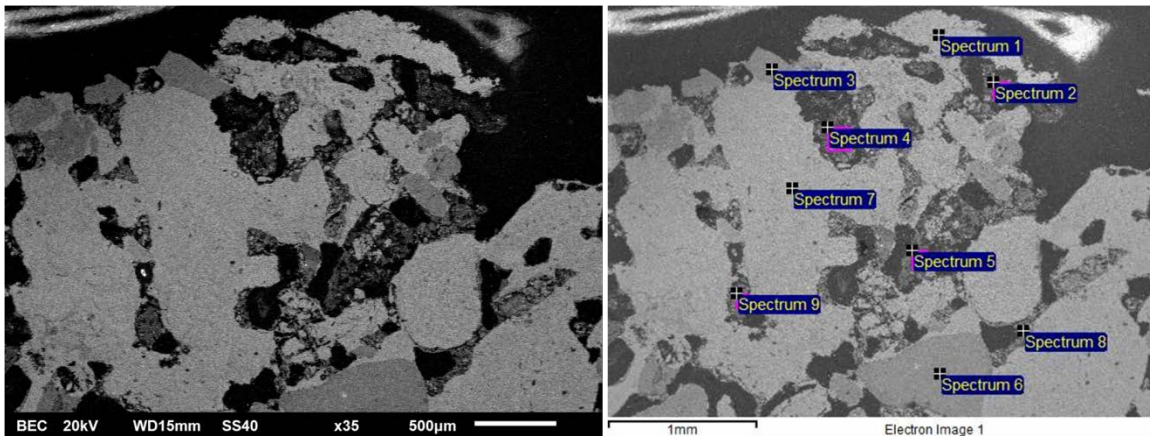


Εικόνα 48: Ψηφιακή Μικροσκοπία: μαύρη βιοδιάβρωση σε αρχαίο λίθο

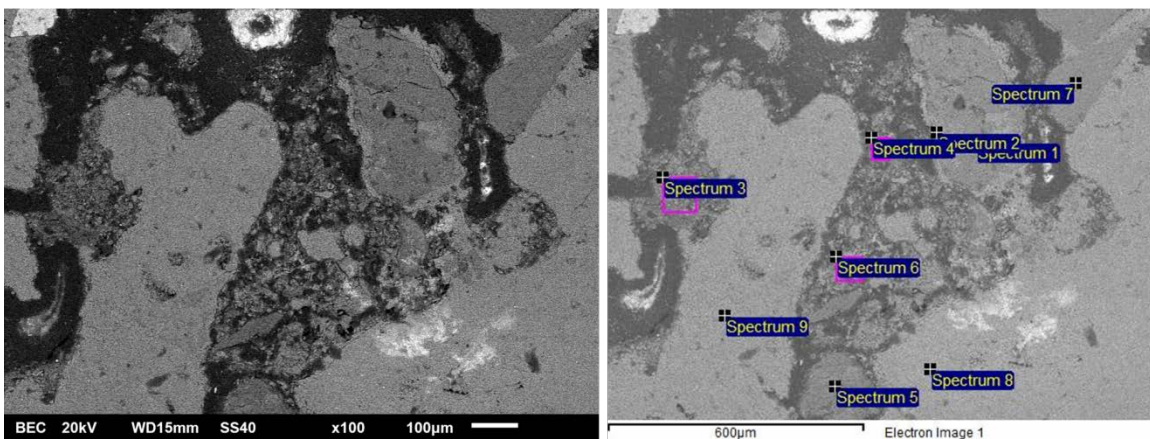
Βάσει των παραπάνω διερευνηθήκαν οι επιπτώσεις της βιοδιάβρωσης στις εξωτερικές επιφάνειες του λίθου, καθώς και η κατάσταση διατήρησής τους, με τη χρήση Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης και Μικροανάλυσης Ακτίνων Χ σε δείγματα αρχαίου λίθου 1 και

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

αρχαίου λίθου 2. Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το JEOL JSM 6380LV με στοιχειακό αναλυτή EDX (Oxford Instruments INCAx-sight).



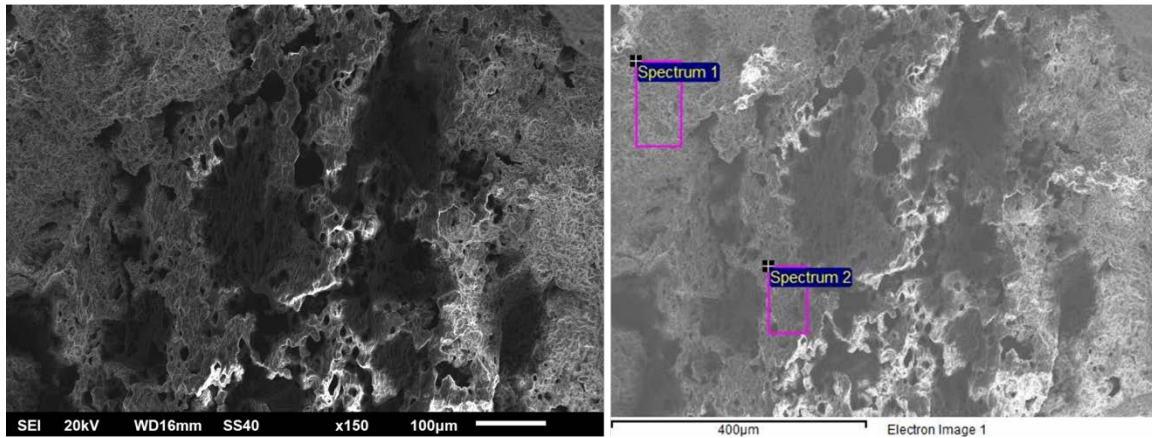
Εικόνα SEM 1: Αρχαίος λίθος 1, δείγμα εξεταζόμενο σε τομή



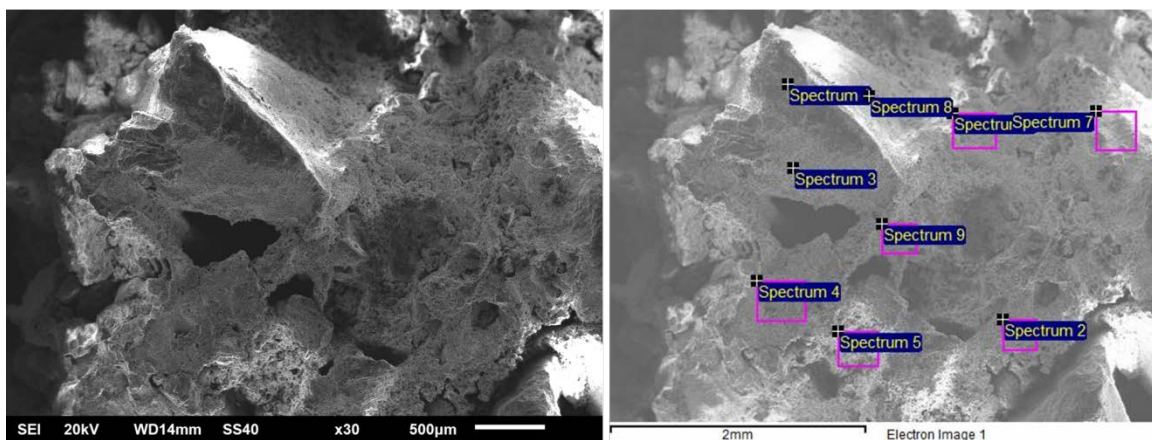
Εικόνα SEM 2: Αρχαίος λίθος 1, δείγμα εξεταζόμενο σε τομή

Οι εικόνες SEM 1 & 2 ελήφθησαν από δείγμα του αρχαίου λίθου 1 που εξετάστηκε σε τομή και σε περιοχή που εμφανίζει μαύρη βιοδιάβρωση. Από τις παραπάνω εικόνες είναι εμφανές το κατακερματισμένο ανάγλυφο που παρουσιάζουν τα εξωτερικά στρώματα του λίθου, καθώς το συνδετικό υλικό έχει υποχωρήσει και παρουσιάζει έλλειψη συνοχής. Αυτό συνεπάγεται την χαλαρή διασύνδεση των ασβεστιτικών και χαλαζιακών κόκκων με το υπόστρωμα και την συνεπακόλουθη εύκολη απόσπασή τους εν ευθέτω χρόνω, με αποτέλεσμα την απώλεια αυθεντικού υλικού.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



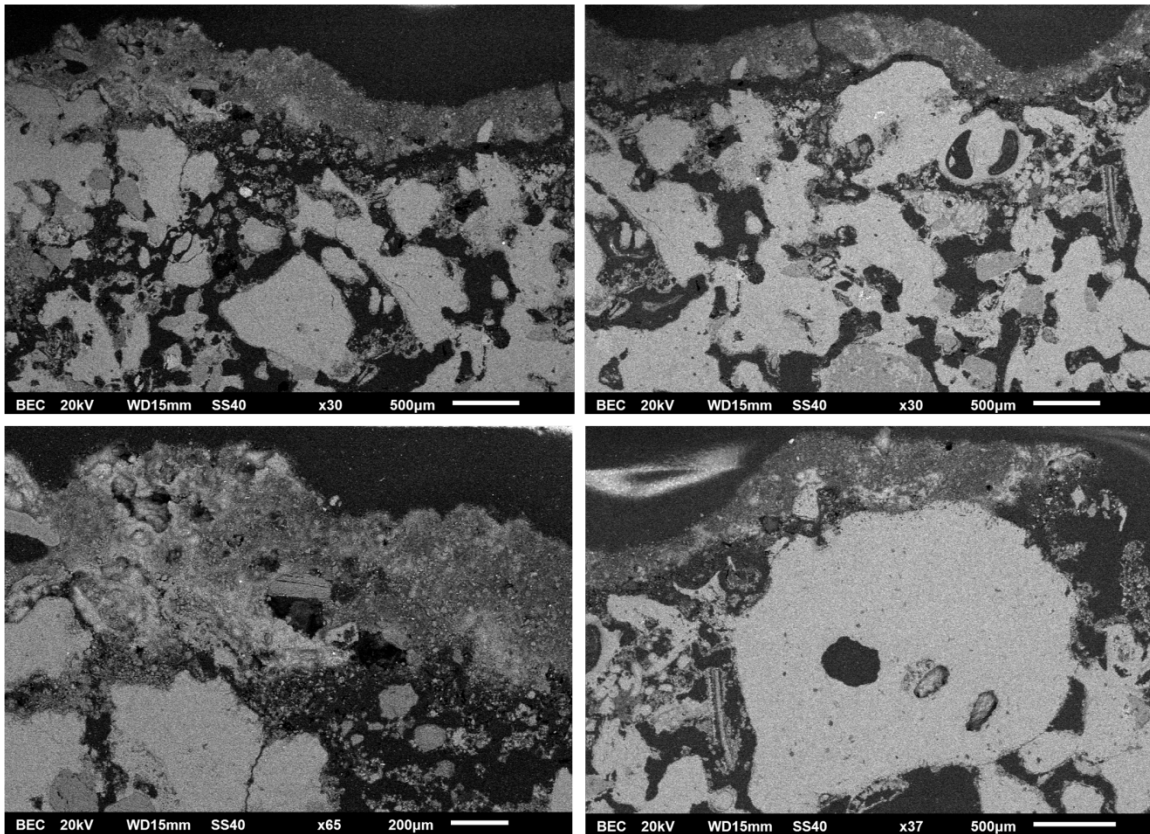
Εικόνα SEM 3: Αρχαίος λίθος 1, δείγμα εξεταζόμενο κατά πρόσωπο



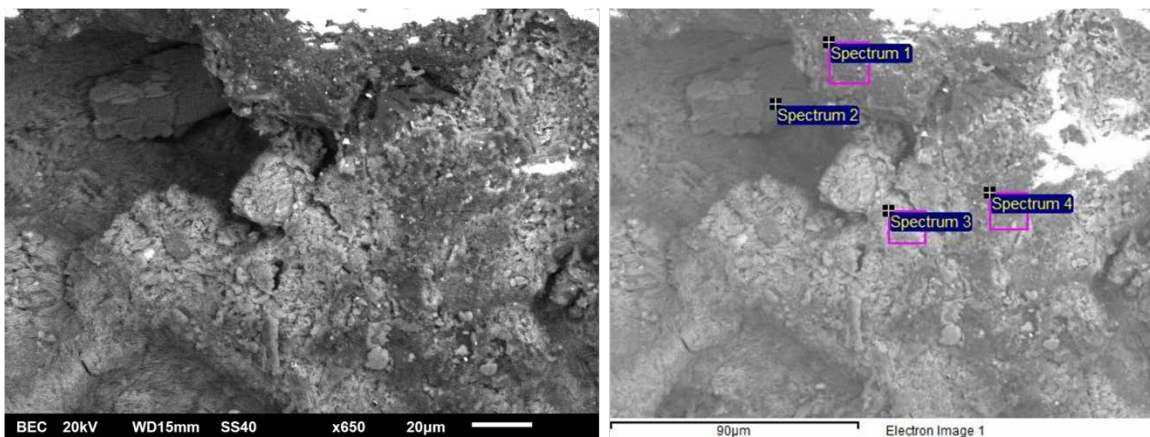
Εικόνα SEM 4 : Αρχαίος λίθος 1, δείγμα εξεταζόμενο κατά πρόσωπο

Οι εικόνες SEM 3 & 4 ελήφθησαν από δείγμα του αρχαίου λίθου 1 που εξετάστηκε κατά πρόσωπο και σε περιοχή που μακροσκοπικά παρουσίαζε μαύρη βιοδιάβρωση. Από την εικόνα SEM 3 διαπιστώνεται μορφολογική ανομοιογένεια της λίθινης αρχιτεκτονικής επιφάνειας με κάθετες ρηγματώσεις, ανισοπεδότητα, τραχύτητα, καθώς μικρό οπές που οφείλονται στην ευρεία ανάπτυξη βελονοειδούς βιοδιάβρωσης από μύκητες. Στην εικόνα SEM 4 η μορφολογία είναι σε πλήρη αντιστοιχία με την εικόνα SEM 3, εκτός από το φαινόμενο του βελονισμού που απουσιάζει. Τα αποτελέσματά του σε συνέργεια με το φαινόμενο της κρυστάλλωσης των αλάτων όμως είναι ορατά, αφού η συνδετική ύλη του πετρώματος έχει υποχωρήσει και ο κόκκος του είναι εμφανώς χαλαρά συνδεδεμένος με το υπόστρωμα.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα SEM 5: Αρχαίος λίθος 2, δείγμα εξεταζόμενο σε τομή

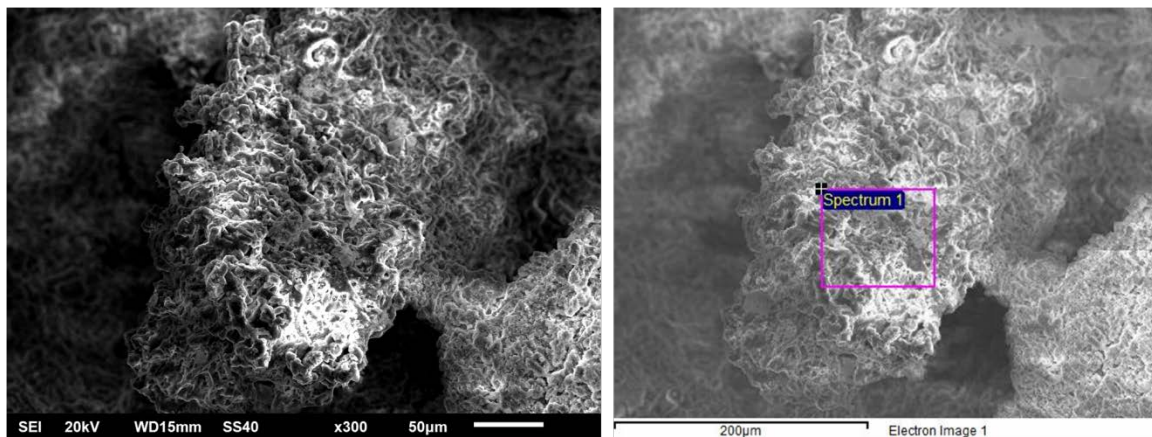


Εικόνα SEM 6: Αρχαίος λίθος 2, δείγμα εξεταζόμενο σε τομή

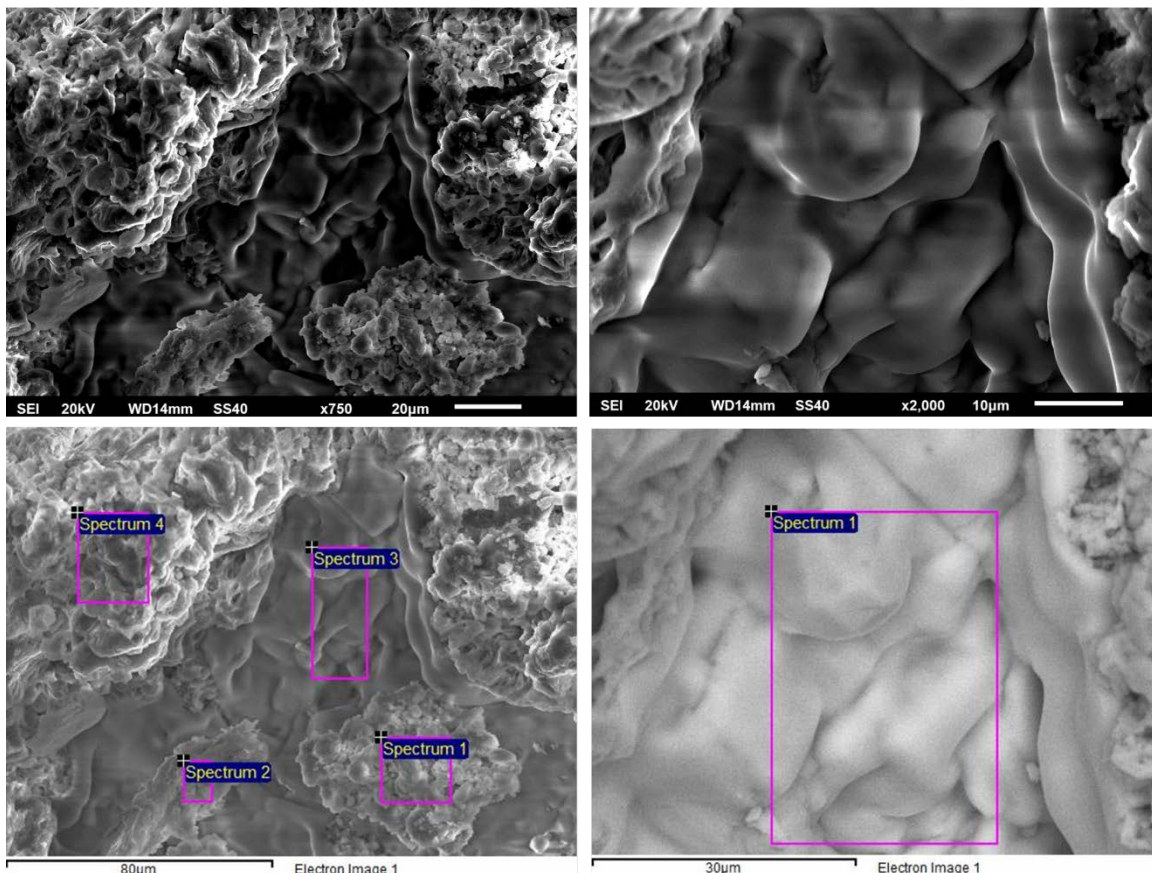
Οι εικόνες SEM 5 & 6 ελήφθησαν από δείγμα του αρχαίου λίθου 2 που εξετάστηκε σε τομή και σε περιοχή που επικαλυπτόταν από κρουστώδη επιλιθική λειχήνα. Από την εικόνα SEM 5 προκύπτει ότι το πάχος του θαλλού (φυτικού σώματος) της λειχήνας φτάνει έως και τα 500µm, καθώς και ότι πρόκειται για ένα συμπαγή κρουστώδη σχηματισμό. Η υποκείμενη λίθινη επιφάνεια όμως είναι κατακερματισμένη, αφού το συνδετικό υλικό των κόκκων του πετρώματος παρουσιάζει χαλαρή συνοχή, αποδεικνύοντας την κακή κατάσταση διατήρησης του λίθου κάτω από τη φαινομενικά συμπαγή εξωτερική στοιβάδα του θαλλού.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Στην δε εικόνα SEM 6 παρουσιάζεται σε μεγέθυνση το φυτικό σώμα (θαλλός) της λειχήνας και όπως προκύπτει από τη μικροανάλυση ακτίνων Χ, η χημική του σύσταση είναι πλούσια σε χλωριούχο νάτριο στην εξωτερική του στοιβάδα (προϊόν της αλατονέφωσης), ενώ τα μεσαία και κατώτατα στρώματά του παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις θειικού ασβεστίου, που είναι μεταβολικό προϊόν του συμβιωτικού οργανισμού των λειχήνων (συμβίωση πράσινων φυκών ή κυανοβακτηρίων με μύκητες).



Εικόνα SEM 7: Αρχαίος λίθος 2, δείγμα εξεταζόμενο κατά πρόσωπο



Εικόνα SEM 8: Αρχαίος λίθος 2, δείγμα εξεταζόμενο κατά πρόσωπο

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Οι εικόνες SEM 7 & 8 ελήφθησαν από δείγμα του αρχαίου λίθου 2 που εξετάστηκε κατά πρόσωπο και σε περιοχή που δεν επικαλυπτόταν από κρουστώδη επιλιθική λειχήνα. Στην εικόνα SEM 7 παρατηρείται τραχιά και κοκκώδης επιφάνεια, που οφείλεται στην ανάπτυξη μυκηλίων μύκητα, με σύσταση πλούσια σε S που μπορεί να αποδοθεί στους νεοκρυσταλλικούς σχηματισμούς που προκύπτουν από τη βιοδιάβρωση. Στην εικόνα SEM 8 παρατηρείται λίθινη επιφάνεια με ανάπτυξη μυκηλίων μύκητα, στο κέντρο της οποίας βρίσκεται πόρος πληρωμένος με σχηματισμό κολλώδους υφής, η σύσταση του οποίου είναι πλούσια σε χλωριούχο νάτριο και χλωριούχο ασβέστιο. Είναι σαφές ότι η εν λόγω εικόνα παρουσιάζει το αποτέλεσμα της συνεργιστικής δράσης της βιοδιάβρωσης και της κρυστάλλωσης των αλάτων. Η χημική διάβρωση του λίθου λόγω της δράσης των μυκήτων, προκαλεί αλλοίωση της σύστασης του, η οποία περιλαμβάνει και τη διάχυση ιόντων ασβεστίου. Αυτά σχηματίζουν με το χλώριο του χλωριούχου νατρίου της αλατονέφωσης ή τον ήδη σχηματισμένο κρύσταλλο χλωριούχου νατρίου στον πόρο του λίθου το πιο δυσδιάλυτο χλωριούχο ασβέστιο, όχι όμως σε κρυσταλλική μορφή, αλλά σε κολλώδη. Ο κολλώδης αυτός σχηματισμός γεμίζει τον πόρο του λίθου, δίνοντας έτσι συνέχεια, και έως κάποια κρίσιμη χρονική στιγμή, συνοχή στο αρχαίο υλικό, καθιστώντας την απομάκρυνσή του μέσω αφαλάτωσης εξαιρετικά δύσκολη.

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι η συνοχή των εξώτατων στοιβάδων των αρχιτεκτονικών επιφανειών του αρχαίου δομικού υλικού υπονομεύεται κυρίως από την εκτεταμένη βιοδιάβρωση (λειχήνες και μύκητες) και την κρυστάλλωση των αλάτων. Είναι προφανές ότι ανάλογα με τις συνθήκες εξάτμισης που επικρατούν στο μικρόκλιμα των εξωτερικών επιφανειών του λίθου, θα κυριαρχεί ανά περίοδο κάποιος από τους εντοπιζόμενους τύπους φθοράς, παρόλα αυτά όμως, αυτοί θα συνεχίσουν να δρουν σε συνέργεια και επαλληλία, καθιστώντας το έργο της συντήρησης των αρχιτεκτονικών επιφανειών εξαιρετικά απαιτητικό. Τέλος, στις αρχιτεκτονικές επιφάνειες του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα πρέπει να αντιμετωπιστεί άλλο ένα δύσκολο αλλά αναγκαίο ζήτημα, αυτό της απομάκρυνσης του σκυροδέματος και των τσιμεντιτικών επιχρισμάτων/συμπληρωμάτων.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων X, εικ. SEM 1

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe	Total
1	-	2.21	-	9.16	-	-	-	-	86.72	-	1.91	100.00
2	-	8.99	9.31	31.78	2.11	7.65	-	3.34	25.74	-	11.08	100.00
3	-	-	-	100.00	-	-	-	-	-	-	-	100.00
4	2.43	7.29	6.73	22.03	-	3.25	0.98	1.86	49.54	-	5.88	100.00
5	1.70	20.92	2.80	42.68	-	-	1.75	-	5.61	-	24.54	100.00
6	-	-	2.08	94.63	-	-	-	-	-	-	3.28	100.00
7	-	3.01	-	0.90	-	-	-	-	95.09	-	-	100.00
8	2.00	1.55	19.99	39.24	-	1.32	0.80	10.18	11.84	1.36	6.98	100.00
9	-	30.22	4.05	38.17	-	-	2.03	0.96	9.84	-	14.73	100.00

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 14: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 2

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
1	-	-	-	100.00	-	-	-	-	-	100.00
2	-	1.80	-	-	-	-	-	98.20	-	100.00
3	-	9.44	9.39	40.33	-	1.45	2.56	25.14	11.69	100.00
4	1.95	7.50	7.84	29.36	1.02	0.88	1.92	40.95	8.57	100.00
5	-	24.98	0.90	38.09	-	1.16	1.30	2.13	31.43	100.00
6	-	14.30	6.26	29.85	-	1.83	0.98	30.57	16.22	100.00
7	-	-	1.17	98.83	-	-	-	-	-	100.00
8	-	1.89	4.78	5.09	1.24	0.86	-	86.15	-	100.00
9	-	1.18	-	0.68	-	-	-	98.14	-	100.00

Πίνακας 15: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 3

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	Ca	Total
1	-	2.25	3.68	15.80	78.27	100.00
2	0.90	3.36	1.91	4.50	89.33	100.00

Πίνακας 16: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 4

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
1	-	-	-	1.46	35.95	-	-	62.59	-	100.00
2	1.17	3.39	6.14	51.48	-	-	3.41	29.07	5.33	100.00
3	-	-	-	-	-	-	-	100.00	-	100.00
4	-	2.33	3.96	5.11	-	0.86	-	85.06	2.68	100.00
5	-	5.09	4.64	12.80	-	-	1.86	66.65	8.96	100.00
6	-	4.96	5.81	15.30	1.52	-	-	71.18	1.24	100.00
7	-	4.05	2.08	5.10	3.42	-	-	85.35	-	100.00
8	-	3.42	2.23	6.69	1.02	-	-	86.64	-	100.00
9	-	5.44	1.76	5.72	2.39	-	-	84.69	-	100.00

Πίνακας 17: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 6

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Total
1	24.45	-	-	14.45	-	23.40	10.88	26.81	100.00
2	-	-	-	5.98	40.28	-	-	53.74	100.00
3	2.36	0.69	0.47	2.40	42.43	2.05	0.47	49.13	100.00
4	-	3.22	6.94	15.52	31.03	13.96	-	29.32	100.00

Πίνακας 18: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 7

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
1	0.95	3.23	3.79	12.04	17.75	1.12	0.82	55.86	4.45	100.00

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 19: Αποτελέσματα Μικροανάλυσης ακτίνων Χ, εικ. SEM 8

Spectrum	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Total
1	2.91	9.06	9.66	30.70	0.52	3.18	3.44	31.18	9.35	100.00
2	7.02	0.73	0.72	2.12	0.63	4.03	-	82.58	2.16	100.00
3	29.69	-	0.71	1.13	-	52.33	-	16.14	-	100.00
4	-	0.94	1.38	3.79	40.94	-	0.62	52.34	-	100.00
1(SEM8x2000)	26.29	0.58	0.67	1.53	-	48.00	-	22.94	-	100.00

4.1.1.2. Επιχρισμένες επιφάνειες

Εν συνεχεία, θα εξεταστούν τα επιχρίσματα, από τον Ναό του Πυθίου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου, τα οποία υποβλήθηκαν στις παρακάτω τεχνικές και μεθόδους, οι οποίες και αναλύονται διεξοδικά στα παρακάτω υποκεφάλαια.

4.1.1.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία και Φωτογραφική τεκμηρίωση

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η φωτογραφική τεκμηρίωση των επιχρισμάτων, στον Ναό του Πυθίου Απόλλωνα.

Εν αρχή, το δείγμα επιχρίσματος που πιθανότατα είναι αρχαίο, με κωδικό **Επίχρισμα 1**, από το μεσαίο τρίγλυφο και από την νότια πλευρά της πρώτης κατά σειράς ράβδωση του τριγλύφου, που βρίσκεται στο αέτωμα στην ανατολική όψη του Ναού. Έπειτα, το δείγμα επιχρίσματος που είναι αρχαίο, με κωδικό **Επίχρισμα 2**, στο θριγκό στο αέτωμα στην βόρεια πλευρά του Ναού. Εν συνεχεία, το δείγμα επιχρίσματος που πιθανότατα είναι αρχαίο, με κωδικό **Επίχρισμα 3**, στον θριγκό στο αέτωμα στην ανατολική όψη του Ναού. Τέλος, το δείγμα επιχρίσματος που είναι αρχαίο, με κωδικό **Επίχρισμα 4**, στο κιονόκρανο στην βόρεια πλευρά του Ναού.



Εικόνα 49: Επίχρισμα 1



Εικόνα 50: Επίχρισμα 2



Εικόνα 51: Επίχρισμα 3

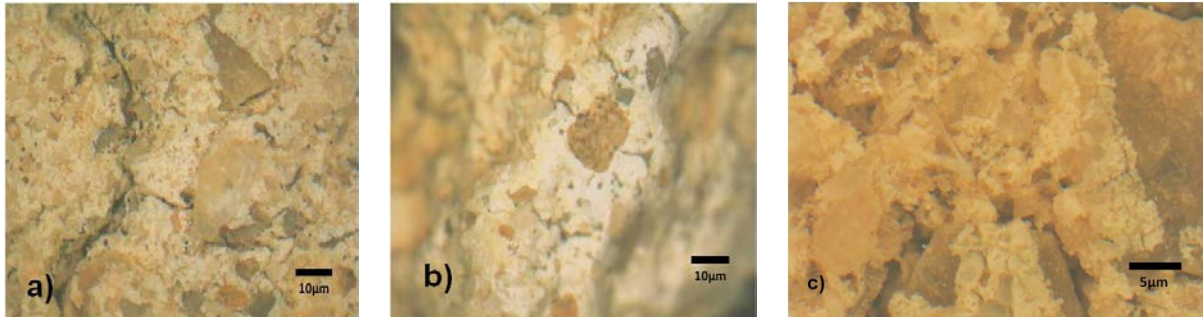


Εικόνα 52: Επίχρισμα 4

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Η Ψηφιακή Μικροσκοπία (*FOM: Fiber Optics Microscopy*), είναι μια μη καταστρεπτική μέθοδος για την εξέταση της μορφολογίας των επιφανειών. Η μέθοδος αυτή δίνει πληροφορίες για μια αρχική εκτίμηση της μικροδομής των υλικών, καθώς και των σύνθετων υλικών. Τα δείγματα των τεσσάρων επιχρισμάτων εξετάστηκαν με την μέθοδο αυτή, ώστε να παρθεί μια αρχική εκτίμηση για τον τύπο φθοράς τους και είναι τα εξής:

Επίχρισμα 1



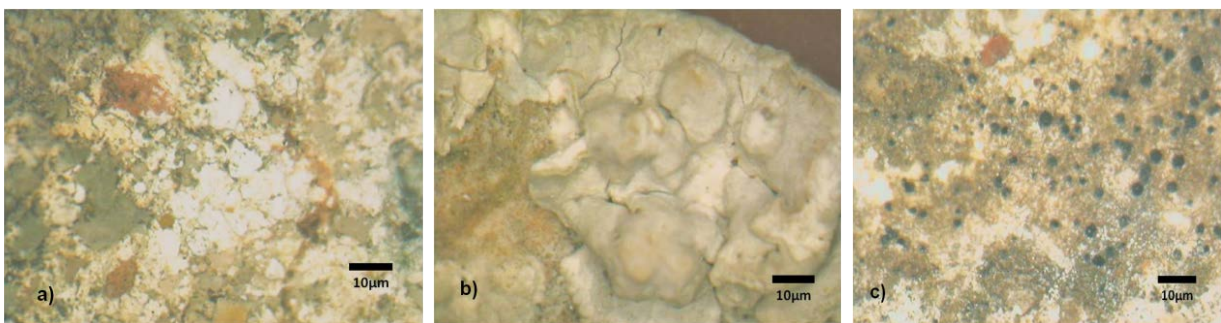
Εικόνα 53: Φακός μεγέθυνσης x50 (a)

Εικόνα 54: Φακός μεγέθυνσης x50 (b)

Εικόνα 55: Φακός μεγέθυνσης x120 (c)

Από την εξέταση του δείγματος *Επίχρισμα 1*, παρατηρείται ότι πρόκειται για επίχρισμα υπόλευκου χρώματος. Το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει σποραδικά μικρορωγμές (a), επικαθίσεις διαλυτών αλάτων (b) καθώς και υφές μυκηλίων, οι οποίες και ευθύνονται για την επερχόμενη βιοδιάβρωση. Εμφανίζεται να υπάρχουν αδρανή γκρίζου και μαύρου χρώματος. Το κονίαμα παρουσιάζει οπές μικρού μεγέθους. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται να διέπεται από ευθρυπτότητα.

Επίχρισμα 2



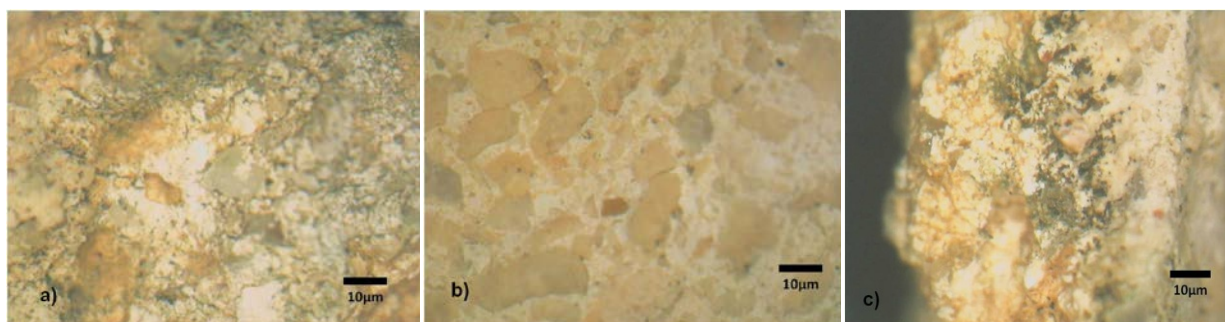
Εικόνα 56: Φακός μεγέθυνσης x50 (a)

Εικόνα 57: Φακός μεγέθυνσης x50 (b)

Εικόνα 58: Φακός μεγέθυνσης x50 (c)

Από την εξέταση του δείγματος *Επίχρισμα 2*, παρατηρείται ότι και το δείγμα αυτό πρόκειται για επίχρισμα υπόλευκου χρώματος. Το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει επικαθίσεις διαλυτών αλάτων (a), αυγά λειχήνων, υπεύθυνα για την βιοδιάβρωση (b) και παρατηρείται καρπική δομή μικροοργανισμών, η οποία ευθύνονται για την βιοδιάβρωση (c). Τέλος, το δείγμα παρατηρείται να διέπεται από ευθρυπτότητα όπως και το προαναφερθέν.

Επίχρισμα 3



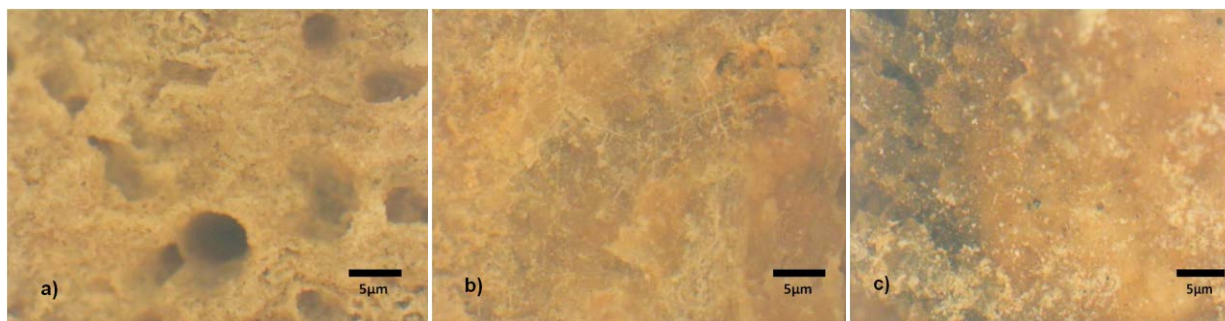
Εικόνα 59: Φακός μεγέθυνσης x50 (a)

Εικόνα 60: Φακός μεγέθυνσης x50 (b)

Εικόνα 61: Φακός μεγέθυνσης x50 (c)

Από την εξέταση του δείγματος *Επίχρισμα 3*, παρατηρείται ότι και το δείγμα αυτό πρόκειται για επίχρισμα υπόλευκου χρώματος. Το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει επικαθίσεις διαλυτών αλάτων (a), αδρανή μεσαίου μεγέθους (b) και παρατηρείται πιθανότατα βιολογική δράση μικροοργανισμών, οι οποίοι ευθύνονται για την βιοδιάβρωση, η οποία εμφανίζεται τοπικά με το σκούρο γκρι έως μαύρο χρώμα πάνω στο επίχρισμα (c). Τέλος, το δείγμα παρατηρείται να διέπεται από ευθρυπτότητα όπως και το προαναφερθέν.

Επίχρισμα 4



Εικόνα 62: φακό μεγέθυνσης x120 (a)

Εικόνα 63: φακό μεγέθυνσης x120 (b)

Εικόνα 64: φακό μεγέθυνσης x120 (c).

Από την εξέταση του δείγματος *Επιχρίσματος 4*, παρατηρείται ότι και το δείγμα αυτό, πρόκειται για επίχρισμα υπόλευκου χρώματος. Το συγκεκριμένο δείγμα εμφανίζει κυψέλωση (a), υφές μυκηλίων (b) και παρατηρείται μαύρη κρούστα, η οποία εμφανίζεται τοπικά με μαύρο χρώμα πάνω στο επίχρισμα. Τέλος, το δείγμα παρατηρείται να διέπεται από ευθρυπτότητα όπως και το προαναφερθέν.

4.1.1.2.2. Αποτελέσματα Περίθλασης Ακτίνων Χ (XRD) - Ορυκτολογική Μελέτη

Η διαδικασία Ορυκτολογικής Ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ έγινε για όλα τα ιστορικά επιχρίσματα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα της περίθλασης

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ακτίνων X για κάθε δείγμα επιχρίσματος, με τις κύριες και δευτερεύουσες ορυκτολογικές ενώσεις που παρατηρήθηκαν, κατά την εξέτασή τους.

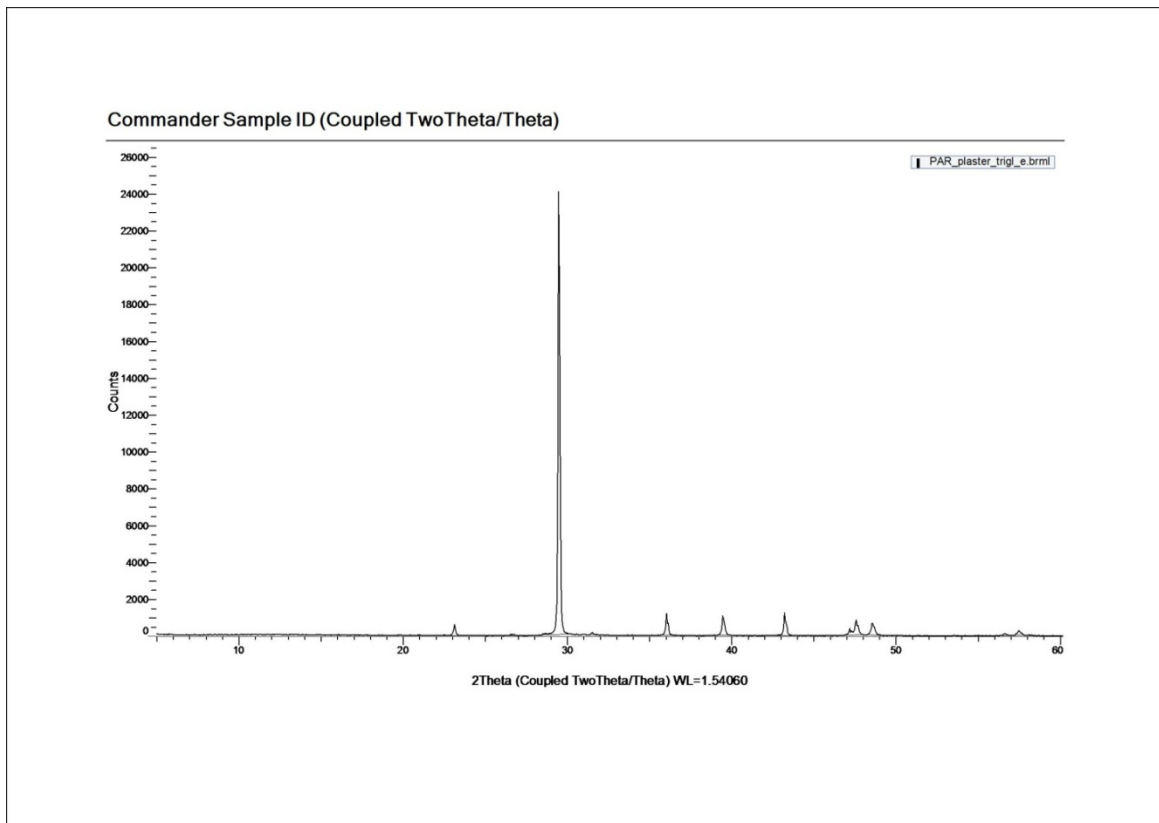
Πίνακας 20: Πρωτεύουσες & Δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις των τεσσάρων Επιχρισμάτων

Κωδικός επιχρίσματος	Πρωτεύουσα ορυκτολογική φάση	Δευτερεύουσες ορυκτολογικές φάσεις
Επίχρισμα 1	Ασβεστίτης	Χαλαζίας
Επίχρισμα 2	Ασβεστίτης	Χαλαζίας
Επίχρισμα 3	Ασβεστίτης	Χαλαζίας
Επίχρισμα 4	Ασβεστίτης	Γύψος, Χαλαζίας

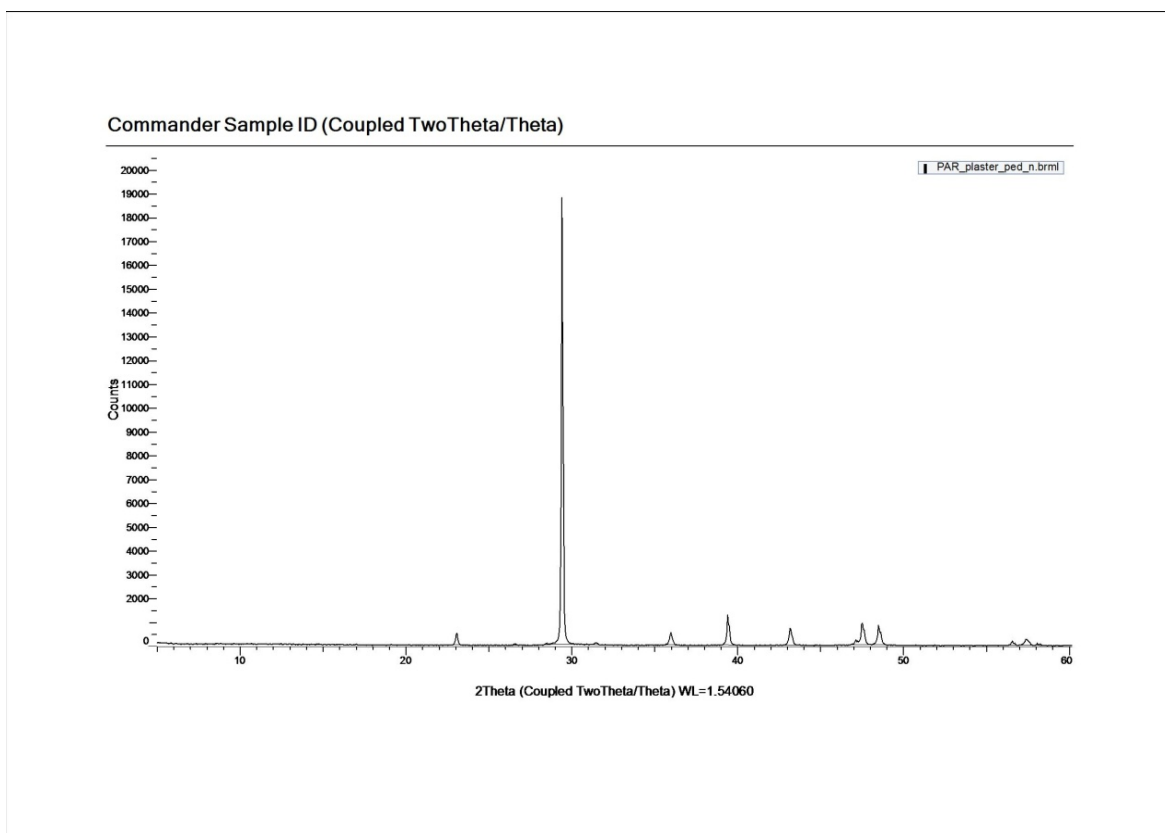
Παρατηρείται ότι η κύρια ορυκτολογική φάση και για τα τέσσερα επιχρίσματα είναι ο ασβεστίτης. Έπειτα, παρατηρείται ότι ο χαλαζίας εμφανίζεται σε ίχνη, σε όλα. Τέλος, το **Επίχρισμα 4** παρουσιάζει γύψο.

Παρακάτω, παρατίθενται τα γωνιογράμματα περίθλασης ακτίνων X , που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία για κάθε ένα Επίχρισμα ξεχωριστά.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

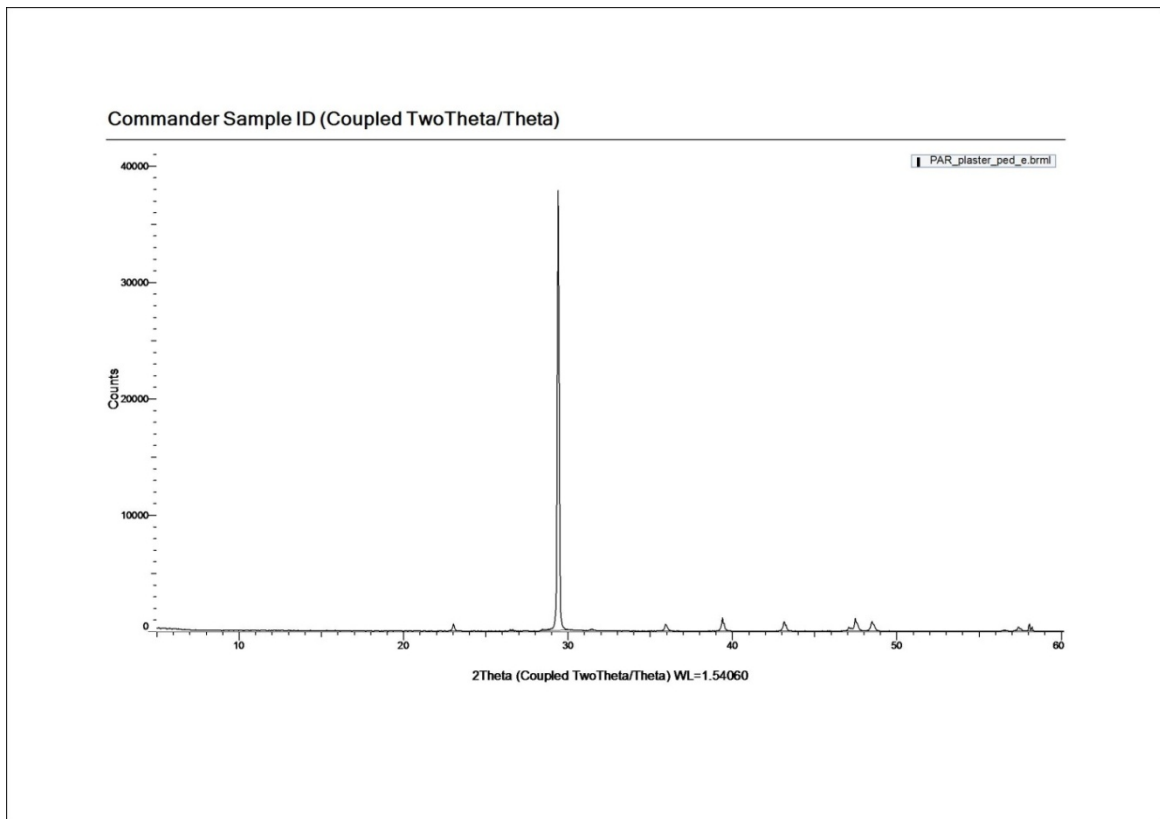


Διάγραμμα 1: Γωνιόγραμμα Επιχρίσματος 1

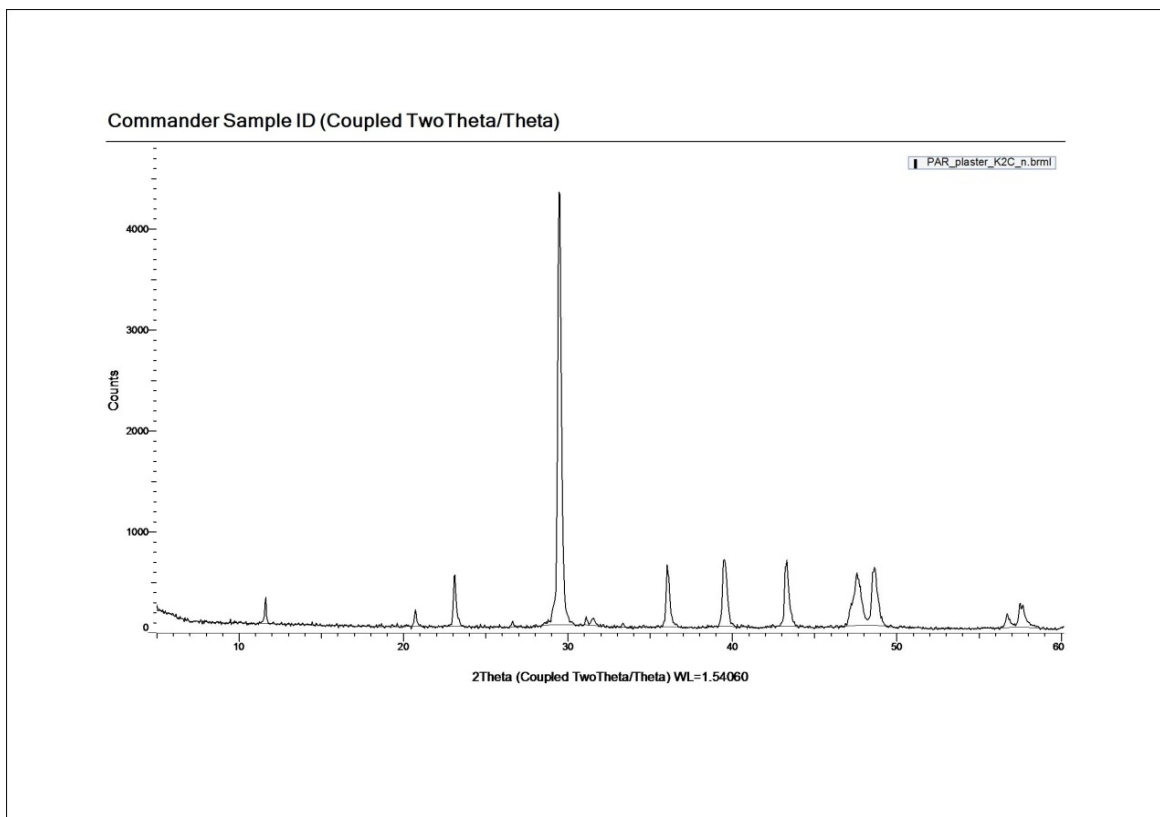


Διάγραμμα 2: Γωνιόγραμμα Επιχρίσματος 2

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.



Διάγραμμα 3: Γωνιόγραμμα Επιχρίσματος 3



Διάγραμμα 4: Γωνιόγραμμα Επιχρίσματος 4

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

4.1.1.2.3. Θερμοβαρυμετρική και διαφορική θερμική ανάλυση (DTA/TG)

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται συνοπτικά τα αποτελέσματα της θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης σε σχέση με την επί της εκατό απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα, όλων των επιχρισμάτων. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν εφαρμόζοντας ρυθμό αύξησης θερμοκρασίας 10°C/min από θερμοκρασία 30°C μέχρι θερμοκρασία 1000°C.

Πίνακας 21: Αποτελέσματα Θερμοβαρυμετρικής Ανάλυσης

Κωδικός Δείγματος	<120° C Απώλεια Μάζας (%)	120° C - 200° C Απώλεια Μάζας (%)	200° C - 600° C Απώλεια Μάζας (%)	>600° C Απώλεια Μάζας (%)	Δείκτης Υδραυλικότη τας(%)
Επίχρισμα 1	0.23	0.07	1.32	41.49	31.4
Επίχρισμα 2	0.43	0.25	2.80	41.03	14.65
Επίχρισμα 3	0.45	0.12	2.11	41.78	19.8
Επίχρισμα 4	0.47	0.59	1.72	40.23	23.4

Παρατηρείται ότι για το θερμοκρασιακό διάστημα <120° C, που οφείλεται στο φυσικά ροφημένο νερό, η απώλεια μάζας και για τα τέσσερα επιχρίσματα είναι κάτω του 0.5%.

Στην συνέχεια, για το θερμοκρασιακό διάστημα από 120° C έως 200° C, η απώλεια μάζας είναι χαμηλή σε όλα τα δείγματα επιχρισμάτων. Το υψηλότερο ποσοστό το παρουσιάζει το Επίχρισμα 4. Το δείγμα αυτό εμφανίζει το μεγαλύτερο ποσοστό απώλειας μάζας, για το θερμοκρασιακό διάστημα από 120° C έως 200° C, λόγω της απώλειας των κρυσταλλικών νερών του γύψου, όπως ταυτοποιήθηκε στο XRD και όπως υποδεικνύει η ενδόθερμη κορυφή στους 140° C.

Όσον αφορά στο θερμοκρασιακό διάστημα από 200° C έως 600° C, όπου η παρατηρούμενη απώλεια μάζας, οφείλεται στην απώλεια χημικά δεσμευμένου νερού, παρατηρείται σχετικά χαμηλό ποσοστό που κυμαίνεται ανάμεσα στο 1.32% έως και το 2.8% για όλα τα επιχρίσματα.

Στο τελευταίο θερμοκρασιακό διάστημα αυτό των 600° C και άνω, παρατηρείται σημαντική απώλεια μάζας, άνω των 40% σε όλα τα επιχρίσματα, η οποία απώλεια μάζας οφείλεται στην έκλυση διοξειδίου του άνθρακα, λόγω διάσπασης των ανθρακικών ενώσεων. Συνεπώς, προκύπτει ότι όλα τα δείγματα έχουν εξαιρετικά υψηλή περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο, άνω των 90%. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει ότι οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του κονιάματος ήταν ασβεστιτικής φύσεως.

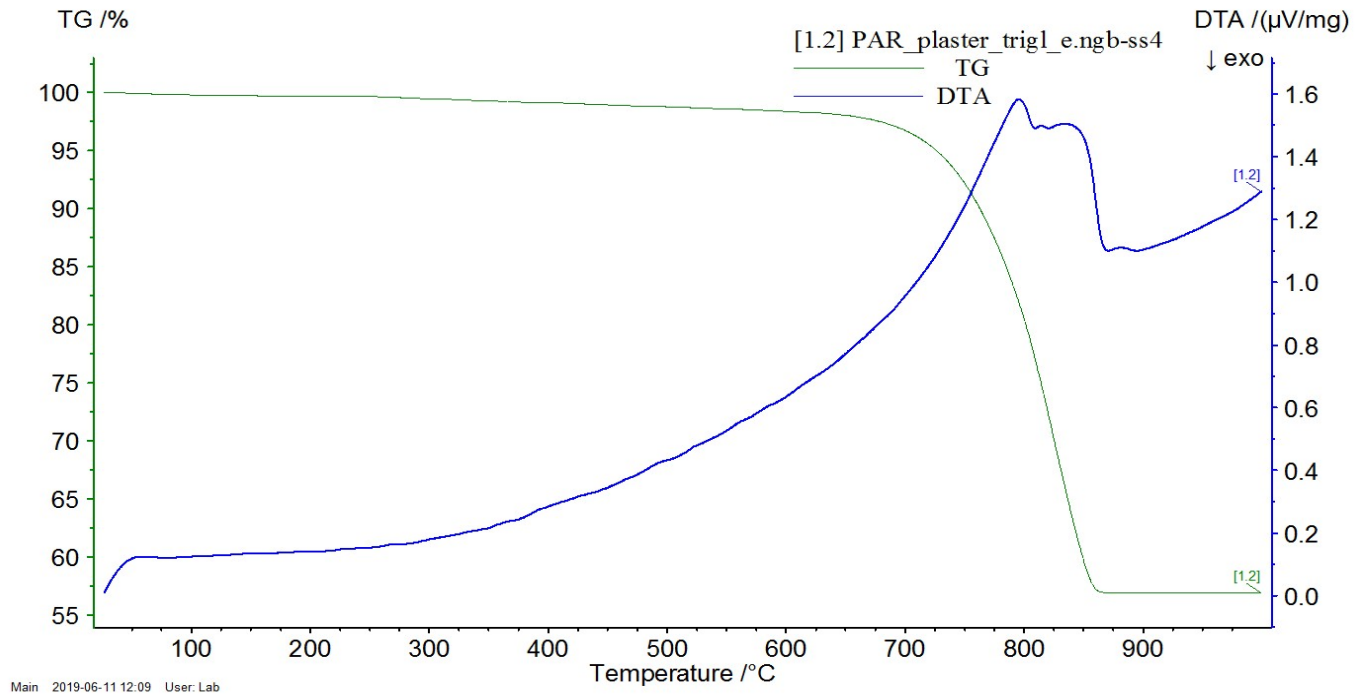
Να σημειωθεί ότι από τους αντίστροφους δείκτες υδραυλικότητας (λόγος απώλειας μάζας χημικά δεσμευμένου νερού προς απώλεια μάζας λόγω διάσπασης ανθρακικών ενώσεων), προκύπτει ότι όλα τα ιστορικά επιχρίσματα είναι τυπικά ασβεστιτικά επιχρίσματα. Το γεγονός ότι ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι υψηλότερος του 10 υποδεικνύει ότι δεν είναι υδραυλικής φύσεως (Moropoulou, Bakolas, & Anagnostopoulou., 2005).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

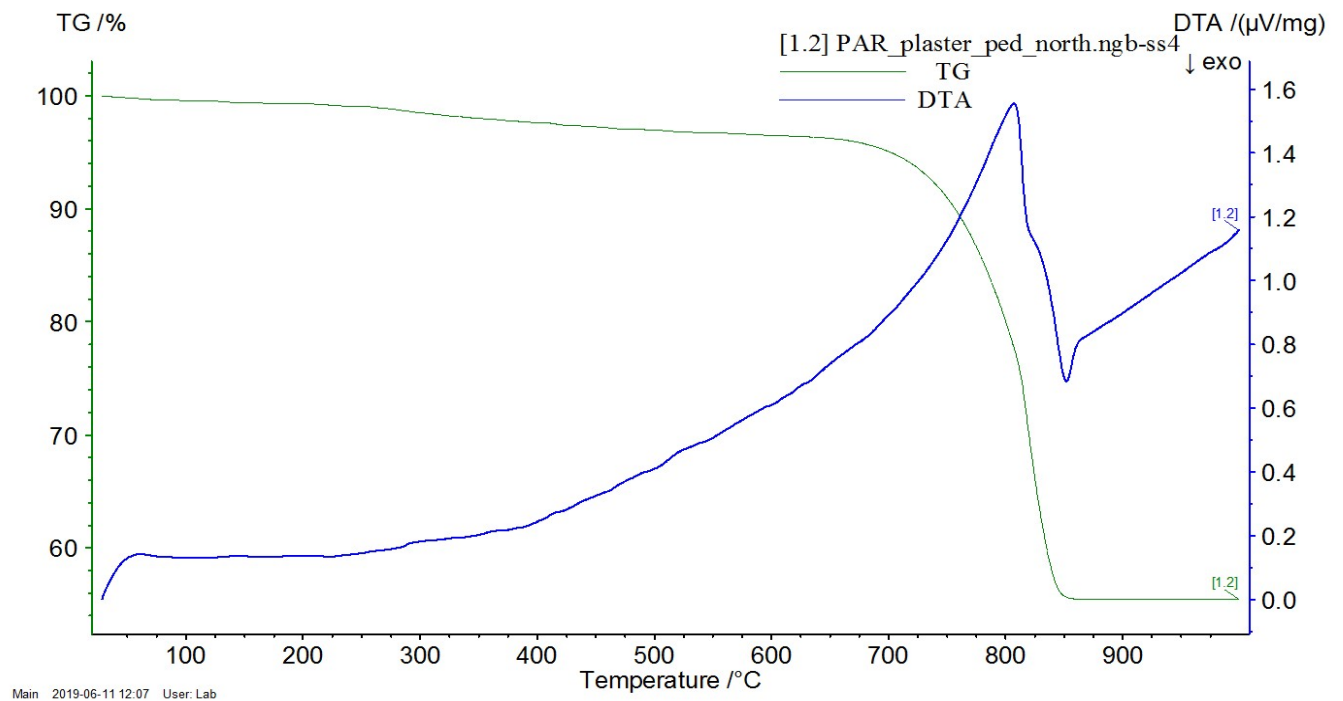
Όλα τα εξεταζόμενα επίχρισματα παρουσιάζουν διπλή ενδόθερμη κορυφή στα διαγράμματα της διαφορικής θερμικής ανάλυσης στο θερμοκρασιακό διάστημα μετά τους 600°C. Οι ενδόθερμες αυτές κορυφές αποδίδονται στην διάσπαση ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο ωστόσο υπάρχει σε διαφορετική κρυσταλλικότητα και άρα διασπάται σε διαφορετικές θερμοκρασίες (π.χ. ασβεστίτης κόνιας - ασβεστίτης αδρανών).

Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα της θερμοβαρυμετρικής και θερμικής ανάλυσης σε κάθε ένα επίχρισμα ξεχωριστά.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

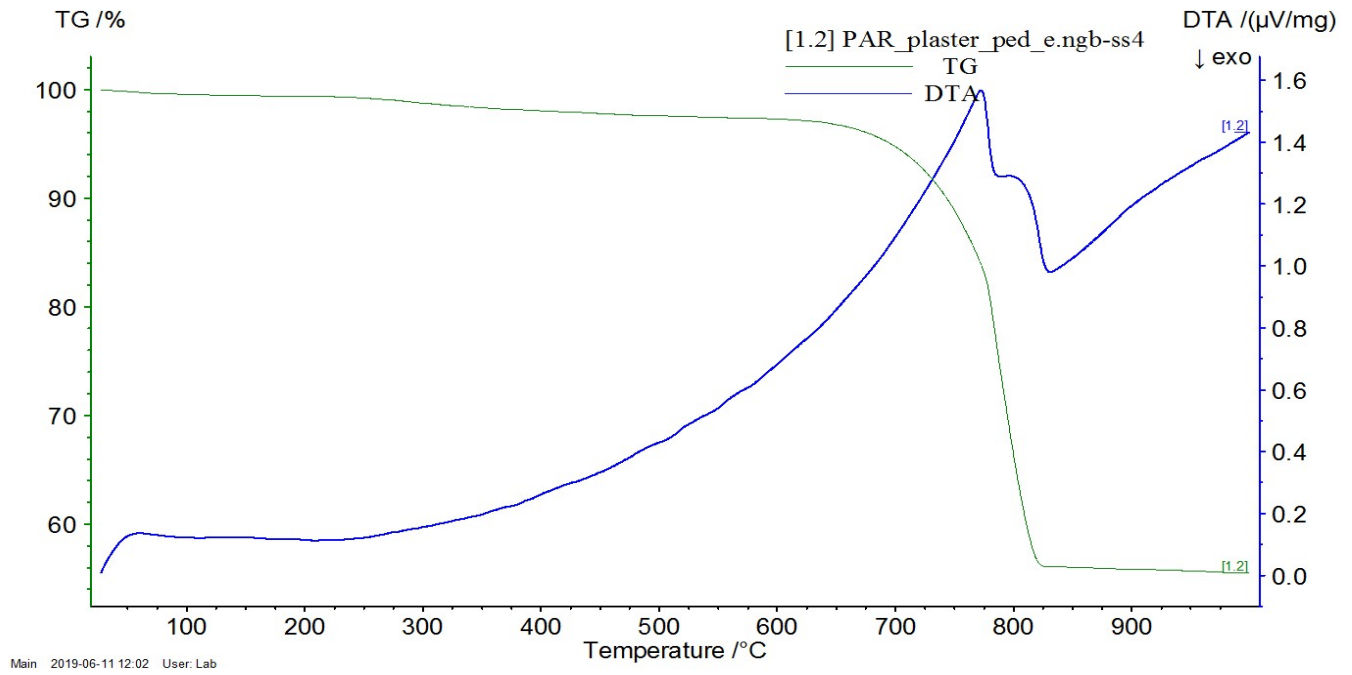


Διάγραμμα 5: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης Επιχρίσματος 1

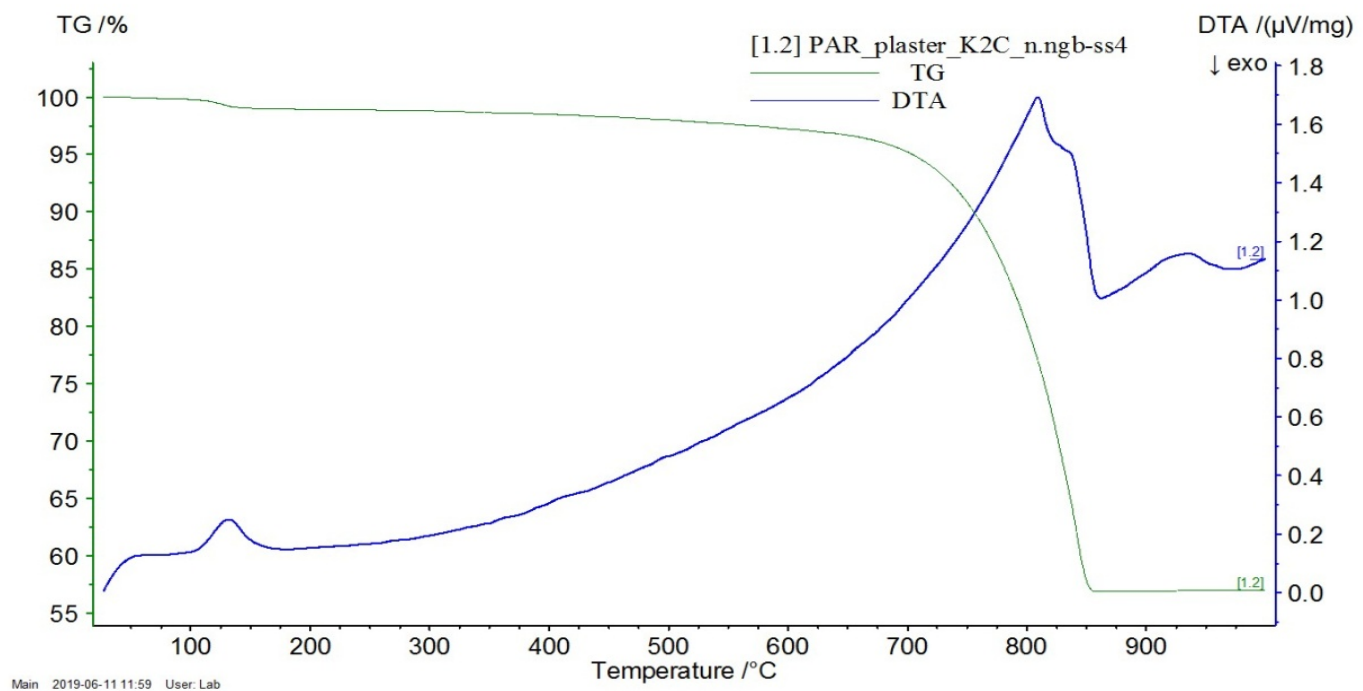


Διάγραμμα 6: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης Επιχρίσματος 2

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 7: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης Επιχρίσματος 3



Διάγραμμα 8: Διάγραμμα θερμικής ανάλυσης Επιχρίσματος 4

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.1.1.2.4. Προσδιορισμός ολικών διαλυτών αλάτων (SST%)

Η εξέταση καθώς και η μελέτη του προσδιορισμού των ολικών διαλυτών αλάτων των τεσσάρων δειγμάτων επιχρίσματος, έγινε σύμφωνα με το πρότυπο Normal 13/83. Οι μάζες των δειγμάτων επιχρισμάτων και οι μετρήσεις αγωγιμότητας κάθε διαλύματος συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα, καθώς και το ποσοστό διαλυτών αλάτων σε καθένα από αυτά, το οποίο θα υπολογιστεί με βάση τον τύπο που αναφέρθηκε παραπάνω (Κεφάλαιο 3 – υποκεφάλαιο 3.2.7). Επίσης, παρουσιάζεται και ο παρακάτω πίνακας με τα αποτελέσματα του χημικού ποιοτικού ελέγχου, με την ποιοτική ανίχνευση ιόντων, με την τεχνική «spot test».

Πίνακας 22: Αποτελέσματα προσδιορισμού διαλυτών αλάτων. Μετρήσεις Αγωγιμότητας.

Κωδικός	C(μS)	T°C	SST%	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	NO ₃ ⁻	pH
Επίχρισμα 1	37,8	26,4	2,45	+	-	-	8,43
Επίχρισμα 2	37,5	26,4	2,44	+	-	√	8,51
Επίχρισμα 3	45,2	26,4	2,97	++	-	-	8,5
Επίχρισμα 4	83,7	26,4	5,61	++	++	-	8,71

Να αναφερθεί ότι όλα τα εξεταζόμενα επιχρίσματα, εμφανίζουν τιμές ολικών διαλυτών αλάτων μικρότερες της κρίσιμης τιμής του 3%, εκτός από το *Επίχρισμα 4*, που εμφανίζει περίπου 5.5%, λόγω της παρουσίας γύψου που είναι προϊόν διάβρωσης του. Άρα, το pH είναι φυσιολογικό για τα ασβεστιτικά. Τέλος, στο *Επίχρισμα 2* η θετική σημείωση στην στήλη των νιτρικών ιόντων δηλώνει την ύπαρξη τους.

Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων των τεσσάρων επιχρισμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 23: Κλίμακα Περιεκτικότητας Ιόντων

Κλίμακα περιεκτικότητας	
++++++	Πολύ υψηλή
+++++	Υψηλή
++++	Μέτρια
+++	Χαμηλή
++	Πολύ χαμηλή
+	Ίχνη
√	Παρουσία
-	Καθόλου

Να σημειωθεί ότι στον παραπάνω πίνακα η θετική σημείωση στην στήλη των νιτρικών ιόντων δηλώνει την ύπαρξη ή μη νιτρικών ιόντων στο δείγμα, καθώς η μέθοδος ανίχνευσης με διάλυμα διφαινυλαμίνης δεν δίνει ένδειξη για την ποσότητα των ιόντων που υπάρχουν στο διάλυμα.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.1.1.3 Διαμόρφωση προτάσεων για τη μεθοδολογία επεμβάσεων καθαρισμού

Σύμφωνα με το Normal document 20/85 “ Επεμβάσεις συντήρησης: στρατηγική, εκτέλεση και προληπτική αξιολόγηση” ICR-CNR Roma 1985, ο καθαρισμός ορίστηκε ως: “η απομάκρυνση κάθε ουσίας η οποία είναι επιβλαβής για την πέτρα: διαλυτά άλατα, κρούστες όχι πολύ διαλυτές ή αδιάλυτες, διαστρωματώσεις διαφορετικών υλικών σκόπιμα εφαρμοσμένων και μη σταθερών, εκκρίσεις ζώων, ανεπτυγμένη βλάστηση, κ.α.

Ο καθαρισμός είναι ζωτικής σημασίας βήμα στις επεμβάσεις συντήρησης, γιατί η συνολική επιτυχία των επεμβάσεων αυτών εξαρτάται από την ακρίβεια και την αισθητική ποιότητα της φάσης του καθαρισμού. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν η προς καθαρισμό επιφάνεια υποφέρει από προχωρημένη διάβρωση ή έχει χαμηλό βαθμό συνοχής, όπως ο αρχαίος λίθος του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα.

Εξαιτίας παλαιότερων αλλά δυστυχώς και νεότερων ανεπιτυχών επεμβάσεων καθαρισμού, οι οποίες προκάλεσαν αισθητικές και φυσικοχημικές φθορές, καθώς και θεωριών που υποστηρίζουν ότι οι κρούστες δρουν σαν παθητικά στρώματα που προστατεύουν την πέτρα, ή άλλων θεωριών που υποστηρίζουν ότι αν ένα μνημείο καθαριστεί θα δείχνει “τόσο νέο και λευκό”, δημιουργείται η εντύπωση ότι δεν πρέπει να εφαρμόζονται επεμβάσεις καθαρισμού.

Ο καθαρισμός όμως παρότι είναι ένα μη αντιστρεπτό στάδιο των επεμβάσεων συντήρησης, είναι και ένα απαραίτητο στάδιο τους για τους παρακάτω λόγους:

1. Για **αισθητικούς** λόγους, εξαιτίας της αλλοίωσης του χρώματος λόγω φυσικής φθοράς ή/και φθοράς που προκλήθηκε από παλαιότερες επεμβάσεις.
2. Για **φυσικούς και φυσικοχημικούς** λόγους:
 - απομάκρυνση επικαθήσεων - αποθέσεων (άνθρακας, άργιλοι, σκόνη, προϊόντα καύσεων κ.α.)
 - απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και αλλοίωσης της επιφάνειας (κρούστες, γύψος, κηλίδες, κ.α.)
 - απομάκρυνση βιολογικών παραγόντων διάβρωσης
 - απομάκρυνση διαλυτών αλάτων
3. Για να επιφέρει **ενεργειακή αναβάθμιση** στη φθαρμένη επιφάνεια, αλλά παράλληλα όμως τη μικρότερη δυνατή τραχύτητα, άρα η καθαρισμένη επιφάνεια θα διαθέτει τη μικρότερη δυνατή ειδική επιφάνεια και άρα τη μικρότερη δυνατή επιδεκτικότητα στη φθορά, καθιστώντας την έτσι, ικανή να δεχθεί τις περαιτέρω επεμβάσεις συντήρησης (προστασία, στερέωση).
4. Τέλος, για την **προβολή του μνημείου και της καλλιτεχνικής του αξίας**.

Βάσει των παραπάνω, καθώς και των αποτελεσμάτων της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, καθίσταται σαφές ότι δεν μπορεί να λάβει χώρα αφαλάτωση στους αρχαίους λίθους, αφού αυτή θα οδηγούσε σε μείωση των μηχανικών τους αντοχών και πιθανά σε δεύτερο χρόνο ρήξη της συνοχής τους.

Σε ό,τι αφορά τον περιορισμό της ανάπτυξης της βιοδιάβρωσης προτείνεται η χρήση χημικών ουσιών στοχευμένης δράσης. Πιο συγκεκριμένα, προτείνεται για την απομάκρυνση των βρύων και λειχήνων η εφαρμογή υδατικού διαλύματος υποχλωριώδους

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

λίθου και για την απομάκρυνση των μυκήτων εφαρμογή υδατικού διαλύματος αμπικιλίνης.

Σε σχέση με την απομάκρυνση του πυρήνα σκυροδέματος, καθώς και των τσιμεντιτικών επιχρισμάτων/συμπληρωμάτων προτείνεται η χρήση ήπιων μηχανικών μέσων, όπως νυστέρια, μαλακές βούρτσες νάιλον, ξέστρα, δονούμενα ξέστρα, μικρά τρυπάνια, οδοντιατρικά εργαλεία, λεπτά γυαλόχαρτα και σμυριδόχαρτα (400-600Mesh), από έμπειρους και εξειδικευμένους συντηρητές, έτσι ώστε να μην λάβει χώρα απομάκρυνση αυθεντικού υλικού. Πολύ χρήσιμη τεχνική για την απομάκρυνση του τελικού στρώματος σκυροδέματος / τσιμέντου από την επιφάνεια του αρχαίου λίθου μπορεί να αποδειχθεί η χρήση οδοντιατρικού εργαλείου με υπερήχους. Με αυτήν την τεχνική εκπέμπονται δονήσεις που φτάνουν στην κρούστα προς απομάκρυνση μέσω ενός μορφοτροπέα με σχήμα σπάτουλας και ενός λεπτού στρώματος νερού. Είναι επαρκές να περνά ξυστά ο μορφοτροπέας από την επιφάνεια της πέτρας χωρίς να την αγγίζει, γιατί το νερό μεταδίδει τις δονήσεις προκαλώντας την αποκόλληση της κρούστας/ επικαθήσης. Ακολουθεί ξέπλυμα με νερό για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων των επικαθήσεων. Πρόκειται για μια μέθοδο πλήρως ελεγχόμενη και ακριβείας, ενώ έχει αποδειχτεί πολύ χρήσιμη για την απομάκρυνση στρωμάτων από πολυχρωμίες. Όμως έχει μικρή ταχύτητα δράσης και γι’ αυτό εφαρμόζεται σε επιφάνειες μικρής έκτασης. Συνεπώς σε περίπτωση χρήσης της θα πρέπει να εξοπλιστεί το εργοτάξιο με πληθώρα τέτοιων συσκευών.

Εναλλακτική πρόταση για την επιτυχημένη απομάκρυνση του τελικού στρώματος σκυροδέματος / τσιμέντου από την επιφάνεια του αρχαίου λίθου μπορεί να αποδειχθεί η χρήση laser, αφού όμως πρώτα αποτιμηθεί πιλοτικά η δράση της ανάλογα με τα τεχνικά της χαρακτηριστικά σε σχέση με τις θερμικές επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εφαρμογή της στα επιφανειακά στρώματα του λίθου, αλλά και στα άλατα, αφού λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται, υπάρχει πιθανότητα να λάβουν χώρα διάφορες αντιδράσεις που επιδεινώνουν τη συνεκτικότητα του λίθου.

Τέλος, άλλη μία τεχνική που θα μπορούσε, κατόπιν αποτίμησης, να εφαρμοστεί για την απομάκρυνση του τελικού στρώματος σκυροδέματος / τσιμέντου από την επιφάνεια του αρχαίου λίθου, είναι το βιολογικό επίθεμα, πάστα που στο παρελθόν έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη για δύσκολες επεμβάσεις καθαρισμού σκληρών και μεγάλου πάχους κρουστών. Το βιολογικό επίθεμα εφαρμόζεται με πάστες σηπιολίθου και περιλαμβάνει τα παρακάτω προϊόντα:

- | | |
|---|-------|
| 1. H ₂ O | 1lt |
| 2. (NH ₂) ₂ CO (ουρία) | 50 g |
| 3. (CH ₂ OH) ₂ CHOH (γλυκερίνη) | 20 ml |

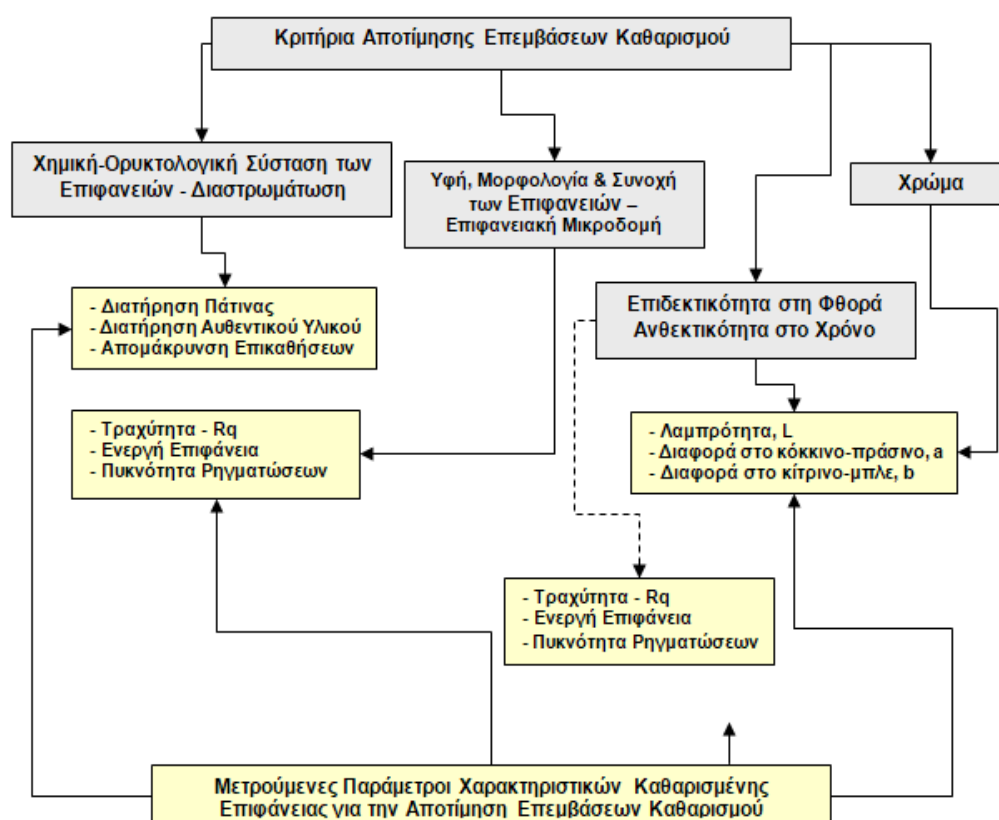
Η άργιλος πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 2cm και πρέπει να καλύπτεται με φύλλα πολυαιθυλενίου. Η πάστα αφήνεται για ένα μήνα (αν και έχουν καταγραφεί επιτυχή αποτελέσματα και για εφαρμογές μικρότερου χρονικού διαστήματος της τάξης των 2 με 3 εβδομάδων) και απομακρύνει το μεγαλύτερο μέρος της κρούστας μετά από ξέπλυμα με νερό. Μετά η επιφάνεια ξεπλένεται με ένα βιοκτόνο (το οποίο αν είναι διαλυτό στο νερό προστίθεται στο νερό που ξεπλένει την πάστα), έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα διάβρωσης που προκαλούνται από βακτήρια.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Οι πιλοτικές εφαρμογές των παραπάνω μεθόδων στην κλίμακα του μνημείου θα αποδείξουν ποια τεχνική ή ποιος συνδυασμός τους έχει την καλύτερη και πιο συμβατή αποτελεσματικότητα για την απομάκρυνση σκουροδέματος / τσιμέντου από τις αρχιτεκτονικές επιφάνειες των αρχαίων λίθων.

Τέλος, για την απομάκρυνση υπολειμμάτων σκουριάς στις περιοχές που οι αρχαίοι λίθοι βρίσκονταν σε επαφή τους μεταλλικούς συνδέσμους, προτείνεται η εφαρμογή πάστας χαρτοπολτού με διάλυμα $\text{CH}_2\text{OHCO}_2\text{SH}$ 5% κ.ο. εξουδετερωμένου με NH_3 μέχρι 7.5 pH. Αυτή η πάστα εφαρμόζεται έως ότου να παύσει να χρωματίζεται ιώδης (χρώμα των δημιουργούμενων συμπλόκων του σιδήρου) και στη συγκεκριμένη περίπτωση θα πρέπει να δοκιμαστεί για να διαπιστωθεί ο βέλτιστος αριθμός επαναλήψεων που δεν θα επηρεάζει τα οξειδία και τα υδροξείδια του σιδήρου που περιέχονται στο αυθεντικό δομικό υλικό και να αποφευχθεί η ανάπτυξη δυσχρωμιών στον λίθο.

Σε κάθε περίπτωση, οι όποιες επεμβάσεις καθαρισμού τελικά εφαρμοστούν, θα πρέπει πρώτα να έχουν εφαρμοστεί πιλοτικά στην κλίμακα του μνημείου και να έχουν αποτιμηθεί συστηματικά τα χαρακτηριστικά της προκύπτουσας καθαρισμένης επιφάνειας, τόσο με χρήση μη καταστρεπτικών τεχνικών επί τόπου, όσο και στο εργαστήριο κατόπιν δειγματοληψίας, όπως συνοπτικά περιγράφεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής. Έτσι θα μπορούσαμε να αποφανθούμε για την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων καθαρισμού που εν τέλει θα χρησιμοποιηθούν στο μνημείο, γεγονός που μπορεί να συμβάλει στην απρόσκοπτη και καλή λειτουργία του εργοταξίου, καθώς και στη διατήρηση στο χρόνο των αυθεντικών δομικών υλικών με κριτήρια συμβατότητας και αειφορίας.



Εικόνα 65: Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας Αποτίμησης Επεμβάσεων Καθαρισμού

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.1.1.4 Διαμόρφωση προτάσεων για τη μεθοδολογία επεμβάσεων στερέωσης

Λόγω της κακής κατάστασης διατήρησης του μνημείου, στην ενότητα αυτή γίνεται διερεύνηση της πιθανότητας στερέωσης του αρχαίου λίθου, με σκοπό την αύξηση της συνοχής του και, ιδανικά, την βελτίωση της μηχανικής του συμπεριφοράς.

Ένα στερεωτικό υλικό, πρέπει να πληροί συγκεκριμένα κριτήρια ώστε να είναι αποδεκτή η χρήση του σε δομικά υλικά μνημείων και ιστορικών κατασκευών, ενώ η χρήση του απαιτεί κατάλληλη προετοιμασία της υπό στερέωση περιοχής. Το στερεωτικό δεν πρέπει να μεταβάλλει σε μεγάλο βαθμό το πορώδες του υλικού, δεν πρέπει να μεταβάλλει την ορυκτολογική και χημική σύσταση του υπό στερέωση λίθου, ενώ παράλληλα πρέπει η μεταβολή που προκαλείται με τη χρήση του στις χρωματομετρικές παραμέτρους και στην υφή του λίθου να είναι εντός αποδεκτών ορίων. Το στερεωτικό θα πρέπει να έχει ικανοποιητική ικανότητα διείσδυσης, ώστε να στερεώνεται όχι μόνο η ζώνη φθοράς, αλλά και η υποκείμενη ζώνη, για την αποφυγή ανισοτροπίας ανάμεσα στη ζώνη στερέωσης και του υποκείμενου όγκου του λίθου. Μια τέτοια ανισοτροπία, θα μπορούσε να καταστεί καταστροφική για το μέλος που στερεώνεται, καθώς θα μπορούσε να οδηγήσει σε διαχωρισμό των δυο περιοχών και ενδεχομένως κατάρρευση του εξωτερικού τμήματος στην περίπτωση δυναμικής καταπόνησης, σε συνέργεια με την ανομοιόμορφη κατανομή υγρασίας και διαλυτών αλάτων ανάμεσα στις εν λόγω περιοχές.

Σαν στερεωτικά μέσα, και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του λίθου, τη φθορά που εμφανίζουν και το ιδιαίτερο περιβάλλον του μνημείου, θα μπορούσαν να προταθούν υλικά της παρακάτω λογικής:

- προϋδρολυμένος πυριτικός αιθυλεστέρας με άμορφη πυριτία υψηλής καθαρότητας υδατική κολλοειδής διασπορά νανοσωματιδίων άμορφης πυριτίας
- πυριτικός αιθυλεστέρας σε διαλύτη αιθυλικής αλκοόλης

Προφανώς η χρήση οποιουδήποτε στερεωτικού μέσου, δεν μπορεί να προταθεί χωρίς την εφαρμογή των εν λόγω υλικών πιλοτικά στον υπό εξέταση λίθο. Η αποτίμηση της εφαρμογής τους, πρέπει να γίνει και μέσω εργαστηριακών δοκιμών και μέσω επί τόπου μη καταστρεπτικών μετρήσεων. Μέσω εργαστηριακών δοκιμών, μπορεί να γίνει αποτίμηση της διαφοροποίησης που επιφέρει η χρήση του στερεωτικού στην χημική σύσταση της επιφάνειας, το ποσοστό και εν συνεχεία η αποτίμηση που η χρήση του επιφέρει στο πορώδες του λίθου, ενώ μέσω μη καταστρεπτικών τεχνικών, μπορεί να διερευνηθεί το βάθος διείσδυσης, το ποσοστό βελτίωσης της ταχύτητας υπερήχων σε σχέση με την τιμή που εμφανίζει ο λίθος προ της στερέωσης και που συνδέεται με την αύξηση της συνοχής, καθώς και αποτίμηση των αισθητικών μεταβολών, μέσω χρωματομετρίας για παράδειγμα.

Η εφαρμογή υλικών σιλανικής-σιλοξανικής βάσης θα μπορούσε ίσως να προταθεί, ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτατη κροκίδωση όταν οι λίθοι περιέχουν υψηλές ποσότητες αλάτων, ενώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το βάθος διείσδυσης του στερεωτικού υλικού δεν θα είναι το απαιτούμενο στην περίπτωση των αρχαίων λίθων στον Ναό του Πυθίου Απόλλωνα. Παράλληλα, η χρήση τους προκαλεί μείωση της μέσης ακτίνας πόρων μετά την εφαρμογή τους, ενώ πρέπει να τονιστεί και ότι με την προσθήκη στερεωτικών αλλάζει η επιφανειακή τάση των πόρων και η ειδική τους επιφάνεια. Συνεπώς, σε κάποιες περιπτώσεις, όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα διαλυτών αλάτων στο περιβάλλον του

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μνημείου, μπορεί να εντατικοποιηθούν οι παράγοντες φθοράς στην επιφάνεια και εν συνεχεία στη μάζα του υλικού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι, για να μπορέσει να εφαρμοστεί ένα στερεωτικό υλικό, πρέπει να προηγηθεί εξυγίανση της υπό στερέωσης περιοχής και καθαρισμός από τυχόν άλατα κλπ. Ωστόσο, αφαλάτωση δεν προτείνεται στην υπό εξέταση περίπτωση, καθώς αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει ακόμα και σε ρήξη της συνάφειας των λίθων, όπως προαναφέρθηκε στην αμέσως προηγούμενη ενότητα. Παράλληλα, η μη απομάκρυνσή των αλάτων θα παρεμπόδιζε την διείσδυση του στερεωτικού στο επιθυμητό βάθος. Συνεπώς, είμαστε επιφυλακτικοί σε σχέση με τη χρήση στερεωτικών υλικών στην εν λόγω εφαρμογή.

Από την άλλη μεριά, θα μπορούσε κανείς να αντιπροτείνει τη χρήση ενέματος, για τη σφράγιση μικρορωγμών και για τη στερέωση του Ναού εν τω συνόλω. Στην περίπτωση εφαρμογής ενέματος, θα πρέπει η εφαρμογή να γίνει με πολύ μεγάλη προσοχή, μέσω μικροενεματώσεων, (μικρό-ενέσεων) στα κενά των λίθων και στις ρηγματώσεις.

Ωστόσο και η εφαρμογή ενέματος απαιτεί τον καθαρισμό των δομικών υλικών στα οποία θα εφαρμοστεί, καθώς η παρουσία αλάτων δεν θα επιτρέψει ικανοποιητική διείσδυση. Συνεπώς, η χρήση του είναι επίφοβη και θα πρέπει να γίνει μόνο έπειτα από ενδελεχείς πιλοτικές εφαρμογές σε κατάλληλο λίθο που θα προσομοιώνει τον αρχαίο λίθο του Ναού.

Όσον αφορά στην στερέωση των αρχαίων επιχρισμάτων επί των λίθινων αρχιτεκτονικών επιφανειών, μπορεί να πραγματοποιηθεί με χρήση ασβεστόνερου, το οποίο να περιέχει ακρυλικό γαλάκτωμα έως 3%, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική στερέωση αυτών των ασβεστιτικών υλικών.



Εικόνα 66: Αρχαίο Επίχρισμα σε αρχαίους λίθους σπονδύλων και τριγλύφου

4.2. Χαρακτηριστικά δομικού λίθου αποκατάστασης από το λατομείο Σφουγγάρια Α

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάστηκε λίθος από το λατομείο Σφουγγάρια στην Ρόδο, και μάλιστα από τη θέση Α του λατομείου.

Ο λίθος αυτός, από ορυκτολογικής απόψεως χαρακτηρίζεται ως βιοκλαστικός ψαμμιτικός ασβεστόλιθος, με ασβεστιτική συγκολλητική ύλη, με κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη (CaCO_3) και κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία (SiO_2). Είναι πανομοιότυπος πετρογραφικά και ορυκτολογικά με τον αρχαίο λίθο. Η χημική σύσταση του εν λόγω λιθότυπου εμφανίζει υψηλό ποσοστό ανθρακικών ενώσεων που μαρτυρούν την

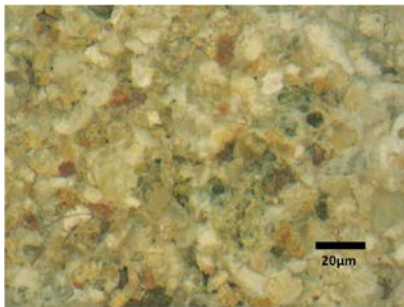
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

υψηλή περιεκτικότητα του υλικού σε ασβεσίτη και υψηλή περιεκτικότητα σε ένυδρα αργιλοπυριτικά συστατικά. Δεν υποδεικνύει συνεκτική δομή, παρουσιάζοντας σχετικά χαμηλή ταχύτητα διάδοσης υπερήχων (~1063 m/s) και σχετικά υψηλό ολικό ανοιχτό πορώδες (~13,03%) με μέση ακτίνα πόρων στα 5μm περίπου (Γαλανάκη, 2019). Όσον αφορά στις μηχανικές του αντοχές, αυτές μετρήθηκαν με βάση το πρότυπο ASTM D7012 – 10. Εν συνεχεία, προκύπτει ότι η μέση θλιπτική αντοχή του εν λόγω λιθότυπου, όπως μετρήθηκε σε διαμορφωμένα κυλινδρικά δοκίμια εκτιμάται στα 10,27 MPa με χαρακτηριστική τιμή τα 8,93 MPa (Κόνιαρης, 2019).

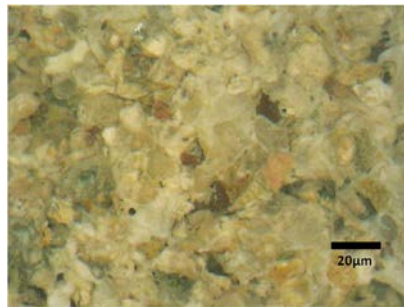
Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας σε ειδικά διαμορφωμένα κυλινδρικά δοκίμια.

4.2.1. Ψηφιακή Μικροσκοπία

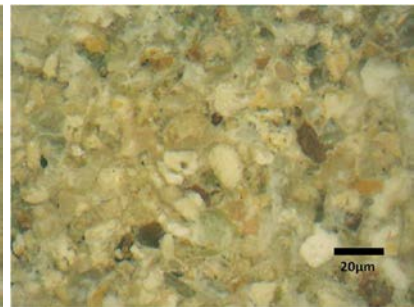
Παρακάτω παρατίθενται οι φωτογραφίες των δέκα κυλινδρικών δοκιμίων λίθου Σφουγγάρια Α μέσω Ψηφιακής Μικροσκοπίας, με φακό μεγέθυνσης x30.



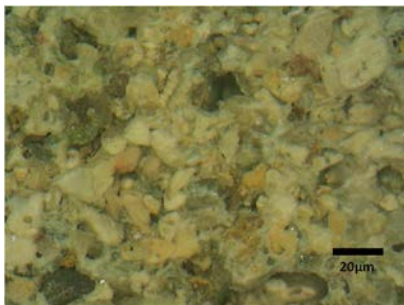
Εικόνα 67: Sa_1



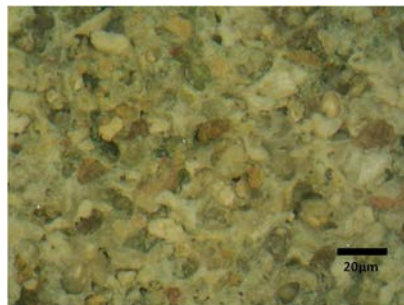
Εικόνα 68: Sa_2



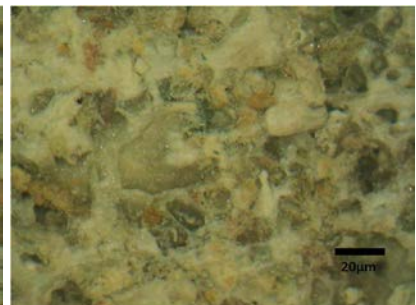
Εικόνα 69: Sa_3



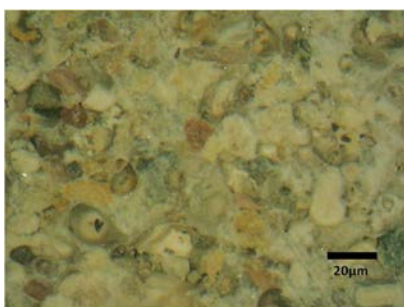
Εικόνα 70: Sa_4



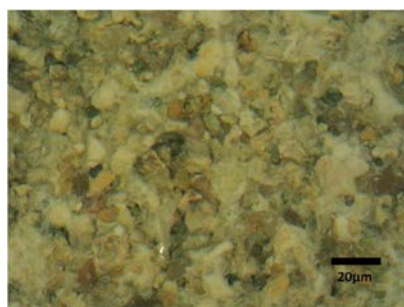
Εικόνα 71: Sa_5



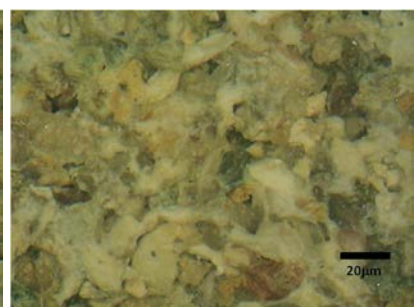
Εικόνα 72: Sa_6



Εικόνα 73: Sa_7

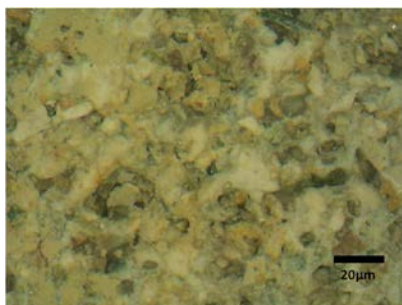


Εικόνα 74: Sa_8



Εικόνα 75: Sa_9

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Εικόνα 76: Sa_10

4.2.2. Υδατοαπορρόφηση με Δοκιμές Τριχοειδούς Αναρρίχησης

Κατά την διάρκεια της υλοποίησης των πειραμάτων πάνω στο λίθο αποκατάστασης για την εκπόνηση της μεταπτυχιακής αυτής εργασίας, έλαβε χώρα στο εργαστήριο το πείραμα της Υδατοαπορρόφησης μέσω δοκιμών τριχοειδούς αναρρίχησης.

Συνεπώς, πραγματοποιήθηκε η πειραματική διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης για τα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου Σφουγγάρια Α. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων της Υδατοαπορρόφησης, των δέκα δοκιμίων.

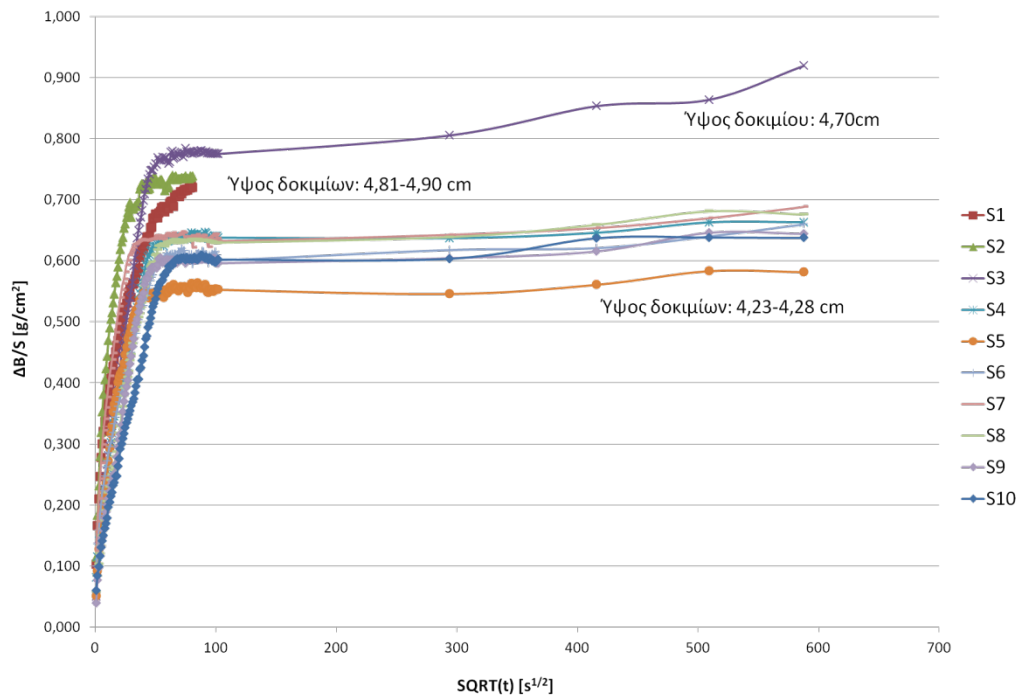
Πίνακας 24: Αποτελέσματα της Υδατοαπορρόφησης για τα δέκα δοκίμια λίθου αποκατάστασης Sa_1 έως Sa_10

Κωδικός ΣΦΟΥΓΓΑΡΙΑ Α	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. (g/(cm ² sec ^{1/2}))	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%)	Ολικό Πορώδες προσβάσιμο μέσω τριχοειδών (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)
Sa_1	0,0132	9,66	14,96	1,85
Sa_2	0,0176	9,64	15,08	1,84
Sa_3	0,0159	11,07	19,56	1,77
Sa_4	0,0129	8,45	15,53	1,84
Sa_5	0,0141	7,47	13,72	1,84
Sa_6	0,0107	8,28	15,49	1,86
Sa_7	0,0158	8,82	16,20	1,84
Sa_8	0,0127	8,78	15,98	1,82
Sa_9	0,0126	8,13	15,08	1,85
Sa_10	0,0099	8,09	14,90	1,84
Μέσος όρος	0,0135	8,84	15,65	1,84
Τυπική απόκλιση	0,0023	1,03	1,53	0,03

Παρατηρείται ότι η τυπική απόκλιση των μετρούμενων μεγεθών στα δοκίμια που εξετάστηκαν είναι αρκετά χαμηλή, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη τη φύση και την φυσική ανομοιογένεια του υλικού.

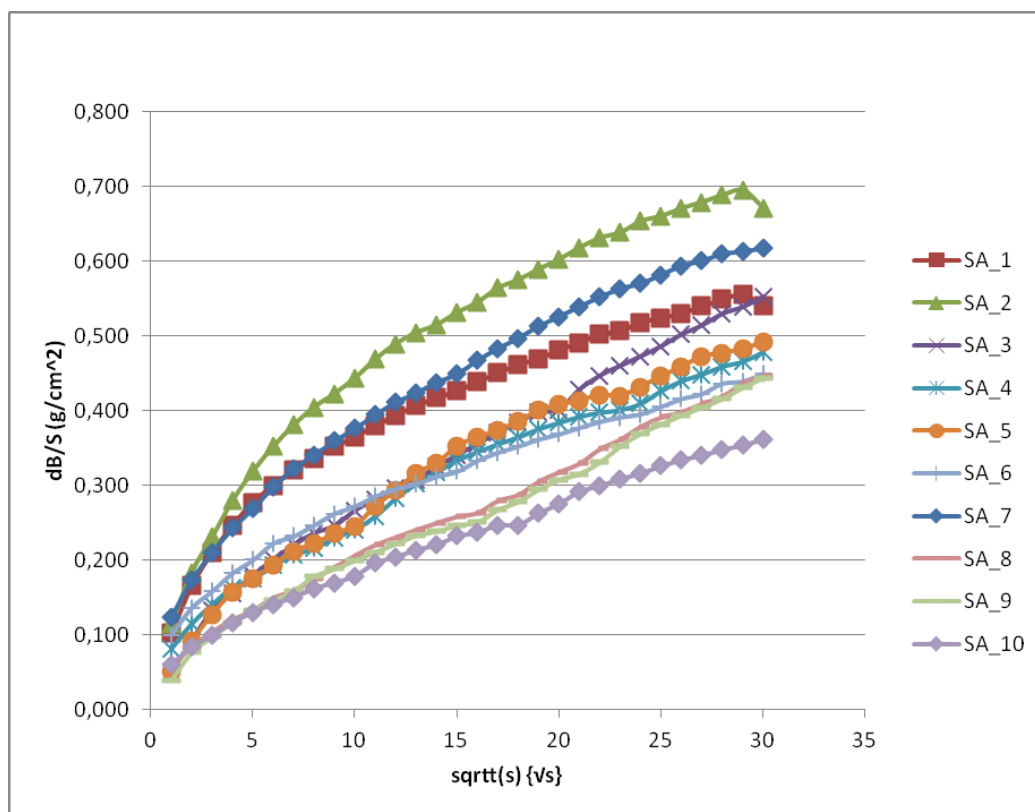
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Να σημειωθεί ότι σπουδαίο ρόλο στην συνολική διαμόρφωση και κατάληξη του πειράματος αυτού, κατέχει η γεωμετρία των δοκιμών, κυρίως οι διαστάσεις που αφορούν το ύψος του κάθε κυλινδρικού δοκιμίου ξεχωριστά. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται το διάγραμμα της τριχοειδούς αναρρίχησης και των δέκα κυλινδρικών δοκιμών, όλα μαζί σε ένα διάγραμμα και αναγράφονται τα ύψη τους. Για τα πρώτα τρία σύνθετα Sa_1, Sa_2 και Sa_3, αυτά κατατάσσονται σε ύψη από 4,70 - 4,90cm, και τα υπόλοιπα επτά δηλαδή, Sa_4 έως Sa_10 από 4,23 – 4,28cm.



Διάγραμμα 9: Συγκριτικό Διάγραμμα τριχοειδούς αναρρίχησης για τα δέκα δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, για τον μέγιστο χρόνο της πειραματικής διαδικασίας

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 10: Συγκριτικό Διάγραμμα Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω Τριχοειδών, για τα δέκα δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

4.2.3. Ολική Εμβάπτιση Δοκιμίων σε Νερό

Στα πλαίσια της πειραματικής διαδικασίας αυτής της διπλωματικής εργασίας έγινε και η ολική εμβάπτιση των δειγμάτων σε νερό, σύμφωνα με τη διαδικασία που αναφέρθηκε στο πειραματικό μέρος (Κεφάλαιο 3: υποκεφάλαιο 3.6.2.1). Η εμβάπτιση έγινε στα ήδη επιλεχθέντα δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, δέκα σε αριθμό. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα τις πειραματικής διαδικασίας με τα αποτελέσματα των κύριων ιδιοτήτων τους που προκύπτουν από τη πειραματική διαδικασία.

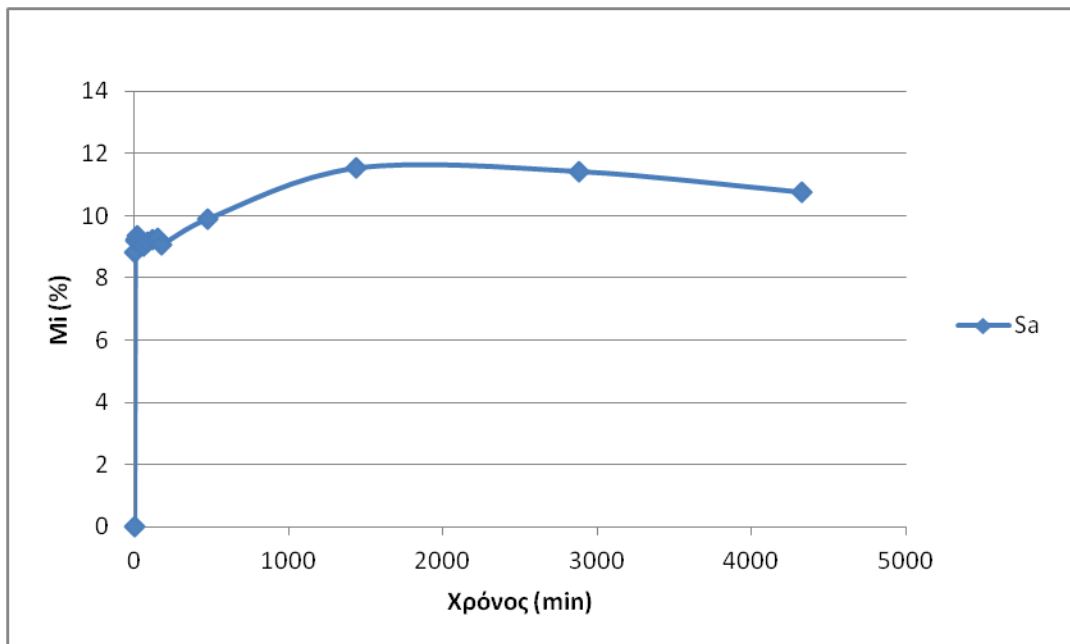
Πίνακας 25: Αποτελέσματα Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό για λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

Κωδικός λίθου	WAC μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)
Σφουγγάρια Α	10,75	18,31	1,70

Παρατηρείται ότι η φαινόμενη πυκνότητα που εκτιμήθηκε μέσω της μάζας και της γεωμετρίας του δοκιμίου, σε κανονικοποιημένο δοκίμιο, είναι υψηλότερη από την αντίστοιχη φαινόμενη πυκνότητα που εκτιμήθηκε μέσω της δοκιμής ολικής εμβάπτισης (1,84 και 1,70 g/cm³ αντίστοιχα). Επίσης, παρατηρείται ότι το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (18,31%) είναι μεγαλύτερο, σε σχέση με το ολικό πορώδες προσβάσιμο μέσω τριχοειδών (15,65%). Τέλος, παρατηρείται ότι και το WAC μέσω ολικής εμβάπτισης είναι μεγαλύτερο από το WAC μέσω τριχοειδών (10,75% και 8,84% αντίστοιχα).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Έπειτα, παρατίθεται το διάγραμμα που προκύπτει μετά από τις μετρήσεις για την απορρόφηση νερού μέσω ολικής εμβάπτισης του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α.



Διάγραμμα 11: Καμπύλη Ρόφησης Νερού με Ολική Εμβάπτιση

4.2.4. Υπερηχοσκόπηση

Τα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α μελετήθηκαν ως προς την ταχύτητα διάδοσης υπερήχων διαμέσου αυτών. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο της σχολής Χημικών Μηχανικών. Οι μετρήσεις υπερηχοσκόπησης πραγματοποιήθηκαν με την άμεση μέθοδο, δηλαδή ο πομπός και ο δέκτης των υπερήχων βρίσκονται στην ίδια διεύθυνση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα Υπερηχοσκόπησης για Λίθο Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

Κωδικός	Απόσταση (cm)	Χρόνος (μs)	Ταχύτητα (m/s)
Sa_1	4,81	17,9	2687,2
Sa_2	4,90	16,5	2969,7
Sa_3	4,70	17,5	2685,7
Sa_4	4,27	14,3	2986,0
Sa_5	4,24	14,0	3028,6
Sa_6	4,26	13,6	3132,4
Sa_7	4,25	13,8	3079,7
Sa_8	4,23	14,3	2958,0
Sa_9	4,27	13,9	3071,9
Sa_10	4,28	13,9	3079,1
Μέσος όρος			2967,8 m/s
Τυπική απόκλιση			158,2

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα του πίνακα, παρατηρείται ότι την υψηλότερη ταχύτητα την παρουσιάζει το κυλινδρικό δοκίμιο λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α με κωδική ονομασία Sa_6. Σε αντίθεση με το κυλινδρικό δοκίμιο λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, με κωδική ονομασία Sa_3, το οποίο παρουσιάζει την μικρότερη ταχύτητα

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

από τα δέκα δοκίμια. Τέλος, ο μέσος όρος ταχύτητας υπερήχων για το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α κυμαίνεται στα 2967,8 m/s καθώς και η τυπική απόκλιση στα $\pm 158,2$.

4.2.5. Χρωματομετρία

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε και ο προσδιορισμός του χρώματος στο λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, μέσω της χρωματομετρίας. Σε κάθε δοκίμιο έγιναν 8 μετρήσεις των μεγεθών L^* , a^* και b^* κυρίως στην άνω πλευρά του δοκιμίου. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε ο μέσος όρος του κάθε ενός και μετά έγινε ο υπολογισμός των μεγεθών C^* και h^* . Συνεπώς, διεξαχθήκαν τα αποτελέσματα από τις επεξεργασμένες μετρήσεις που παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 27: Αποτελέσματα Χρωματομετρίας για Λίθο Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α

Κωδικός	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
PAR_Sa	67.90	2.66	10.63	-3.64	0.20

Στην συνέχεια παρατίθεται πίνακας με τα αποτελέσματα των μετρήσεων μέσω της χρωματομετρίας για τον αρχαίο λίθο 1 και το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, όπου υλοποιήθηκε και η σύγκριση μεταξύ τους.

Πίνακας 28: Συγκριτικά αποτελέσματα χρωματομετρίας Λίθου Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α σε σχέση με τον αρχαίο λίθο 1

ΕΙΔΟΣ	L^*	a^*	b^*	Σε σχέση με τον αρχαίο λίθο 1		
				ΔE^*_{94}	$\Delta C^*_{2,1}$	$\Delta h^*_{2,1}$
Αρχαίος λίθος 1	55.63	3.94	14.06	N/A	N/A	N/A
Σφουγγάρια Α	67.90	2.66	10.63	12.49	-3.64	0.20

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι δεν υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές όσον αφορά στο χρώμα των δύο ειδών λίθου (αρχαίου και αποκατάστασης). Η λαμπρότητα των λίθων κυμαίνεται στις τιμές [55.63-67.90], το μέγεθος a^* κυμαίνεται στις τιμές [2.66-3.94], το μέγεθος b^* κυμαίνεται στις τιμές [10.63-14.06]. Ακόμη τα μεγέθη που υπολογίστηκαν από τα a^* και b^* κυμαίνονται: το C^* στις τιμές [-3.64-N/A] και το h^* στις τιμές [0.20-N/A].

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.3 Κονιάματα αποκατάστασης – Παρασκευή και αποτίμηση χαρακτηριστικών – Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκε ένα εμπορικό κονίαμα με βάση τη φυσική υδραυλική ασβέστο, χωρίς τσιμέντο, με σκοπό την εξέτασή της συμβατότητάς του με τον πιθανό λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρι Α. Το κονίαμα αυτό φέρει την εμπορική ονομασία Malta STRUTTURALE NHL 777 και στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία την κωδική ονομασία C_NHL. Στα παρακάτω υποκεφάλαια θα παρουσιαστεί όλος ο πειραματικός σχεδιασμός καθώς και τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων, από καταστρεπτικές και μη τεχνικές, που υποβλήθηκε το κονίαμα αυτό.

4.3.1 Φωτογραφική τεκμηρίωση και Ψηφιακή Μικροσκοπία

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η φωτογραφική τεκμηρίωση του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, καθώς και η μικροσκοπική του τεκμηρίωση με βάση την Ψηφιακή Μικροσκοπία (FOM). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε η παραλαβή του κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου από τον TITANA A.E. στο εργαστήριο του τμήματος των Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου ήταν ένα ενιαίο κομμάτι, το οποίο κόπηκε για τις ανάγκες της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Από τα τέσσερα μέρη που προέκυψαν, μονάχα τα δύο θεωρήθηκαν ορθώς διαστασιολογημένα και κανονικοποιημένα δοκίμια προς μελέτη. Παρακάτω παρουσιάζεται το ενιαίο κομμάτι κονιάματος, καθώς και τα δύο μέρη που προέκυψαν μετά την κοπή του, που θεωρήθηκαν κατάλληλα προς την διεξαγωγή εργαστηριακών πειραμάτων.



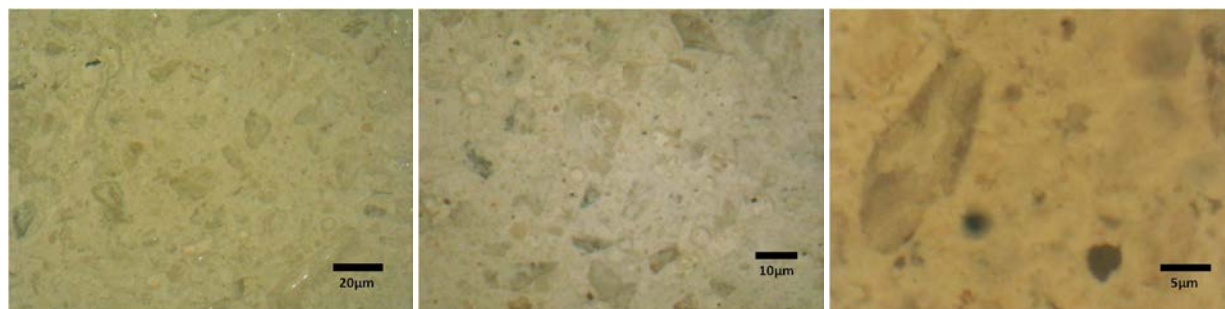
Εικόνα 77: Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL (πριν την κοπή)



Εικόνα 78: Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL (μετά την κοπή)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Στην συνέχεια ακολουθεί η ψηφιακή μικροσκοπία του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με φακούς εστίασης x30, x50 και x120.



Εικόνα 79: Με φακό εστίασης x30 Εικόνα 80: Με φακό εστίασης x50 Εικόνα 81: Με φακό εστίασης x120

4.3.2. Θερμοβαρμετρική και Διαφορική Θερμική ανάλυση (DTA/TG)

Τα μεμονωμένα κονιάματα μελετήθηκαν μέσω θερμοβαρμετρικής και διαφορικής θερμικής ανάλυσης σε συγκεκριμένες ηλικίες δοκιμίων (28 ημέρες και 90 ημέρες), ώστε να μελετηθεί η εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων. Η θερμική ανάλυση του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με κωδική ονομασία C_NHL, πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας. Παρακάτω παρουσιάζονται σε Πίνακα τα αποτελέσματα από την ανάλυση αυτή.

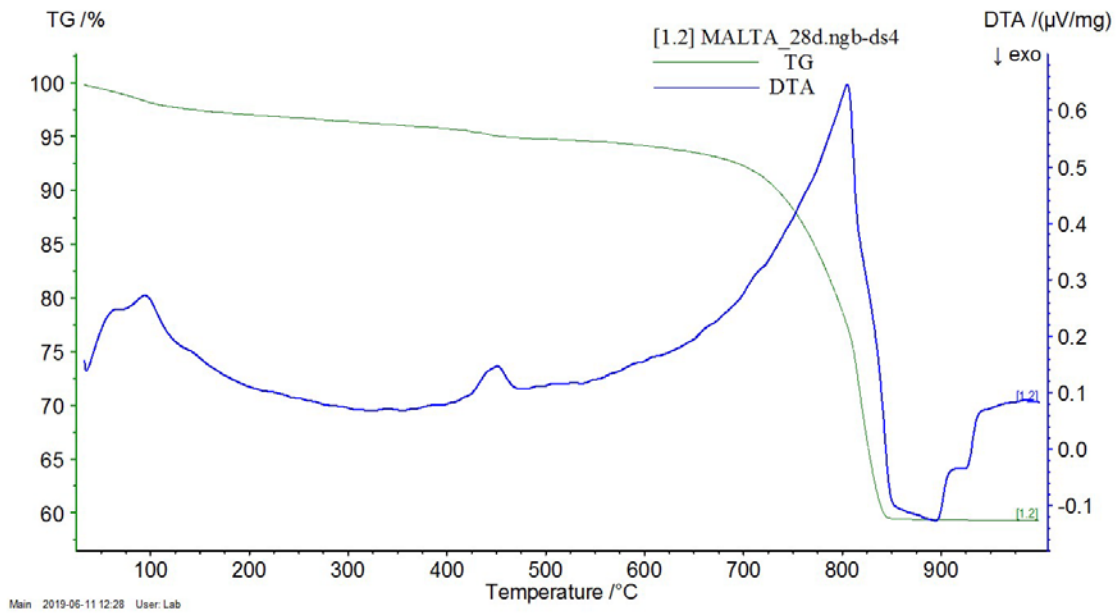
Πίνακας 29: Αποτελέσματα Θερμοβαρμετρικής Ανάλυσης

Κωδικός σύνθεσης	Ηλικία δοκιμίου (μέρες)	Απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (%)				Απώλεια μάζας λόγω αφυδροξυλίωσης πορτλαντίτη (%)	Αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας
		<120 °C	120-200 °C	200-600 °C	>600°C		
C_NHL	28	2,06	0,75	2,88	34,87	0,74	9,61
	90	1,14	0,61	3,34	36,68	0,44	9,29

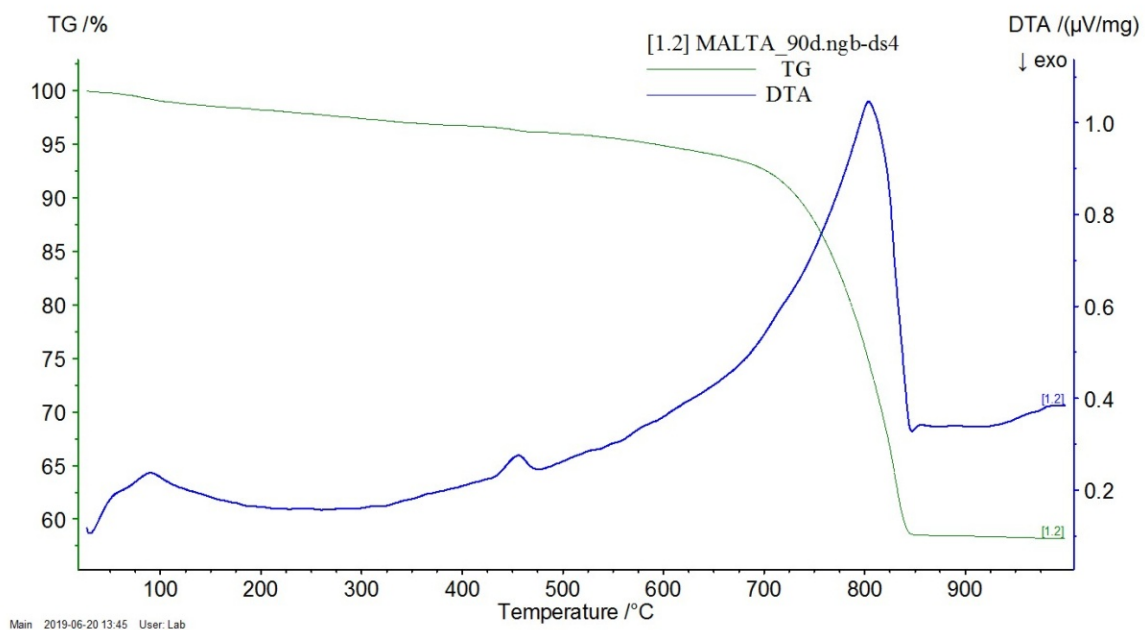
Παρατηρείται ότι για το θερμοκρασιακό διάστημα <120° C, που οφείλεται στο φυσικά ροφημένο νερό, η απώλεια μάζας είναι άνω του 1%, τιμή χαρακτηριστική υδραυλικού κονιάματος. Εμφανίζει ικανά ποσοστά απώλειας μάζας (χημικά δεσμευμένο νερό), στο θερμοκρασιακό διάστημα από 200° C έως 600° C, και συνεπώς ικανή παρουσία υδραυλικών ενώσεων. Η απώλεια μάζας στο διάστημα αυτό αυξάνεται από τις 28 ημέρες στις 90 ημέρες, υποδεικνύοντας τον σχηματισμό υδραυλικών ενώσεων, ο οποίος συνεχίζεται μέχρι τις 90 ημέρες. Στις 90 ημέρες ταυτοποιείται η ύπαρξη υδροξειδίου του ασβεστίου που παραμένει στο κονίαμα, ωστόσο το ποσοστό είναι μειωμένο σε σχέση με τις 28 ημέρες. Ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι κάτω του 10, ωστόσο σχετικά υψηλός, υποδεικνύοντας σχετικά χαμηλή υδραυλικότητα.

Στην συνέχεια, παρουσιάζονται και τα διαγράμματα από την θερμοβαρμετρική και θερμική ανάλυση για τις 28 και 90 ημέρες αντίστοιχα του C_NHL, στις παρακάτω εικόνες:

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 12: Διάγραμμα Θερμικής Ανάλυσης εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης C_NHL (28 ημέρες).



Διάγραμμα 13: Διάγραμμα Θερμικής Ανάλυσης εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης, C_NHL (90 ημέρες).

4.3.3. Υδατοαπορρόφηση με Δοκιμές Τριχοειδούς Αναρρίχησης

Το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, μελετήθηκε σε μέτρηση απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον κάτωθι πίνακα.

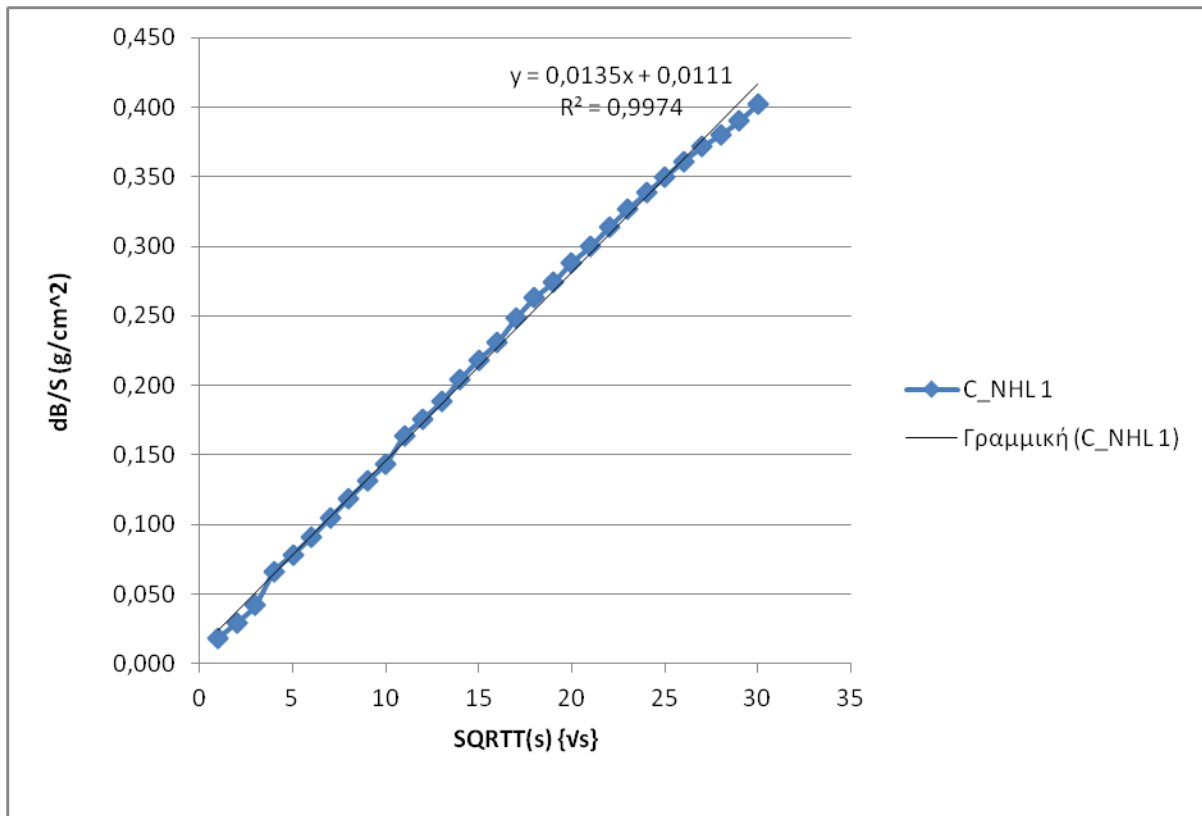
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 30: Αποτελέσματα από Υδατοαπορρόφηση μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης

Κωδικός σύνθεσης	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. (g/(cm ² sec ^{1/2}))	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%)	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδών (%)	Φαινόμενη Πυκνότητα (g/cm ³)
C_NHL_1	0,0135	14,53	22,00	1,58
C_NHL_2	0,0146	14,75	22,04	1,61
M.O. C_NHL	0,0141	14,64	22,02	1,595

Παρακάτω παρουσιάζεται τα αντίστοιχα διαγράμματα απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης για C_NHL_1 και C_NHL_2.

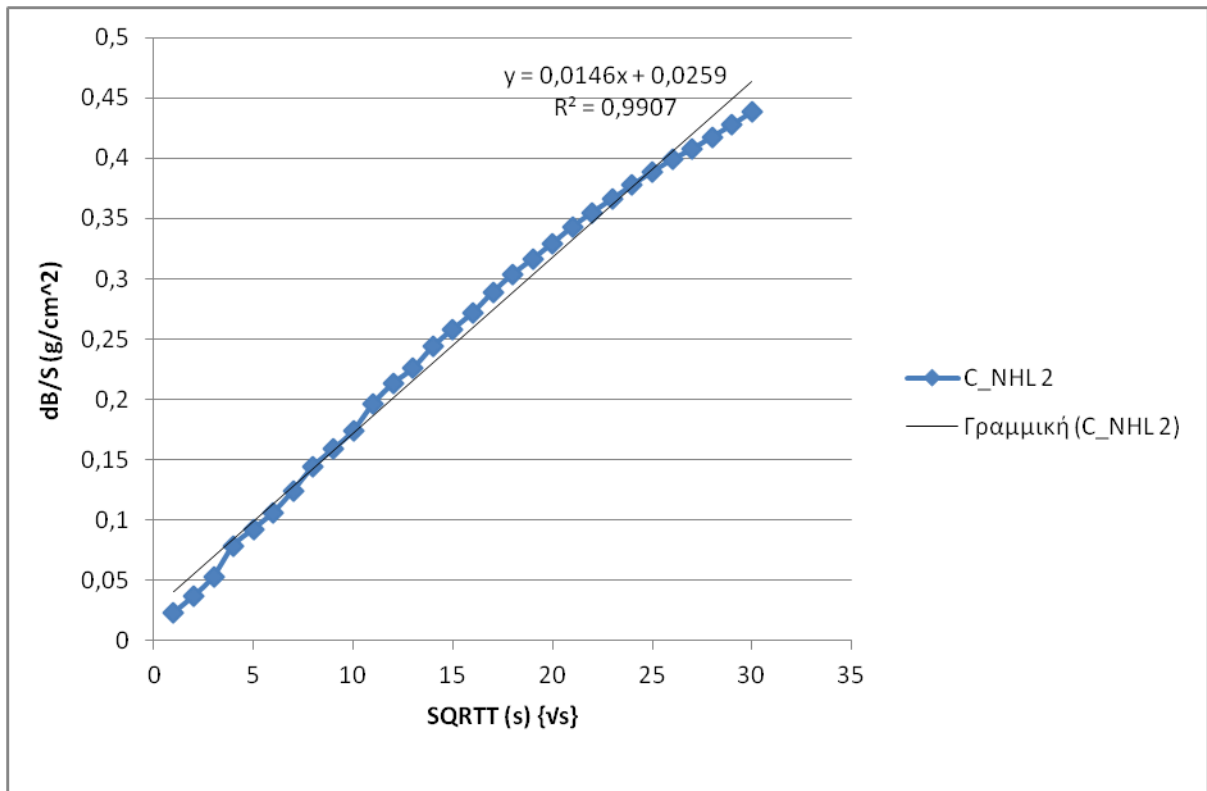
Για το δοκίμιο του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης C_NHL 1, δίνεται το διάγραμμα με τον συντελεστή Υδατοαπορρόφησης, μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.



Διάγραμμα 14: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL 1.

Έπειτα, παρατίθεται παρακάτω το διάγραμμα για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL 2, ο συντελεστής Υδατοαπορρόφησης, μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.

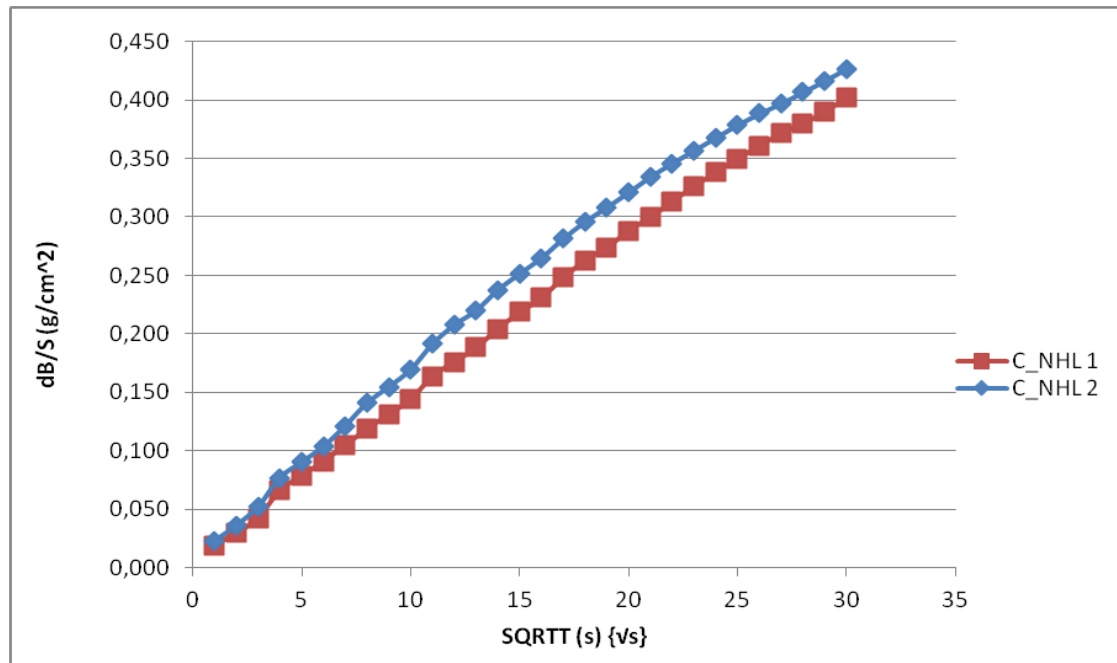
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



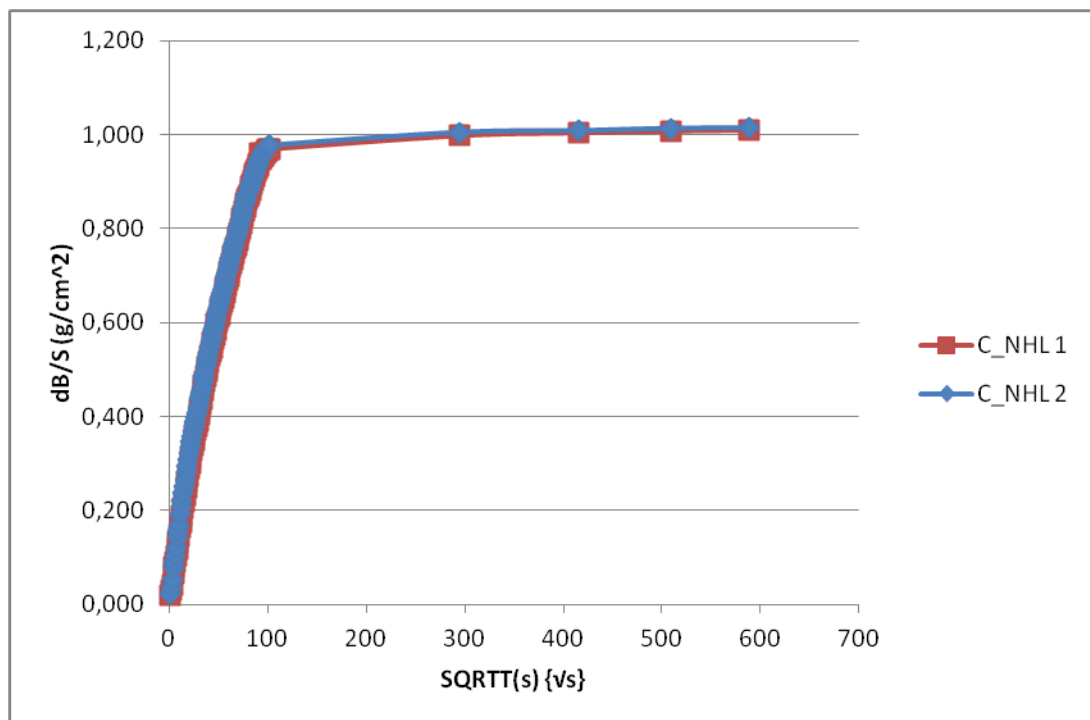
Διάγραμμα 15: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL 2

Στην συνέχεια, παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα των συντελεστών Υδατοαπορρόφησης για τα δύο δοκίμια κονιαμάτων αποκατάστασης C_NHL 1 & C_NHL 2.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 16: Συγκριτικό Διάγραμμα για τον Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης των C_NHL 1 & C_NHL 2
Τέλος, παρατίθεται παρακάτω το συγκριτικό διάγραμμα των δύο δοκιμών εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης C_NHL 1 & C_NHL 2, για τον συνολικό χρόνο της πειραματικής διαδικασίας της Υδατοαπορρόφησης, μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.



Διάγραμμα 17: Συγκριτικό Διάγραμμα Υδατοαπορρόφησης με δοκιμές Τριχοειδούς Αναρρίχησης των C_NHL 1 & C_NHL 2, για το μέγιστο χρόνο της πειραματικής διαδικασίας

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.3.4. Ολική Εμβάπτιση Δοκιμίων σε νερό

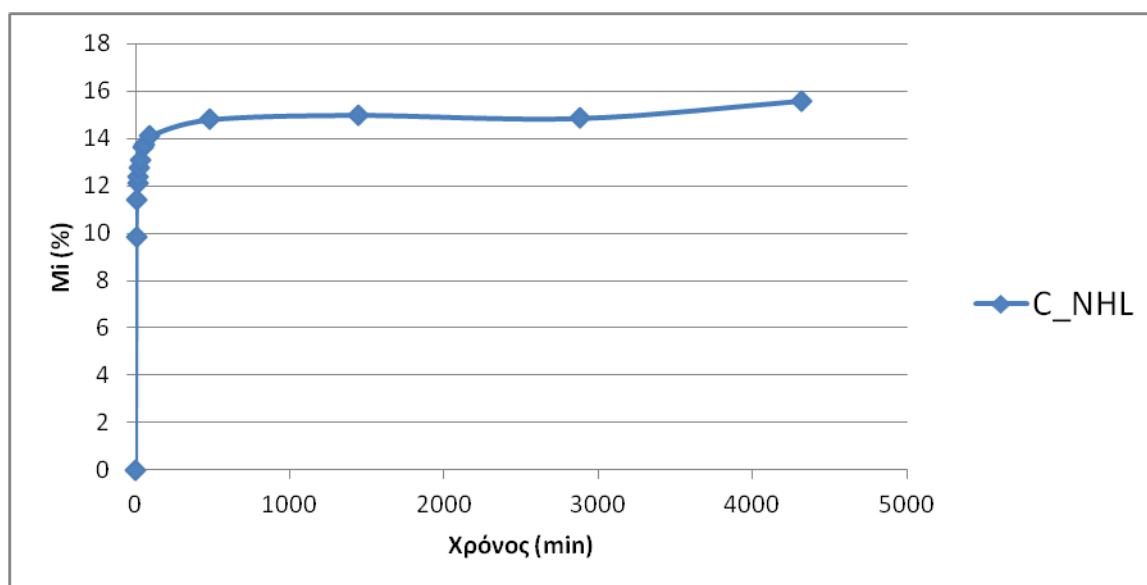
Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, για την μελέτη της απορρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτισης σε ηλικία δοκιμίων 90 ημερών. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 31: Αποτελέσματα από Ολική Εμβάπτιση σε Νερό

Κωδικός σύνθεσης	WAC μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)
C_NHL	15,59	24,77	1,59

Παρατηρείται ότι, το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (24,77%) είναι μεγαλύτερο από το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδών (22,02%). Στην πορεία παρατηρείται ότι το WAC μέσω ολικής εμβάπτισης είναι μεγαλύτερο από εκείνο μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (15,59 % και 14,64 % αντίστοιχα).

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα της απορρόφησης νερού από ολική εμβάπτιση για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL.



Διάγραμμα 18: Καμπύλη Ροφημένου Νερού με Ολική Εμβάπτιση για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL

4.3.5. Υπερηχοσκόπηση

Στην συνέχεια, τα κυβικά δοκίμια που δημιουργήθηκαν από την κοπή, μελετήθηκαν και όσον αφορά στην ταχύτητα των υπερήχων. Πρώτα προσδιορίστηκε η ταχύτητα υπερήχων στο επίπεδο συμπίκνωσης του κονιάματος και μετά των άλλων δύο επιπέδων με την άμεση μέθοδο, δηλαδή ο πομπός και ο δέκτης των υπερήχων βρίσκονται στην ίδια διεύθυνση. Από τα δύο άλλα επίπεδα υπολογίστηκε ο μέσος όρος των ταχυτήτων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω πίνακα.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 32: Αποτελέσματα από τις μετρήσεις της Υπερηχοσκόπησης

Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου	Απόσταση (cm)	Χρόνος (μs)	Ταχύτητα (m/s)	Μέσος Όρος Ταχύτητας (m/s)	Τυπική Απόκλιση
C_NHL_1	4,05	14,6	2774,0	2797,7	37,9
C_NHL_2	4,12	14,5	2841,4		
C_NHL_3	4,50	16,2	2777,8		

4.3.6. Χρωματομετρία

Στο κεφάλαιο αυτό θα μελετηθεί η τεχνική της χρωματομετρίας ως ένα μέσο για τα αισθητικά αποτελέσματα του κονιάματος. Τα αποτελέσματα που διεξήχθησαν μέσω της χρωματομετρίας για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 33: Αποτελέσματα από τις μετρήσεις της Χρωματομετρίας

Κωδικός	AVERAGE L	stdev	AVERAGE a	stdev	AVERAGE b	stdev
C_NHL 1	84,11	0,55	2,18	0,16	7,78	0,75
C_NHL 2	83,49	0,83	2,02	0,11	7,29	0,38

Έπειτα, παρατίθενται σε πίνακα μια συγκριτική μελέτη όσον αφορά στα αποτελέσματα που έδωσε η χρωματομετρία για το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, σε σύγκριση με τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α.

Πίνακας 34: Σύγκριση μετρήσεων Χρωματομετρίας για Λίθο Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, σε σχέση με το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL 1 & C_NHL 2

Κωδικός	AVERAGE L	stdev	AVERAGE a	stdev	AVERAGE b	Stdev
Σφουγγάρια Α	70,29	1,69	2,33	0,20	9,64	0,67
C_NHL_1	84,11	0,55	2,18	0,16	7,78	0,75
C_NHL_2	83,49	0,83	2,02	0,11	7,29	0,38

Παρατηρείται ότι οι μετρήσεις που προέκυψαν από την Χρωματομετρία του εμπορικού κονιάματος φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, είναι κοντινές με εκείνες του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α. Η μεγαλύτερη διαφορά παρατηρείται στο L, όπου το κονίαμα C_NHL παρουσιάζει κατά μέσο όρο 83,8 και ο λίθος Σφουγγάρια Α παρουσιάζει κατά μέσο όρο 70,29. Οι τιμές στο a* είναι αρκετά κοντινές, όμως στο b* οι τιμές έχουν ελαφρώς μια μικρή διαφορά.

4.3.7. Συγκριτική μελέτη εξεταζόμενων κονιαμάτων αποκατάστασης

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί συγκριτική μελέτη του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), το οποίο μελετήθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας, με τα υπόλοιπα κονιάματα αποκατάστασης (L_NP_12.5, NHL_M1_D και ME).

Τα κονιάματα που μελετήθηκαν για αυτόν τον σκοπό ήταν ένα κονίαμα ασβέστη-φυσικής ποζολάνης, ένα κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου με προσθήκη μικρού ποσοστού μετακαολίνη (Πίνακας: 33), καθώς και δυο εμπορικά κονιάματα, ένα με βάση ασβέστη-

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

μετακαολίνη (MasterEmaco TIX285 της BASF) και ένα εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης με βάση τη φυσική υδραυλική ασβέστο (Malta STRUTTURALE NHL 777). Τα τεχνικά δελτία των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή των κονιαμάτων, καθώς και τα τεχνικά δελτία των εμπορικών κονιαμάτων, βρίσκονται στο Παράρτημα ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΕΛΤΙΩΝ της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας.

Τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν, L_NP_12.5 και NHL_M1_D, έχουν μελετηθεί μεμονωμένα στις μεταπτυχιακές εργασίες: «Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα και διερεύνηση πιθανών κονιαμάτων αποκατάστασης» (Καλοφώνου, 2019) και «Γεφύρι της Πλάκας: Χαρακτηρισμός και διάγνωση φθοράς ιστορικών κονιαμάτων – Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης» (Γρυλλάκης, 2019) αντίστοιχα. Παράλληλα, στην πρώτη προαναφερθείσα μεταπτυχιακή εργασία, έχει μελετηθεί μεμονωμένα και το εμπορικό κονίαμα ασβέστη μετακαολίνη, ΜΕ.

Τέλος, το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), μελετήθηκε στο πλαίσιο της παρούσης εργασίας, ώστε να διερευνηθεί η συμπεριφορά του μεμονωμένου κονιάματος, καθώς και του σύνθετου κονιάματος – λίθου αποκατάστασης.

Πίνακας 35: Συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης

Κωδικός σύνθεσης	Αερική ασβέστος (g)	Υδραυλική ασβέστος NHL3.5 (g)	Φυσική Ποζολάνη (g)	Μετα-καολίνης (g)	Πυριτική Άμμος 0-2mm (g)
L_NP_12.5	72,73	-	72,73	-	436,34
NHL_M1_D	-	73,79	-	3,07	230,60

4.3.7.1. Ως προς τα νωπά χαρακτηριστικά κονιαμάτων αποκατάστασης

Τα χαρακτηριστικά των νωπών κονιαμάτων μελετήθηκαν στο εργαστήριο κονιαμάτων του TITAN A.E. και παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 36: Χαρακτηριστικά Νωπών Κονιαμάτων

Κωδικός σύνθεσης	Νερό/κονία (ασβέστης & ποζολανικό πρόσμικτο)	Νερό/ξηρό κονίαμα (κονία & αδρανή)	Εξάπλωση (cm)	Ειδικό βάρος (g/cm ³)	Συγκρατούμενο νερό (%)
L_NP_12.5	0,89	0,22	15,1	1,96	89,37
NHL_M1_D	0,74	0,19	15,0	2,04	92,41
ME	-	0,19	15,8	2,02	91,93
C_NHL	-	0,21	16,3	1,83	97,35

Τα χαρακτηριστικά των νωπών κονιαμάτων μελετήθηκαν σύμφωνα με το EN1015-3³ (εργασιμότητα μέσω τράπεζα εξάπλωσης), το EN1015-6⁴ (ειδικό βάρος) και το EN1015-8⁵

³ EN1015-3:2007: Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 3. Determination of Consistence of Fresh Mortar (by Flow Table); European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

για το συγκρατούμενο νερό [1,2,3]. Το κονίαμα με φυσική ποζολάνη (L_NP_12.5) είχε μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό σε σχέση με το κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL_M1_D).

Όμως την μεγαλύτερη απαίτηση σε νερό ως προς το ξηρό κονιάμα του (κονία & αδρανή), το έχει το κονίαμα με φυσική ποζολάνη (L_NP_12.5), έπειτα με απειροελάχιστη διαφορά το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), μετά ακολουθεί το εμπορικό κονίαμα με ασβέστη μετακαολίνη (ME), το οποίο είχε την ίδια απαίτηση σε νερό (ως προς το ξηρό κονιάμα) με το κονίαμα της φυσικής υδραυλικής άσβεστου (NHL_M1_D).

Εν συνεχεία, η εξάπλωση επιλέχθηκε ανάλογα με την εργασιμότητα που παρουσίαζε το κάθε κονίαμα. Η εξάπλωση επιλέχθηκε να είναι $15\text{cm} \pm 0.5$, εκτός από το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, το οποίο εμφάνιζε ικανοποιητική εργασιμότητα για πρακτική εφαρμογή σε εξάπλωση 16,3cm.

Όσον αφορά το ειδικό βάρος, το κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL_M1_D) κατέχει το μεγαλύτερο ειδικό βάρος από όλα, ακολουθεί αμέσως μετά το εμπορικό κονίαμα με ασβέστη μετακαολίνη (ME), μετά τρίτο έρχεται το κονίαμα με φυσική ποζολάνη (L_NP_12.5) και τελευταίο, με το μικρότερο ειδικό βάρος στην νωπή κατάσταση, βρίσκεται το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL).

Τέλος, ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για τα κονιάματα αποκατάστασης αποτελεί και το συγκρατούμενο νερό, όπου στην παρούσα εργασία την μεγαλύτερη ποσότητα συγκρατούμενου νερού την παρουσιάζει το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου, ακολουθεί το κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL_M1_D), αμέσως μετά το εμπορικό κονίαμα με ασβέστη μετακαολίνη (ME) και τελευταίο έρχεται το κονίαμα με φυσική ποζολάνη (L_NP_12.5). Προφανώς, ζητούμενο είναι το κονίαμα να παρουσιάζει όσον το δυνατόν υψηλότερο ποσοστό συγκρατούμενου νερού.

4.3.7.2. Ως προς τα χαρακτηριστικά σκληρυμένων κονιαμάτων αποκατάστασης

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φυσικοχημικά, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων αποκατάστασης σε σχέση με τον χρόνο ωρίμανσης.

4.3.7.2.1. Εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων

Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται τα αποτελέσματα της θερμοβαρυμετρικής ανάλυσης όλων των κονιαμάτων για τις 28 και 90 ημέρες.

Πίνακας 37: Αποτελέσματα Θερμοβαρυμετρικής Ανάλυσης

Κωδικός σύνθεσης	Ηλικία δοκιμίου (μέρες)	Απώλεια μάζας ανά θερμοκρασιακό διάστημα (%)				Απώλεια μάζας λόγω αφυδροξυλίωσης πορτλαντίτη (%)	Αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας
		<120 °C	120-200 °C	200-600 °C	>600 °C		

⁴ EN1015-6:2007: Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 6: Determination of Bulk Density of Fresh Mortar; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.

⁵ EN1015-8:2007: Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 8. Determination of Retained Water of Fresh Mortar; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

L_NP_12.5	28	0,64	0,53	1,75	7,77	0,38	3,41
	90	0,55	0,44	2,16	7,39	0,12	2,84
NHL_M1_D	28	0,83	0,52	1,86	7,62	0,62	6,15
	90	0,70	0,47	2,03	8,40	0,00	4,14
ME	28	0,83	0,73	2,24	5,07	0,00	1,71
	90	0,87	0,67	2,44	6,02	0,00	1,94
C_NHL	28	2,06	0,75	2,88	34,87	0,74	9,61
	90	1,14	0,61	3,34	36,68	0,44	9,29

Ως κριτήρια αποτίμησης της εξέλιξης των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα κατά την πήξη και σκλήρυνση ενός κονιάματος, ορίζονται:

- η ταχεία κατανάλωση του υδροξειδίου του ασβεστίου, ώστε να μην δημιουργηθεί δυναμικό στην κατασκευή λόγω υψηλού pH,
- ανάπτυξη ικανής υδραυλικότητας του κονιάματος, ώστε να είναι επιτελεστικό και ανθεκτικό στο περιβάλλον υψηλής αλατονέφωσης της Αρχαίας Ακρόπολης της Ρόδου, δηλαδή χαμηλό δείκτη υδραυλικότητας

Το εμπορικό κονίαμα ME, παρουσιάζει ήδη, από τις 28 ημέρες, μηδενικό ποσοστό υδροξειδίου του ασβεστίου, συνεπώς έχει καταναλωθεί όλη η ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου. Παράλληλα, παρουσιάζει και τον χαμηλότερο δείκτη υδραυλικότητας.

Τα υψηλότερα ποσοστά υδροξειδίου του ασβεστίου, στις 28 ημέρες, παρουσιάζουν τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου, με το εμπορικό κονίαμα να παρουσιάζει υψηλότερο ποσοστό από τη σύνθεση NHL_M1_D. Στις 90 ημέρες, έχει καταναλωθεί όλο το υδροξείδιο του ασβεστίου στη σύνθεση NHL_M1_D, ενώ στο εμπορικό κονίαμα C_NHL παραμένει ένα χαμηλό σχετικά ποσοστό. Παράλληλα, τα κονιάματα φυσικής υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζουν και υψηλούς σχετικά δείκτες υδραυλικότητας, με το εμπορικό κονίαμα C_NHL να παρουσιάζει το υψηλότερο ποσοστό.

Το κονίαμα φυσικής ποζολάνης, παρουσιάζει μια ενδιάμεση κατάσταση των προαναφερθέντων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζει παραμένον υδροξείδιο του ασβεστίου στις 90 ημέρες (ωστόσο χαμηλότερο από το εμπορικό κονίαμα C_NHL), ενώ παρουσιάζει και αντίστροφο δείκτη υδραυλικότητας ενδιάμεσο του εμπορικού κονιάματος ME και των κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου.

4.3.7.2.2. Έλεγχος Υγρομετρικής συμπεριφοράς με την μέθοδο ολικής εμβάπτισης σε νερό

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα διάφορα κονιάματα αποκατάστασης που μελετώνται για την μελέτη της απορρόφησης νερού μέσω ολικής εμβάπτισης σε ηλικία δοκιμίων 90 ημερών. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 38: Αποτελέσματα Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό και τιμές για Σφουγγάρια Α για λόγους σύγκρισης

Κωδικός σύνθεσης	WAC μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (%)	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm ³)
L_NP_12.5	19,69	28,76	1,65

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

NHL_M1_D	16,27	26,88	1,70
ME	15,48	27,88	1,88
C_NHL	15,59	24,78	1,59
Σφουγγάρια Α	10,75	18,31	1,70

Παρατηρείται ότι η σύνθεση του κονιάματος αποκατάστασης L_NP_12.5 παρουσιάζει τον μεγαλύτερο WAC, καθώς και με το μεγαλύτερο ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης (αυτό σημαίνει ότι απορροφά την μεγαλύτερη ποσότητα νερού σε σχέση με τα υπόλοιπα κονιάματα). Παρουσιάζει σχετική χαμηλή φαινόμενη πυκνότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα κονιάματα, ελαφρώς χαμηλότερη του λίθου. Το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL παρουσιάζει σχεδόν σε όλα τα μεγέθη τις μικρότερες τιμές (ολικό πορώδες και φαινόμενη πυκνότητα), εκτός από το WAC, όπου εμφανίζεται προτελευταίο σε κατάταξη, διότι μικρότερο WAC από όλα παρουσιάζει το έτοιμο εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης ME. Το πιο συμβατό κονίαμα αποκατάστασης σε σχέση με το λίθο αποκατάστασης φαίνεται να είναι αυτό του εμπορικού κονιάματος φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, σε σχέση με την συμπεριφορά του στην ολική εμβάπτιση σε νερό.

4.3.7.2.3. Ως προς τις δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης

Τα κονιάματα αποκατάστασης μελετήθηκαν σε μέτρηση απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 39: Αποτελέσματα Υδατοαπορρόφησης μέσω Τριχοειδούς Αναρρίχησης και τιμές για Σφουγγάρια Α για λόγους σύγκρισης

Κωδικός σύνθεσης	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$)	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%)	Ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδών (%)
L_NP_12.5	0,0358	17,97	30,77
NHL_M1_D	0,0121	14,30	23,60
ME	0,0065	14,85	26,48
C_NHL	0,0141	14,75	22,07
Σφουγγάρια Α	0,0135	8,84	15,65

Παρατηρείται ότι η σύνθεση του κονιάματος αποκατάστασης L_NP_12.5 είναι αυτό με τον μεγαλύτερο Συντελεστή υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$), καθώς και με το μεγαλύτερο WAC αλλά και ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδών (αυτό σημαίνει ότι απορροφά την μεγαλύτερη ποσότητα νερού από ότι τα υπόλοιπα κονιάματα μέσω τριχοειδών πόρων). Ακολουθεί το έτοιμο - εμπορικό κονίαμα ME, που έχει το αμέσως μεγαλύτερο WAC και ολικό πορώδες (εύρος τριχοειδών), όμως παρουσιάζει τον μικρότερο συντελεστή υδατοαπορρόφησης σε σχέση με τα υπόλοιπα. Το κονίαμα αποκατάστασης NHL_M1_D καθώς και το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης C_NHL παρουσιάζουν πολύ κοντινές τιμές, με αυτό του C_NHL να είναι πιο συμβατό με το λίθο αποκατάστασης, από τις μετρήσεις που προέκυψαν.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

4.3.7.2.4. Συγκριτική μελέτη δεδομένων της μικροδομής των κονιαμάτων αποκατάστασης

Στην πορεία πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική μελέτη για να εξεταστούν συγκριτικά όλες οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα όσον αφορά στην μικροδομή των κονιαμάτων αποκατάστασης, ώστε να επιτευχθεί το πιο συμβατό και κατάλληλο κονίαμα αποκατάστασης για τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε σύγκριση όσον αφορά στο ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης σε σύγκριση με εκείνο μέσω ολικής εμβάπτισης για τα τέσσερα διαφορετικά κονιάματα αποκατάστασης. Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας για το Πορώδες (%) των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Πίνακας 40: Αποτελέσματα για το Πορώδες (%)

Πορώδες (%)		
Κωδικός σύνθεσης	Τριχοειδής Αναρρίχηση	Ολική εμβάπτιση
L_NP_12.5	30,77	28,76
NHL_M1_D	23,60	26,88
ME	26,48	27,88
C_NHL	22,07	24,78

Παρατηρείται ότι για τα τρία κονιάματα αποκατάστασης NHL_M1_D, ME & C_NHL το ολικό πορώδες προσβάσιμο στο νερό μέσω ολικής εμβάπτισης είναι μεγαλύτερο από εκείνο μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης. Εξάιρεση αποτελεί το κονίαμα L_NP_12.5, όπου ισχύει το αντίστροφο, το οποίο μπορεί να οφείλεται στην τυπική απόκλιση του δείγματος.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με το WAC των τεσσάρων διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης για το πείραμα της Τριχοειδούς Αναρρίχησης σε σύγκριση με το πείραμα της Ολικής Εμβάπτισης σε Νερό.

Πίνακας 41: Αποτελέσματα για το WAC (%)

WAC(%)		
Κωδικός σύνθεσης	Τριχοειδής Αναρρίχηση	Ολική εμβάπτιση
L_NP_12.5	17,97	19,69
NHL_M1_D	14,30	16,27
ME	14,85	15,48
C_NHL	14,75	15,59

Παρατηρείται ότι το WAC μέσω ολικής εμβάπτισης με νερό όλων των κονιαμάτων αποκατάστασης παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές από ότι το WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, όπως είναι αναμενόμενο.

Στην πορεία, στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα συγκριτικά αποτελέσματα της φαινόμενης πυκνότητας μόνο για την ολική εμβάπτιση σε νερό, των τεσσάρων διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης.

Πίνακας 42: Αποτελέσματα για την Φαινόμενη Πυκνότητα (g/cm³)

Φαινόμενη Πυκνότητα (g/cm ³)	
Κωδικός σύνθεσης	Ολική εμβάπτιση
L_NP_12.5	1,65
NHL_M1_D	1,70
ME	1,88
C_NHL	1,59

Παρατηρείται ότι την μεγαλύτερη φαινόμενη πυκνότητα την δίνει το έτοιμο – εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης ME, έπειτα ακολουθεί το κονίαμα αποκατάστασης NHL_M1_D, έπειτα το L_NP_12.5 και τέλος αυτό με την μικρότερη τιμή είναι το C_NHL.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.3.7.2.5. Ως προς τις μηχανικές αντοχές κονιαμάτων αποκατάστασης

Σε συγκεκριμένες ηλικίες δοκιμίων έγινε έλεγχος μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων σε κάμψη και σε θλίψη, σύμφωνα με το πρότυπο EN1015-11⁶. Οι μετρήσεις της αντοχής σε κάμψη έγιναν σε τρία δοκίμια 16cmx4cmx4cm, ενώ οι μετρήσεις αντοχής σε θλίψη πραγματοποιήθηκαν σε έξι δοκίμια διαστάσεων 4cmx4cmx4cm, τα οποία προέκυψαν από τα υπολειπόμενα τμήματα του δοκιμίου της κάμψης.

Πίνακας 43: Αποτελέσματα Μηχανικών Αντοχών - Κάμψη & Θλίψη (MPa) και τιμές θλιπτικής αντοχής Σφουγγάρια Α για λόγους σύγκρισης

Κωδικός σύνθεσης	Ηλικία δοκιμίου (ημέρες)	Αντοχή σε κάμψη (MPa)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	Λόγος Ff/Fc
L_NP_12.5	14	0,59	1,13	
	28	0,77	2,48	
	90	0,78	2,92	0,27
NHL_M1_D	14	1,24	2,87	
	28	1,31	4,48	
	90	1,62	5,52	0,29
ME	14	1,49	8,73	
	28	1,90	10,75	
	90	2,33	10,52	0,22
C_NHL	14	2,3	8,0	
	28	3,27	9,81	
	90	3,14	8,93	0,35
Σφουγγάρια Α	N/A	N/A	10,27	

Ως κριτήρια επιλογής για το βέλτιστο κονίαμα αποκατάστασης της δεδομένης εφαρμογής, , ως προς τις μηχανικές αντοχές, ορίζονται:

- Να παρουσιάζει τιμές μηχανικών αντοχών, συμβατές με τα ιστορικά υλικά της κατασκευής (παρόμοιες ή χαμηλότερες του ιστορικού λίθου και του λίθου αποκατάστασης)
- Να επιτυγχάνεται ταχεία ανάπτυξη μηχανικών αντοχών, ώστε να λειτουργήσει θετικά στην απόκριση του μνημείου σε στατικές και δυναμικές φορτίσεις, σε σύντομο χρόνο από την εφαρμογή του
- Να επιτυγχάνεται ικανή ανάπτυξη μηχανικών αντοχών, ώστε να είναι επιτελεστικό για την εφαρμογή, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη τη σεισμική επικινδυνότητα της περιοχής

Όλα τα κονιάματα αποκατάστασης παρουσιάζουν συμβατές τιμές θλιπτικής αντοχής με τον λίθο Σφουγγάρια Α. Τις υψηλότερες μηχανικές αντοχές παρουσιάζουν τα δυο έτοιμα κονιάματα, όσον αφορά και την κάμψη και τη θλίψη, ενώ παρουσιάζουν ικανοποιητικές τιμές ήδη από τις 14 ημέρες. Το εμπορικό κονίαμα C_NHL παρουσιάζει την υψηλότερη αντοχή σε κάμψη, ένδειξη υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό.

Ο λόγος κάμψη προς θλίψη, ο οποίος είναι ενδεικτικός της ελαστικότητας ενός κονιάματος αποκατάστασης (όσο υψηλότερος ο λόγος, τόσο πιο ελαστικό το κονίαμα), παρουσιάζει

⁶ EN1015-11:2007: Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 11. Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortars; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ικανοποιητικές τιμές για όλα τα κονιάματα στις 90 ημέρες, με τιμές ανάμεσα σε 0.22 (εμπορικό κονίαμα ΜΕ) και 0.35 (εμπορικό κονίαμα C_NHL).

4.3.7.2.6. Υπερηχοσκόπηση

Εξετάστηκε η ταχύτητα υπερήχων για κάθε μια σύνθεση κονιάματος αποκατάστασης και παρακάτω παρατίθενται τα επεξεργασμένα αποτελέσματα από τις μετρήσεις, ώστε να επιτευχθεί μια συγκριτική μελέτη.

Πίνακας 44: Αποτελέσματα από μετρήσεις Υπερηχοσκόπησης

Κωδικός Σύνθεσης	Ταχύτητα στο Επίπεδο Συμπύκνωσης U (m/s)	Τυπική Απόκλιση
L_NP_12.5	1668,8	± 1,40
ΜΕ	1978,6	± 117,98
C_NHL	2797,7	± 37,9
Σφουγγάρι Α	2967,8 m/s	± 158,2

*Δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις Υπερηχοσκόπησης, στην σύνθεση κονιάματος με κωδική ονομασία NHL_M1_D, λόγω ακατάλληλης γεωμετρικής υφιστάμενης κατάστασης του δείγματος του κονιάματος.

Παρατηρείται από τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα ότι οι μετρήσεις που έδωσαν τα διαφορετικής σύνθεσης κονιάματα αποκατάστασης δεν συνάδουν και δεν πλησιάζουν το ένα το άλλο ιδιαίτερα. Την μεγαλύτερη ταχύτητα υπερήχων την παρουσιάζει το εμπορικό - έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, με τιμή που πλησιάζει αυτήν του λίθου, έπειτα ακολουθεί το εμπορικό - έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ΜΕ και τέλος, την μικρότερη ταχύτητα υπερήχων παρουσιάζει το κονίαμα με φυσική ποζολάνη, L_NP12.5.

4.3.7.2.7. Ως προς την χρωματομετρία

Πραγματοποιήθηκε μια συγκριτική μελέτη ως προς τον προσδιορισμό του χρώματος για τις τέσσερις διαφορετικές συνθέσεις κονιάματος αποκατάστασης. Παρακάτω ο πίνακας παραθέτει τα αποτελέσματα μέσω των μετρήσεων από την Χρωματομετρία, ώστε να επιτευχθεί η σύγκριση τους, ενώ παρατίθεται και πίνακας ο οποίος παρουσιάζει τις συνολικές διαφορές χρώματος κονιαμάτων αποκατάστασης και λίθων.

Πίνακας 45: Αποτελέσματα από τις μετρήσεις της Χρωματομετρίας

Κωδικός σύνθεσης	Μ.Ο τιμών L*	Μ.Ο. Τιμών a*	Μ.Ο. τιμών b*
L_NP_12.5	82.49	2.38	10.42
NHL_M1_D	68.89	2.64	11.68
ΜΕ	85.58	0.55	6.51
C_NHL	83.8	2.1	7.53
Αρχαίος λίθος 1	55.63	3.94	14.06
Σφουγγάρι Α	67.90	2.66	10.63

Όσον αφορά στην λαμπρότητα, το κονίαμα NHL_M1_D παρουσιάζει τις κοντινότερες τιμές σε σχέση και με τα Σφουγγάρια Α και με τον αρχαίο λίθο. Παράλληλα παρουσιάζει και τις κοντινότερες τιμές a και b σε σχέση με τα Σφουγγάρια Α και με τον αρχαίο λίθο. Τα υπόλοιπα κονιάματα παρουσιάζουν εμφανείς διαφοροποιήσεις, επιβεβαιώνοντας τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 46: Συνολική διαφορά χρώματος κονιαμάτων αποκατάστασης σε σχέση με λίθους

Κωδικός σύνθεσης	ΔΕ σε σχέση με αρχαίο λίθο	ΔΕ σε σχέση με Σφουγγάρια Α
L_NP_12.5	27,15	14,59
NHL_M1_D	13,53	1,44
ME	31,07	18,28
C_NHL	28,98	16,21

Τη χαμηλότερη διαφορά χρώματος και με τον αρχαίο λίθο και με τα Σφουγγάρια Α, παρουσιάζει το κονίαμα NHL_M1_D, ενώ τα υπόλοιπα παρουσιάζουν μεγάλη διαφοροποίηση. Συνεπώς, αν γίνει χρήση τους, θα είναι απαραίτητη η προσθήκη μικρής ποσότητας χρωστικής.

4.3.7.3. Μερικά συμπεράσματα

Είναι εμφανές από τη σύγκριση των διαφόρων κονιαμάτων αποκατάστασης και του λίθου Σφουγγάρια Α (και τον αρχαίο λίθο ανά περίπτωση) ότι η αποτίμηση της συμβατότητας και της επιτελεστικότητας είναι μια σύνθετη διαδικασία. Τα κονιάματα που μελετώνται σε αυτήν τη συγκριτική μελέτη εμφανίζουν ικανοποιητικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ωστόσο εμφανίζουν έντονη διαφοροποίηση στην ανάπτυξη μηχανικών αντοχών και άρα στην επιτελεστικότητα.

Ως πιο συμβατό και ταυτοχρόνως επιτελεστικό κονίαμα κρίνεται το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου, C_NHL, το οποίο παρουσιάζει παρόμοια υδρομετρικά χαρακτηριστικά με τον λίθο, ενώ παρουσιάζει και ικανοποιητικές τιμές μηχανικών αντοχών. Αν τελικά επιλεγθεί το κονίαμα αυτό, θα πρέπει να προστεθεί μικρή ποσότητα χρωστικής (~1%) και συγκεκριμένα μίξη με ψημένη όμπρα και ώχρα (Apostolorouliou, και συν., 2019).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4. Έλεγχος συμβατότητας λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

Στην πορεία, στα επόμενα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρακάτω, θα εξεταστεί η συμβατότητα λίθου-κονιαμάτων αποκατάστασης μέσω μη καταστρεπτικών μεθόδων ανάλυσης, όσον αφορά στην φυσικοχημική τους συμβατότητα. Αρχικά, πραγματοποιείται φωτογραφική τεκμηρίωση τους και έπειτα μικροσκοπική τεκμηρίωση. Έπειτα, πραγματοποιούνται δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης στα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Ακόμη, πραγματοποιείται ένας έλεγχος υγραμετρικής συμπεριφοράς σύνθετων δοκιμών λίθου-κονιαμάτων αποκατάστασης με Θερμογραφία Υπερύθρου (IR), μέσω ειδικής κάμερας. Εν συνεχεία, εξετάζεται η Ταχύτητα Υπερήχων των σύνθετων, μέσα από μετρήσεις Υπερηχοσκόπησης, όπου οι μετρήσεις αυτές έλαβαν χώρα έπειτα από τρεις μήνες αφότου παρασκευάστηκαν τα σύνθετα. Λαμβάνεται υπόψη ότι ο ως χρόνος ωρίμανσης των συνθέσεων των κονιαμάτων αποκατάστασης είναι οι 90 ημέρες, αφότου παρασκευάστηκαν. Ακόμη, εφαρμόστηκε η τεχνική της Χρωματομετρίας στις συνθέσεις των κονιαμάτων αποκατάστασης, σε σύγκριση πάντα με τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α. Τέλος, επιχειρείται μια πρώτη εκτίμηση μέσω των παραπάνω επιστημονικών τεχνικών, που εφαρμόστηκαν στα σύνθετα, συνεπώς παρουσιάζονται και μερικά συμπεράσματα, από την έρευνα αυτή.

4.4.1 Φωτογραφική και μικροσκοπική τεκμηρίωση σύνθετων δοκιμών λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

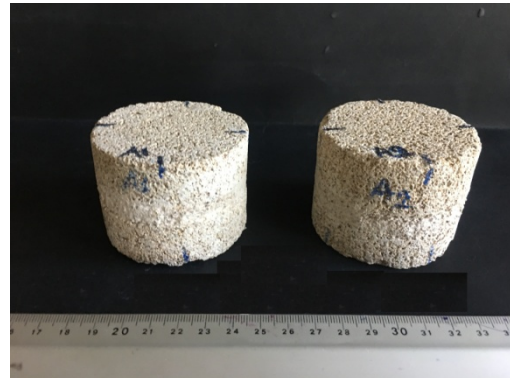
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστεί η φωτογραφική τεκμηρίωση των σύνθετων δοκιμών λίθου-κονιαμάτων (Α1 έως Α10), καθώς και η μικροσκοπική τους τεκμηρίωση με βάση την Ψηφιακή Μικροσκοπία, η οποία παρέχει μια αρχική εκτίμηση της μικροδομής των σύνθετων υλικών. Εξετάστηκαν οι διεπιφάνειες των σύνθετων, ως προς την επιφανειακή τους υφή και την μορφολογική τους κατάσταση. Πιο συγκεκριμένα, έγινε μια πρώτη εκτίμηση για την πρόσφυση του κονιάματος αποκατάστασης πάνω στον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α. Οπότε γίνεται αντιληπτό ότι η ψηφιακή μικροσκοπία στην παρούσα φάση της πειραματικής σχεδίασης- ως προς την συμβατότητα των σύνθετων υλικών αποκατάστασης- αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για την διάκριση των κονιαμάτων ανάλογα με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά, την υφή καθώς και την πρόσφυση στις διεπιφάνειες των υλικών αποκατάστασης, αλλά και τον έλεγχο ποιότητας των δομικών υλικών μεταξύ τους.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

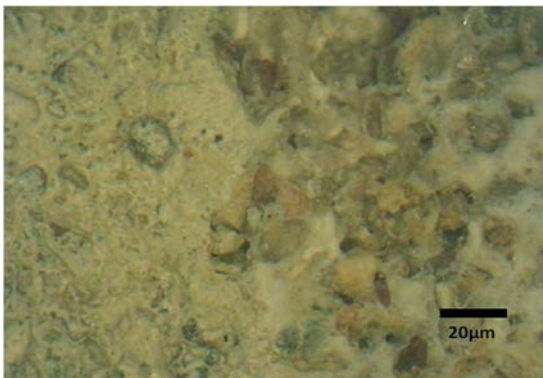
Για το ζεύγος A1 και A2, στο οποίο έχει εφαρμοστεί το κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία L NP12.5.



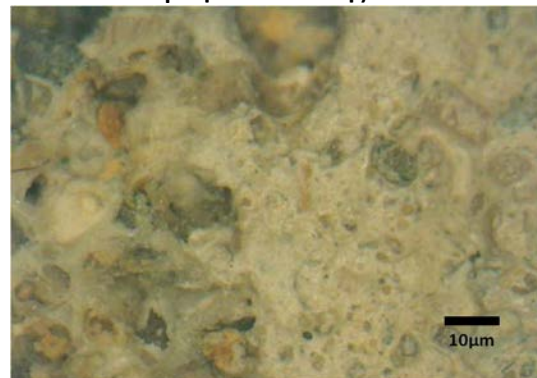
Εικόνα 82: A1 με φακό εστίασης x30



Εικόνα 83: A1 με φακό εστίασης x50



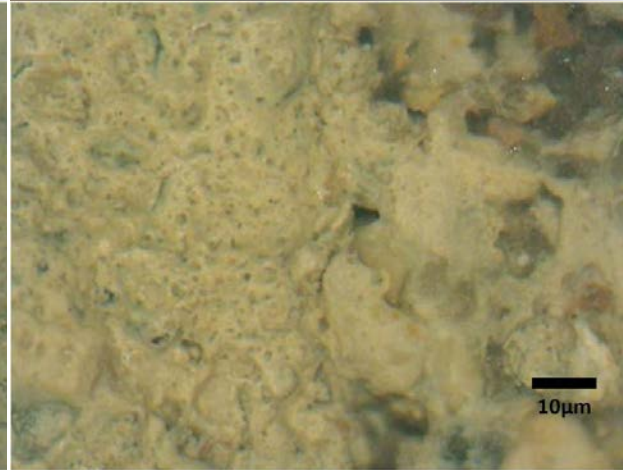
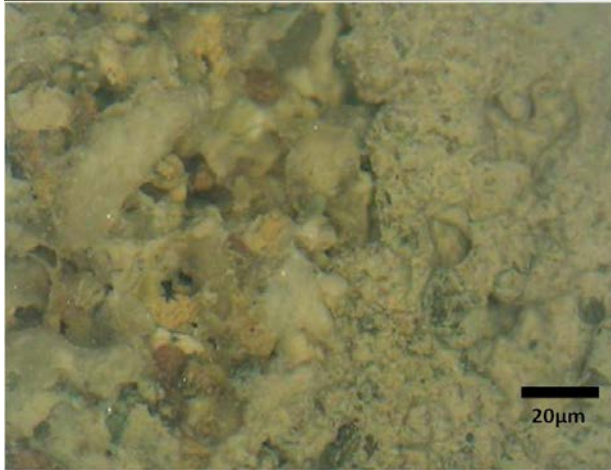
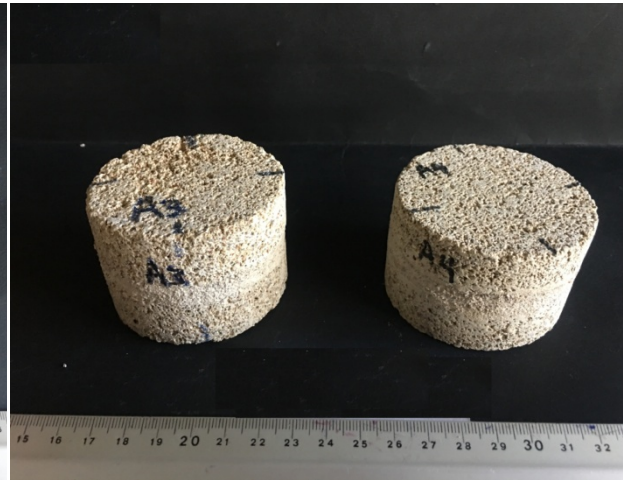
Εικόνα 84: A2 με φακό εστίασης x30



Εικόνα 85: A2 με φακό εστίασης x50

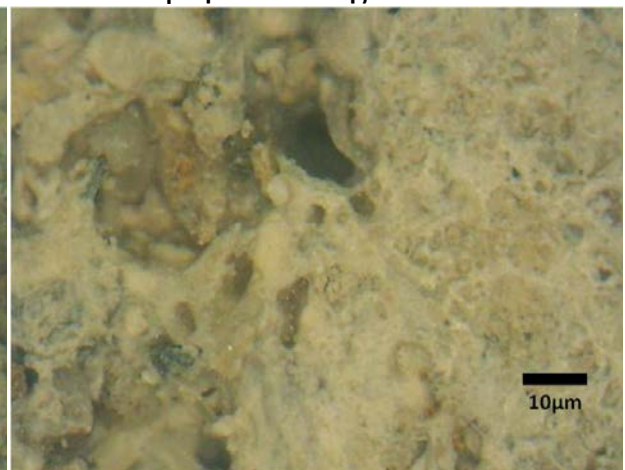
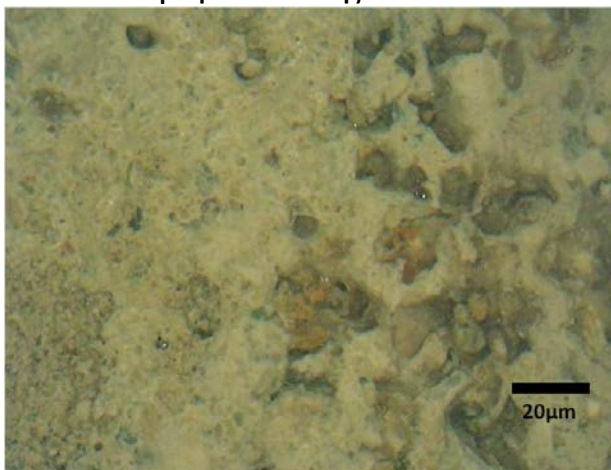
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για το ζεύγος A3 και A4, στο οποίο έχει εφαρμοστεί το κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία NHL M1 D.



Εικόνα 86: A3 με φακό εστίασης x30

Εικόνα 87: A3 με φακό εστίασης x50

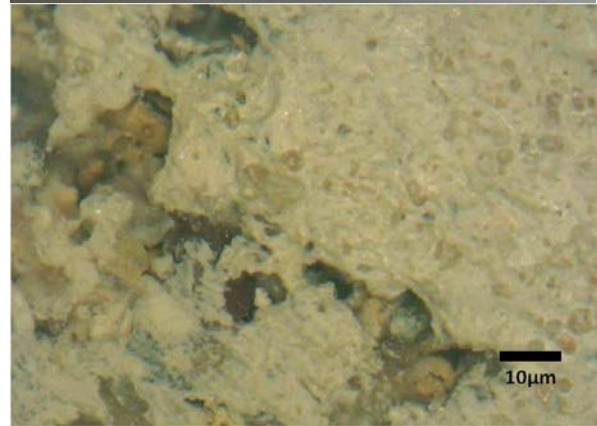
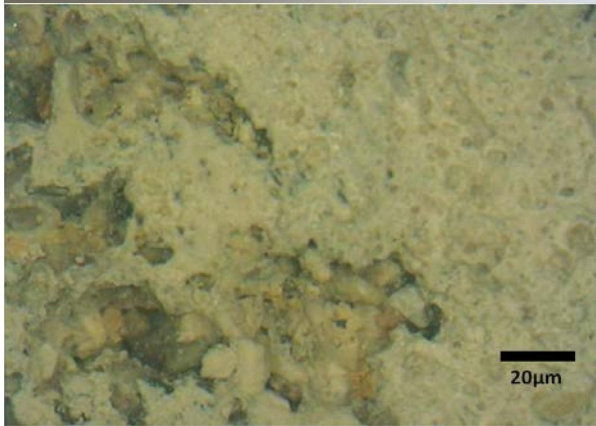
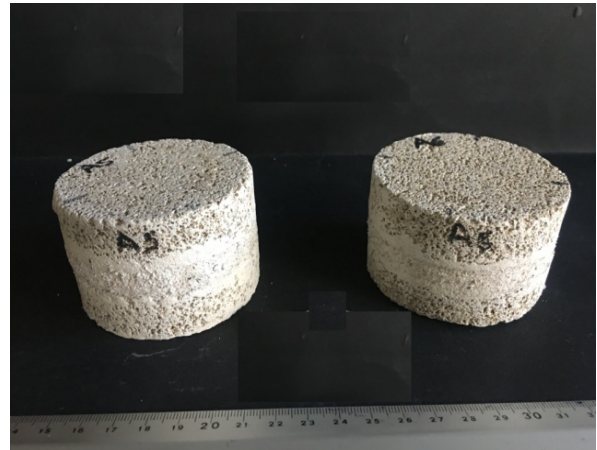


Εικόνα 88: A4 με φακό εστίασης x30

Εικόνα 89: A4 με φακό εστίασης x50

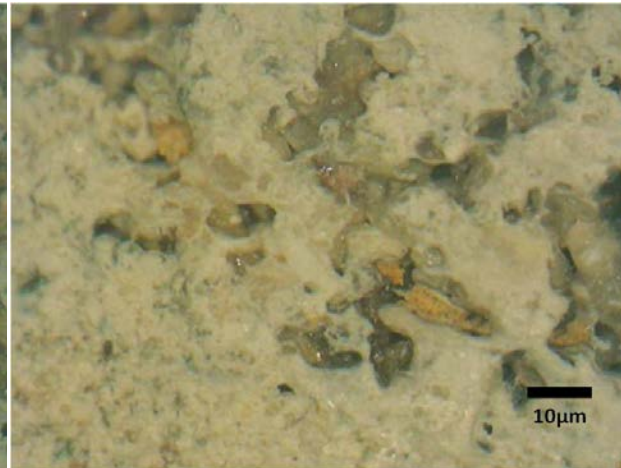
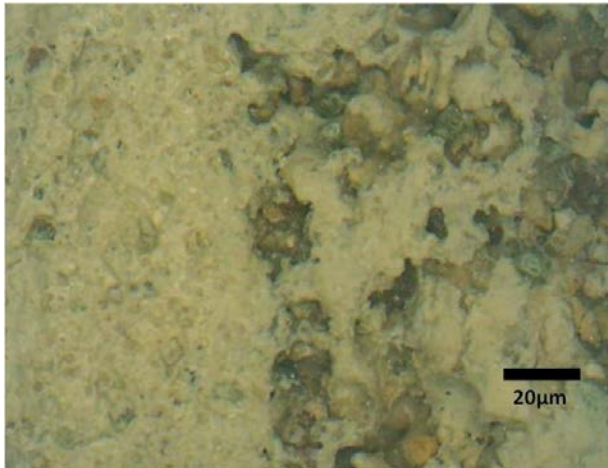
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για το ζεύγος A5 και A6, στο οποίο έχει εφαρμοστεί το κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία L NP12.5 more water.



Εικόνα 90: A5 με φακό εστίασης x30

Εικόνα 91: A5 με φακό εστίασης x50

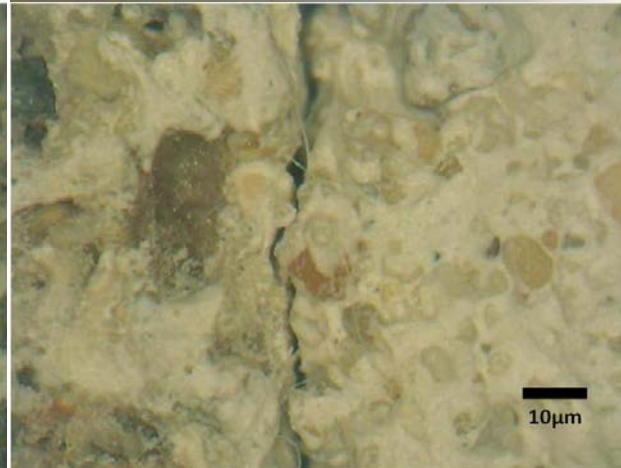
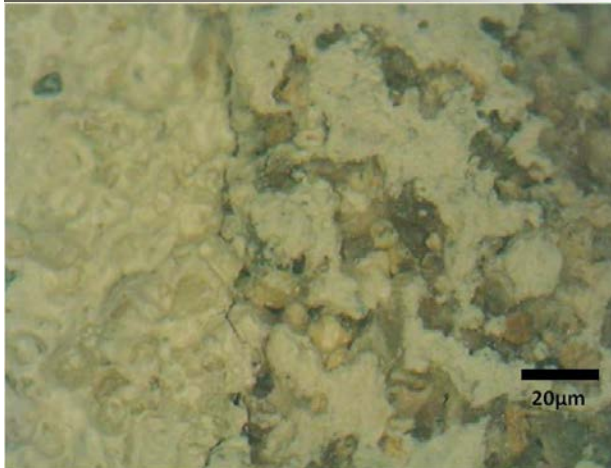
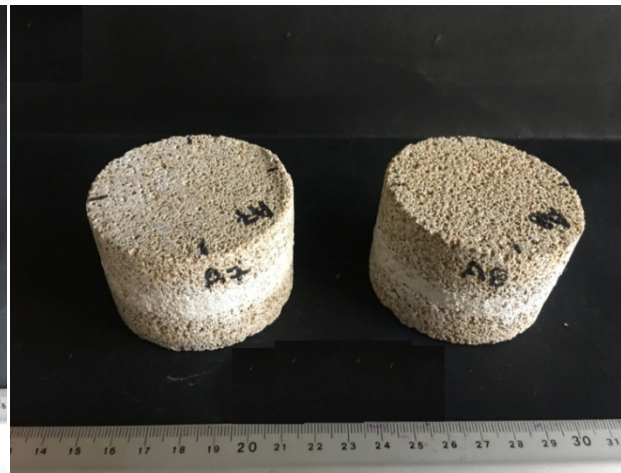


Εικόνα 92: A6 με φακό εστίασης x30

Εικόνα 93: A6 με φακό εστίασης x50

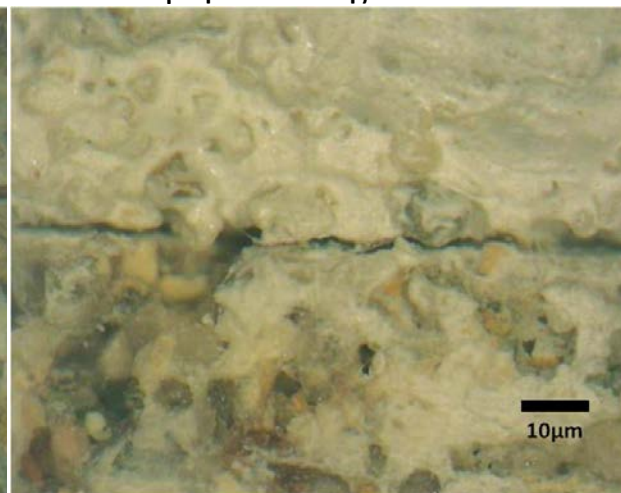
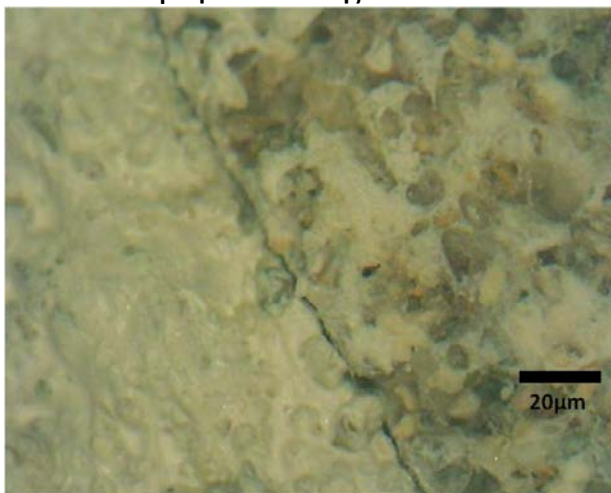
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για το ζεύγος A7 και A8, στο οποίο έχει εφαρμοστεί το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία ΜΕ.



Εικόνα 94: A7 με φακό εστίασης x30

Εικόνα 95: A7 με φακό εστίασης x50

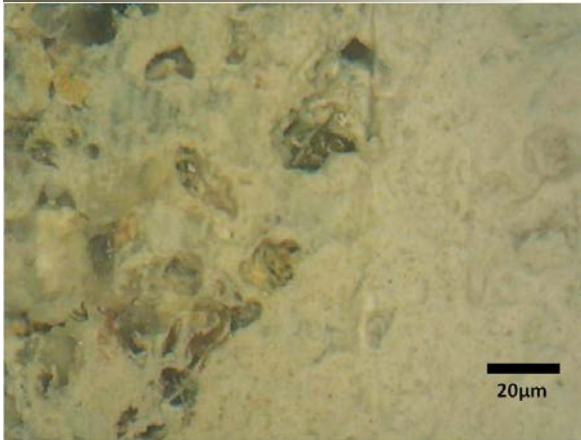


Εικόνα 96: A8 με φακό εστίασης x30

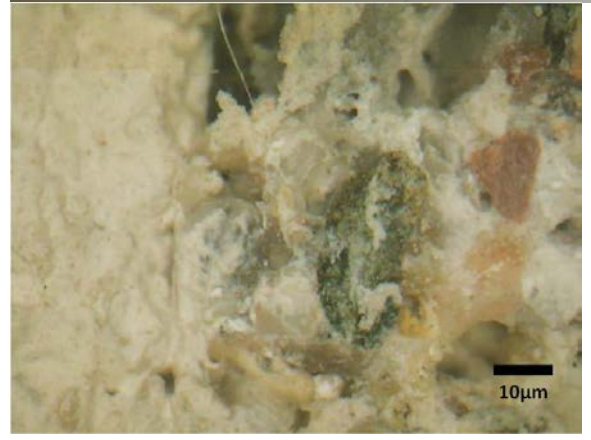
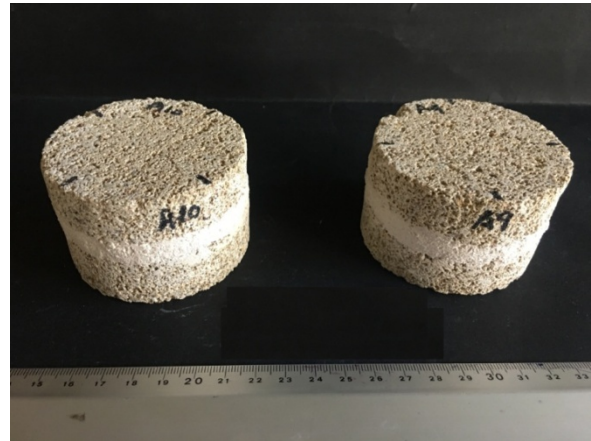
Εικόνα 97: A8 με φακό εστίασης x50

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

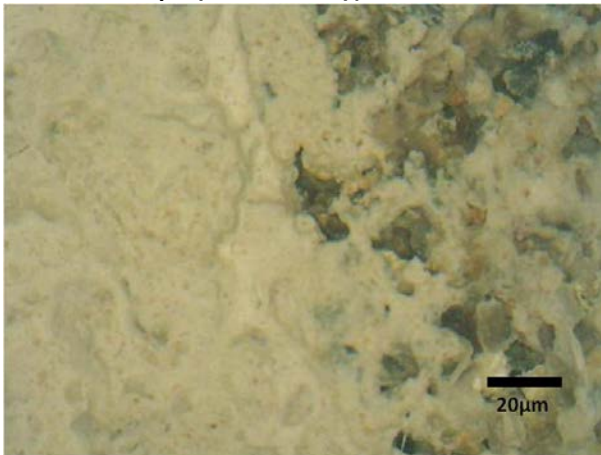
Για το ζεύγος A9 και A10, στο οποίο έχει εφαρμοστεί το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης με κωδική ονομασία C NHL.



Εικόνα 98: A9 με φακό εστίασης x30



Εικόνα 99: A9 με φακό εστίασης x50



Εικόνα 100: A10 με φακό εστίασης x30



Εικόνα 101: A10 με φακό εστίασης x50

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Τα συμπεράσματα που διεξάγονται από την παρατήρηση των φωτογραφιών μέσω Ψηφιακής Μικροσκοπίας παρατίθενται παρακάτω ανά ζεύγος σύνθετων (A1 & A2, κ.ο.κ).

Για το ζεύγος **A1 & A2, με κονίαμα σύνδεσης: L_NP12.5**, παρατηρήθηκε **καλή σχετικά πρόσφυση**, με βάση την ψηφιακή μικροσκοπία, για μία πρώτη εκτίμηση της μορφολογίας της διεπιφάνειας λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Για το ζεύγος **A3 & A4, με κονίαμα σύνδεσης: NHL_M1_D** παρατηρήθηκε **καλή πρόσφυση**, με βάση την ψηφιακή μικροσκοπία, για μία πρώτη εκτίμηση της μορφολογίας της διεπιφάνειας του σύνθετου λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Για το ζεύγος **A5 & A6, με κονίαμα σύνδεσης: L_NP12.5 more water** παρατηρήθηκε **καλή σχετικά πρόσφυση**, με βάση την ψηφιακή μικροσκοπία, για μία πρώτη εκτίμηση της μορφολογίας της διεπιφάνειας.

Για το ζεύγος **A7 & A8, με κονίαμα σύνδεσης: ME** παρατηρήθηκε ότι η πρόσφυση ήταν **ναι μεν καλή**, όμως στην πορεία δεν ανταπεξήλθε όπως προβλεπόταν. Για το A7 και το A8 η αποκόλληση ήλθε στον τρίτο μήνα και στον πρώτο αντίστοιχα.

Για το ζεύγος **A9 & A10, με κονίαμα σύνδεσης: C_NHL** παρατηρήθηκε **πάρα πολύ καλή πρόσφυση**, της διεπιφάνειας λίθου - κονιάματος αποκατάστασης.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4.2. Δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης στα σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

Πραγματοποιήθηκε το πείραμα της Υδατοαπορρόφησης μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης, στα σύνθετα λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α και κονιάματος αποκατάστασης { L_NP12.5(NP), NHL_M1_D (NHLM1), L_NP12,5 more water (NP more water), (ME) και C_NHL }. Να σημειωθεί ότι τα δοκίμια A7 και A8 με το ενδιάμεσο συνδετικό στρώμα αυτό του εμπορικού κονιάματος ME, αποκολλήθηκαν διότι η πρόσφυση δεν ήταν ικανή να τα κρατήσει ενωμένα και συνδεδεμένα με τον λίθο αποκατάστασης. Συγκεκριμένα, το A7 αποκολλήθηκε στον πρώτο μήνα πάνω σε μέτρηση υπερηχοσκόπησης, ομοίως και το A8 στον τρίτο μήνα.

Στα υπόλοιπα δοκίμια επετεύχθη η σύνδεση με το λίθο αποκατάστασης και το ενδιάμεσο στρώμα κράτησε συνδεδεμένο και τα δύο στρώματα εκατέρωθεν πάνω και κάτω από το κονίαμα αποκατάστασης. Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που προέκυψαν παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 47: Αποτελέσματα Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών στα σύνθετα (A1-A10)

Κωδικός	Μείγμα κονιάματος	Συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. (g/(cm ² sec ^{1/2}))	WAC τριχοειδούς αναρρίχησης (%) μέσω
A1	NP	0,0116	9,96
A2	NP	0,0130	9,36
A3	NHL_M1_D	0,0154	11,54
A4	NHL_M1_D	0,0117	11,15
A5	NP more water	0,0165	10,31
A6	NP more water	0,0101	9,21
A7	ME	0,0105*	6,98
A8	ME	0,0060*	6,18
A9	C_NHL	0,0103	8,63
A10	C_NHL	0,0095	8,46
Σφουγγάρια Α (χωρίς κονίαμα)		0,0135	8,84

*Έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος

Όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν κοντινές τιμές συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης, με τιμές κοντινές του λίθου. Το WAC% των συνθέτων παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα σύνθετα, ανάλογα με το κονίαμα σύνδεσης. Τις χαμηλότερες τιμές απορρόφησης νερού μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, παρουσιάζει το σύνθετο με την χρήση του εμπορικού κονιάματος C_NHL, μαζί με το σύνθετο του άλλου εμπορικού κονιάματος, ME, στο οποίο όμως έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος. Τις υψηλότερες τιμές απορρόφησης τις παρουσιάζει το σύνθετο με χρήση του κονιάματος φυσικής ποζολάνης, με μεγαλύτερο ποσοστό νερού, NP more water, Ωστόσο, η χρήση του κονιάματος φυσικής ποζολάνης με μικρότερο ποσοστό νερού, NP, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές (αν και υψηλότερες των συνθέτων με χρήση εμπορικών κονιαμάτων). Το σύνθετο με το κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου NHL_M1_D, παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές μεταξύ όλων των

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

συνθέτων. Να σημειωθεί ότι σημαντικό ρόλο λαμβάνει στο πείραμα της Υδατοαπορρόφησης το συνολικό ύψος του εκάστοτε σύνθετου.

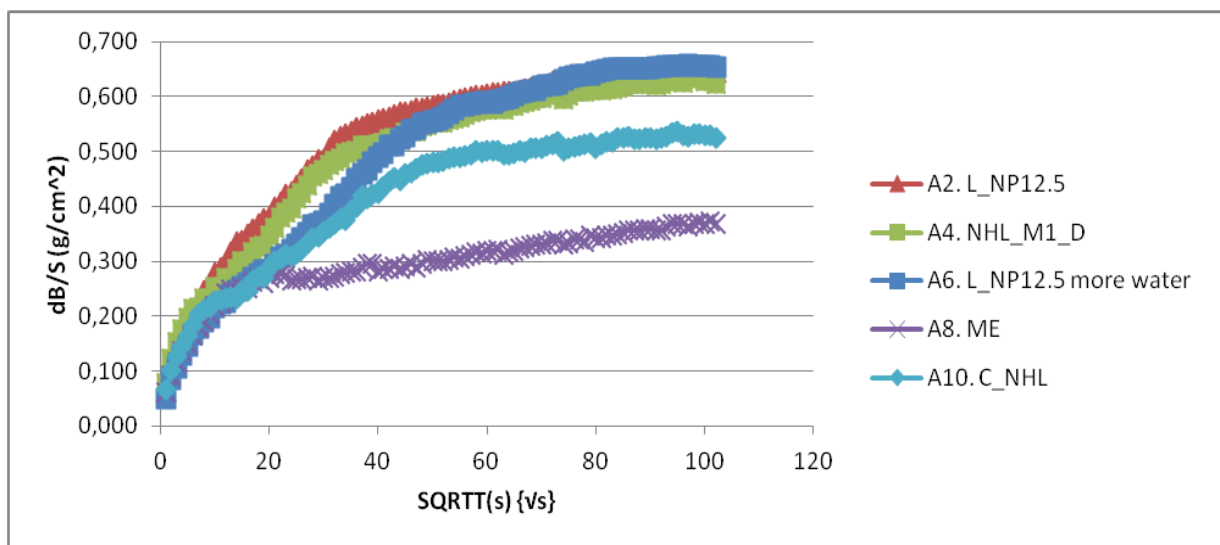
Να σημειωθεί ότι η γεωμετρία δηλαδή οι διαστάσεις -και κυρίως το ύψος- των κυλινδρικών σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, κατέχει σημαντικό ρόλο στην Υδατοαπορρόφηση μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης, του κάθε σύνθετου ξεχωριστά. Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις διαστάσεις των συνθέτων.

Πίνακας 48: Διαστάσεις Σύνθετων Λίθου-Κονιάματος αποκατάστασης

Σφουγγάρια A	Συνολικό ύψος (cm)	Διάμετρος (cm)	Κωδικός συνθέτων	Ύψος Κάτω λίθου (cm)	Ύψος Κονιάματος σύνδεσης (cm)	Ύψος Άνω λίθου (cm)	Συνολικό ύψος (cm)
Sa_1	4,81	7,42	A1	2,3	0,85	2,4	5,5
Sa_2	4,90	7,41	A2	2,5	0,8	2,4	5,7
Sa_3	4,70	7,40	A3	2,3	0,8	2,3	5,4
Sa_4	4,27	7,43	A4	2,1	0,8	2,0	4,9
Sa_5	4,24	7,43	A5	2,0	0,9	2,1	5
Sa_6	4,26	7,44	A6	2,1	0,8	2,0	4,9
Sa_7	4,25	7,43	A7	2,0	0,8	2,1	4,9
Sa_8	4,23	7,44	A8	2,0	0,8	2,0	4,8
Sa_9	4,27	7,44	A9	2,0	0,85	2,0	4,85
Sa_10	4,28	7,44	A10	2,0	0,8	2,1	4,9

Παρατηρείται ότι για τα πρώτα τρία σύνθετα (με κωδικό: A1, A2 & A3) κυλινδρικά δοκίμια των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, το συνολικό ύψος είναι μεγαλύτερο από τα υπόλοιπα επτά σύνθετα. Το γεγονός αυτό επηρεάζει στην συνολική εκτίμηση της υγρομετρικής συμπεριφοράς των δοκιμίων.

Εν συνεχεία, παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης με κωδικό: A2, A4, A6, A8 και A10.

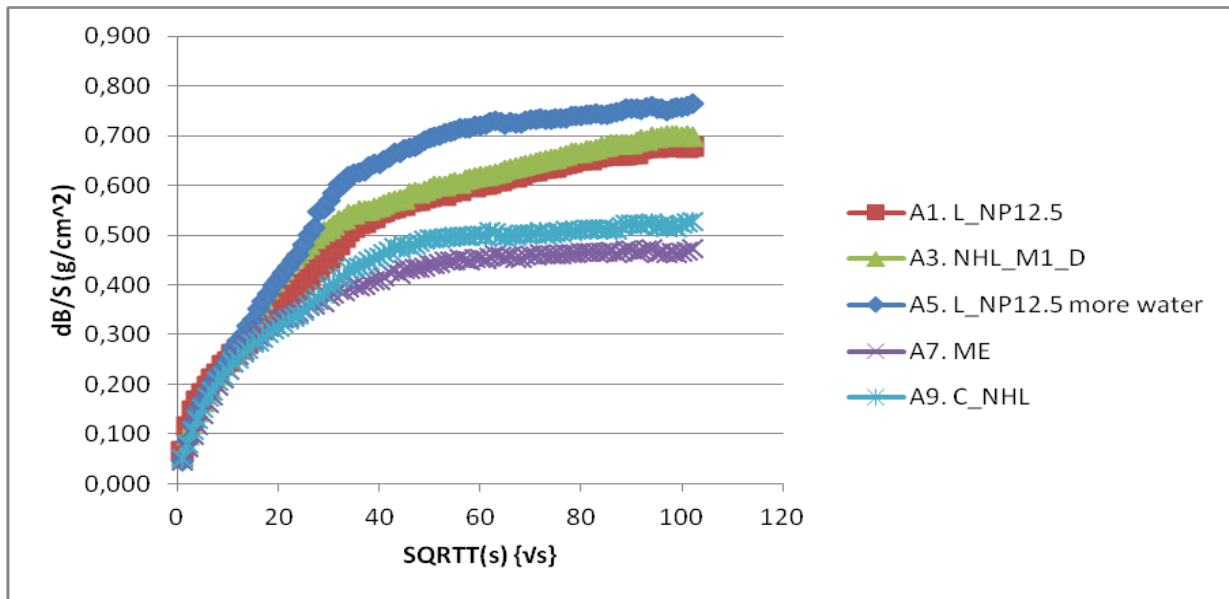


Διάγραμμα 19: Συγκριτικό Διάγραμμα Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης, για A2, A4, A6, A8 & A10

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από το Διάγραμμα 19, είναι πως όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A8 που αποκολλήθηκε (συγκεκριμένα ο άνω λίθος) από τον τρίτο μήνα και έχει για κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ΜΕ. Τέλος, αυτό που διαφοροποιείται ελαφρώς από τα υπόλοιπα είναι το σύνθετο A10.

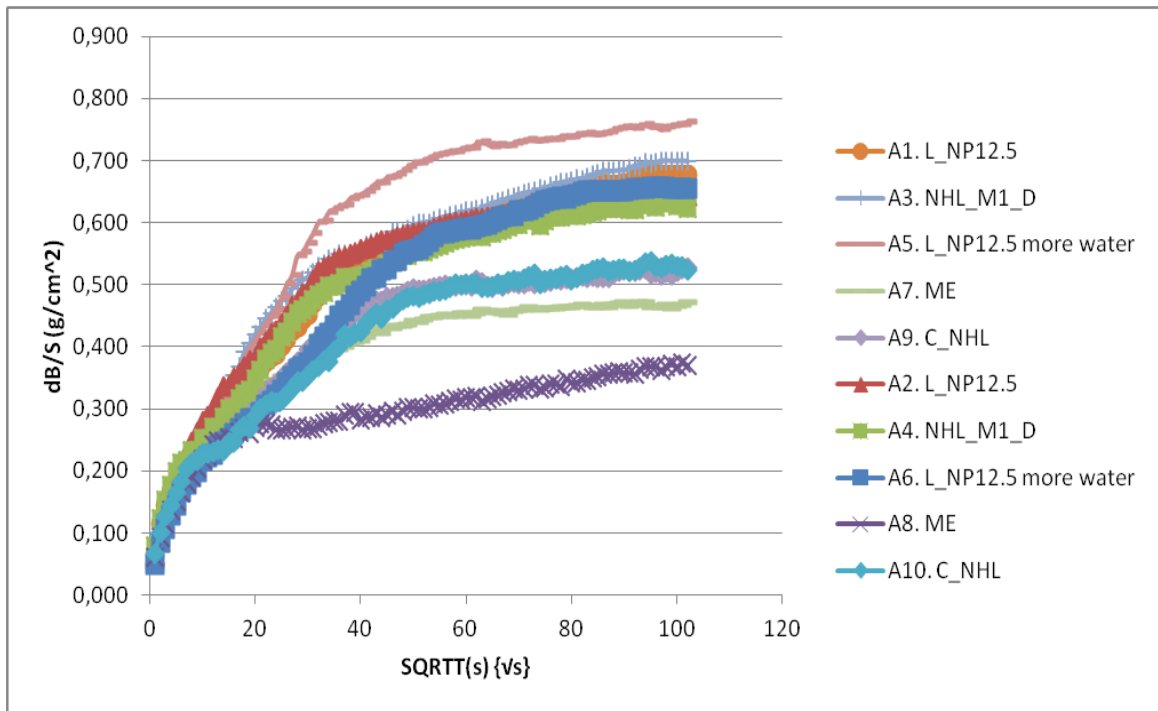
Παρακάτω παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης με κωδικό: A1, A3, A5, A7 και A9.



Διάγραμμα 20: Συγκριτικό Διάγραμμα Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης, για τα A1, A3, A5, A7 & A9

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από το Διάγραμμα 20, είναι ότι όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A7 που αποκολλήθηκε ο άνω λίθος απ’ τον πρώτο μήνα με κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ΜΕ. Τέλος, αυτό που διαφοροποιείται ελαφρώς από τα υπόλοιπα είναι το σύνθετο A9. Ακόμη, παρατίθεται Διάγραμμα Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για όλα τα σύνθετα.

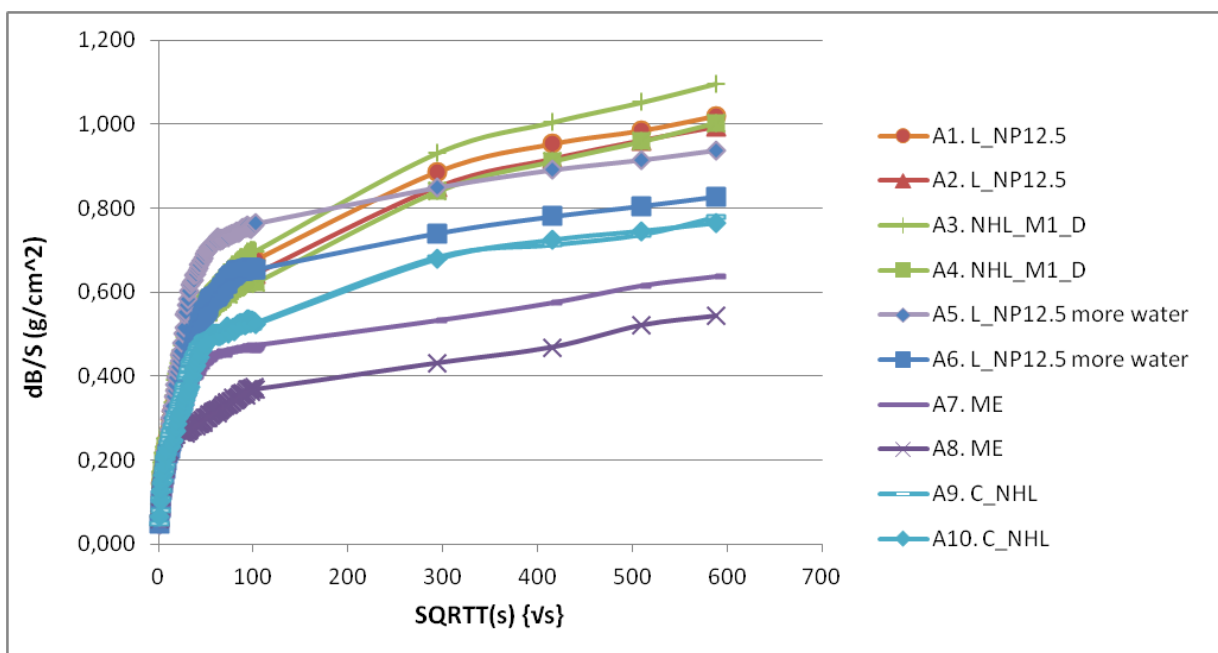
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 21: Συγκριτικό Διάγραμμα Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για A1 έως A10

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από το *Διάγραμμα 21* είναι ότι όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A7 & A8 που ο άνω λίθος αποκολλήθηκε, με κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ME.

Παρακάτω παρατίθεται το συγκριτικό διάγραμμα του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για τον μέγιστο χρόνο της πειραματικής διαδικασίας, και των δέκα σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.



Διάγραμμα 22: Συγκριτικό διάγραμμα του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης για τον μέγιστο χρόνο της πειραματικής διαδικασίας, των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, (A1 έως A10)

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Τα συμπεράσματα που απορρέουν από το *Διάγραμμα 22* είναι ότι αρχικά, όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A7 και το A8 που αποκολλήθηκαν από τον πρώτο μήνα με κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ασβέστη μετακαολίνη (ME). Εν συνεχεία, όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα το σύνθετο A9 και A10 με κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο/εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), απορροφάει λιγότερο ποσοστό νερού από τα υπόλοιπα.

Ενώ τα σύνθετα A5 και A6 με κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης με περισσότερο νερό (L_NP12.5 more water), απορροφάει περισσότερο νερό μέσω τριχοειδών. Βάζοντας εξαρχής περισσότερη ποσότητα νερού στην σύνθεση δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν περισσότεροι τριχοειδείς πόροι. Οι μετρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν τη σημασία της καλής πρακτικής στο εργοτάξιο, κατά την παρασκευή ενός κονιάματος, καθώς και τις αρνητικές συνέπειες, που μπορεί να επιφέρει η χρήση περισσότερου νερού στην ανάμειξη από του προτεινόμενου. Ακόμη, το σύνθετο A1 και A2 με το κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης (L_NP12.5) παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, λόγω διαστάσεων γιατί είναι και σε ύψος μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα σύνθετα (5,5cm & 5,7cm αντίστοιχα).

Τέλος, τα σύνθετα A3 & A4 είναι αυτά με κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου με μετακαολίνη (NHL_M1_D) και συγκεκριμένα το σύνθετο A3, το οποίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, σε σχέση με τα υπόλοιπα. Να σημειωθεί ότι και το A3 είναι πιο ψηλό σε σχέση με τα άλλα, καθώς φτάνει τα 5,4cm.

Συγκριτική μελέτη Υδατοαπορρόφησης με δοκιμές τριχοειδούς αναρρίχησης για τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια A, σε σχέση με τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα της τριχοειδούς αναρρίχησης στα δέκα κυλινδρικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια A πριν την κοπή τους, έπειτα τα διαγράμματα με τα σύνθετα δοκίμια λίθου-κονιάματος αποκατάστασης και στην συνέχεια ένα κοινό διάγραμμα που θα περιέχει τα προηγούμενα δύο διαγράμματα. Παρακάτω εξηγείται και παρουσιάζεται η συλλογιστική πορεία για μια ευδιάκριτη και επιθυμητή σύγκριση.

Επίσης, παρατίθεται πίνακας με την σύγκριση του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια A και των σύνθετων, όσον αφορά στο WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.

Πίνακας 49: Συγκριτικά αποτελέσματα για WAC(%) του Λίθου Αποκατάστασης Σφουγγάρια A σε σύγκριση με τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης

WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%)			
Κωδικός Λίθου		Κωδικός Σύνθετων	
Sa1	9,66	A1	9,96
Sa2	9,64	A2	9,36
Sa3	11,07	A3	11,54
Sa4	8,45	A4	11,15
Sa5	7,47	A5	10,31
Sa6	8,28	A6	9,21

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Sa7	8,82	A7	6,98*
Sa8	8,78	A8	6,18*
Sa9	8,13	A9	8,63
Sa10	8,09	A10	8,46

*Στο σύνθετο Λίθου Σφουγγάρια Α - Κονιάματος ΜΕ, Α7 & Α8 έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος γι’ αυτό παρουσιάζει μικρότερο WAC(%), από εκείνο του λίθου Σφουγγάρια Α, Sa_7 & Sa_8 αντίστοιχα.

Παρατηρείται αύξηση του WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%) για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, αφού ο λίθος αποκατάστασης Σφουγγάρια Α παρουσιάζει μικρότερη απορρόφηση σε νερό στην αρχική του κατάσταση, σε σχέση με την τελική κατάσταση του, αυτή των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Να σημειωθεί ότι μονάχα στα σύνθετα Λίθου Σφουγγάρια Α - Κονιάματος ΜΕ, (Α7 & Α8) έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος, συνεπώς και απολύτως λογικό να παρουσιάζει μικρότερο WAC(%), από εκείνο του λίθου Σφουγγάρια Α, (Sa_7 & Sa_8 αντίστοιχα).

Τέλος, παρατίθεται πίνακας με την σύγκριση του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α και των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, όσον αφορά στον **Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης**, μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.

Πίνακας 50: Συγκριτικά αποτελέσματα για Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών του Λίθου Αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, σε σύγκριση με τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης

Συντελεστής υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. (g/(cm²sec^{1/2}))			
Κωδικός Λίθου		Κωδικός Σύνθετων	
Sa1	0,0132	A1	0,0116
Sa2	0,0176	A2	0,0130
Sa3	0,0159	A3	0,0154
Sa4	0,0129	A4	0,0117
Sa5	0,0141	A5	0,0165
Sa6	0,0107	A6	0,0101
Sa7	0,0158	A7	0,0105 (αποκολλημένο)
Sa8	0,0127	A8	0,006 (αποκολλημένο)
Sa9	0,0126	A9	0,0103
Sa10	0,0099	A10	0,0095

Παρατηρείται μια μικρή μείωση του **Συντελεστή υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. (g/(cm²sec^{1/2}))** για τα σύνθετα, αφού ο λίθος αποκατάστασης Σφουγγάρια Α παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στην αρχική του κατάσταση, σε σχέση με την τελική κατάσταση του, αυτή των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Να σημειωθεί ότι μονάχα για το δοκίμιο λίθου αποκατάστασης Sa_5 και το σύνθετο Α5, ισχύει το αντίστροφο.

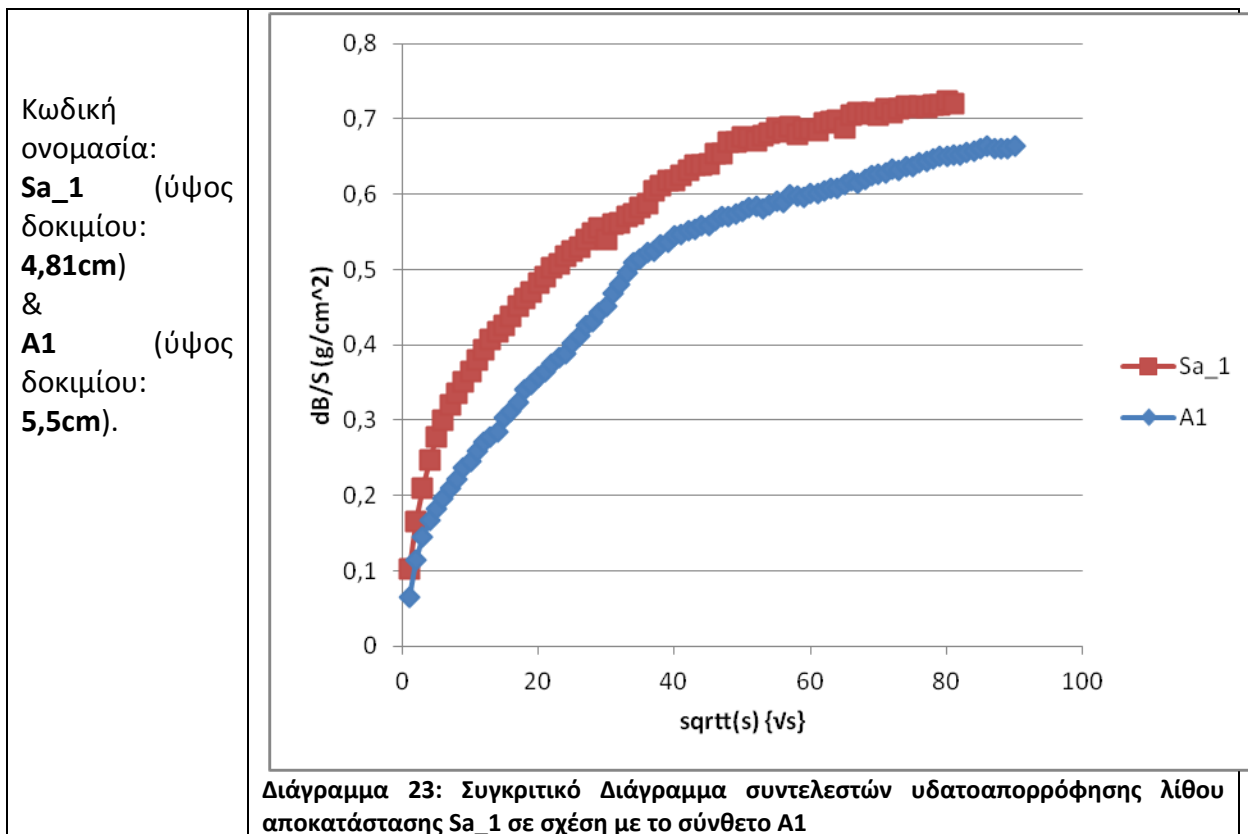
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Συγκριτική Μελέτη του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α και των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, για κάθε κυλινδρικό δοκίμιο λίθου (Sa_1 έως Sa_10) πριν την παρασκευή του σε σύνθετο και μετά την παρασκευή του με το κονίαμα σύνδεσης (A1 έως A10), οπότε προκύπτουν δέκα διαγράμματα (Sa_1 σε σχέση με A1 έως Sa_10 σε σχέση με A10).

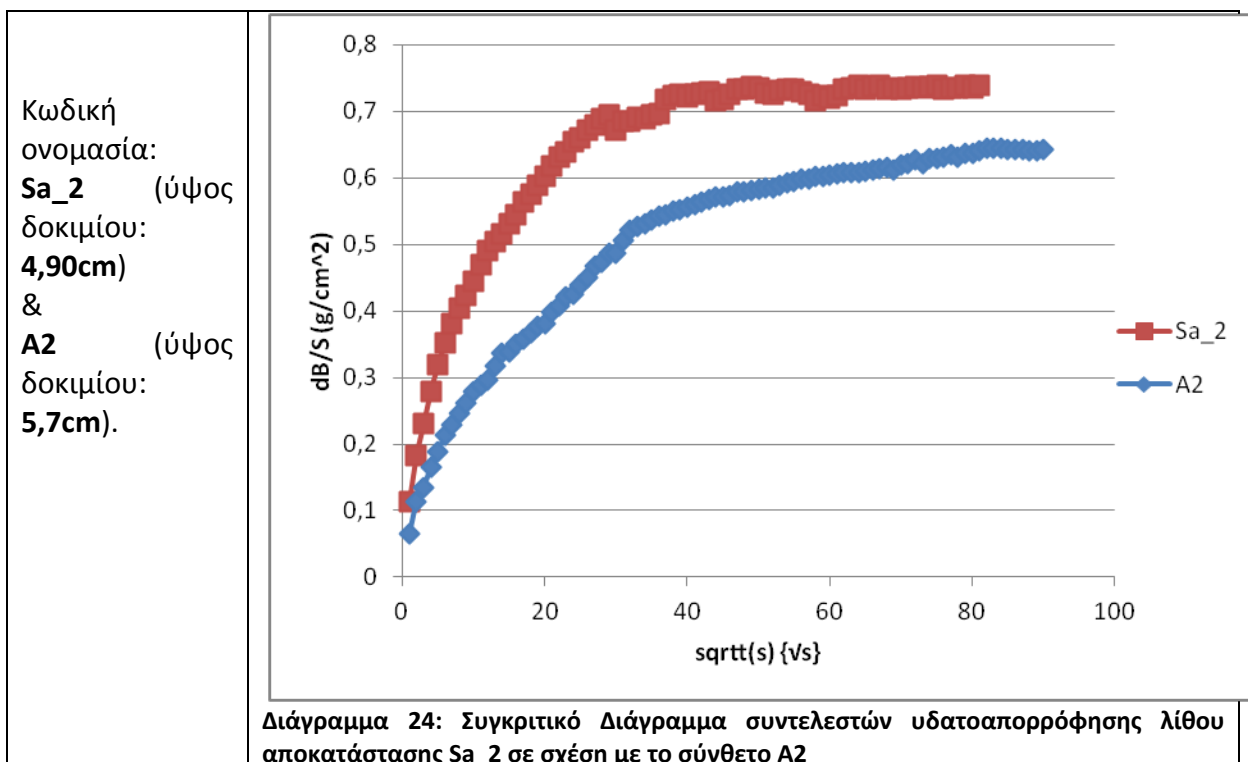
Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα από το πείραμα της Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης για το λίθο Σφουγγάρια Α καθώς και για τα σύνθετα λίθου – κονιάματος αποκατάστασης. Ουσιαστικά επιχειρείται μια συγκριτική μελέτη για κάθε ζεύγος Sa1 και A1 για να διεξαχθούν κάποια συμπεράσματα ως προς την συμπεριφορά τους κατά το πείραμα αυτό. Δηλαδή, πως συμπεριφέρεται ο λίθος μόνος του και πως συμπεριφέρεται καθώς έχει γίνει σύνθετο με κονίαμα σύνδεσης ανάμεσα στα μέρη του κάτω λίθου με του άνω λίθου. Σε κάθε διάγραμμα σύγκρισης αναγράφεται και το κονίαμα σύνδεσης, με την κωδική ονομασία του, που παρασκευάστηκε και τοποθετήθηκε ανάμεσα ως ενδιάμεσο σώμα, αυτό του κονιάματος σύνδεσης, καθώς και τα αντίστοιχα ύψη τους εκφραζόμενα σε εκατοστά (cm). Στην πορεία, ξεκινά η παρουσίαση τους από το Sa_1 & A1, έως το Sa_10 & A10. Τέλος, ο σκοπός της σύγκρισης αυτής είναι να παρουσιαστεί εμφανώς και ξεκάθαρα το χρονικό σημείο κατά το οποίο απορροφάται το υψηλότερο ποσοστό νερού μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης από τα λίθινα κυλινδρικά δοκίμια, σε σχέση με τα αντίστοιχα σύνθετα τους, καθώς και το χρονικό σημείο που σταθεροποιείται το κάθε λίθινο κυλινδρικό δοκίμιο σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύνθετο.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για Sa 1 και A1 μείγμα 1^ο (κονίαμα σύνδεσης: L NP12.5)

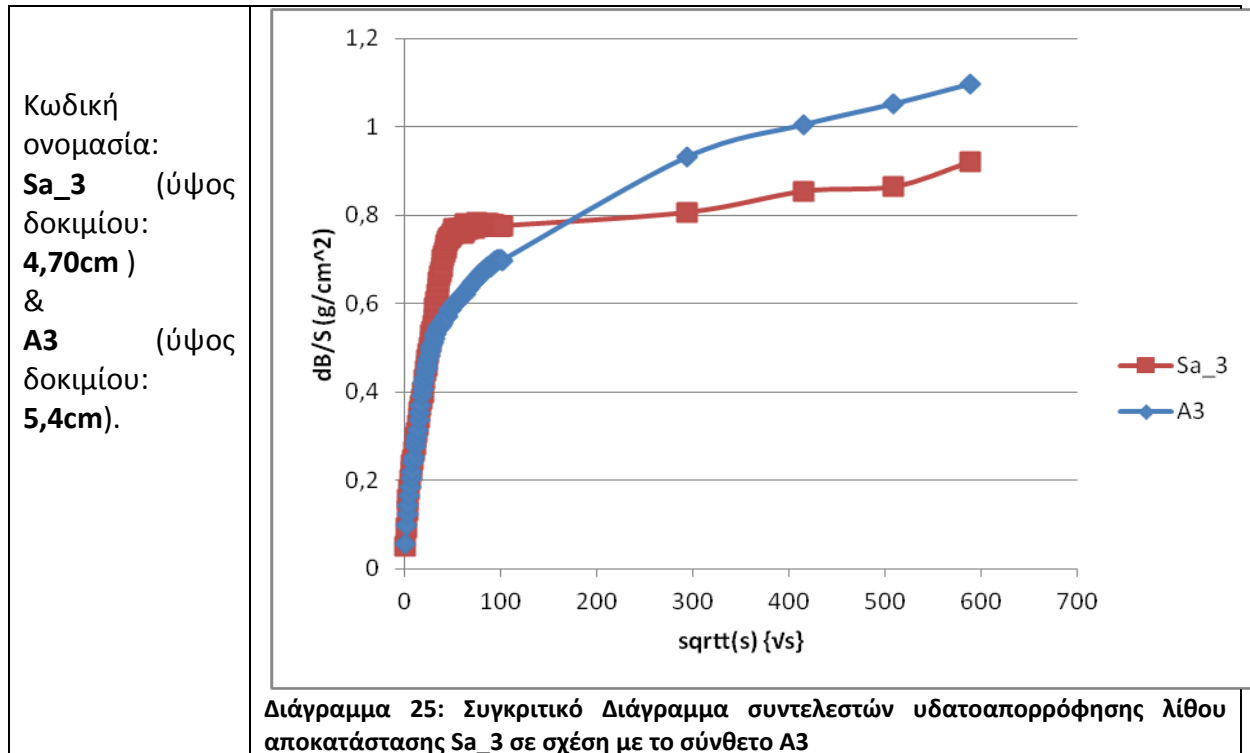


Για Sa 2 και A2 μείγμα 1^ο (κονίαμα σύνδεσης: L NP12.5)

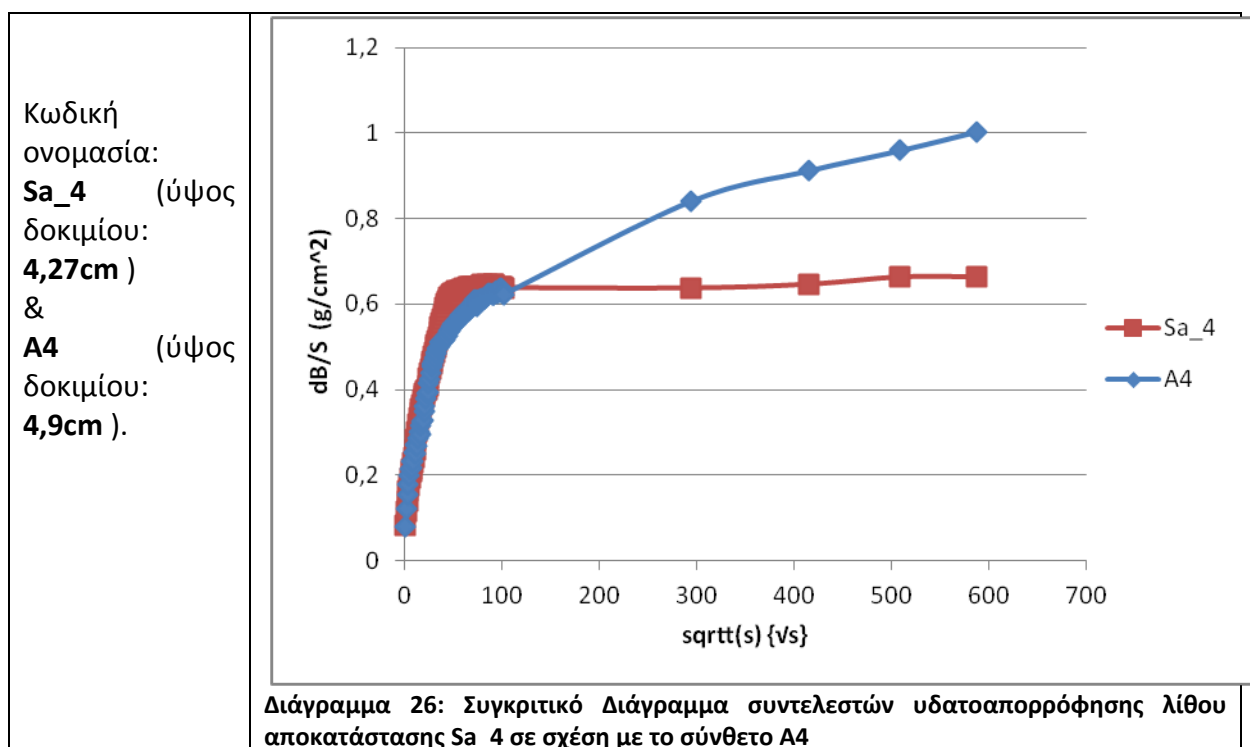


ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για Sa 3 και A3 μείγμα 2^ο (κονίαμα σύνδεσης: NHL M1 D)

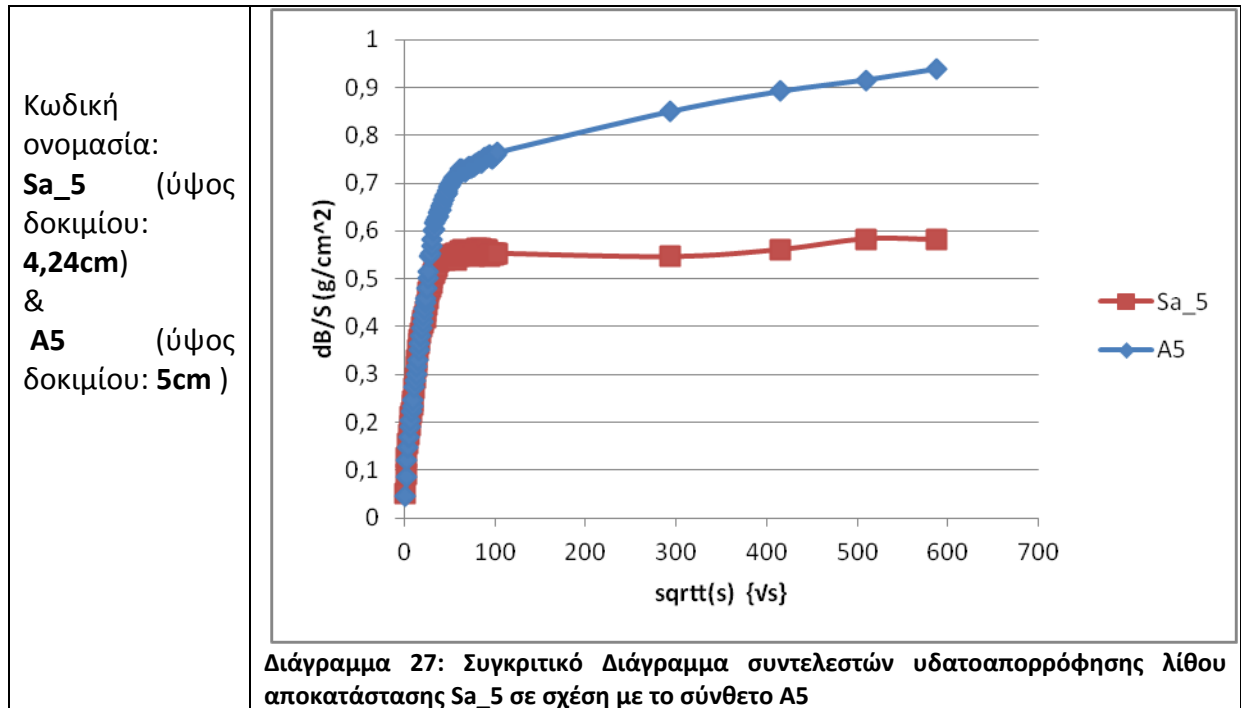


Για Sa 4 και A4 μείγμα 2^ο (κονίαμα σύνδεσης: NHL M1 D)

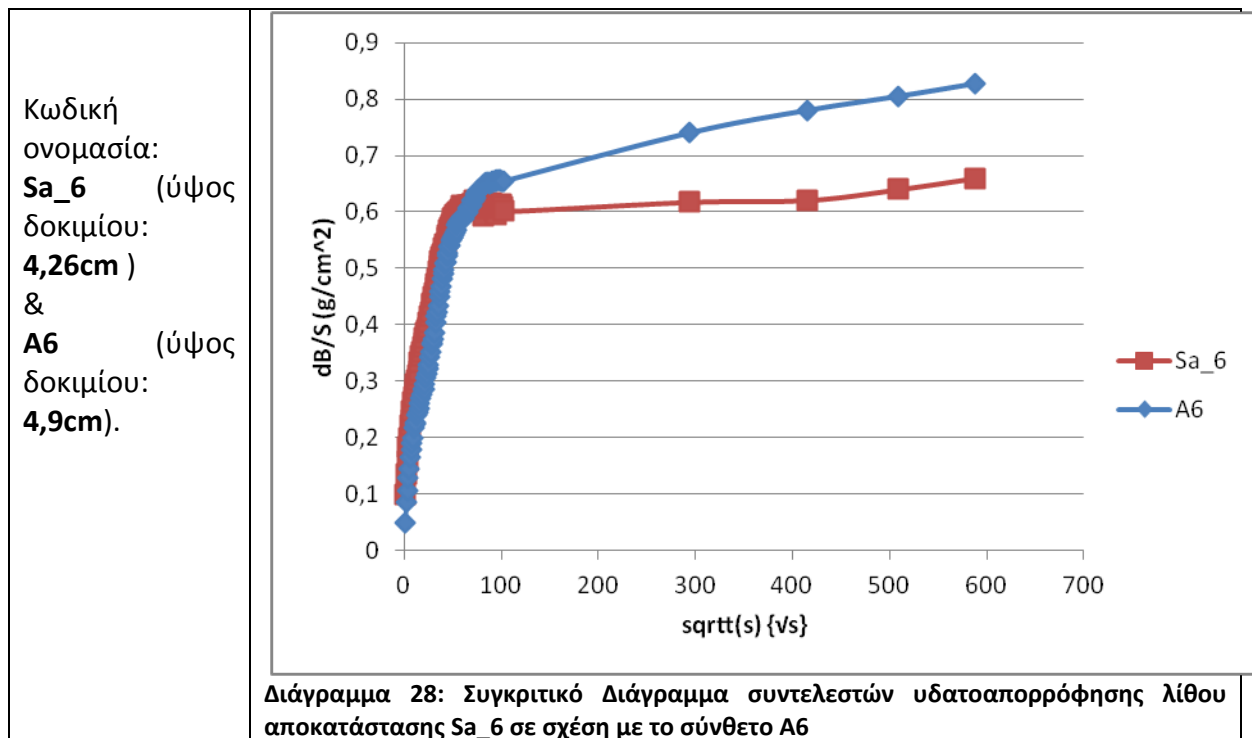


ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για Sa 5 και A5 μείγμα 3^ο (κονίαμα σύνδεσης: L NP12.5 more water)

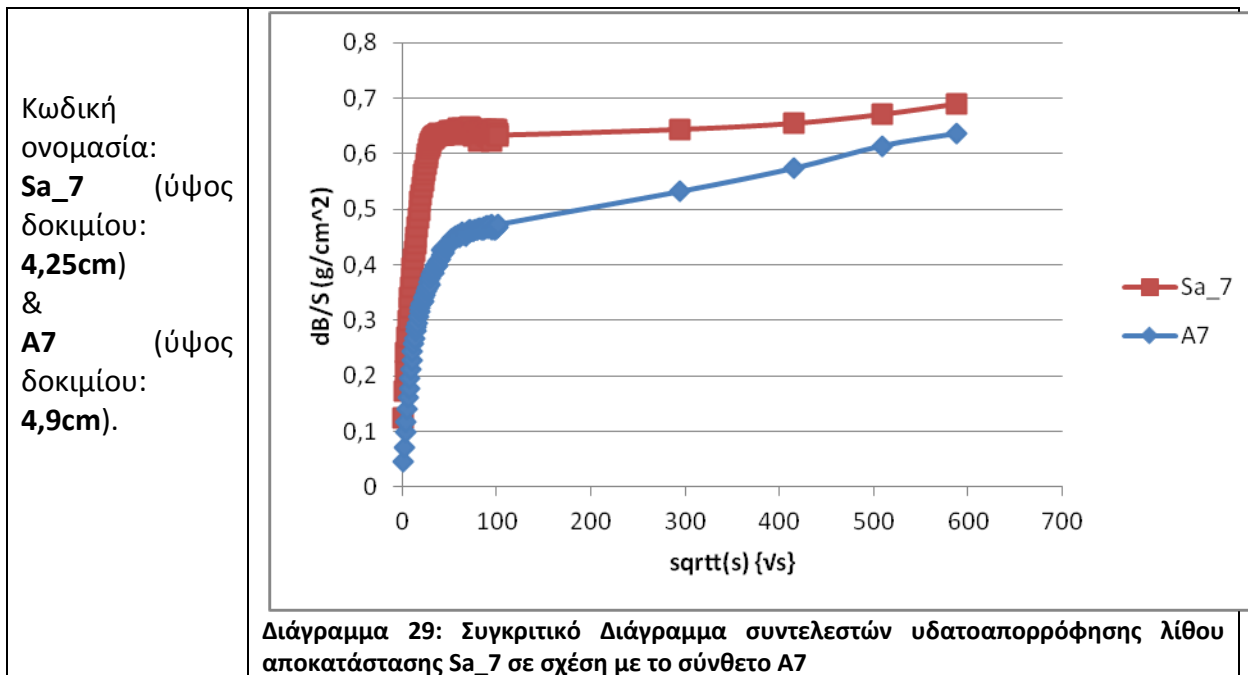


Για Sa 6 και A6 μείγμα 3^ο (κονίαμα σύνδεσης: L NP12.5 more water)

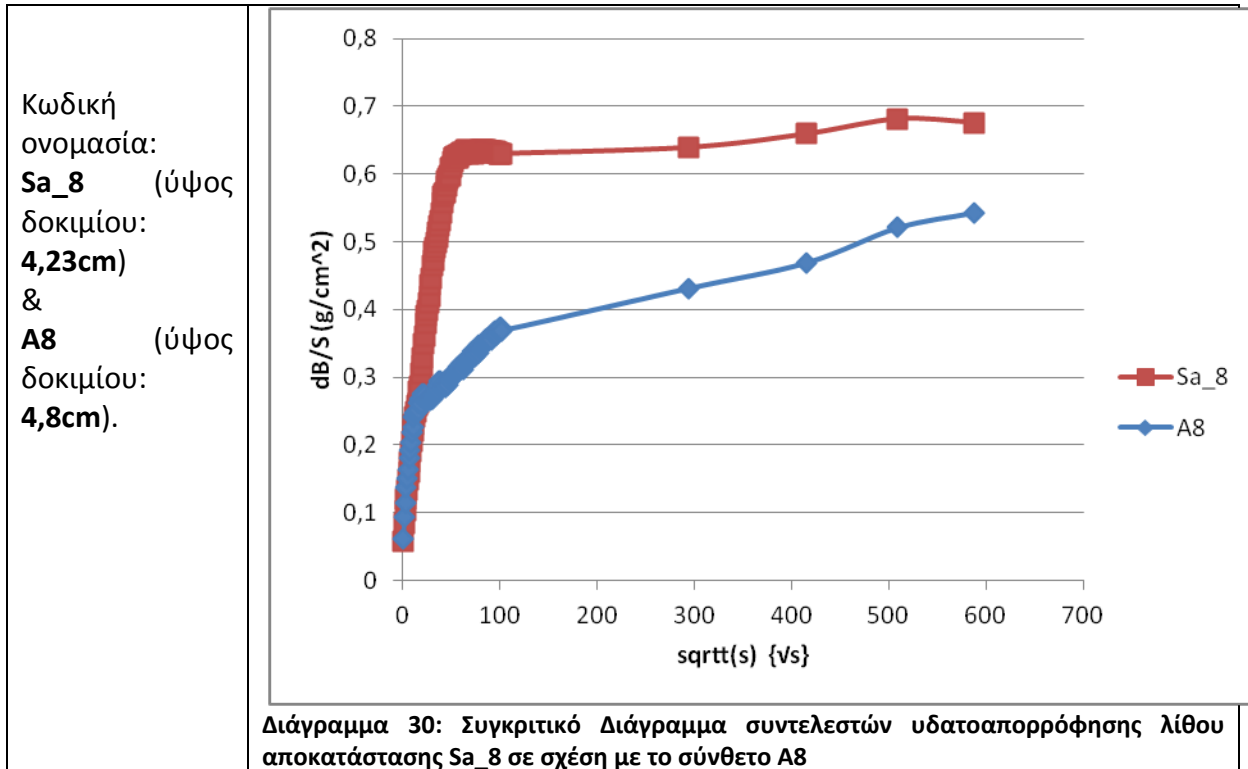


ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για Sa 7 και A7 μείγμα 4^ο (κονίαμα σύνδεσης: ME)

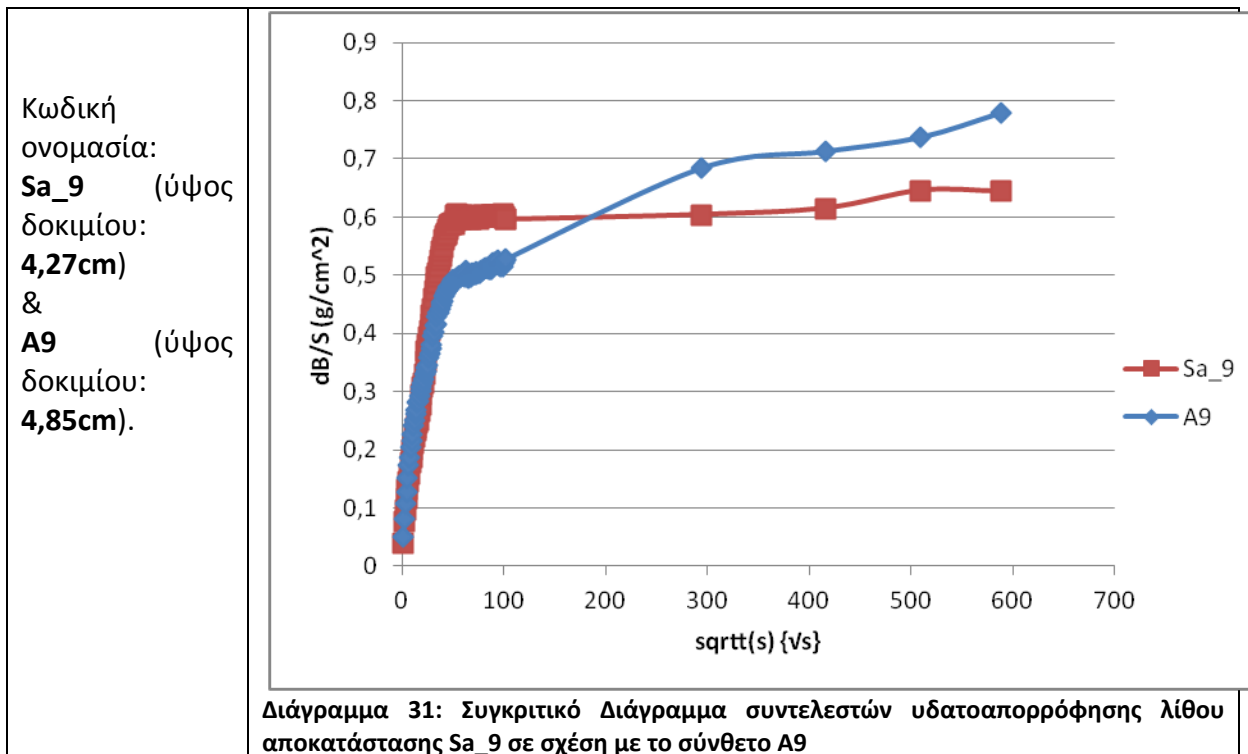


Για Sa 8 και A8 μείγμα 4^ο (κονίαμα σύνδεσης: ME)

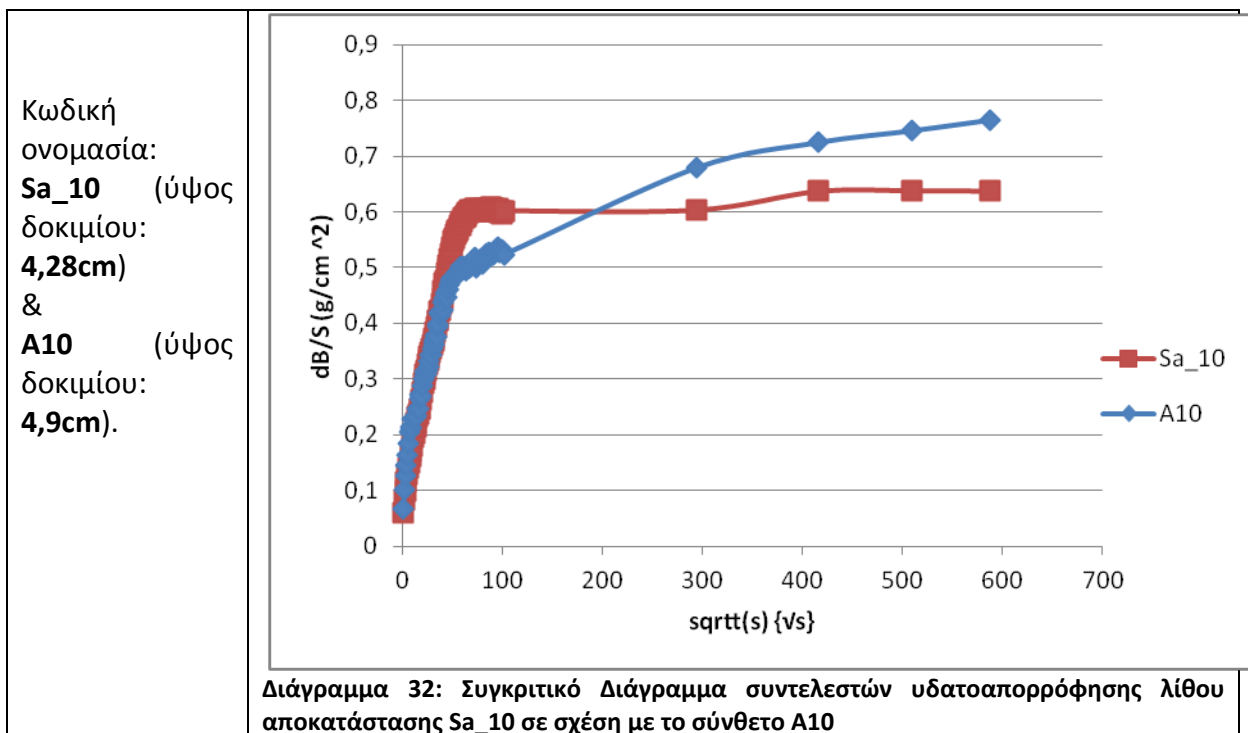


ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Για Sa 9 και A9 μείγμα 5^ο (κονίαμα σύνδεσης: C NHL)



Για Sa 10 και A10 μείγμα 5^ο (κονίαμα σύνδεσης: C NHL)



ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Τα συμπεράσματα που απορρέουν για τα παραπάνω δέκα συγκριτικά διαγράμματα - μεταξύ λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α και σύνθετων λίθου Σφουγγάρια Α – κονιάματος αποκατάστασης- είναι ότι κατά το πέρασ του πειράματος, δηλαδή στον μέγιστο χρόνο, το σύνθετο που απορροφάει μεγαλύτερο ποσοστό νερού το Α3 και το Α4 και είναι αυτό με την φυσική υδραυλική άσβεστο **NHL_M1_D**, και είναι κοντά στο σύνθετο Α1 και Α2 αυτό της φυσικής ποζολάνης **L_NP12.5**. Συγκεκριμένα το σύνθετο Α3 τραβάει περισσότερο νερό εν τω συνόλω, γιατί οι γεωμετρικές του διαστάσεις δίνουν το μεγαλύτερο ύψος από τα υπόλοιπα. Στο τέλος του πειράματος τα σύνθετα Α5 & Α6 με κονίαμα αποκατάστασης **L_NP12.5 more water** έχουν τραβήξει λιγότερο νερό ανά επιφάνεια, λόγω των γεωμετρικών τους διαστάσεων και λόγω της διαφορετικής του μικροδομής που αναπτύχθηκε (λόγω μεγαλύτερου ποσοστού νερού). Εν κατακλείδι, το νερό που τραβάει το κάθε σύνθετο όλο και μειώνεται, καθώς μειώνεται και η κλήση, γεγονός που είναι λογικό, αφού υπάρχει το ενδιαμέσο τμήμα αυτό του κονιάματος σύνδεσης. Τέλος, το σύνθετο Α9 & Α10 με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου, παρουσιάζει την πιο συμβατή συμπεριφορά στα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα τριχοειδούς αναρρίχησης.

Σημαντικές παρατηρήσεις επί των προαναφερθέντων συγκριτικών διαγραμμάτων Υδατοαπορρόφησης ως προς την αλλαγή της κλήσης της καμπύλης των σύνθετων, σε σύγκριση με τον λίθο αποκατάστασης.

Επίσης, να σημειωθεί ότι για τα διάγραμμα των σύνθετων **A1 & Sa_1** και **A2 & Sa_2** η κλήση της καμπύλης για τα δοκίμια του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α (Sa_1 και Sa_2) ανεβαίνει μετά τα 20Vsec, ενώ τα σύνθετα μένουν στάσιμα και δεν ξεπερνάνε το λίθο.

Για τα διάγραμμα των σύνθετων **A3 & Sa_3** και **A4 & Sa_4** η κλήση της καμπύλης για τα σύνθετα (Α3 & Α4) παρουσιάζει ανοδική κλήση και ανεβαίνει μετά τα 40Vsec και ξεπερνάει συγκεκριμένα το Α3 το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α (Sa_3) περίπου στα 180Vsec, ενώ το σύνθετο Α4 ξεπερνά τον λίθο αποκατάστασης στα 100Vsec.

Για τα διάγραμμα των σύνθετων **A5 & Sa_5** και **A6 & Sa_6** η κλήση της καμπύλης για το σύνθετο Α5 παρουσιάζει ανοδική κλήση και ανεβαίνει μετά τα 20Vsec και ξεπερνάει το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, Sa_5, στα 30Vsec. Για το σύνθετο Α6, αυτό παρουσιάζει ανοδική πορεία και αλλαγή της κλήσης της καμπύλης με ανοδική πορεία στα 50Vsec και ξεπερνάει το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, Sa_6, στα 80Vsec.

Για τα διάγραμμα των σύνθετων **A7 & Sa_7** και **A8 & Sa_8** όπου ο άνω λίθος και των δύο σύνθετων έχει αποκολληθεί, δεν είναι δυνατή μια ορθά επιστημονική προσέγγιση ως προς την εξέταση της πειραματικής διαδικασίας της Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης.

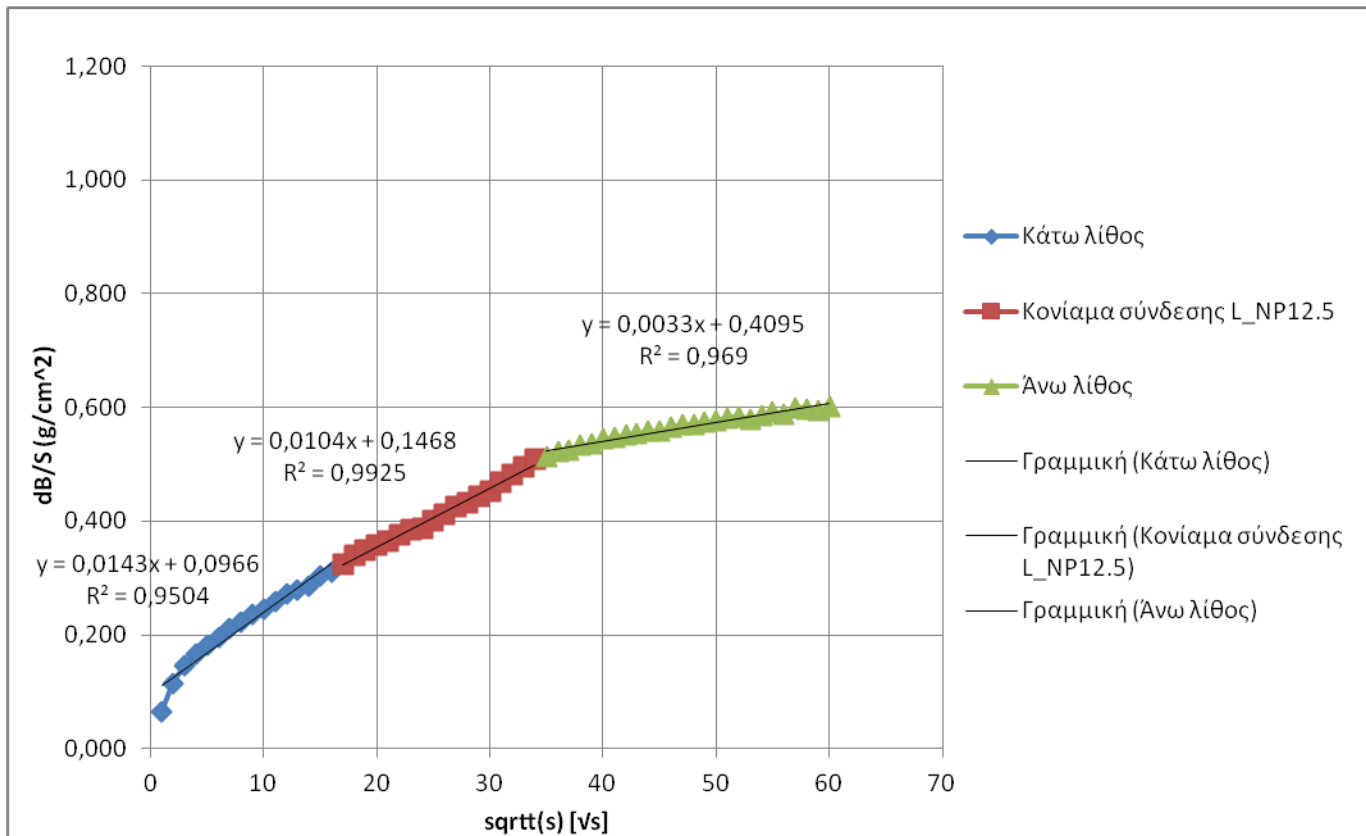
Για τα διάγραμμα των σύνθετων **A9 & Sa_9** και **A10 & Sa_10** η κλήση της καμπύλης για το σύνθετο Α9 παρουσιάζει ανοδική κλήση και ανεβαίνει μετά τα 40Vsec και ξεπερνάει το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, Sa_9, στα 200Vsec. Για το σύνθετο Α10, αυτό παρουσιάζει ανοδική πορεία και αλλαγή της κλήσης της καμπύλης με ανοδική πορεία στα 50Vsec και ξεπερνάει το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, Sa_10, στα 200Vsec.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

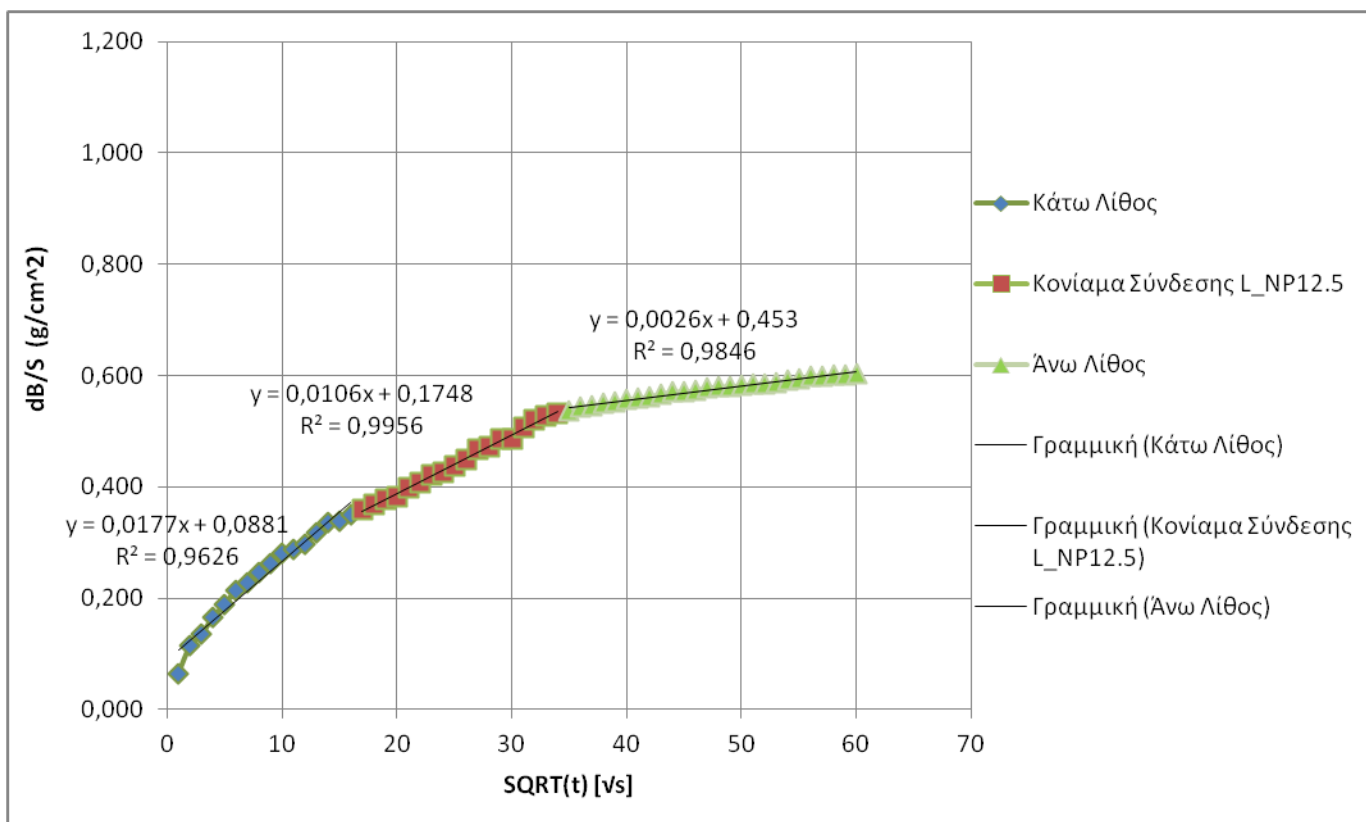
Συγκριτική μελέτη Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης στα δέκα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης A1 έως A10. Συγκριτική Μελέτη του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης στο κάθε σύνθετο μεμονωμένα, αφού πρώτα έχει κατηγοριοποιηθεί σε τρία τμήματα που είναι τα εξής: κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης και τέλος άνω λίθος.

Παρακάτω θα εξεταστεί σε κάθε σύνθετο λίθου – κονιάματος αποκατάστασης, η συμπεριφορά του κατά την διάρκεια του πειράματος Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης. Θα μελετηθεί ο συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης στα τρία μέρη (κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης και άνω λίθος) του κάθε σύνθετου ξεχωριστά. Αρχικά, μελετάται το κάθε σύνθετο στα τρία μέρη που το αποτελεί, δηλαδή αυτά είναι για το πρώτο τμήμα/μέρος ο κάτω λίθος, έπειτα ενδιάμεσο στρώμα το κονίαμα αποκατάστασης/ σύνδεσης και τέλος το τρίτο μέρος είναι ο άνω λίθος. Παρουσιάζονται δέκα ξεχωριστά διαγράμματα για τα δέκα σύνθετα που μελετώνται και εφαρμόζεται πάνω τους το πείραμα της Υδατοαπορρόφησης. Ο λόγος για τον οποίο έγινε αυτή η καταμέριση τμημάτων ανά δοκίμιο σύνθετου είναι για να εξεταστεί πως αντιδρά το κάθε σύνθετο ξεχωριστά στην απορρόφηση νερού μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης και να εξεταστεί σε κάθε μέρος ξεχωριστά ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης για να επιτευχθεί μια πιο προσεγγισμένη και σαφής συγκριτική μελέτη, ούτως ώστε να διεξαχθούν ορθά συμπεράσματα ως προς την επιλογή καταλληλότερου και πιο συμβατού κονιάματος αποκατάστασης.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

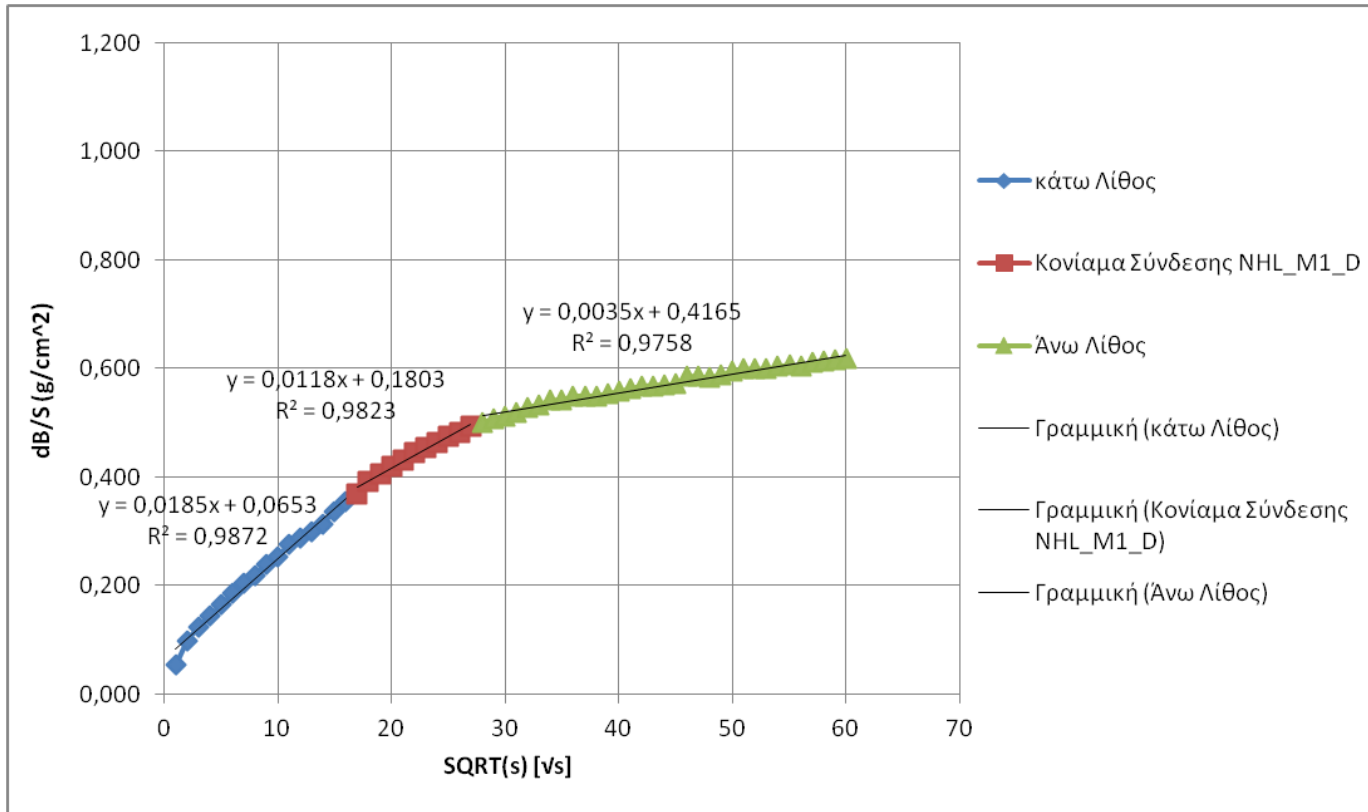


Διάγραμμα 33: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A1

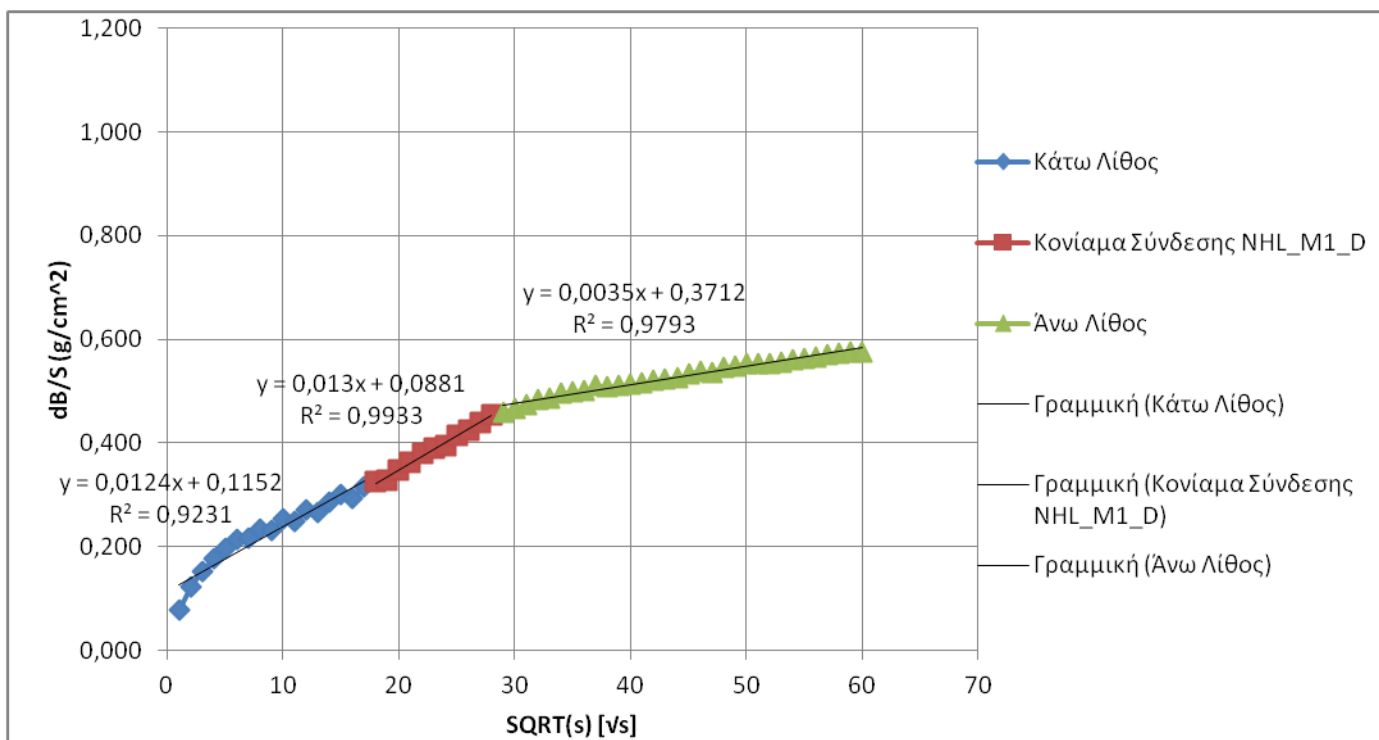


Διάγραμμα 34: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A2

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

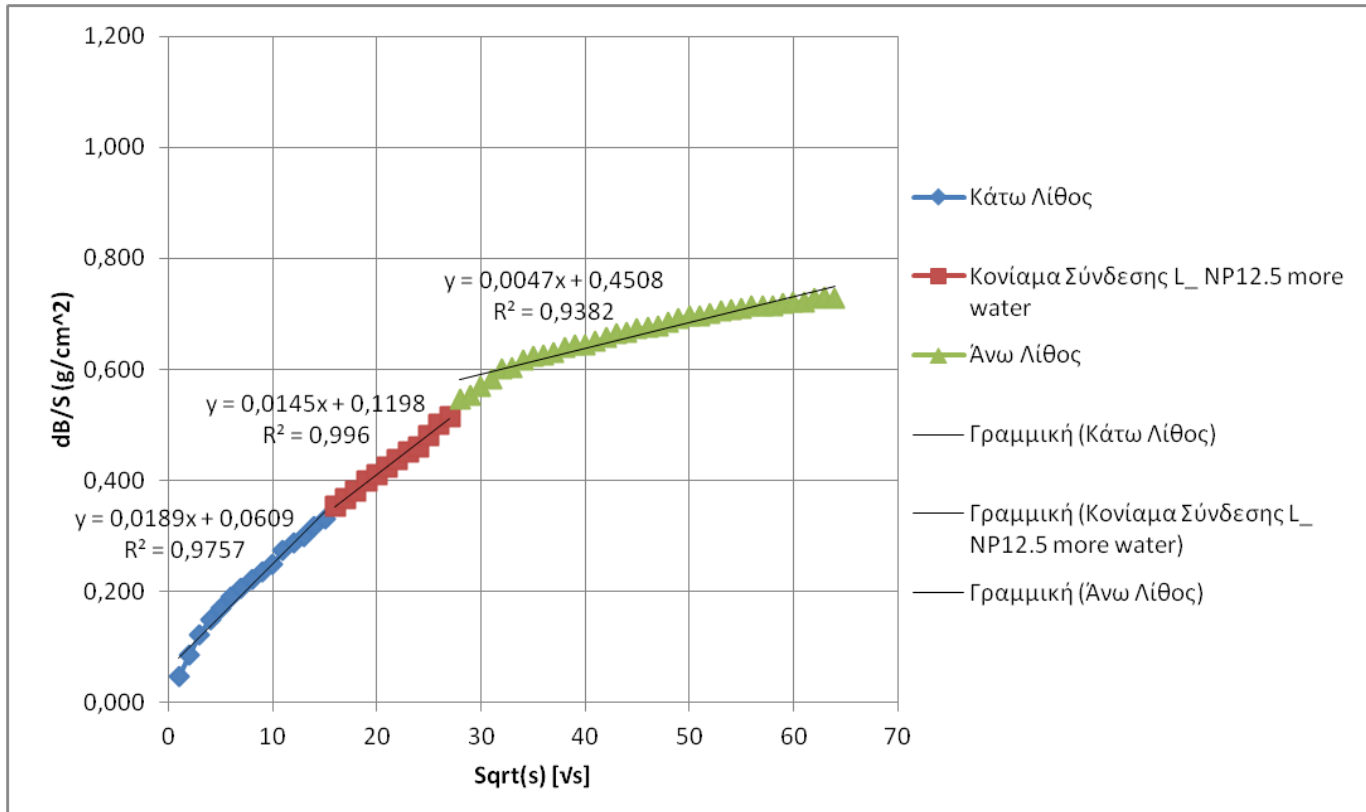


Διάγραμμα 35: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A3

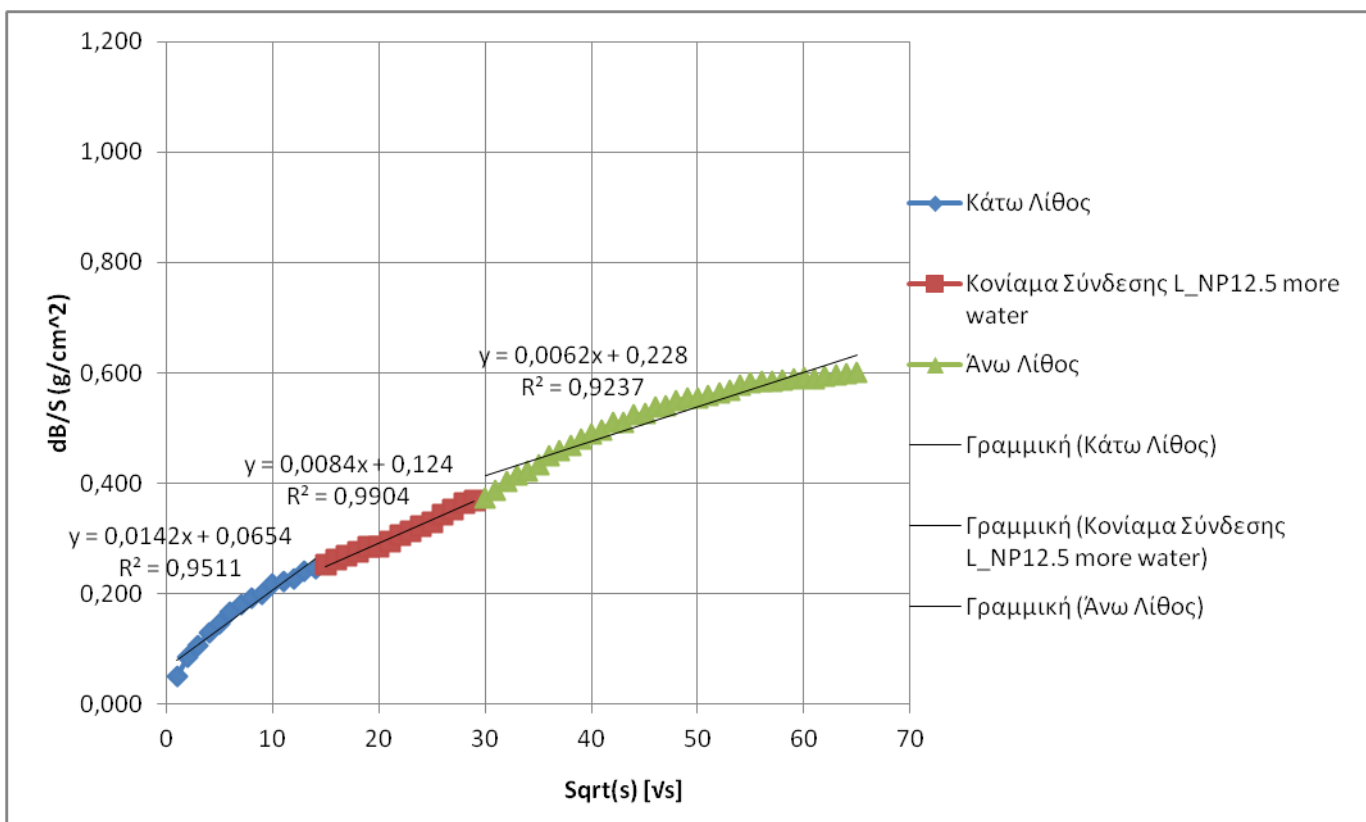


Διάγραμμα 36: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A4

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

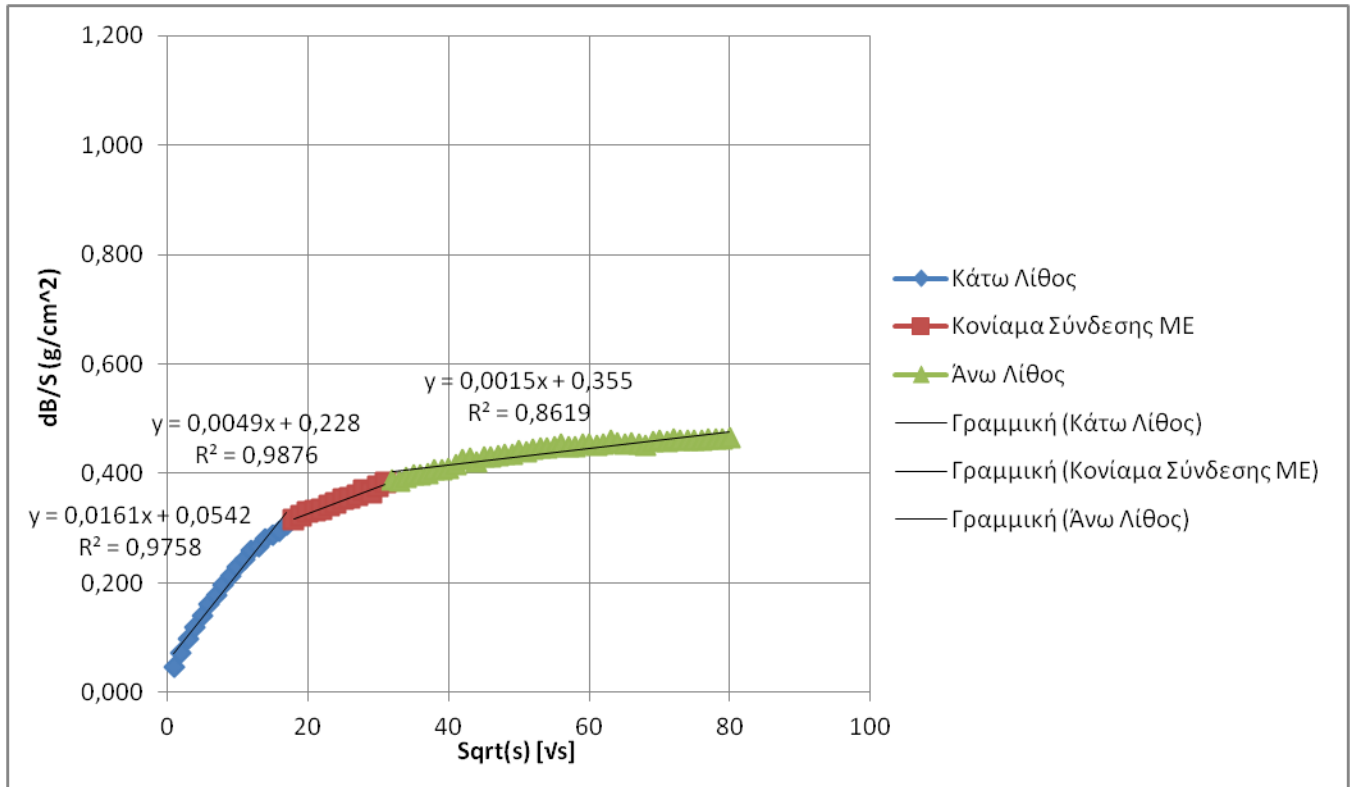


Διάγραμμα 37: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A5

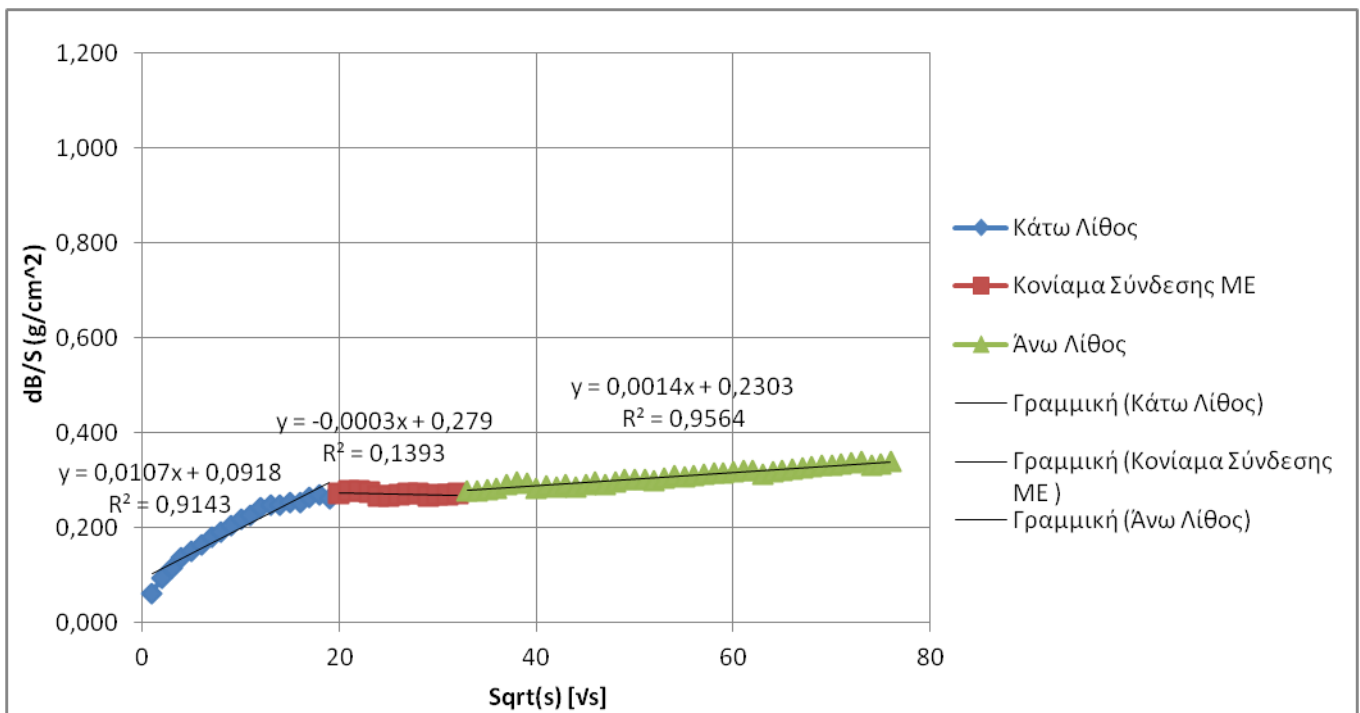


Διάγραμμα 38: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A6

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

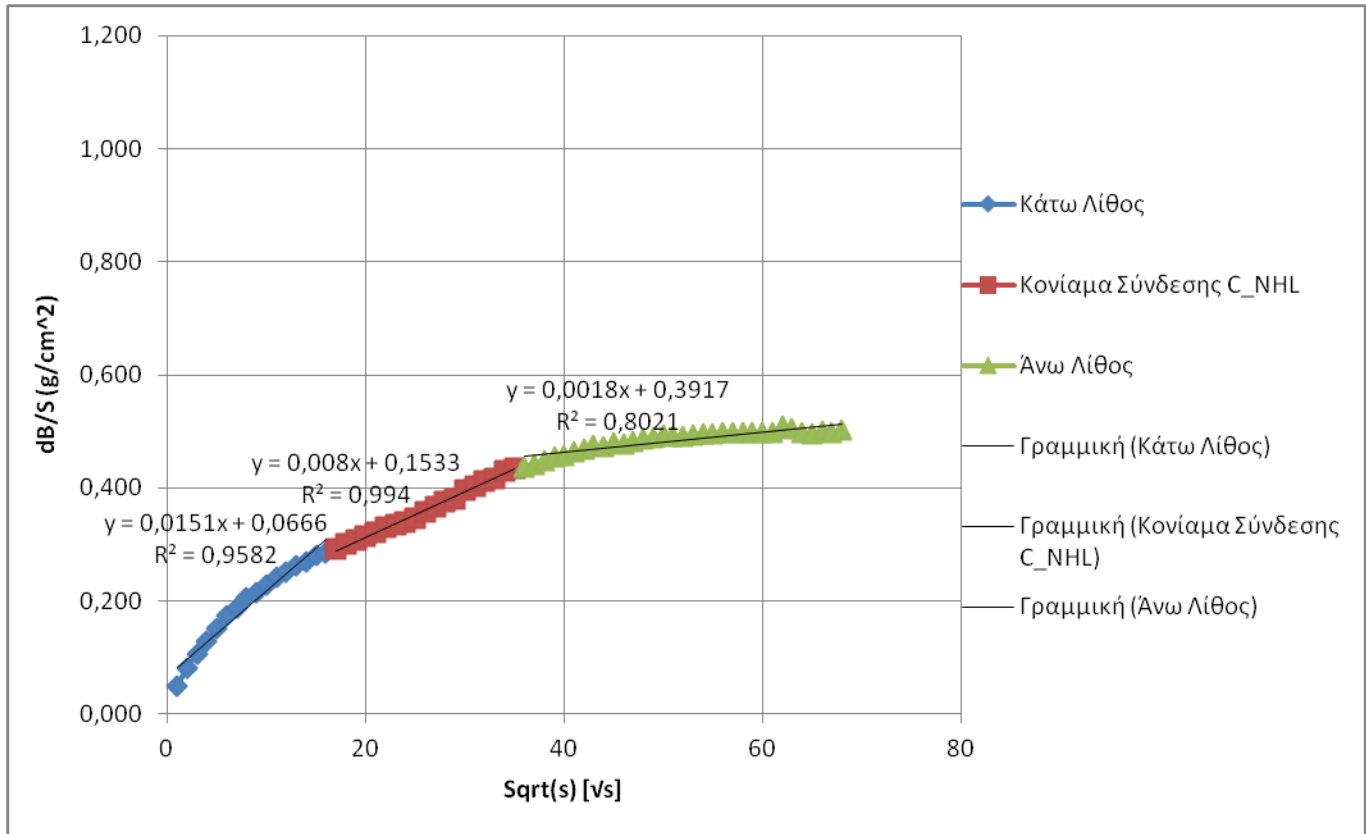


Διάγραμμα 39: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A7

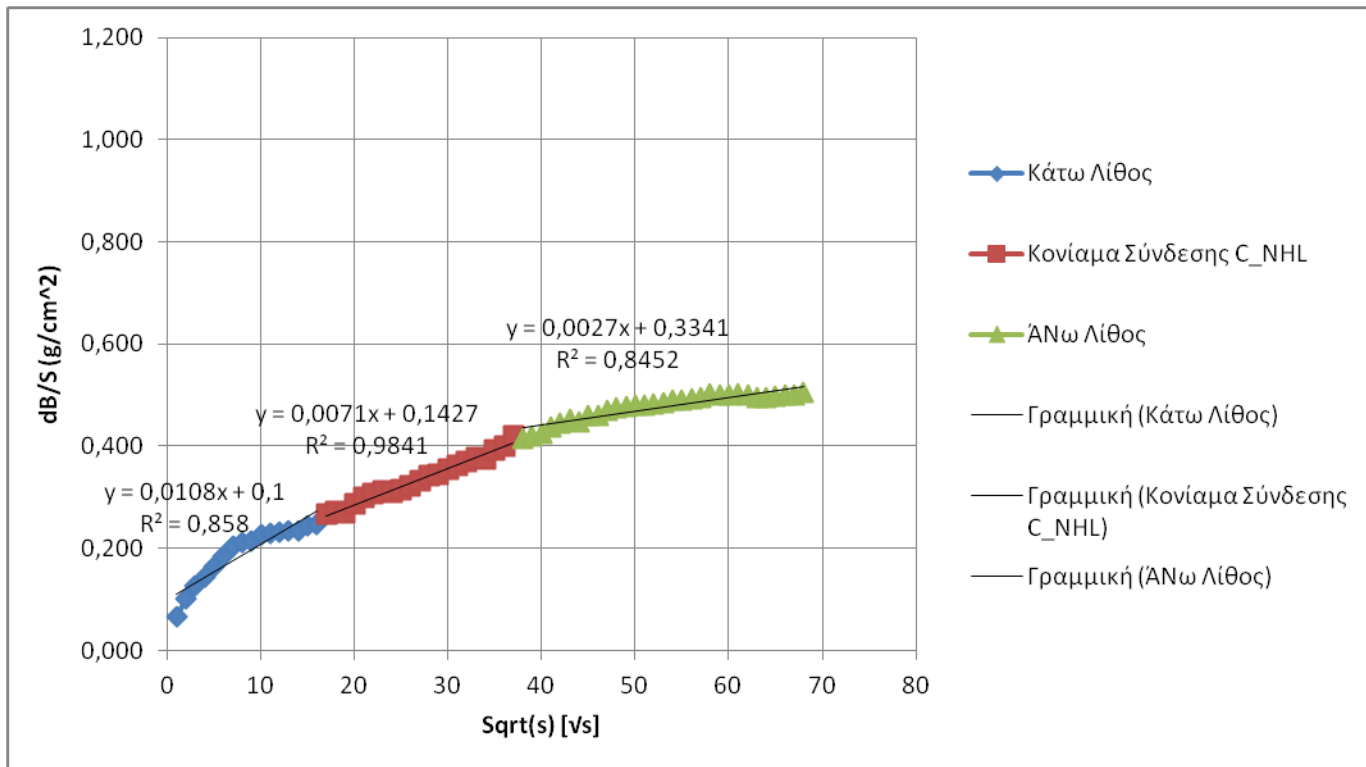


Διάγραμμα 40: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A8

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 41: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A9



Διάγραμμα 42: Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης για κάθε τμήμα/μέρος ξεχωριστά στο A10

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με όλα τα αποτελέσματα συγκεντρωμένα, από την μελέτη που παρουσιάστηκε παραπάνω, μέσω των διαγραμμάτων του πειράματος της Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών.

Πίνακας 51: Αποτελέσματα συγκριτικής μελέτης για κάθε ένα σύνθετο ξεχωριστά σε κάθε ένα τμήμα του (κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης, άνω λίθος) καθώς και σε σχέση με τα υπόλοιπα

Κωδικός Σύνθετου	Μέρη Σύνθετου	Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$) για τα τμήματα του συνθέτου	R ²	Ύψη (cm)
A1	Κάτω Λίθος	0,0143	0,9504	2,3
	Κονίαμα Σύνδεσης (NP)	0,0104	0,9925	0,85
	Άνω Λίθος	0,0033	0,969	2,4
A2	Κάτω Λίθος	0,0177	0,9626	2,5
	Κονίαμα Σύνδεσης (NP)	0,0106	0,9956	0,8
	Άνω Λίθος	0,0026	0,9846	2,4
A3	Κάτω Λίθος	0,0185	0,9872	2,3
	Κονίαμα Σύνδεσης (NHLM1)	0,0118	0,9823	0,8
	Άνω Λίθος	0,0035	0,9758	2,3
A4	Κάτω Λίθος	0,0124	0,9231	2,1
	Κονίαμα Σύνδεσης (NHLM1)	0,013	0,9933	0,8
	Άνω Λίθος	0,0035	0,9793	2,0
A5	Κάτω Λίθος	0,0189	0,9757	2,0
	Κονίαμα Σύνδεσης (NP_more water)	0,0145	0,996	0,9
	Άνω Λίθος	0,0047	0,9382	2,1
A6	Κάτω Λίθος	0,0142	0,9511	2,1
	Κονίαμα Σύνδεσης (NP_more water)	0,0084	0,9904	0,8
	Άνω Λίθος	0,0062	0,9237	2,0
A7	Κάτω Λίθος	0,0161	0,9758	2,0
	Κονίαμα Σύνδεσης (ME)	0,0049	0,9876	0,8
	Άνω Λίθος	0,0015	0,8619	2,1
A8	Κάτω Λίθος	0,0107	0,9143	2,0
	Κονίαμα Σύνδεσης (ME)	0,0003	0,1393	0,8
	Άνω Λίθος	0,0014	0,9564	2,0
A9	Κάτω Λίθος	0,0151	0,9582	2,0

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

	Κονίαμα Σύνδεσης (C_NHL)	0,008	0,994	0,85
	Άνω Λίθος	0,0018	0,8021	2,0
A0	Κάτω Λίθος	0,0108	0,858	2,0
	Κονίαμα Σύνδεσης (C_NHL)	0,0071	0,9841	0,8
	Άνω Λίθος	0,0027	0,8452	2,1

Να σημειωθεί ότι ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης για τον άνω λίθο στα σύνθετα A1 έως A6 (τα A7 & A8 είχαν αποκολληθεί στον άνω λίθο, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη) κυμαίνονται από 0,0026 έως 0,0062. Ενώ για συντελεστή υδατοαπορρόφησης για άνω λίθο στα A9 και A10 έχουμε τιμές 0,0018 και 0,0027 αντίστοιχα. Το συμπέρασμα που απορρέει είναι ότι το κονίαμα σύνδεσης C_NHL στα σύνθετα A9 & A10, δεν άφησε το νερό να εισχωρήσει στον άνω λίθο(και αυτό διαπιστώνεται από την μικρή τιμή του συντελεστή απορρόφησης νερού), σε σχέση με τα σύνθετα A1 έως A6 (όπου οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για τον άνω λίθο ήταν μεγαλύτερες).

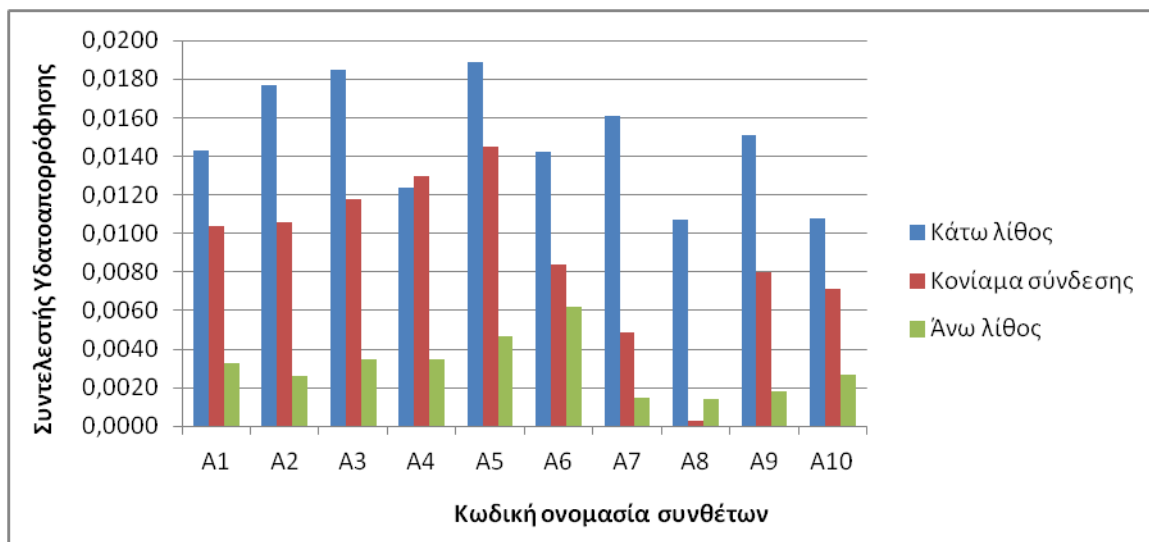
Στην συνέχεια, παρατίθεται πίνακας με τον συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($g/(cm^2sec^{1/2})$) για τα τρία διαφορετικά τμήματα που απαρτίζουν το κάθε σύνθετο ξεχωριστά, εκ των δέκα συνθέτων, εν τω συνόλω. Ούτως ώστε να επιτευχθεί μια συγκριτική μελέτη τους και να διεξαχθούν τυχόν συμπεράσματα βάσει της πειραματικής αυτής διαδικασίας.

Πίνακας 52: Σύγκριση τιμών συντελεστή υδατοαπορρόφησης για τα τρία τμήματα του κάθε σύνθετου

Κωδικοί Σύνθετων	Συνθέσεις κονιαμάτων	Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($g/(cm^2sec^{1/2})$)		
		Κάτω λίθος	Κονίαμα σύνδεσης	Άνω λίθος
A1	NP	0,0143	0,0104	0,0033
A2		0,0177	0,0106	0,0026
A3	NHL_M1_D	0,0185	0,0118	0,0035
A4		0,0124	0,0130	0,0035
A5	NP more water	0,0189	0,0145	0,0047
A6		0,0142	0,0084	0,0062
A7	ME	0,0161	0,0049	0,0015
A8		0,0107	0,0003	0,0014
A9	C_NHL	0,0151	0,0080	0,0018
A10		0,0108	0,0071	0,0027

Στην συνέχεια, ακολουθεί το διάγραμμα για τους συντελεστές Υδατοαπορρόφησης μέσω Τριχοειδούς Αναρρίχησης (με τις τιμές του Πίνακα: 50), για να ολοκληρωθεί η συγκριτική μελέτη των συντελεστών υδατοαπορρόφησης των τριών τμημάτων (κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης, άνω λίθος) των δέκα σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 43: Σύγκριση τιμών συντελεστή υδατοαπορρόφησης στα τρία τμήματα του κάθε ένα σύνθετου ξεχωριστά

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα για τον Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$) στο λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, στα κονιάματα αποκατάστασης (συνθέσεις αλλά και εμπορικά) και τέλος στα σύνθετα λίθου- κονιάματος αποκατάστασης, ώστε να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική μελέτη μεταξύ τους.

Πίνακας 53: Αποτελέσματα για τον Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, στο Λίθο Αποκατάστασης, στα Κονιάματα Αποκατάστασης και τέλος στα Σύνθετα Λίθου-Κονιάματος Αποκατάστασης

Κωδικοί σύνθετου	Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$) αρχικού δοκιμίου λίθου	Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$) κονιάματος	Συντελεστής Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδών C.R.C. ($\text{g}/(\text{cm}^2\text{sec}^{1/2})$) σύνθετου
A1	0,0132	0,0358	0,0116
A2	0,0176	0,0358	0,0130
A3	0,0159	0,0121	0,0154
A4	0,0129	0,0121	0,0117
A5	0,0141	-	0,0165
A6	0,0107	-	0,0101
A7	0,0158	0,0065	0,0105 (αποκολλημένο)
A8	0,0127	0,0065	0,006 (αποκολλημένο)
A9	0,0126	0,0141	0,0103
A10	0,0099	0,0141	0,0095

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα για το WAC (%) μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης στο λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, στα κονιάματα αποκατάστασης (συνθέσεις αλλά και εμπορικά), τέλος στα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, ώστε να πραγματοποιηθεί μια συγκριτική μελέτη μεταξύ τους.

Πίνακας 54: Αποτελέσματα για το WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, στο Λίθο Αποκατάστασης, στα Κονιάματα Αποκατάστασης και τέλος στα Σύνθετα Λίθου-Κονιάματος Αποκατάστασης

Κωδικοί σύνθετου	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%) αρχικού δοκιμίου λίθου	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%) κονιάματος	WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%) σύνθετου
A1	9,66	17,97	9,96
A2	9,64	17,97	9,36
A3	11,07	14,30	11,54
A4	8,45	14,30	11,15
A5	7,47	-	10,31
A6	8,28	-	9,21
A7	8,82	14,85	6,98
A8	8,78	14,85	6,18
A9	8,13	14,75	8,63
A10	8,09	14,75	8,46

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4.3. Έλεγχος υγρομετρικής συμπεριφοράς σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης με θερμογραφία υπέρυθρου

Ο έλεγχος της υγρομετρικής συμπεριφοράς που επιτυγχάνεται μέσω της Θερμογραφίας Υπερύθρου είναι ιδιαιτέρως σημαντικός, αλλά και χρήσιμος, ούτως ώστε να υλοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη, σε ότι αφορά στην συμβατότητα του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α με τις τρεις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, καθώς και των δύο έτοιμων εμπορικών κονιαμάτων αποκατάστασης.

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη των φαινομένων μεταφοράς (εξάτμιση-ρυθμός απώλειας υγρασίας) στα σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιάματος αποκατάστασης με κωδική ονομασία Α1, Α3, Α6, Α7, και τέλος Α9 με θερμογραφία υπέρυθρου, μέσω της φορητής κάμερας IR, στο εργαστήριο Α1, των Χημικών Μηχανικών.

Τα αποτελέσματα από τη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς (υδατοαπορρόφηση – εξάτμιση), καθώς και από τον θερμογραφικό έλεγχο στο εργαστήριο, επιτρέπουν στην προτυποποίηση της υπέρυθρης θερμογραφίας ως μη καταστρεπτικής μεθόδου για τον έλεγχο συμβατότητας των δομικών υλικών, την τεκμηρίωση της φθοράς και την αποτίμηση των επεμβάσεων συντήρησης επί τόπου σε ιστορικές τοιχοποιίες καθώς και σε μνημεία.

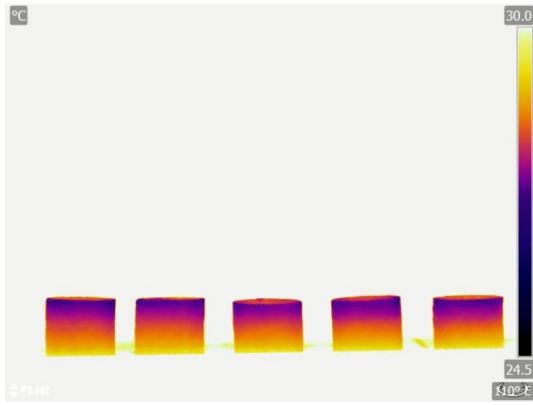
Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια προσπάθεια ποιοτικής εκτίμησης του ρυθμού απώλειας υγρασίας, κοινώς της εξάτμισης των πέντε συνθέτων (Α1, Α3, Α6, Α7, & Α9). Παρατηρείται στο παρακάτω διάγραμμα που δίδεται, η ύπαρξη μιας έντονης απώλειας υγρασίας στις πρώτες δύο ώρες αφότου ξεκίνησε η πειραματική διαδικασία. Συγκεκριμένα, παρατίθενται τα αποτελέσματα για τον ρυθμό απώλειας υγρασίας ανά σύνθετο ξεχωριστά για κάθε μισή ώρα και δίνεται η μέτρηση του βάρους του. Να σημειωθεί ότι οι μετρήσεις μάζας πραγματοποιούσαν κάθε μισή ώρα (30min).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα Θερμογραφήματα των πέντε σύνθετων Α1, Α3, Α6, Α7 & Α9 από την πειραματική διαδικασία της Υπέρυθρης Θερμογραφίας που έλαβε χώρα σε εργαστήριο της σχολής Χ-Μ, Α1, καθώς και τα συμπεράσματα που απορρέουν από αυτά.

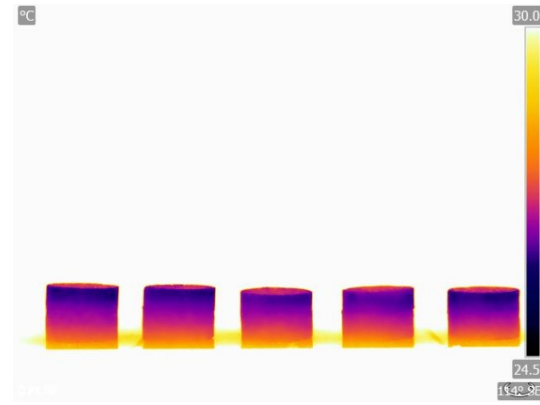
Αποτελέσματα Υπέρυθρης Θερμογραφίας

Τα πέντε σύνθετα δοκίμια λίθου κονιάματος Α1, Α3, Α6, Α7 και Α9, αφού πληρώθηκαν με νερό μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης σε κλειστό δοχείο μελετήθηκαν με τη θερμογραφία υπέρυθρου. Στόχος ήταν η καταγραφή των θερμοκρασιακών μεταβολών που αυτά υφίστανται κατά τη διάρκεια της εξάτμισης σε συνθήκες περιβάλλοντος ($T=29^{\circ}\text{C}$ και $RH=50\%-55\%$ κατά τη διάρκεια του πειράματος), καθώς και κατά πόσο η θερμοκρασία διαφοροποιείται σε κάθε σύνθετο δοκίμιο, κατά τμήμα (άνω λίθος-κονίαμα-κάτω λίθος) και στο σύνολο, σε σχέση με το κονίαμα αποκατάστασης που έχει χρησιμοποιηθεί.

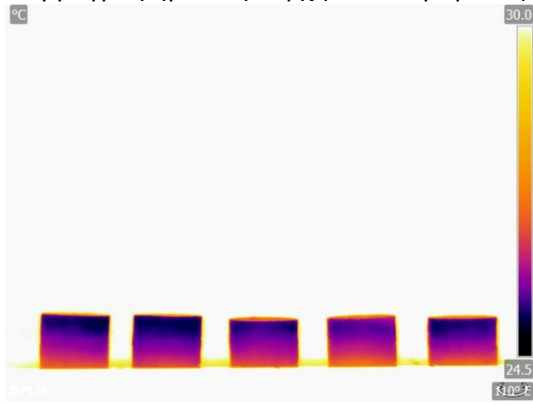
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.



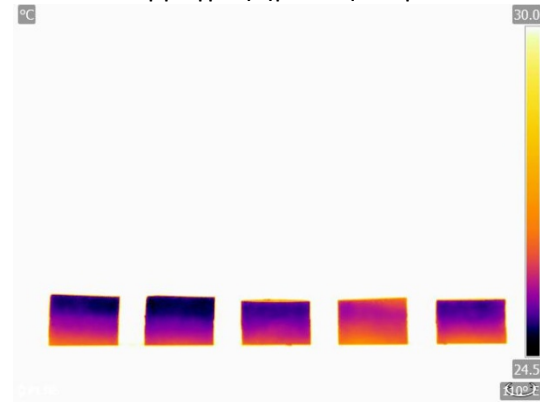
Θερμογράφημα στην αρχή του πειράματος



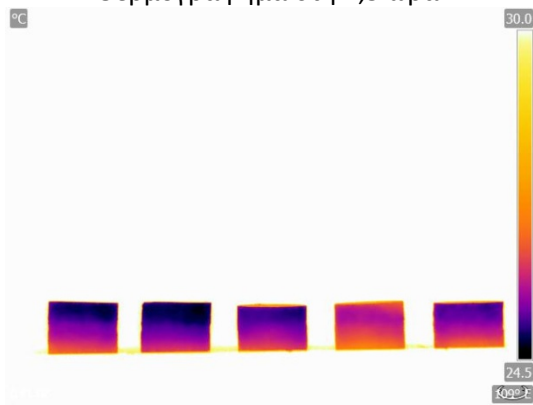
Θερμογράφημα στη 1 ώρα



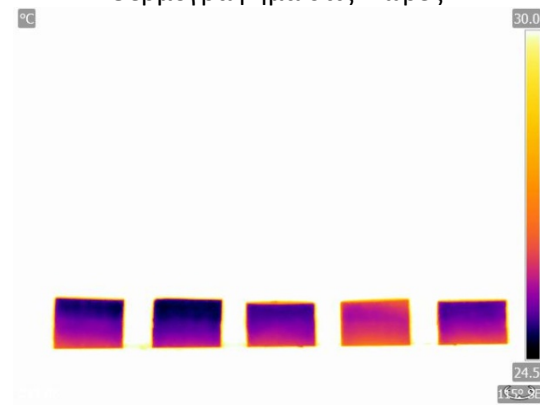
Θερμογράφημα στη 1,5 ώρα



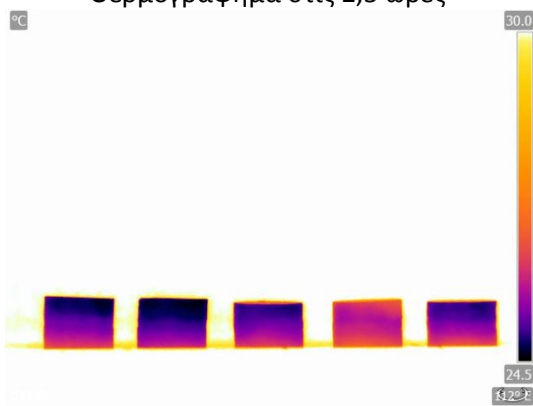
Θερμογράφημα στις 2 ώρες



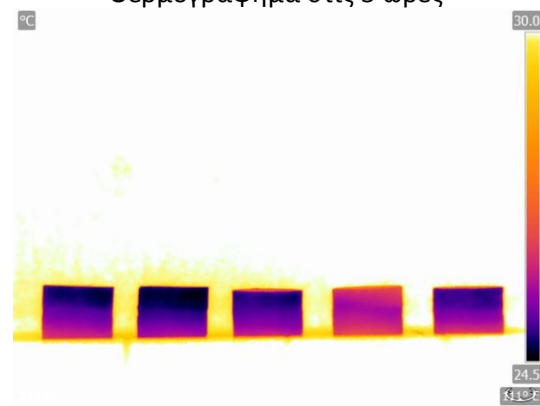
Θερμογράφημα στις 2,5 ώρες



Θερμογράφημα στις 3 ώρες

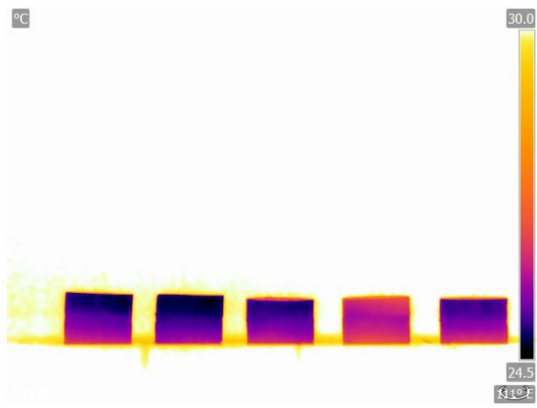


Θερμογράφημα στις 3,5 ώρες

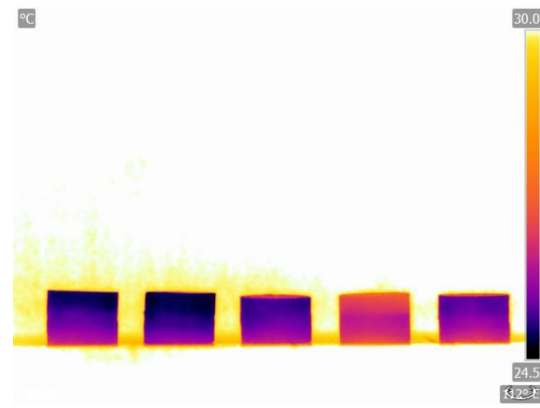


Θερμογράφημα στις 4 ώρες

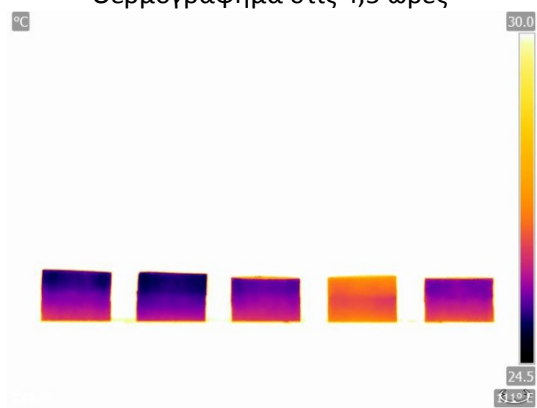
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.



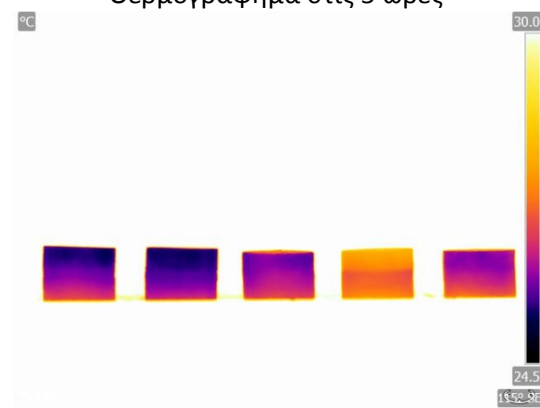
Θερμογράφημα στις 4,5 ώρες



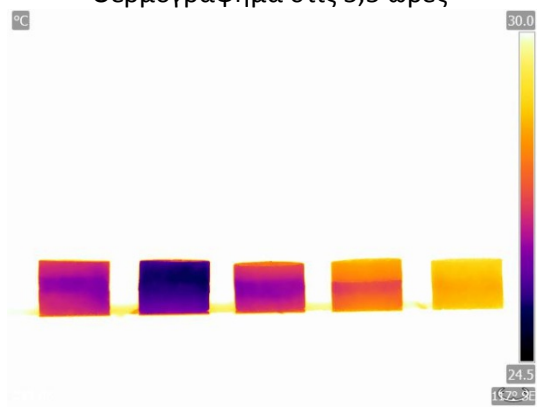
Θερμογράφημα στις 5 ώρες



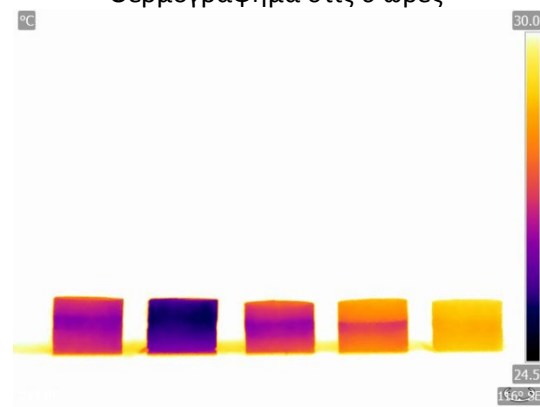
Θερμογράφημα στις 5,5 ώρες



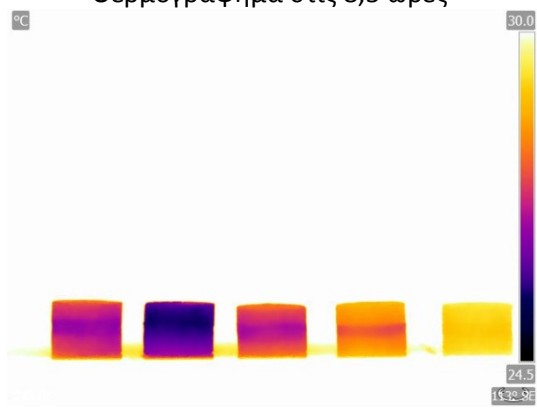
Θερμογράφημα στις 6 ώρες



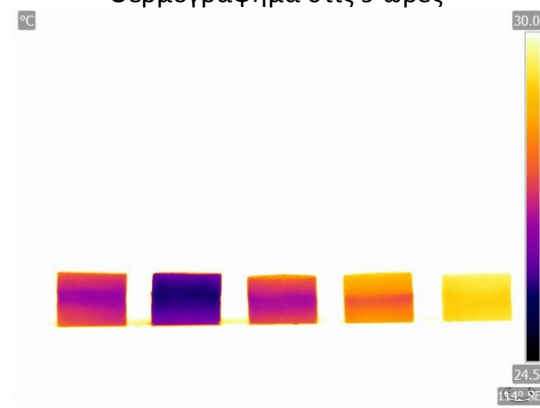
Θερμογράφημα στις 8,5 ώρες



Θερμογράφημα στις 9 ώρες

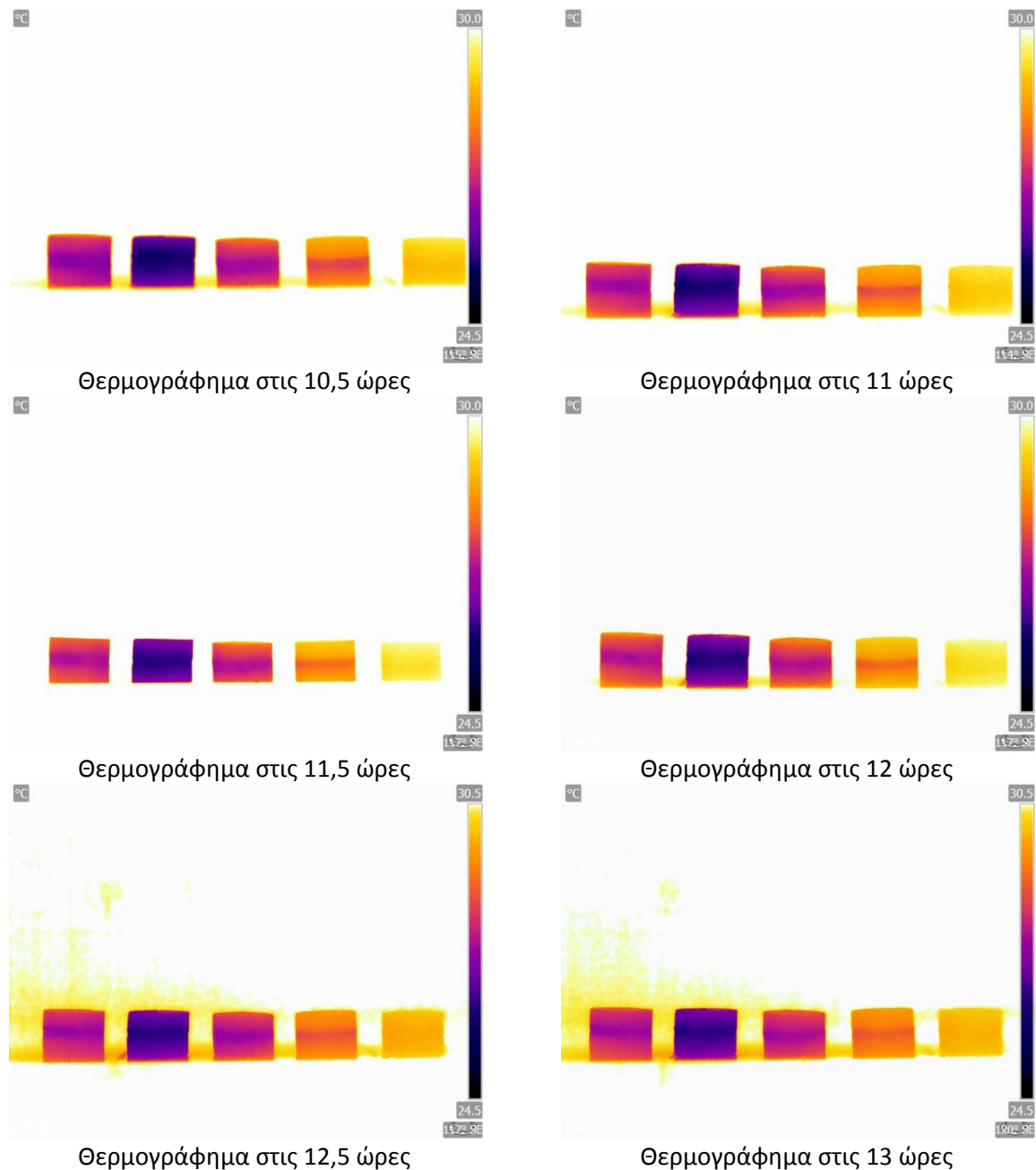


Θερμογράφημα στις 9,5 ώρες



Θερμογράφημα στις 10 ώρες

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

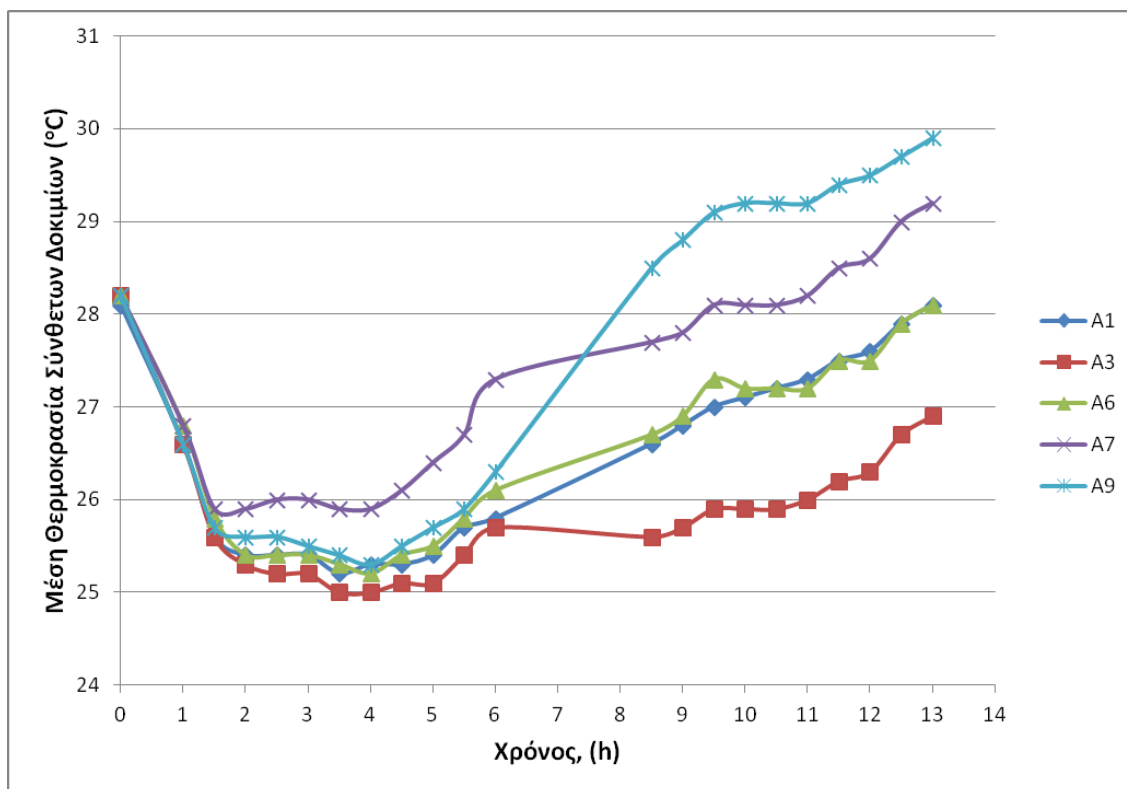


Εικόνα 102: Θερμογραφήματα των σύνθετων δοκιμίων στους διαφορετικούς χρόνους εξέτασης. Σε όλα τα θερμογραφήματα η τοποθέτηση των δοκιμίων από τα αριστερά προς τα δεξιά έχει ως εξής: A1, A3, A6, A7, A9.

Από τα θερμογραφήματα (Εικόνα: 102), προκύπτει ότι το κύριο μέτωπο της εξάτμισης της υγρασίας φαίνεται ότι βρίσκεται στο πάνω μέρος του κάθε δοκιμίου (δηλ. στον άνω λίθο), το οποίο και παρουσιάζει συστηματικά χαμηλότερη θερμοκρασία σε κάθε σύνθετο δοκίμιο κατά τις πρώτες ώρες διενέργειας του πειράματος, ανεξαρτήτως του κονιάματος σύνδεσης που έχει χρησιμοποιηθεί. Προς το τέλος όμως του πειράματος το τμήμα του κάθε σύνθετου δοκιμίου που παρουσιάζει χαμηλότερη θερμοκρασία είναι το κεντρικό δηλαδή το τμήμα του κονιάματος. Επίσης, είναι σαφές ότι το κάθε σύνθετο παρουσιάζει διαφορετικό ρυθμό θερμοκρασιακής μεταβολής και άρα εξάτμισης του περιεχόμενου νερού στα τριχοειδή, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στο εκάστοτε κονίαμα σύνδεσης που έχει

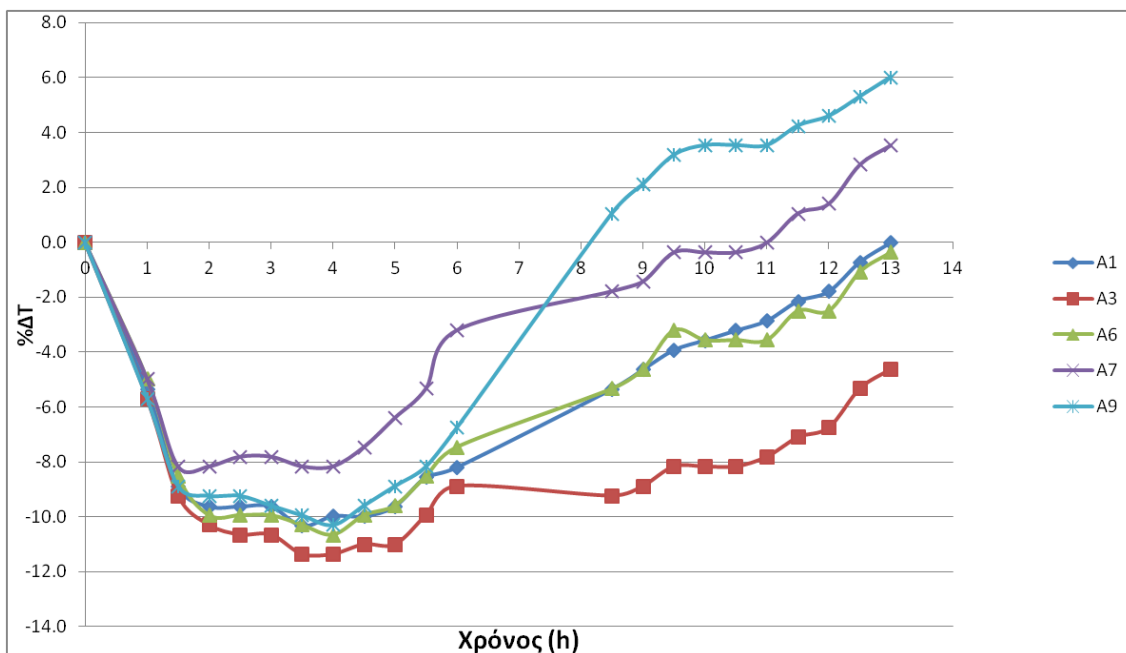
ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

χρησιμοποιηθεί. Παρατηρείται ότι το σύνθετο A3 (με τη φυσική υδραυλική άσβεστο και μετακαολίνη), είναι αυτό που παρουσιάζει τις χαμηλότερες θερμοκρασίες καθ’ όλη τη διάρκεια της θερμογραφικής εξέτασης και συνεπώς η εξάτμιση του περιεχόμενου νερού είναι χαμηλότερου ρυθμού. Το γεγονός αυτό υποδεικνύει μικρότερη φυσικοχημική συμβατότητα του συγκεκριμένου κονιάματος με τον λίθο σε σύγκριση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα κονιάματα σύνδεσης. Παράλληλα, το σύνθετο που παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες μετά τις 8,5 ώρες διενέργειας του πειράματος είναι το A9, δηλαδή αυτό που φέρει το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου. Στο τέλος δε, του πειράματος εναρμονίζεται θερμοκρασιακά με το περιβάλλον, γεγονός που υποδεικνύει ότι η εξάτμιση του περιεχόμενου νερού στα τριχοειδή έχει λάβει χώρα πιο γρήγορα σε σύγκριση με τα υπόλοιπα. Το γεγονός αυτό το καθιστά περισσότερο φυσικοχημικά συμβατό ως προς τον εξεταζόμενο λίθο. Τα δύο δοκίμια της αερικής ασβέστου με ποζολάνη παρουσιάζουν αντίστοιχες θερμοκρασιακές μεταβολές και συνεπώς αντίστοιχα φαινόμενα εξάτμισης νερού παρόλο που κατά την παρασκευή τους χρησιμοποιήθηκε διαφορετική ποσότητα νερού που επηρέασε τη μικροδομή τους. Τέλος, το σύνθετο A7 με το εμπορικό κονίαμα ασβέστη μετακαολίνη παρουσιάζει από τις 2 έως τις 8,5 ώρες της εξέτασης τις υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τα υπόλοιπα εξεταζόμενα δοκίμια. Όμως δεν μπορούμε για το συγκεκριμένο δοκίμιο να προβούμε σε ορθά συμπεράσματα αφού το άνω τμήμα του λίθου ήταν αποκολλημένο από το συνδετικό κονίαμα και κατά τη διάρκεια του πειράματος είχε απλά τοποθετηθεί επί του συνθέτου κάτω λίθος-κονίαμα. Για την καλύτερη κατανόηση του φαινομένου παρατίθεται το διάγραμμα διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας του κάθε εξεταζόμενου δοκιμίου σε σχέση με το χρόνο, καθώς και το διάγραμμα της επί της εκατό μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του κάθε δοκιμίου σε σχέση με τον χρόνο (Εικόνα 103 & Εικόνα 104, αντιστοίχως).



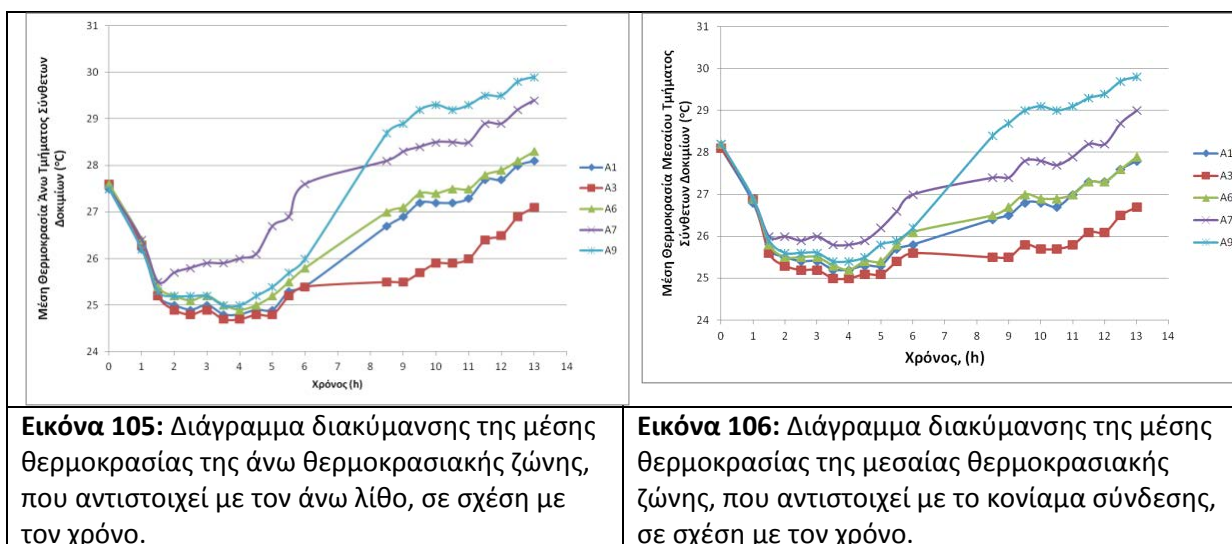
Εικόνα 103: Διάγραμμα διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας κάθε σύνθετου δοκιμίου σε σχέση με το χρόνο.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

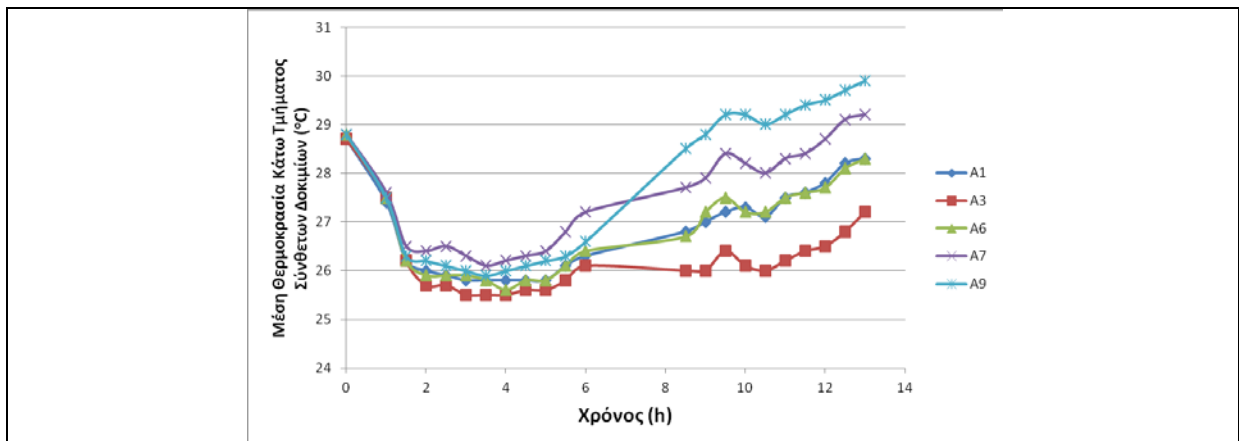


Εικόνα 104: Διάγραμμα της επί της εκατό μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας του κάθε δοκιμίου σε σχέση με τον χρόνο.

Από τα παραπάνω διαγράμματα είναι σαφές ότι κατά την αρχή του πειράματος η μέση θερμοκρασία του κάθε δοκιμίου μειώνεται αποκτώντας τις ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες κατά τις 4 με 5 πρώτες ώρες του πειράματος. Από τις 6 και κυρίως μετά από τις 8 ώρες, παρατηρείται αύξηση των μέσων θερμοκρασιακών τιμών όλων των εξεταζόμενων σύνθετων δοκιμίων με υψηλότερη αυτή του δοκιμίου A7 και χαμηλότερη αυτή του δοκιμίου A3.

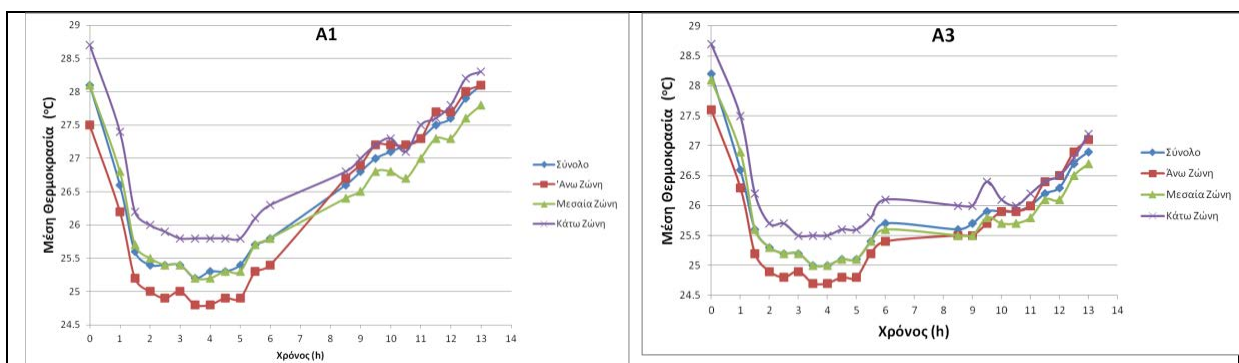


ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.



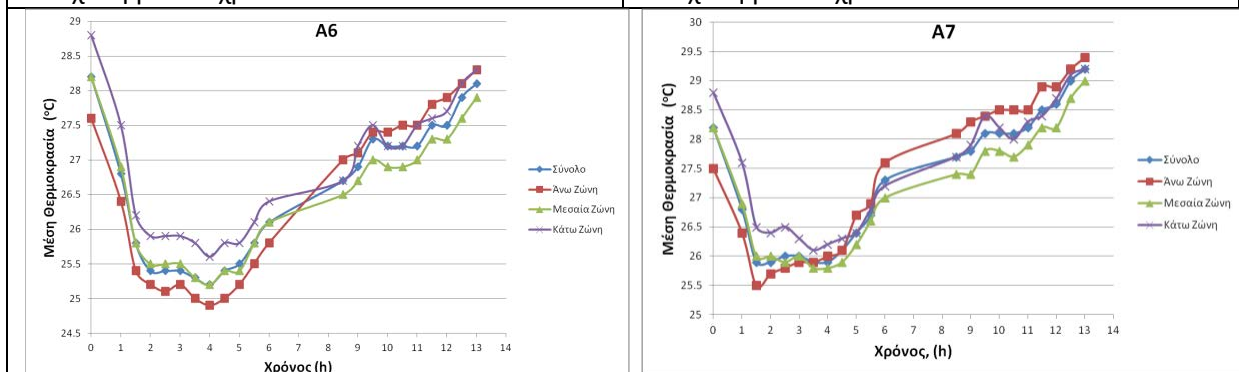
Εικόνα 107: Διάγραμμα διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας της κάτω θερμοκρασιακής ζώνης, που αντιστοιχεί με τον κάτω λίθο, σε σχέση με τον χρόνο.

Από τα παραπάνω διαγράμματα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας της άνω, μεσαίας και κάτω θερμοκρασιακής ζώνης, (που αντιστοιχούν στον άνω λίθο, το κονίαμα και τον κάτω λίθο), σε σχέση με τον χρόνο, είναι εμφανές για το σύνολο των δοκιμίων ότι η άνω ζώνη παρουσιάζει χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις άλλες δύο, ενώ η κάτω ζώνη τις υψηλότερες θερμοκρασίες.



Εικόνα 108: Συγκριτικό διάγραμμα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας των τριών ζωνών και του συνόλου του δοκιμίου A1, σε σχέση με τον χρόνο.

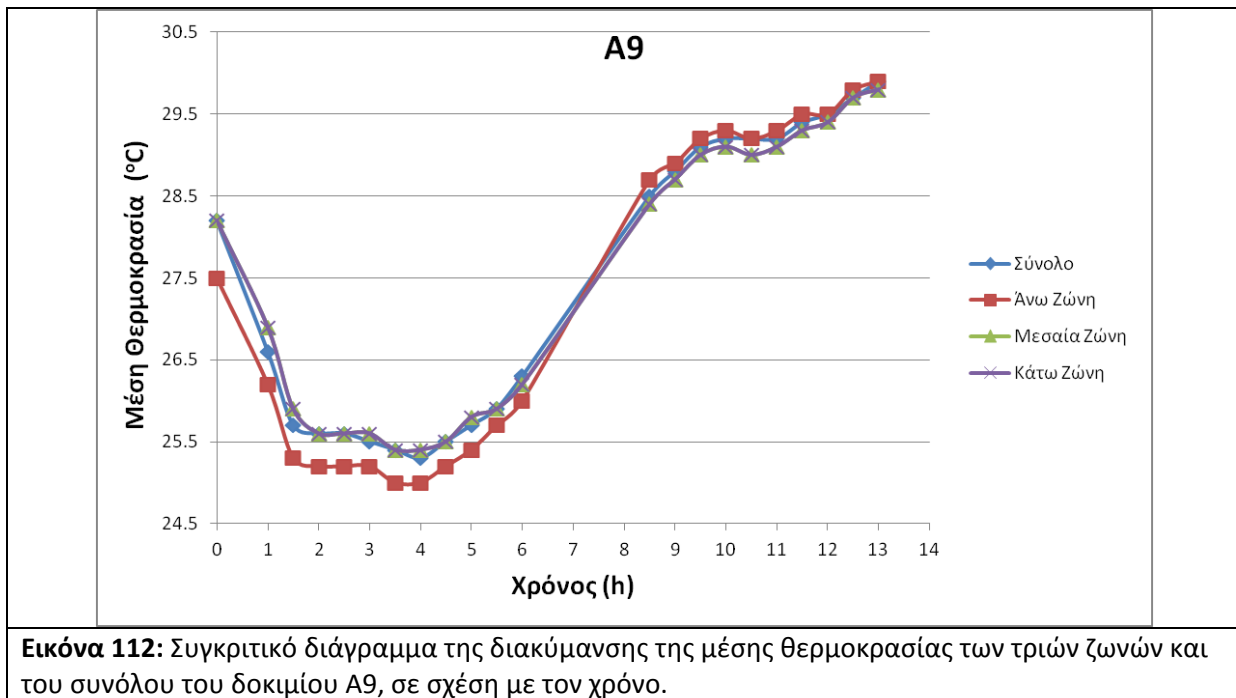
Εικόνα 109: Συγκριτικό διάγραμμα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας των τριών ζωνών και του συνόλου του δοκιμίου A3, σε σχέση με τον χρόνο.



Εικόνα 110: Συγκριτικό διάγραμμα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας των τριών ζωνών και του συνόλου του δοκιμίου A6, σε σχέση με τον χρόνο.

Εικόνα 111: Συγκριτικό διάγραμμα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας των τριών ζωνών και του συνόλου του δοκιμίου A7, σε σχέση με τον χρόνο.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Από τα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα της διακύμανσης της μέσης θερμοκρασίας των τριών ζωνών και του συνόλου του κάθε εξεταζόμενου σύνθετου δοκιμίου, καθίσταται σαφές ότι το δοκίμιο A9 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θερμοκρασιακή ομοιογένεια. Οι μέσες θερμοκρασίες των τριών διακριτών ζωνών του δοκιμίου ακολουθούν αντίστοιχες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με κοντινές θερμοκρασιακές τιμές και συνεπώς καταδεικνύεται η παρόμοια θερμο-υγρική συμπεριφορά λίθου κονιάματος.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις τιμές από την πειραματική διαδικασία μέσω Θερμογραφίας Υπερύθρου.

Πίνακας 55: Μετρήσεις μάζας του κάθε συνθέτου σε σχέση με τον χρόνο ξήρανόσής του.

Χρόνος (ώρες)	Μάζα (g) σύνθετου A1	Μάζα (g) σύνθετου A3	Μάζα (g) σύνθετου A6	Μάζα (g) σύνθετου A7	Μάζα (g) σύνθετου A9
0,0	488,02	457,31	427,01	424,37	427,20
0,5	487,47	456,52	426,44	424,28	426,02
1,0	486,60	456,01	425,77	423,55	425,19
1,5	485,60	455,07	424,83	422,78	424,30
2,0	484,58	454,13	423,92	421,93	423,38
2,5	483,66	453,27	423,03	421,26	422,47
3,0	482,78	452,45	422,25	420,62	421,67
3,5	481,94	451,67	421,49	420,02	420,85
4,0	481,15	450,94	420,80	419,47	420,12
4,5	480,31	450,19	420,09	418,86	419,36
5,0	479,51	449,45	419,38	418,31	418,61
5,5	478,69	448,70	418,68	417,82	417,88
6,0	477,88	447,97	418,01	417,33	417,19
20,5	459,98	430,59	403,57	406,75	404,42
21,0	459,52	429,99	403,18	406,45	404,25
21,5	458,98	429,28	402,71	406,12	404,03
22,0	458,52	428,65	402,30	405,84	403,84
22,5	458,05	427,97	401,85	405,52	403,62
23,0	457,55	427,27	401,42	405,18	403,41
23,5	457,12	426,66	401,03	404,91	403,23
24,0	456,66	426,04	400,64	404,66	403,05
24,5	456,28	425,50	400,32	404,44	402,91
25,0	455,81	424,82	399,94	404,18	402,73

Συγκεκριμένα, εξετάζοντας τις τιμές της μάζας για το κάθε ένα σύνθετο ξεχωριστά, του παραπάνω πίνακα, για τον ρυθμό απώλειας υγρασίας του και τα αποτελέσματα από τη μέτρηση του βάρους του, που πραγματοποιούταν κάθε μισή ώρα, διαπιστώνεται ότι το σύνθετο A9, με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, κατέχει τον πιο σταθερό ρυθμό απώλειας υγρασίας ανά μισή ώρα. Αυτό διαπιστώνεται από την σταθερή ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει, που κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,83 – 1,18g για τις πρώτες 3,5 ώρες. Μετά τις 3,5 ώρες και μέχρι τις πρώτες 6 ώρες, η ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει, κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,69 – 0,82g. Τέλος, από τις 20,5 ώρες έως τις 25 ώρες, η ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει, κυμαίνεται μεταξύ περίπου 0,14 – 0,22g.

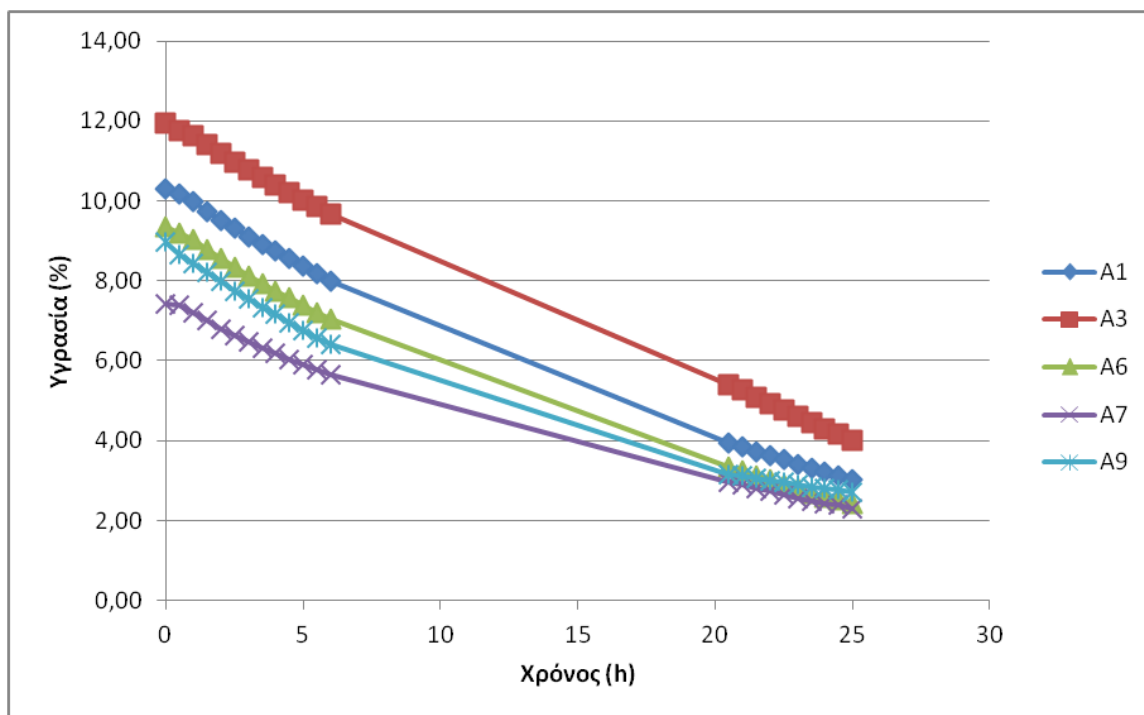
Να σημειωθεί ότι για τις πρώτες 3,5 ώρες η ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει το σύνθετο A1 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,55 – 1,02g, για το σύνθετο A3 μεταξύ των τιμών 0,51 – 0,94g, για το σύνθετο A6 μεταξύ των τιμών 0,57 – 0,94g, και τέλος για το σύνθετο

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

A7 μεταξύ των τιμών 0,09 - 0,85g. Μετά τις 3,5 ώρες και μέχρι τις πρώτες 6 ώρες, η ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει, για το A1 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,79 – 0,84g, για το A3 μεταξύ των τιμών 0,73 – 0,75g, για το σύνθετο A6 μεταξύ των τιμών 0,67 – 0,71g, και τέλος, για το σύνθετο A7 μεταξύ των τιμών 0,49 – 0,61g. Τέλος, από τις 20,5 ώρες έως τις 25 ώρες, η ποσότητα των γραμμαρίων που χάνει για το A1 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,38 – 0,54g, για το A3 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,54 – 0,71 g, για το A6 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,32 – 0,47 g, για το A7 κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,22 – 0,34g.

Όπως, παρατηρείται στην αρχή του πειράματος ξήρανσης, ο ρυθμός απώλειας υγρασίας για τα υπό εξέταση σύνθετα, είναι υψηλότερος από ότι σε μεγαλύτερους χρόνους.

Εν συνεχεία, υπολογίστηκε το ποσοστό παραμένουσας υγρασίας σε κάθε έναν από τους παραπάνω χρόνους. Από την επεξεργασία, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 44: Διάγραμμα Ρυθμού Απώλειας Υγρασίας συναρτήσεως του χρόνου, με Θερμογραφία Υπερύθρου IR, για την συγκριτική μελέτη των πέντε σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης A1, A3, A6, A7 και A9

Είναι εμφανές στο παραπάνω διάγραμμα, ότι στην αρχή της πειραματικής διαδικασίας της ξήρανσης, ο ρυθμός απώλειας υγρασίας είναι υψηλότερος από ότι σε μεγαλύτερους χρόνους.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4.4. Μετρήσεις υπερηχοσκόπησης σύνθετων δοκιμών λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

Τα σύνθετα δοκιμών λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης μελετήθηκαν και όσων αφορά στην ταχύτητα των υπερήχων. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μετά από τρεις μήνες ωρίμανσης των κονιαμάτων αποκατάστασης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 56: Αποτελέσματα μετρήσεων υπερηχοσκόπησης στα σύνθετα (90 ημέρες μετά την παρασκευή τους)

Κωδικός Σύνθετων	Αρχικό δοκίμιο λίθου	Κονίαμα σύνδεσης (κωδική ονομασία)	Απόσταση (cm)	Χρόνος (μs)	Ταχύτητα (m/s)	Συμμετοχή κονιάματος κ.ο. στο σύνθετο (%)
A1	Sa1	L_NP12.5	5,50	18,1	3038,7	15,32
A2	Sa2		5,65	20,4	2769,6	14,04
A3	Sa3	NHL_M1_D	5,37	30,4	1766,4	14,81
			A4	Sa4	4,75	
A5	Sa5	L_NP12.5 more water	4,90	43,3	1131,6	18,00
			A6	Sa6	4,85	
A7*	Sa7	ME	4,90	-	-	-
A8*	Sa8		4,80	-	-	-
A9	Sa9	C_NHL	4,82	36,1	1335,2	17,53
A10	Sa10		4,90	16,9	2899,4	16,33

*Σημειώνεται ότι κατά τη μέτρηση, ο άνω λίθος έχει αποκολληθεί από την άνω επιφάνεια του κονιάματος, συνεπώς η μέτρηση της υπερηχοσκόπησης ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθεί στα σύνθετα A7 & A8, με εμπορικό κονίαμα σύνδεσης ασβέστη μετακαολίνη.

Μια προσεγγιστική συγκριτική μελέτη αποτελεσμάτων για ταχύτητα υπερήχων του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, των τριών διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης & των δύο έτοιμων/εμπορικών, καθώς και των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Στον παρακάτω πίνακα, για λόγους σύγκρισης, παρατίθενται οι τιμές ταχύτητας υπερήχων (i) των αρχικών δέκα λίθινων κυλινδρικών δοκιμών (Sa_1 έως Sa_10), από όπου προήλθαν τα τμήματα λίθων του συνθέτου, (ii) του κονιάματος που εφαρμόστηκε στο κάθε σύνθετο (από μελέτη κονιαμάτων, όπου υπάρχουν και οι αντίστοιχες τιμές τους, τα οποία είναι τα εξής: L_NP12.5, NHL_M1_D, L_NP12.5more water, ME, C_NHL), καθώς και η ταχύτητα υπερήχων του (iii) σύνθετου λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, (A1 έως A10).

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Πίνακας 57: Συγκριτική μελέτη αποτελεσμάτων για ταχύτητα υπερήχων του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρι Α, των κονιαμάτων αποκατάστασης καθώς και των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης

Κωδικός σύνθετου	Κονιάματα σύνδεσης	Ταχύτητα υπερήχων αρχικού δοκιμίου λίθου (m/s)	Ταχύτητα υπερήχων κονιάματος (m/s)	Ταχύτητα υπερήχων σύνθετου (m/s)
A1	L_NP12.5	2687,2	1668,8	3038,7
A2		2969,7	1668,8	2769,6
A3	NHL_M1_D*	2685,7	-	1766,4
A4		2986,0	-	2777,8
A5	L_NP12.5 more water*	3028,6	-	1131,6
A6		3132,4	-	1231,0
A7	ME	3079,7	1978,6	-
A8		2958,0	1978,6	-
A9	C_NHL	3071,9	2797,7	1335,2
A10		3079,1	2797,7	2899,4

*Σημειώνεται ότι για τα κονιάματα σύνδεσης **NHL_M1_D & L_NP12.5 more water** δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις υπερηχοσκόπησης, λόγω ακατάλληλων δοκιμίων, από άποψη ακανόνιστων γεωμετρικών διαστάσεών τους.

Όσον αφορά στην πειραματική διαδικασία της υπερηχοσκόπησης των σύνθετων A1-A10 οι τιμές της ταχύτητας υπερήχων στα σύνθετα A7 και A8 με εμπορικό κονίαμα σύνδεσης ασβέστη μετακαολίνη (ME), δεν έδωσαν τιμές διότι αποκολλήθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος.

Έπειτα, για το σύνθετο A1 με κονίαμα σύνδεσης ασβέστη - φυσική ποζολάνη (L_NP12.5), η υπερηχοσκόπηση παρουσιάζει υψηλότερη τιμή ταχύτητας υπερήχων σύνθετου (m/s), από εκείνες του λίθου αποκατάστασης Sa_1 και του κονιάματος αποκατάστασης L_NP12.5. Το γεγονός αυτό δεν είναι λογικά αποδεκτό, οπότε θα ληφθεί υπόψη η ταχύτητα υπερήχων του σύνθετου A2. L_NP12.5, η οποία είναι μικρότερη και δεν ξεπερνάει την ταχύτητα υπερήχων του αρχικού δοκιμίου λίθου αποκατάστασης Sa_2. Εν συνεχεία, τα σύνθετα A3 και A4 με κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου NHL 3.5 και μετακαολίνη (NHL_M1_D), παρουσιάζουν και αυτά μικρότερη ταχύτητα υπερήχων από τα αρχικά δοκίμια λίθου Sa_3 και Sa_4, γεγονός λογικά αποδεκτό. Ομοίως, τα σύνθετα A5 και A6 με κονίαμα σύνδεσης ασβέστη και φυσικής ποζολάνης με μεγαλύτερο ποσοστό νερού L_NP12.5 more water, παρουσιάζουν πολύ μικρότερες ταχύτητες υπερήχων, σε σχέση με τα αρχικά δοκίμια λίθου αποκατάστασης Sa_5 και Sa_6 αντίστοιχα. Τέλος, τα σύνθετα A9 και A10 με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL και συγκεκριμένα το σύνθετο A9 παρουσιάζει μικρότερη ταχύτητα υπερήχων από εκείνη του A10. Τέλος, εκείνα με την μικρότερη ταχύτητα υπερήχων είναι τα σύνθετα A5 και A6, με κονίαμα σύνδεσης L_NP12.5 more water.

Τέλος, να σημειωθεί ότι η πειραματική διαδικασία της Υπερηχοσκόπησης δεν δύναται να θεωρηθεί αξιόπιστη μέθοδος για τα συγκεκριμένα δοκίμια, πιθανά λόγω μεγέθους, γεωμετρίας και ίσως ανομοιογένειας.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4.5. Μετρήσεις χρωματομετρίας σύνθετων δοκιμίων λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με το χρωματόμετρο στα σύνθετα λίθου αποκατάστασης και κονιάματος αποκατάστασης, και μεμονωμένα στο λίθο αλλά και στο ενδιάμεσο στρώμα αυτό του κονιάματος. Έπειτα, σύμφωνα με το χρωματικό μοντέλο CIE Lab που περιγράφηκε παραπάνω υπολογίστηκαν οι συντελεστές C* (Chroma) κορεσμός και χροιά h (hue angle).

Στην συνέχεια, στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται και οι συγκρίσεις μεταξύ τους. Συνεπώς, παρακάτω (**Πίνακας: 56 & 57**) παρουσιάζεται η σύγκριση μετρήσεων για το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, ως προς την κάθε σύνθεση κονιάματος χωριστά.

Πίνακας 58: Συγκριτική μελέτη μετρήσεων από Χρωματομετρία, για το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, ως προς την κάθε σύνθεση κονιάματος ξεχωριστά

Κωδικός	AVERAGE L	stdev	AVERAGE a	stdev	AVERAGE b	stdev
Σφουγγάρια Α	70,29	1,69	2,33	0,20	9,64	0,67
Κονίαμα Α1	72,31	2,18	1,99	0,18	9,25	0,67
Κονίαμα Α2	71,28	2,11	2,00	0,18	9,17	0,24
Κονίαμα Α3	69,46	2,01	2,25	0,29	9,82	0,68
Κονίαμα Α4	70,76	1,47	2,26	0,13	10,14	0,63
Κονίαμα Α5	78,59	1,63	1,44	0,25	7,05	0,65
Κονίαμα Α6	79,16	0,70	1,43	0,10	7,06	0,59
Κονίαμα Α7	79,28	2,89	0,92	0,22	5,30	0,63
Κονίαμα Α8	82,36	0,96	1,08	0,19	6,18	0,37
Κονίαμα Α9	80,53	0,84	2,21	0,05	6,35	0,27
Κονίαμα Α10	81,45	0,87	2,22	0,07	6,61	0,26

Οι τιμές της λαμπρότητας κυμαίνονται ανάμεσα στις τιμές 70,29 και 82,36. Οι τιμές του μεγέθους a* κυμαίνονται ανάμεσα στις τιμές 0,92 και 2,33. Οι τιμές a* υποδηλώνουν τη διακύμανση του χρώματος από το πράσινο (αρνητικές τιμές) στο κόκκινο (θετικές τιμές). Να σημειωθεί ότι, τα κονιάματα που εξετάζονται σε αυτή τη πειραματική διαδικασία κυμαίνονται από λευκά, υπόλευκα καθώς και σε ελαφρώς μπεζ χρώματα, άρα είναι λογικό τα δείγματα να έχουν τιμές είτε κοντά στο μηδέν είτε ελαφρώς μεγαλύτερες.

Οι τιμές του μεγέθους b* κυμαίνεται ανάμεσα στα 5,30 και 10,14. Οι τιμές b* υποδηλώνουν την διακύμανση του χρώματος από το μπλε (αρνητικές τιμές) στο κίτρινο (θετικές τιμές). Και πάλι το γεγονός ότι έχουν αυξημένες θετικές τιμές δηλώνει ότι τα κονιάματα έχουν εμφανώς χρώμα που τείνει στο μπεζ.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Πίνακας 59: Συγκριτική μελέτη μετρήσεων από Χρωματομετρία, για το λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, ως προς την κάθε σύνθεση κονιάματος ξεχωριστά

Κωδικός	ΔC*2,1	ΔΗ*2,1	ΔΕ*94
Σφουγγάρια Α	0,00	0,00	0,00
Κονίαμα Α1	-0,46	0,24	2,06
Κονίαμα Α2	-0,53	0,22	1,08
Κονίαμα Α3	0,16	0,12	0,84
Κονίαμα Α4	0,46	0,18	0,59
Κονίαμα Α5	-2,72	0,30	8,54
Κονίαμα Α6	-2,72	0,32	9,09
Κονίαμα Α7	-4,54	0,48	9,63
Κονίαμα Α8	-3,65	0,51	12,38
Κονίαμα Α9	-3,20	0,80	10,53
Κονίαμα Α10	-2,95	0,72	11,39

Συνεπώς, εν τω συνόλω, μελετώντας τις τιμές της χρωματομετρίας από τους δύο παραπάνω πίνακες, παρατηρείται ότι για τα σύνθετα Α1 και Α2 με κονίαμα σύνδεσης L_NP12.5, οι μετρήσεις χρωματομετρίας πλησιάζουν αυτές του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, όπως επίσης, και για τα σύνθετα **Α3 και Α4** με κονίαμα σύνδεσης NHL_M1_D, που οι μετρήσεις τους είναι αυτές που **συνάδουν περισσότερο** από όλα με τον συγκεκριμένο λίθο αποκατάστασης. Τα αμέσως επόμενα, από τα προαναφερθέντα σύνθετα, είναι αυτά με κωδικό Α5 και Α6 με κονίαμα σύνδεσης L_NP12.5 more water, και αμέσως μετά σειρά καταλαμβάνουν τα σύνθετα Α7 και Α8 με εμπορικό κονίαμα σύνδεσης ME. Τέλος, εκείνα τα οποία παρουσιάζουν αισθητά (και με βάσει την χρωματομετρία αλλά και με βάσει την μακροσκοπική παρατήρηση), την μεγαλύτερη απόκλιση χρωματικά με τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, είναι τα σύνθετα Α9 και Α10 με εμπορικό κονίαμα σύνδεσης την φυσική υδραυλική άσβεστο C_NHL.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

4.4.6. Έλεγχος συμβατότητας λίθου – κονιαμάτων αποκατάστασης – Μερικά Συμπεράσματα

Είναι εμφανές από την εξέταση των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, ότι η αποτίμηση της συμβατότητας και της επιτελεστικότητας σε μία σύνθετη κατασκευή είναι μια πολυσύνθετη και δύσκολη διαδικασία.

Ψηφιακή Μικροσκοπία

Αρχικά, τα συμπεράσματα που διεξάγονται από την παρατήρηση των φωτογραφιών μέσω Ψηφιακής Μικροσκοπίας είναι ότι για το ζεύγος συνθέτων A9 & A10, με το εμπορικό κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), παρατηρήθηκε πάρα πολύ καλή πρόσφυση, της διεπιφάνειας λίθου - κονιάματος αποκατάστασης. Συνεπώς, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα οχτώ σύνθετα (A1 έως A8), παρουσίασε την καλύτερη πρόσφυση.

Υδατοαπορρόφηση μέσω Τριχοειδούς Αναρρίχησης

Έπειτα, κατά την πειραματική διαδικασία της Υδατοαπορρόφησης μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης, όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν κοντινές τιμές συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης, με τιμές κοντινές του λίθου. Το WAC% των συνθέτων παρουσιάζει διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα σύνθετα, ανάλογα με το κονίαμα σύνδεσης. Να σημειωθεί ότι παρατηρείται αύξηση του WAC μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης (%) για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, αφού ο λίθος αποκατάστασης Σφουγγάρια A παρουσιάζει μικρότερη απορρόφηση σε νερό στην αρχική του κατάσταση, σε σχέση με την τελική κατάσταση του, αυτή των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Να σημειωθεί ότι μονάχα στα σύνθετα Λίθου Σφουγγάρια A - Κονιάματος ME, (A7 & A8) έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος, συνεπώς και απολύτως λογικό να παρουσιάζει μικρότερο WAC(%), από εκείνο του λίθου Σφουγγάρια A, (Sa_7 & Sa_8 αντίστοιχα).

Αρχικά, όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A7 και το A8 που αποκολλήθηκαν από τον πρώτο μήνα και έχουν για κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ασβέστη μετακαολίνη (ME). Εν συνεχεία, το σύνθετο A9 και A10 με κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο/εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, απορροφάει λιγότερο ποσοστό νερού από τα υπόλοιπα. Ενώ τα σύνθετα A5 και A6 με κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης με περισσότερο νερό L_NP12.5 more water, απορροφάει περισσότερο νερό μέσω τριχοειδών. Βάζοντας εξαρχής περισσότερη ποσότητα νερού στην σύνθεση δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν περισσότεροι τριχοειδείς πόροι. Οι μετρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν τη σημασία της καλής πρακτικής στο εργοτάξιο, κατά την παρασκευή ενός κονιάματος, καθώς και τις αρνητικές συνέπειες, που μπορεί να επιφέρει η χρήση περισσότερου νερού στην ανάμειξη από του προτεινόμενου. Ακόμη, το σύνθετο A1 και A2 με το κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης L_NP12.5 παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, λόγω διαστάσεων γιατί είναι και σε ύψος μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα σύνθετα (5,5cm & 5,7cm αντίστοιχα). Τέλος, τα σύνθετα A3 & A4 είναι αυτά με κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου με μετακαολίνη NHL_M1_D και συγκεκριμένα το σύνθετο A3, το οποίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, σε σχέση με τα υπόλοιπα. Να σημειωθεί ότι και το A3 είναι πιο ψηλό σε σχέση με τα άλλα, καθώς φτάνει τα 5,4cm.

Στην συνέχεια, τα συμπεράσματα που απορρέουν για τα δέκα συγκριτικά διαγράμματα τριχοειδούς αναρρίχησης, μεταξύ λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια A και σύνθετων λίθου

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

– κονιάματος αποκατάστασης, είναι ότι: **i)** κατά το πέρας του πειράματος, δηλαδή στον μέγιστο χρόνο, το σύνθετο A3 & A4 που απορροφάει μεγαλύτερο ποσοστό νερού, είναι αυτό με την φυσική υδραυλική άσβεστο **NHL_M1_D**, και είναι κοντά στο σύνθετο A1 και A2 αυτό της φυσικής ποζολάνης **L_NP12.5**. Συγκεκριμένα το σύνθετο A3 τραβάει περισσότερο νερό εν τω συνόλω, γιατί οι γεωμετρικές του διαστάσεις δίνουν το μεγαλύτερο ύψος από τα υπόλοιπα. Στο τέλος του πειράματος τα σύνθετα A5 & A6 με κονίαμα αποκατάστασης **L_NP12.5 more water** έχουν τραβήξει λιγότερο νερό ανά επιφάνεια, λόγω των γεωμετρικών τους διαστάσεων και λόγω της διαφορετικής του μικροδομής που αναπτύχθηκε (λόγω μεγαλύτερου ποσοστού νερού). Εν κατακλείδι, το νερό που τραβάει το κάθε σύνθετο όλο και μειώνεται, καθώς μειώνεται και η κλήση, γεγονός που είναι λογικό, αφού υπάρχει το ενδιάμεσο τμήμα αυτό του κονιάματος σύνδεσης. Τέλος, τα σύνθετα A9 & A10 με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου **C_NHL**, παρουσιάζει την πιο συμβατή συμπεριφορά στα προαναφερθέντα συγκριτικά διαγράμματα τριχοειδούς αναρρίχησης (Sa_9 & A9, Sa_10 & A10).

Τέλος, όσον αφορά στην συγκριτική μελέτη του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης των συνθέτων, συγκεκριμένα στα τρία τμήματα του, που είναι τα εξής: κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης και άνω λίθος. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα σύνθετα A9 και A10 με κονίαμα σύνδεσης **C_NHL**, παρουσιάζουν τις πιο συμβατές τιμές και την πιο συμβατή συμπεριφορά ως σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης συγκριτικά με το κάθε μέρος χωριστά, που τα αποτελεί (συντελεστής υδατοαπορρόφησης για κάτω λίθο, έπειτα για κονίαμα σύνδεσης και τέλος για άνω λίθο). Να σημειωθεί ότι ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης για τον άνω λίθο στα A1 έως A6 (τα A7 & A8 είχαν αποκολληθεί στον άνω λίθο, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη) κυμαίνονται από 0,0026 έως 0,0062. Ενώ για το συντελεστή υδατοαπορρόφησης για άνω λίθο στα A9 και A10 έχουμε τιμές 0,0018 και 0,0027 αντίστοιχα. Το συμπέρασμα που απορρέει είναι ότι το κονίαμα σύνδεσης **C_NHL** στα σύνθετα A9 & A10, δεν άφησε το νερό να εισχωρήσει στον άνω λίθο(και αυτό διαπιστώνεται από την μικρή τιμή του συντελεστή υδατοαπορρόφησης του), σε σχέση με τα σύνθετα A1 έως A6 (όπου οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για τον άνω λίθο ήταν μεγαλύτερες).

Θερμογραφία Υπερύθρου

Ο έλεγχος της υγραυλικής συμπεριφοράς που επιτυγχάνεται μέσω της Θερμογραφίας Υπερύθρου είναι ιδιαίτερος χρήσιμος, ούτως ώστε να υλοποιηθεί μια ολοκληρωμένη μελέτη, σε ότι αφορά στην συμβατότητα του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρι A με τις τρεις διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης (Σύνθετο A1 με Κονίαμα σύνδεσης = **L_NP12.5**. Ομοίως, A3. **NHL_M1_D** & A6. **L_NP12.5 more water**), καθώς και των δύο έτοιμων εμπορικών κονιαμάτων αποκατάστασης (σύνθετα: A7. **ME** & A9. **C_NHL**).

Εν συνεχεία, πραγματοποιήθηκε μια μελέτη των φαινομένων μεταφοράς (εξάτμιση-ρυθμός απώλειας υγρασίας) στα πέντε διαφορετικά σύνθετα δοκίμια λίθου – κονιάματος αποκατάστασης, ώστε να πραγματοποιηθεί μια προσπάθεια ποιοτικής εκτίμησης του ρυθμού απώλειας υγρασίας. Παρατηρείται η ύπαρξη μιας έντονης απώλειας υγρασίας στις πρώτες δύο ώρες, αφότου ξεκίνησε η πειραματική διαδικασία. Συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα για τον ρυθμό απώλειας υγρασίας ανά σύνθετο και τα αποτελέσματα από τη μέτρηση του βάρους του, που πραγματοποιούσαν κάθε μισή ώρα, παρουσιάζουν ότι το

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

σύνθετο A9, με το εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL, έχει τον πιο σταθερό ρυθμό απώλειας μάζας ανά μισή ώρα.

Είναι εμφανές και ξεκάθαρο ότι στην αρχή του πειράματος ξήρανσης, ο ρυθμός απώλειας υγρασίας για τα πέντε διαφορετικά σύνθετα είναι υψηλότερος από ότι σε μεγαλύτερους χρόνους.

Εν κατακλείδι, από την εξέταση των πέντε σύνθετων δοκιμών λίθου-κονιάματος με τη θερμογραφία υπερύθρου προέκυψε ότι το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζει μεγαλύτερη φυσικοχημική συμβατότητα ως προς τον λιθότυπο Σφουγγάρια Α, σε ότι αφορά στην υγραμετρική του συμπεριφορά.

Υπερηχοσκόπηση

Εν συνεχεία, τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης που μελετώνται σε αυτήν τη συγκριτική μελέτη εμφανίζουν ικανοποιητικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ωστόσο να σημειωθεί ότι τα σύνθετα με κωδικό A7 και A8 με το εμπορικό κονίαμα σύνδεσης ασβέστη-μετακαολίνη (ME), εμφανίζουν έντονη διαφοροποίηση στην ανάπτυξη μηχανικών αντοχών και άρα στην επιτελεστικότητα. Αυτό διαπιστώθηκε κατά την αποκόλληση του άνω λίθου του σύνθετου λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, με κωδική ονομασία A7, κατά την πειραματική διαδικασία στον πρώτο μήνα μετά από την παρασκευή του, καθώς και στο A8 στην αποκόλληση του άνω λίθου κατά την πειραματική διαδικασία στον τρίτο μήνα μετά από την παρασκευή του. Τέλος, να σημειωθεί ότι η πειραματική διαδικασία της Υπερηχοσκόπησης δεν δύναται να θεωρηθεί αξιόπιστη μέθοδος για τα συγκεκριμένα δοκίμια, πιθανά λόγω μεγέθους, γεωμετρίας και ίσως ανομοιογένειας των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

Χρωματομετρία

Τέλος, το μοναδικό αρνητικό χαρακτηριστικό είναι ότι κατά την πειραματική διαδικασία της χρωματομετρίας, εκείνα τα οποία παρουσιάζουν αισθητά (και με βάση την μακροσκοπική παρατήρηση), την μεγαλύτερη απόκλιση χρωματικά με τον λίθο αποκατάστασης Σφουγγάρια Α, είναι τα σύνθετα A9 και A10, με το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου C_NHL.

Από όλες τις παραπάνω πειραματικές διαδικασίες, με βάση την ενδεδειγμένη μελέτη που διεξήχθη στα δέκα κυλινδρικά σύνθετα λίθου αποκατάστασης λιθότυπου Σφουγγάρια Α και κονιάματος αποκατάστασης πέντε διαφορετικών συνθέσεων (L_NP12.5, NHL_M1_D, L_NP12.5more water, ME & C_NHL), απορρέει το εξής συμπέρασμα:

Ως πιο συμβατό και ταυτοχρόνως πιο επιτελεστικό κονίαμα σύνδεσης, για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, κρίνεται το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), το οποίο παρουσιάζει παρόμοια υγραμετρικά χαρακτηριστικά με τον λίθο, ενώ παρουσιάζει και ικανοποιητικές τιμές μηχανικών αντοχών. Όμως, να επισημανθεί το γεγονός ότι σε περίπτωση που επιλεγθεί τελικά το κονίαμα αυτό, θα πρέπει να προστεθεί μικρή ποσότητα χρωστικής (~1%) και συγκεκριμένα μίξη με ψημένη όμπρα και ώχρα.

5. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία μελετήθηκαν **επιχρίσματα** (πιθανότατα αρχαίας φύσεως), από διάφορες όψεις του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου. Υποβλήθηκαν σε πειράματα όπως: Ορυκτολογική ανάλυση με Περίθλαση Ακτίνων Χ (XRD), Θερμοβαρυμετρική ανάλυση και θερμική ανάλυση (DTA/TG), Διαλυτά άλατα, και Ψηφιακή Μικροσκοπία. Παρατηρήθηκε ότι από τους αντίστροφους δείκτες υδραυλικότητας (λόγος απώλειας μάζας χημικά δεσμευμένου νερού προς απώλεια μάζας λόγω διάσπασης ανθρακικών ενώσεων) προκύπτει ότι όλα τα ιστορικά επιχρίσματα **είναι τυπικά ασβεστιτικά επιχρίσματα**. Το γεγονός ότι ο αντίστροφος δείκτης υδραυλικότητας είναι υψηλότερος του 10 υποδεικνύει ότι δεν είναι υδραυλικής φύσεως.

Στην συνέχεια, οι εργασίες στο **στάδιο του καθαρισμού** είναι πάντα μη αναστρέψιμες, οπότε θα πρέπει να τηρείται η άλλη σημαντική αρχή αυτή της ελάχιστης δυνατής προσβολής ή ηπιότερου μέσου. Συνεπώς, προτείνονται μέθοδοι που θα σέβονται τα εξής: (i) την πατίνα του αρχαίου λίθου, (ii) θα βασίζονται σε μελέτες πρώτου εφαρμοστού, (iii) θα αναβαθμίσουν ενεργειακά την επιφάνεια και θα την καθιστούν λιγότερο επιδεκτική στην φθορά και περισσότερη ανθεκτική στο χρόνο.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία προτείνονται συγκεκριμένες μέθοδοι καθαρισμού, αφού όμως πρώτα αποτιμηθούν πιλοτικά in situ, και είναι οι εξής:

- i)* **Για την βιοδιάβρωση:** απομάκρυνση βρύων & λειχήνων με εφαρμογή υδατικού διαλύματος υποχλωριώδους λιθίου και απομάκρυνση των μυκήτων με εφαρμογή υδατικού διαλύματος αμπικιλίνης.
- ii)* **Για την απομάκρυνση του πυρήνα σκυροδέματος:** χρήση ήπιων μηχανικών μέσων (νυστέρια, μαλακές βούρτσες νάιλον, ξέστρα, δονούμενα ξέστρα, μικρά τρυπάνια, οδοντιατρικά εργαλεία).
- iii)* **Για την απομάκρυνση του τελικού στρώματος σκυροδέματος:** χρήση οδοντιατρικού εργαλείου με υπερήχους, μέθοδος πλήρως ελεγχόμενη και ακριβείας. Για πιο επιτυχημένα αποτελέσματα πραγματοποιείται η χρήση Laser. Τέλος, η εφαρμογή βιολογικού επιθέματος, για δύσκολες επεμβάσεις καθαρισμού σκληρών και μεγάλου πάχους κρουστών.
- iv)* **Για την απομάκρυνση υπολειμμάτων σκουριάς:** εφαρμογή πάστας χαρτοπολτού με διάλυμα θειογλυκολικού οξέος 5% κ.ο. εξουδετερωμένου με αμμωνία, μέχρι 7.5 pH.

Τέλος, βάσει των αποτελεσμάτων της Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας Σάρωσης καθίσταται σαφές ότι δεν μπορεί να λάβει χώρα αφαλάτωση στους αρχαίους λίθους, αφού αυτή θα οδηγούσε σε μείωση των μηχανικών αντοχών και ρήξη της συνοχής τους.

Έπειτα, οι εργασίες συντήρησης στο **στάδιο της στερέωσης** θα πρέπει να πληρούν όλες τις προδιαγραφές, όπως να μη μεταβάλλουν τα εξής: i) το πορώδες του υλικού, ii) την ορυκτολογική και χημική σύσταση του υπό στερέωση λίθου, iii) τις χρωματομετρικές παραμέτρους και την υφή του λίθου. Στην συνέχεια, ένα στερεωτικό θα πρέπει να έχει ικανοποιητική ικανότητα διείδυσης, ώστε να στερεώνεται όχι μόνο η ζώνη φθοράς, αλλά και η υποκείμενη ζώνη, για την αποφυγή ανισοτροπίας ανάμεσα στη ζώνη στερέωσης και του υποκείμενου όγκου του λίθου, ώστε να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των δυο περιοχών.

Στο συγκεκριμένο μνημείο, λόγω κακής κατάστασης διατήρησης του, πραγματοποιείται διερεύνηση της πιθανότητας στερέωσης του αρχαίου λίθου, για αύξηση συνοχής του και

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

βελτίωση μηχανικής του συμπεριφοράς. Σαν στερεωτικά μέσα, και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά του λίθου, τη φθορά που εμφανίζουν και το ιδιαίτερο περιβάλλον του μνημείου, θα μπορούσαν να προταθούν υλικά όπως:

- Προϋδρολυμένος πυριτικός αιθυλεστέρας με άμορφη πυριτία υψηλής καθαρότητας υδατική κolloειδής διασπορά νανοσωματιδίων άμορφης πυριτίας
- Πυριτικός αιθυλεστέρας σε διαλύτη αιθυλικής αλκοόλης
- Εφαρμογή υλικών σιλανικής-σιλοξανικής βάσης, ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε ταχύτατη κροκίδωση όταν οι λίθοι περιέχουν υψηλές ποσότητες αλάτων, ενώ θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το βάθος διείσδυσης του στερεωτικού υλικού.

Για τη στερέωση του Ναού, εν τω συνόλω: χρήση ενέματος, για τη σφράγιση μικρορωγμών. Απαιτείται καθαρισμός των δομικών υλικών στα οποία θα εφαρμοστεί, καθώς η παρουσία αλάτων δεν θα επιτρέψει ικανοποιητική διείσδυση. Συνεπώς, η χρήση του είναι επίφοβη και θα πρέπει να γίνει μόνο έπειτα από ενδεδειγμένες πιλοτικές εφαρμογές σε κατάλληλο λίθο που θα προσομοιώνει τον αρχαίο λίθο του Ναού.

Για την στερέωση των αρχαίων επιχρισμάτων επί των λίθινων αρχιτεκτονικών επιφανειών: χρήση ασβεστόνευρου, το οποίο να περιέχει ακρυλικό γαλάκτωμα έως 3%, ώστε να εξασφαλίζεται ικανοποιητική στερέωση αυτών των ασβεστοιτικών υλικών.

Σημαντικό είναι να επισημανθεί ότι, κάθε επέμβαση συντήρησης και αποκατάστασης της πολιτιστικής μας κληρονομιάς διέπεται από κανόνες, νόμους και χάρτες. Όσον αφορά στον **καθαρισμό** και στην **στερέωση**, συμπεραίνουμε ότι η όποια επέμβαση, αν τελικά εφαρμοστεί από τις προταθείσες, θα πρέπει πρώτα να έχει εφαρμοστεί πιλοτικά στην κλίμακα του μνημείου και να έχει αποτιμηθεί η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής τους, μέσω εργαστηριακών δοκιμών και μέσω επί τόπου μη καταστρεπτικών μετρήσεων, με κριτήρια συμβατότητας και αειφορίας. Συγκεκριμένα για τα στερεωτικά να επισημανθεί ότι, μέσω εργαστηριακών δοκιμών, μπορεί να γίνει αποτίμηση της διαφοροποίησης που επιφέρει η χρήση του, στην χημική σύσταση της επιφάνειας, το ποσοστό και εν συνεχεία, η αποτίμηση που η χρήση του επιφέρει στο πορώδες του λίθου. Ενώ, μέσω μη καταστρεπτικών τεχνικών, μπορεί να διερευνηθεί το βάθος διείσδυσης, το ποσοστό βελτίωσης της ταχύτητας υπερήχων σε σχέση με την τιμή που εμφανίζει ο λίθος προ της στερέωσης και που συνδέεται με την αύξηση της συνοχής, καθώς και αποτίμηση των αισθητικών μεταβολών, όπως μέσω χρωματομετρίας.

Στην συνέχεια, εξετάστηκε **λίθος** από το λατομείο **Σφουγγάρια** στην Ρόδο, και μάλιστα από τη **θέση Α** του λατομείου. Ο λίθος αυτός, από ορυκτολογικής απόψεως χαρακτηρίζεται ως βιοκλαστικός ψαμμιτικός ασβεστόλιθος, με ασβεστοτική συγκολλητική ύλη, με κύρια ορυκτολογική φάση τον ασβεστίτη (CaCO_3) και κύρια δευτερεύουσα ορυκτολογική φάση τον χαλαζία (SiO_2). Επίσης, από ορυκτολογικής απόψεως, προσομοιώνει τον αρχαίο δομικό λίθο του μνημείου.

Στην πορεία, στην παρούσα μεταπτυχιακή μελετήθηκε το **εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL)**. Στην συνέχεια, μελετήθηκε και εξετάστηκε η συμπεριφορά σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, εφαρμόζοντας διαφορετικές συνθέσεις κονιαμάτων αποκατάστασης, συμπεριλαμβανομένου του C_NHL. Ο λίθος που επιλέχθηκε ήταν τα Σφουγγάρια Α, καθώς προσομοιάζει σε ικανοποιητικό βαθμό τον ιστορικό λιθότυπο.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Είναι εμφανές από τη σύγκριση των διαφόρων κονιαμάτων αποκατάστασης και του λίθου Σφουγγάρια Α (και τον αρχαίο λίθο ανά περίπτωση) ότι η αποτίμηση της συμβατότητας και της επιτελεστικότητας είναι μια σύνθετη διαδικασία (πριν την εφαρμογή τους στο σύνθετο λίθου κονιάματος). Τα κονιάματα που μελετώνται σε αυτήν τη συγκριτική μελέτη εμφανίζουν ικανοποιητικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, ωστόσο εμφανίζουν έντονη διαφοροποίηση στην ανάπτυξη μηχανικών αντοχών και άρα στην επιτελεστικότητα.

Ως πιο συμβατό και ταυτοχρόνως επιτελεστικό κονίαμα κρίνεται το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), το οποίο παρουσιάζει παρόμοια υδρομετρικά χαρακτηριστικά με τον λίθο, ενώ παρουσιάζει και ικανοποιητικές τιμές μηχανικών αντοχών. Αν τελικά επιλεγεί το κονίαμα αυτό, θα πρέπει να προστεθεί μικρή ποσότητα χρωστικής (~1%) και συγκεκριμένα μίξη με ψημένη όμπρα και ώχρα. Με βάση λοιπόν, την συγκριτική μελέτη που εκπονήθηκε στα πλαίσια της εργασίας αυτής καταλήγουμε ότι το κονίαμα αποκατάστασης για τις ανάγκες του έργου όσον αφορά στο μνημείο του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα είναι το έτοιμο κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL).

Εν συνεχεία, τα **σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης A9 και A10** με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL), θεωρούνται τα πιο συμβατά και ταυτοχρόνως επιτελεστικά ως προς την συμπεριφορά τους, κατόπιν επεξεργασμένων αποτελεσμάτων από μετρήσεις που έδωσαν οι εξής πειραματικές διαδικασίες:

i) Ψηφιακή Μικροσκοπία:

- Παρουσίασε την καλύτερη πρόσφυση μεταξύ των διεπιφανειών των σύνθετων. Συνεπώς, **διαπιστώθηκε η πρόσφυση του εμπορικού κονιάματος αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C_NHL) με την επιφάνεια του λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια Α να είναι ιδιαίτερως ικανοποιητική.**

ii) Υδατοαπορρόφηση μέσω τριχοειδών:

- Την αύξηση του WAC (%) μέσω τριχοειδούς αναρρίχησης για τα σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης, αφού ο λίθος αποκατάστασης Σφουγγάρια Α παρουσιάζει μικρότερη απορρόφηση σε νερό στην αρχική του κατάσταση, σε σχέση με την τελική κατάσταση του, αυτή των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης. Να σημειωθεί ότι μονάχα στα σύνθετα Λίθου Σφουγγάρια Α - Κονιάματος ME, (A7 & A8) έχει αποκολληθεί ο άνω λίθος, συνεπώς και απολύτως λογικό να παρουσιάζει μικρότερο WAC(%), από εκείνο του λίθου Σφουγγάρια Α, (Sa_7 & Sa_8 αντίστοιχα).
- Αρχικά, όλα τα σύνθετα παρουσιάζουν σχετικά παρόμοια συμπεριφορά, με εξαίρεση το A7 και το A8 που αποκολλήθηκαν από τον πρώτο μήνα και έχουν για κονίαμα σύνδεσης το έτοιμο κονίαμα αποκατάστασης ασβέστη μετακαολίνη (ME). **Εν συνεχεία, το σύνθετο A9 και A10 με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου C NHL, απορροφάει λιγότερο ποσοστό νερού από τα υπόλοιπα.**
- Τα σύνθετα A5 και A6 με κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης με περισσότερο νερό L_NP12.5 more water, απορροφάει περισσότερο νερό μέσω τριχοειδών. **Βάζοντας εξαρχής περισσότερη ποσότητα νερού στην σύνθεση δημιουργήθηκαν και αναπτύχθηκαν περισσότεροι τριχοειδείς πόροι. Οι μετρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν τη σημασία της καλής πρακτικής**

στο εργοτάξιο, κατά την παρασκευή ενός κονιάματος, καθώς και τις αρνητικές συνέπειες, που μπορεί να επιφέρει η χρήση περισσότερου νερού στην ανάμειξη από του προτεινόμενου.

- Τα σύνθετα A1 και A2 με το κονίαμα σύνδεσης ασβέστη φυσικής ποζολάνης (L_NP12.5) παρουσιάζει μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, και λόγω διαστάσεων γιατί είναι και σε ύψος μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα σύνθετα (5,5cm & 5,7cm αντίστοιχα). Τέλος, τα σύνθετα A3 & A4 είναι αυτά με κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου με μετακαολίνη (NHL_M1_D) και συγκεκριμένα το σύνθετο A3, το οποίο παρουσιάζει τη μεγαλύτερη απορρόφηση νερού, σε σχέση με τα υπόλοιπα. Να σημειωθεί ότι και το A3 είναι πιο ψηλό σε σχέση με τα άλλα, καθώς φτάνει τα 5,4cm.
- Στην συνέχεια, τα συμπεράσματα που απορρέουν για τα δέκα συγκριτικά διαγράμματα τριχοειδούς αναρρίχησης, μεταξύ λίθου αποκατάστασης Σφουγγάρια A και σύνθετων λίθου – κονιάματος αποκατάστασης, είναι ότι:
i) κατά το πέρας του πειράματος, δηλαδή στον μέγιστο χρόνο, το σύνθετο A3 & A4 που απορροφάει μεγαλύτερο ποσοστό νερού, είναι αυτό με την φυσική υδραυλική ασβέστο (NHL_M1_D) και είναι κοντά στο σύνθετο A1 και A2 αυτό της φυσικής ποζολάνης (L_NP12.5). Συγκεκριμένα το σύνθετο A3 τραβάει περισσότερο νερό εν τω συνόλω, γιατί οι γεωμετρικές του διαστάσεις δίνουν το μεγαλύτερο ύψος από τα υπόλοιπα. Στο τέλος του πειράματος τα σύνθετα A5 & A6 με κονίαμα αποκατάστασης ασβέστη με φυσική ποζολάνη με υψηλότερο ποσοστό νερού (L_NP12.5 more water) έχουν τραβήξει λιγότερο νερό ανά επιφάνεια, λόγω των γεωμετρικών τους διαστάσεων και λόγω της διαφορετικής του μικροδομής που αναπτύχθηκε (λόγω μεγαλύτερου ποσοστού νερού). Συνεπώς, το νερό που τραβάει το κάθε σύνθετο όλο και μειώνεται, καθώς μειώνεται και η κλήση, γεγονός που είναι λογικό, αφού υπάρχει το ενδιάμεσο τμήμα αυτό του κονιάματος σύνδεσης. Τέλος, τα σύνθετα A9 & A10 με κονίαμα σύνδεσης το εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C NHL), παρουσιάζει την πιο συμβατή συμπεριφορά στα προαναφερθέντα συγκριτικά διαγράμματα τριχοειδούς αναρρίχησης (Sa 9 & A9, Sa 10 & A10).
- Τέλος, όσον αφορά στην συγκριτική μελέτη του Συντελεστή Υδατοαπορρόφησης των συνθέτων, συγκεκριμένα στα τρία τμήματα του: κάτω λίθος, κονίαμα σύνδεσης και άνω λίθος. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι τα σύνθετα A9 & A10 με το εμπορικό κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C NHL), παρουσιάζουν τις πιο συμβατές τιμές και πιο συμβατή συμπεριφορά ως σύνθετα λίθου-κονιάματος αποκατάστασης συγκριτικά με το κάθε μέρος χωριστά, που τα αποτελεί (συντελεστής υδατοαπορρόφησης για κάτω λίθο, έπειτα για κονίαμα σύνδεσης και τέλος για άνω λίθο). Να σημειωθεί ότι ο συντελεστής υδατοαπορρόφησης για τον άνω λίθο στα A1 έως A6 (τα A7 & A8 είχαν αποκολληθεί στον άνω λίθο, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη) κυμαίνονται από 0,0026 έως 0,0062. Ενώ για το συντελεστή υδατοαπορρόφησης για άνω λίθο στα A9 και A10 έχουμε τιμές 0,0018 και 0,0027 αντίστοιχα. Το συμπέρασμα που απορρέει είναι ότι το εμπορικό κονίαμα σύνδεσης φυσικής υδραυλικής ασβέστου (C NHL), στα σύνθετα A9 & A10, δεν άφησε το νερό να εισχωρήσει στον άνω λίθο (και αυτό διαπιστώνεται από

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

την μικρή τιμή του συντελεστή υδατοαπορρόφησης του), σε σχέση με τα σύνθετα Α1 έως Α6 (όπου οι τιμές του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης για τον άνω λίθο ήταν μεγαλύτερες).

iii) **Θερμογραφία Υπερύθρου:**

- Από την εξέταση των πέντε σύνθετων δοκιμίων λίθου-κονιάματος προέκυψε ότι το **εμπορικό κονίαμα φυσικής υδραυλικής ασβέστου παρουσιάζει μεγαλύτερη φυσικοχημική συμβατότητα ως προς τον λιθότυπο Σφουγγάρι Α, σε ότι αφορά στην υγρομετρική του συμπεριφορά.** Ο λόγος είναι ότι παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θερμοκρασιακή ομοιογένεια. Οι μέσες θερμοκρασίες των τριών διακριτών ζωνών του δοκιμίου - σύνθετου (ζώνη 1^η : κάτω λίθος, 2^η ζώνη: κονίαμα σύνδεσης και 3^η ζώνη: άνω λίθος), ακολουθούν αντίστοιχες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με κοντινές θερμοκρασιακές τιμές. Συνεπώς, καταδεικνύεται η παρόμοια θερμο-υγρική συμπεριφορά του λίθου αποκατάστασης με το συγκεκριμένο κονίαμα.

iv) **Υπερηχοσκόπηση:**

- Δεν δύναται να θεωρηθεί αξιόπιστη μέθοδος για τα συγκεκριμένα δοκίμια, πιθανά λόγω μεγέθους, γεωμετρίας και ίσως ανομοιογένειας των σύνθετων λίθου-κονιάματος αποκατάστασης.

v) **Χρωματομετρία:**

- Ανέδειξε τα προτεινόμενα σύνθετα Α9 και Α10 με κονίαμα σύνδεσης C_NHL, ως λιγότερο συμβατά χρωματικά, διότι οι διεπιφάνειες στα δύο αυτά δοκίμια σύνθετων, παρουσιάζουν εμφανείς χρωματικές διαφορές. Αν χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να προστεθεί ποσότητα χρωστικής, συγκεκριμένα μίξη ψημένης όμπρας και ώχρας. Να αναφερθεί ότι τα πιο συμβατά χρωματικά σύνθετα ήταν τα **Α3 και Α4** με κονίαμα σύνδεσης NHL_M1_D, που οι μετρήσεις τους **συνάδουν περισσότερο** από όλα με τον συγκεκριμένο λίθο αποκατάστασης, καθώς και μακροσκοπικά παρουσίαζαν πολύ κοντινές αποχρώσεις χρώματος.

Εν κατακλείδι, στην παρούσα μεταπτυχιακή, διατυπώθηκαν κάποιες επεμβάσεις συντήρησης που στοχεύουν στις αναστήλωση του ναού, με συμβατά και κυρίως επιτελεστικά υλικά αποκατάστασης. Οι προτάσεις που προαναφέρθηκαν, περιλαμβάνουν τεχνικές που διέπονται από τη γενικότερη δεοντολογία των αποκαταστάσεων, όπως αυτή διατυπώνεται στον Χάρτη της Βενετίας και μάλιστα επικαιροποιημένες σύμφωνα με τις επιταγές της επιστημονικής γνώσης, που έχει προκύψει από τη μελέτη προηγούμενων επεμβάσεων σε μνημεία. Συνεπώς, προτείνονται οι λιγότερο παρεμβατικές τεχνικές, με ιδιαίτερη έμφαση στην αναστρεψιμότητα και την επιλογή συμβατών δομικών υλικών αποκατάστασης, με τον αυθεντικό λίθο του μνημείου.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Anonymous. (1996). CIE L* a * b* Color Scale. *HunterLab, Applications Note* .

Anonymous. (2000). What is color and How is Measured? *HunterLab The Color Management Company, Applications Note* .

Apostolopoulou, M., Keramidas, V., Galanaki, N., Kalofonou, M., Skoula, C., Karoglou, M., et al. (2019). A study regarding the historical materials of the Pythian Apollo Temple in Rhodes for the design and the evaluation of potential restoration materials. *Heritage* (2), pp. 988-1022.

ARC, I. (1999). Conservation of architectural heritage, Historic structures and materials', Laboratory Handbook.

Fain, E., Di Biase, C., & Faccio, P. (2016). CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND HERITAGE MANAGEMENT. In *Behaviour and durability of "mixed structures" in archaeological areas. The Temple of Pythian Apollo at the acropolis of Rhodes* (p. 2247). Burgos (Spain): 6th REHABEND Congress.

Livadiotti, M., & Rocco, G. (1996). La presenza italiana nel Dodecaneso tra il 1912 e il 1948. In *La ricerca archeologica, la conservazione, le scelte progettuali*. Catania.

Moropoulou, A. K.-F. (2000). Microstructural criteria to evaluate stone susceptibility to sea-salt decay on Mediterranean and Atlantic coast monuments. *Proc. 5th Int. Symp. On the Conservation of Monuments in the Mediterranean basin, Seville* , p. 316.

Moropoulou, A., Avdelidis, N. P., & Delegou, E. T. (2005a.). NDT and planning on historic buildings and complexes for the protection of cultural heritage. Cultural heritage conservation and environmental impact assessment by non-destructive testing and micro-analysis. *non-destructive testing and mi* , pp. 67-76.

Moropoulou, A., Bakolas, A., & Anagnostopoulou., S. (2005). Composite Materials in Ancient Structures. *Cement and Concrete Composites* .

Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., & Aggelskopoulou, E. (2009). Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars. *International RILEM Workshop on Repairs Mortars for Historic Masonry* .

Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., & Cakmak., A. S. (n.d.). COMPATIBLE RESTORATION MORTARS, PREPARATION, AND EVALUATION FOR HAGIA SOPHIA EARTHQUAKE PROTECTION.

Moropoulou, A., Delegou, E. T., & Avdelidis, N. P. (2005). Integrated diagnostics using advanced in situ measuring technology. . *Proc. of the 10th International Conference on durability of building materials and components* , pp. 1116-23.

Moropoulou, A., Kouli, M., Theoulakis, P., Bakolas, A., Roumpopoulos, K., Michailidis, P., et al. (2000). Microstructural criteria to evaluate stone susceptibility to sea-salt decay on

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Mediterranean and Atlantic coast monuments”. *Proc. 5th Int. Symp. On the Conservation of Monuments in the Mediterranean basin* , p. 316.

Moropoulou, A., Theoulakis, P., Kokkinos, C., Papasotiriou, D., & Daflos, E. (1999). “The performance of some inorganic consolidants on the calcareous sandstone of the Medieval City of Rhodes”. (J. Rodrigues, F. Henriques, & F. Telmo Jeremias, Eds.) *Proc. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*, , Publ., pp. , , , pp. 1231-1242.

Papayianni, I., Pachta, V., & Stefanidou, M. (2013). Analysis of ancient mortars and design of compatible repair mortars: The case study of Odeion of the archaeological site of Dion.

Theoulakis, P., & Moropoulou, A. (n.d.). "Mechanism of deterioration of sandstone of Medieval City and the Castle of Rhodes". (J. Ciabach, Ed.) *Proc. 6th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone* .

Theoulakis, P., & Moropoulou, A. (1997). Microstructural and mechanical parameters determining the susceptibility of porous building stones to salt decay. *J. Construction and Building Materials* , 11 (No. 1), pp. 65-71.

Theoulakis, P., & Moropoulou, A. (1999). Salt crystal growth as weathering mechanism of porous stone on historic masonry. (6), 345-358.

Αγγελακοπούλου, Ε., & Μοροπούλου, Α. . 'Σχεδιασμός Κονιαμάτων Αποκατάστασης':. Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β' Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης. Διδακτικές Σημειώσεις. . Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αλεξοπούλου Αγοράνου, Α., & Χρυσουλάκης, Γ. (1993). *Θετικές Επιστήμες και Έργα Τέχνης. Μέρος Α: Η φυσική των Χρωστικών και των Χρωματικών Στρωμάτων. Μέρος Β: Φυσικοχημικές Διαγνωστικές Μέθοδοι*. Αθήνα: Εκδόσεις Γκόννη.

Αναγνωστοπούλου, Σ. (2012). *Μεθοδολογία Αποτίμησης του Ρόλου των Αδρανών για τον Επιτελεστικό Σχεδιασμό Κονιαμάτων Αποκατάστασης' : Διδακτορική Διατριβή*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Αντωνίου, Γ. Π. (2016). *Αρχιτεκτονική μελέτη αποκατάστασης του ναού του Πυθίου Απόλλωνος – Τεχνική Έκθεση αποκατάστασης*.

Γαλανάκη, Ν. (2019). «Χαρακτηρισμός και έλεγχος συμβατότητας λιθοτύπων για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου» : *Μεταπτυχιακή Εργασία*, . Αθήνα, Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου: ΕΜΠ.

Γρυλλάκης, Ι. (2019). «Γεφύρι της Πλάκας: Χαρακτηρισμός και διάγνωση φθοράς ιστορικών κονιαμάτων – Σχεδιασμός και αποτίμηση κονιαμάτων αποκατάστασης». *Μεταπτυχιακή εργασία*. Αθήνα, Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου: ΕΜΠ.

Καλοφώνου, Μ. (2019). «Χαρακτηρισμός ιστορικών κονιαμάτων του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα και διερεύνηση πιθανών κονιαμάτων αποκατάστασης». : *Μεταπτυχιακή Εργασία*,. Αθήνα, Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου: ΕΜΠ.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Κόνιαρης, Β. Ε. (2019). «Αποτίμηση της σεισμικής απόκρισης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου». : Μεταπτυχιακή εργασία. Αθήνα, Επιβλέπουσα Α. Μοροπούλου: ΕΜΠ.

Κοντογεωργής, Α. (1999). *Υπέρυθρη Φωτογραφία*. Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.

Λαμπρόπουλος, Β. (1993). *Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας*. Αθήνα.

Λαμπρόπουλος, Β. Ν. (2003). *Περιβάλλον Μνημείων Μουσείων και Αρχαιολογικών Χώρων*. Αθήνα.

Λυριτζής, Ι. (2007). *Φυσικές Επιστήμες στην Αρχαιολογία*. Αθήνα: Τυπωθήτω.

Μοροπούλου, Α., Μπακόλας, Α., & Αποστολοπούλου, Μ. *Δομικά Υλικά (Κονίες, Ιστορικά Κονιάματα)*. Διδακτικές Σημειώσεις ΕΜΠ, Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β’ Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α. «Αντίστροφη Μηχανική Προσέγγιση –Reverse Engineering» Για τον σχεδιασμό συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β’ Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α. «Κριτήρια Αξιολόγησης της επιδεκτικότητας των δομικών υλικών στη φθορά βάσει των ιδιοτήτων τους», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β’ Κατεύθυνση-Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α. (2004). Επεξεργασίες ΤΕΕ σχετικά με την ολοκληρωμένη συντήρηση και αποκατάσταση της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς. *Ημερίδα ISCARSAH/ ICOMOS*. Αθήνα: ΥΠΠΟ.

Μοροπούλου, Α. Κριτήρια Αξιολόγησης της επιδεκτικότητας των δομικών υλικών στη φθορά βάσει των ιδιοτήτων τους. Στο Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β’ Κατεύθυνση-Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Διδακτικές Σημειώσεις, ΕΜΠ. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α. (2012). Χαρακτηρισμός, Έλεγχος Ποιότητας, Διάγνωση Φθοράς και Συντήρηση Δομικών Υλικών-Μεθοδολογία Ενόργανων και μη Καταστρεπτικών Τεχνικών. Στο *Σημειώσεις Μαθήματος Ε.Μ.Π.* Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Μοροπούλου, Α., & Μπατής, Γ. (2014). *‘Δομικά Υλικά’*. : 9ο Εξάμηνο Χημικών Μηχανικών. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

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

Μοροπούλου, Α., Μούνδουλας, Π., & Αποστολοπούλου., Μ. «Συμβατά και Επιτελεστικά Κονιάματα Αποκατάστασης», Δ.Π.Μ.Σ. «Προστασία Μνημείων», Β’ Κατεύθυνση – Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης Διδακτικές Σημειώσεις : . Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Μπακόλας, Α. (2002). Κριτήρια και Μέθοδοι Χαρακτηρισμού Ιστορικών Κονιαμάτων. Στο *Διδακτορική Διατριβή*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

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

Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών «Έλεγχος ποιότητας Δομικών Υλικών και Έργων, Δομικά Υλικά 9ου εξαμήνου Χ-Μ ΕΜΠ». (2014). Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Τριανταφύλλου, ,. Α. (2013). *Δομικά υλικά*. Πάτρα.

Τσίμας, Σ., & Τσιβιλής, Σ. (2010). *Επιστήμη και Τεχνολογία Τσιμέντου*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

(1964). Χάρτης Βενετίας . In *(The Venice Charter 1964) International Charter For The Conservation And Restoration Of Monuments And Sites* (Ε. (. Φερεντίνου, Trans., p. 108). Αθήνα: ICOMOS.

Ψυχάρης, Ι. (2018). *Ανάλυση Σεισμικής Συμπεριφοράς και Διερεύνηση Εναλλακτικών Προτάσεων Δομητικής Αποκατάστασης του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου - Τεχνική Έκθεση Β'Φάσης*. Αθήνα: ΕΜΠ.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

ΝΟΡΜΕΣ / ΠΡΟΤΥΠΑ

- 1) Normal 20/85. Interventi Conservativi Progettazione Esecuzione e Valutazione Preventiva, ICR-CNR, 1985.
- 2) Normal 13/83, *Dosaggio dei Sali Solubili*, CNR-ICR. Anonymous. *CIE L* a * b* Color Scale, HunterLab, Applications Note, Vol. 8, No. 7*.1996.
- 3) Normal 13/83,. *Dosage of Soluble Salts Rome*; Consiglio Nazionale delle Ricerche and Istituto Centrale del Restauro (CNR-ICR). Rome, Italy : s.n., 1983.
- 4) EN15801:2010,. *Conservation of Cultural Property-Test Methods-Determination of Water Absorption by Capillarity*. European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2010.
- 5) EN1015-3:2007: *Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 3. Determination of Consistence of Fresh Mortar (by Flow Table)*; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.
- 6) EN1015-6:2007: *Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 6: Determination of Bulk Density of Fresh Mortar*; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.
- 7) EN1015-8:2007: *Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 8. Determination of Retained Water of Fresh Mortar*; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.
- 8) EN1015-11:2007: *Methods of Test for Mortar for Masonry—Part 11. Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortars*; European Committee for Standardisation: Brussels, Belgium, 2007.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κοκκομετρία άμμου ως αδρανές στην σύνθεση των κονιαμάτων αποκατάστασης

Από την μεταπτυχιακή εργασία της συμφοιτήτριας μου Μυρτώ Καλοφώνου προκύπτουν οι απαιτούμενες μετρήσεις κοκκομετρίας άμμου. Η συγκεκριμένη άμμος χρησιμοποιήθηκε ως αδρανές στις συνθέσεις των κονιαμάτων αποκατάστασης, για την παρασκευή των σύνθετων.

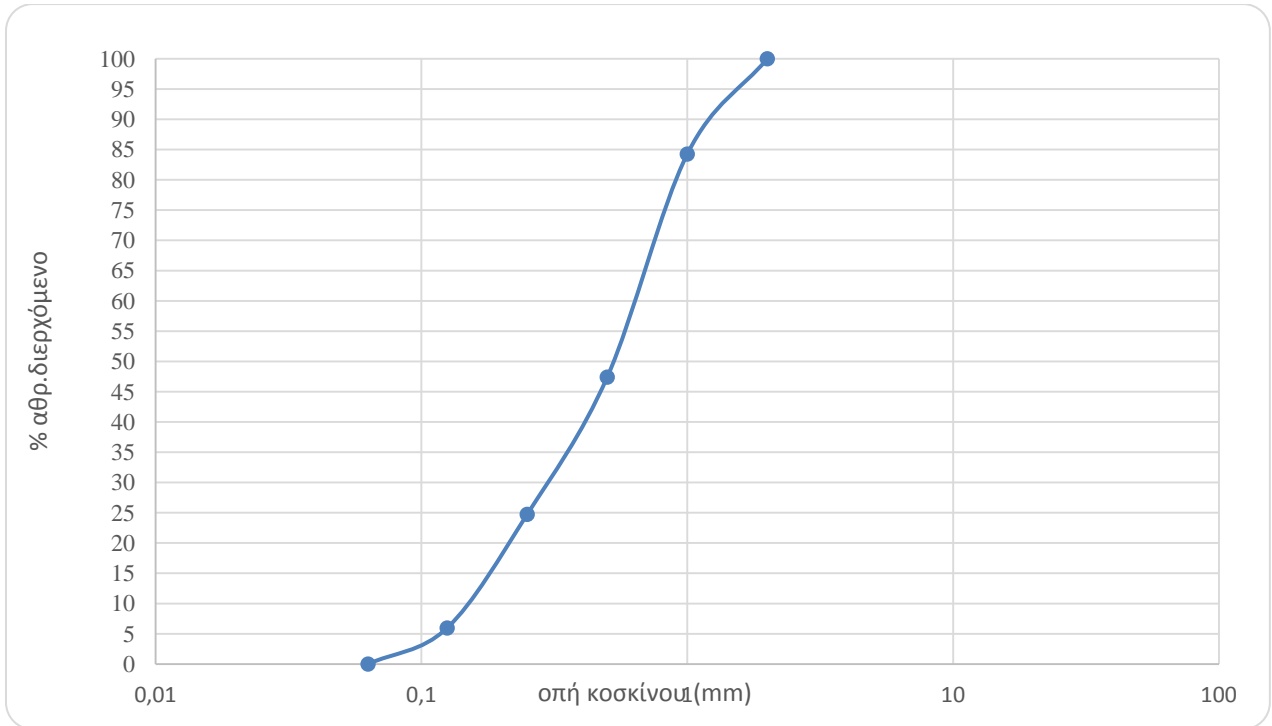
Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα επεξεργασμένα δεδομένα της κοκκομετρικής ανάλυσης της άμμου των κονιαμάτων αποκατάστασης για τον Ναό του Πύθιου Απόλλωνα, στην αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου.

Πίνακας 60: Gradation Curve Άμμου κονιαμάτων αποκατάστασης Πύθιου Απόλλωνα (ASTM)

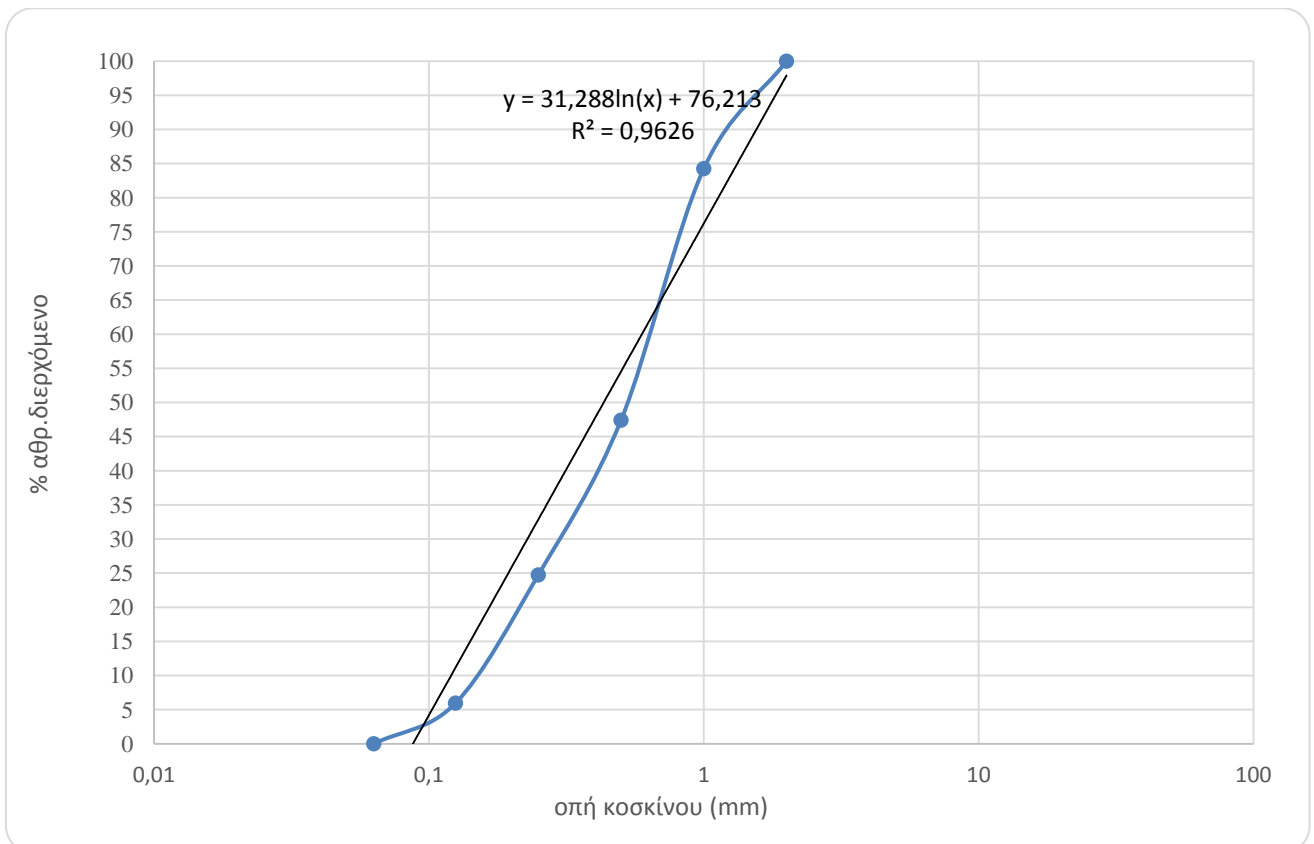
Μάζα αρχική (g)		200,59			
οπή κοσκίνου (mm)	συγκρατούμενη ποσότητα (g)	% συγκρατούμενο	% αθροιστικά συγκρατούμενο	% αθροιστικά διερχόμενο	
2	0	0,00	0,00	100,00	
1	31,27	15,75	15,75	84,25	
0,5	73,19	36,85	52,60	47,40	
0,25	45,02	22,67	75,27	24,73	
0,125	37,29	18,78	94,04	5,96	
0,063	11,83	5,96	100,00	0,00	
<0,063	1,97	0,98			
<i>Σύνολο</i>	200,57				
<i>Συνολικά αδρανή</i>	198,60	<i>κονία (g)</i>	1,99		
<i>απώλειες (g)</i>	0,02	<i>κονία (%)</i>	0,99		
<i>απώλειες (%)</i>	0,01	<5%			

Παρακάτω δίνεται η γραφική αναπαράσταση κατανομής των % διερχόμενων αδρανών, στα κόσκινα, εκφραζόμενα σε mm. Όπως και η γραφική αναπαράσταση κατανομής των % διερχόμενων αδρανών σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα στα κόσκινα, εκφραζόμενα σε mm.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



Διάγραμμα 45: Γραφική αναπαράσταση κατανομής των % διερχόμενων αδρανών

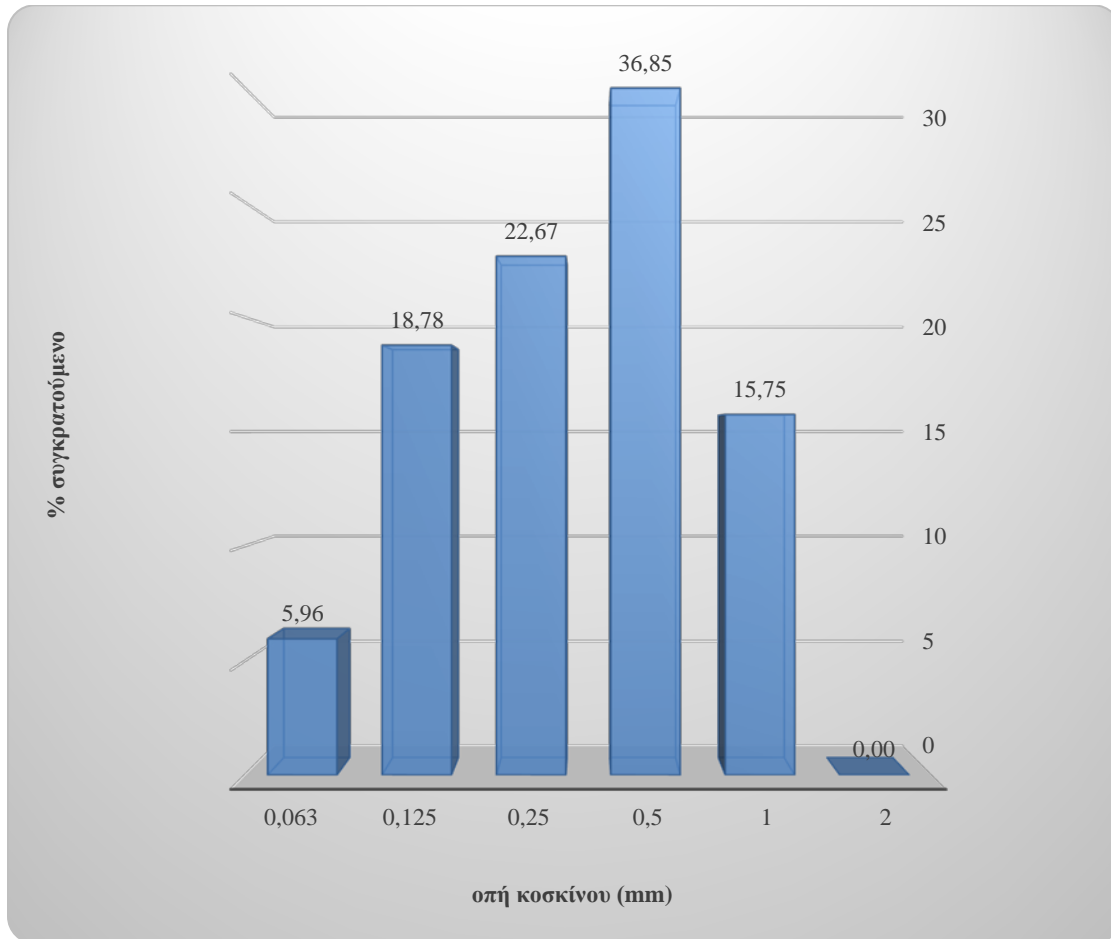


Διάγραμμα 46: Γραφική αναπαράσταση κατανομής των % διερχόμενων αδρανών σε αθροιστική ημιλογαριθμική κλίμακα στα κόσκινα, εκφραζόμενα σε mm

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Όπου $y = 31,288 \ln(x) + 76,213$ και $R^2 = 0,9626$

Δίνεται το ιστόγραμμα κατανομής της % συγκρατούμενης μάζας των αδρανών.



Διάγραμμα 47: Ιστόγραμμα κατανομής της % συγκρατούμενης μάζας των αδρανών

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΕΛΤΙΩΝ

Τεχνικά Δελτία Δομικών Υλικών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την παρασκευή των σύνθετων

Π.1. Άμμος Ποταμού 0-2

Άμμος
Ποταμού
0-2



Δοκιμές
Αρ. Πιστοπ. 663

ΕΚΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΗΣ

TEST REPORT

ΤΡΥΨΙΑΝΗΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ

ΒΙ.ΠΕ. Σίνδου Θεσσαλονίκης / *Industrial Area of Thessaloniki*

Αιτηθείσα δοκιμή /
Request test :

Τ.Κ. 570 22 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ / *GR 570 THESSALONIKI*

Προσδιορισμός κοκκομετρικής
διαβάθμισης

Τηλ. / Tel. 0030 2310 465975, Fax 0030 2310 570635

*Determin
ation of
particle
size
distributio
n*

e-mail: skyrolab@otenet.gr

ΕΛΟΤ ΕΝ
933.01:19
98 /
Α1:2006

Εντολέας / *Customer :*

ΔΑΛΚΑΦΟΥΚΗ ΟΙΚΟΣ
Ε.Π.Ε.

Έργο / *Project :*

ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Στοιχεία - Προέλευση δείγματος / *Sample's description :*

ΑΜΜΟΣ ΠΟΤΑΜΟΥ 0-2

Ημερομηνία δειγματοληψίας / *Date of sampling :*

16/3/2011

Υπεύθυνος δειγματοληψίας / *Sampling made by :*

ΜΙΚΡΟΥ ΑΡΗΣ

Ημερομηνία Εισαγωγής / *Date of Receive :*

16/3/2011

Αριθμός Πρωτοκόλλου / *Register Number :*

6885

Κωδικός Δείγματος / *Code of Sample :*

198

Ημερομηνία Εκτέλεσης Δοκιμής / *Date of Test :*

17/3/2011

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

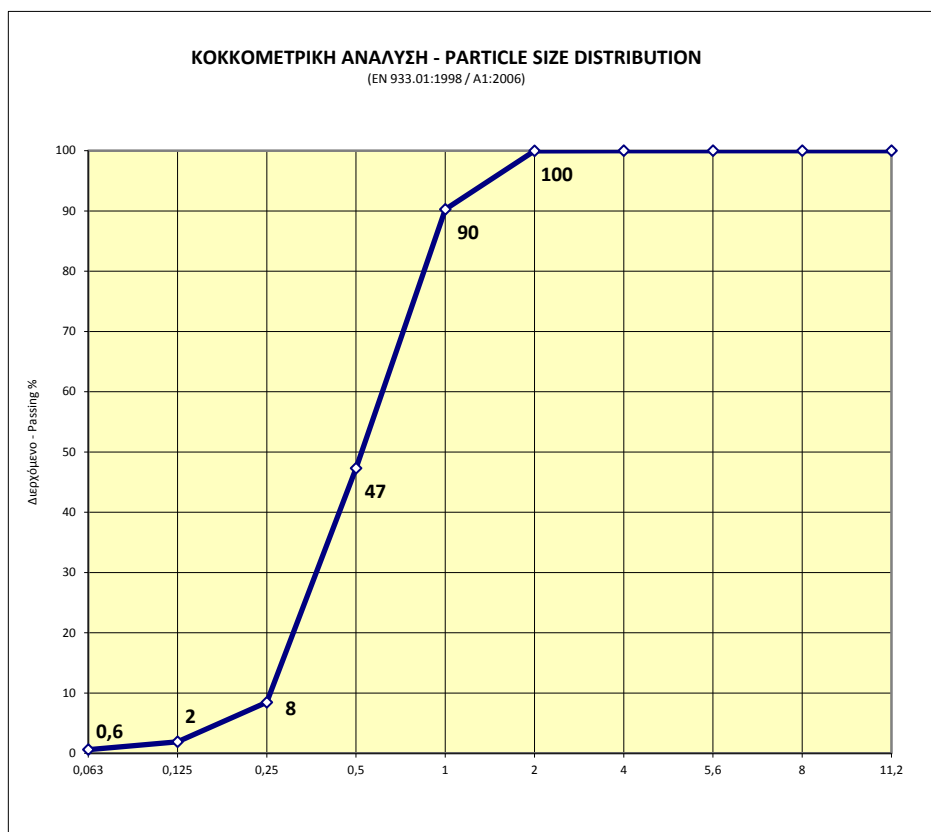
Αποτελέσματα / Results:

Διερχόμενα ποσοστά
μάζας

*Percentage of the passing
mass*

Κόσκινα
Sieves
(mm) Διερχόμενο
Passing (%)

11,2	100
8	100
5,6	100
4	100
2	100
1	90
0,5	47
0,25	8
0,125	2
0,063	0,6



Διάγραμμα 48: Κοκκομετρική ανάλυση

Μάζα δείγματος δοκιμής / *Mass of test portion* : 0,4 Kg

Μέθοδος ανάλυσης / *Method of analysis* : Χ Πλύσιμο και κοσκίνισμα / *Washing and sieving*

Ξερό κοσκίνισμα / *Dry sieving*

Παρατηρήσεις/Remarks:

Η έκθεση αυτή δεν μπορεί να αναπαραχθεί παρά μόνον σε πλήρη μορφή, εκτός αν υπάρχει η άδεια του εργαστηρίου που την εκδίδει / *This test report may not be reproduced other than in full, except with the permission of the issuing laboratory.*

Εκθέσεις δοκιμών χωρίς υπογραφή και σφραγίδα δεν είναι έγκυρες / *Test reports without signature and seal are not valid.*

Οι αναγραφόμενες τιμές αποτελεσμάτων αφορούν μόνο το δείγμα που προσκομίστηκε στο

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

εργαστήριο / *Reported results pertain exclusively to the sample provided by the customer.*

Τα αναγραφόμενα στοιχεία προέλευσης του δείγματος είναι κατά δήλωση του πελάτη / *Reported information regarding the description of the sample as declared by the customer*

Τέλος Έκθεσης Δοκιμής / *End of Test Report*

Σφραγίδα

/ *Seal* :

Ημερομηνία έκδοσης /

Τεχνικός Προϊστάμενος /

Τεχνικός Δοκιμής /

Date of issue:

Technical Director:

Testing Technician :

18/3/2011

Γρ. Τρυψιάνης

Ολ. Καραλέξη

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β΄ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Π.2. Υδράσβεστος

ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ

Αερική ανόργανη κονία σε σκόνη για την παρασκευή κονιαμάτων, σοβάδων, ενεμάτων και υδροχρωμάτων

Περιγραφή

Η υδράσβεστος είναι μια αερική ανόργανη κονία σε σκόνη που παρασκευάζεται από τη σβέση του ασβέστη και αποτελείται από υδροξείδιο του ασβεστίου. Η υδράσβεστος σήμερα μπορεί να θεωρηθεί από τα πιο αντιπροσωπευτικά υλικά της οικολογικής οικοδομικής και είναι κατάλληλη για την παρασκευή κονιαμάτων αρμολόγησης-επιχρισμάτων υψηλής διαπνοής, ενεμάτων και υδροχρωμάτων. Το προϊόν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του EN 459-1 (CL 90).

Πεδία εφαρμογής

Το υλικό είναι κατάλληλο για:

αερικά κονιάματα αρμολόγησης, δόμησης μαζί με άμμο

υδραυλικά κονιάματα αρμολόγησης, δόμησης μαζί με ποζολάνη ή ποζολάνη και άμμο

την κατασκευή, ανακατασκευή, συμπλήρωση επιχρισμάτων

την παρασκευή ενεμάτων για τη στερέωση τοιχοποιιών, ψηφιδωτών, τοιχογραφιών

την παρασκευή υδροχρωμάτων

την παρασκευή κονιαμάτων, σοβάδων μαζί με τσιμέντο για τη δόμηση νέων κατασκευών

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Χημική Ανάλυση

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₄
(%)	0.1-0,2	0.05-0.9	ίχνη	0.5-0.8	1,5-2,3	0.1-0,25

Ca(OH)₂ 92 - 94%

CaCO₃ : Ελάχιστο 2,5% - Μέγιστο 3,4%

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Φυσική υγρασία: 0,0 - 0,2 %

Φαινόμενο ειδικό βάρος: 450 - 480 Kg/m³

Διόγκωση (Le Chatellieur) 3,3-6,5 mm

Απώλεια Πύρωσης 1,1-1,5 % κ.β

Λευκότητα: 98 %

Κοκκομετρία: 98 % <90 μm, 93% <45 μm

Αποθήκευση

Το προϊόν πρέπει να αποθηκεύεται σε καλυμμένο και στεγνό χώρο.

Συσκευασία

Το προϊόν συσκευάζεται σε σάκους των 25 Kg.

10ο χλμ. Θεσσαλονίκης-Βέροιας , Ιωνία Θεσσαλονίκη

Τηλ : 2310 722127 fax: 2310722771 www.dalkafoukis.gr info@dalkafoukis.gr

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Π.3. Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης φυσικής υδραυλικής ασβέστου

ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ STRUTTURALE NHL 777

Έτοιμο κονίαμα τοιχοποιίας με βάση τη φυσική υδραυλική ασβέστο, ινοπλισμένο και υψηλής αντοχής, εφαρμόζεται με μυστρί ή με εκτόξευση για την ενίσχυση και επισκευή εσωτερικών και εξωτερικών παραδοσιακών και ιστορικών τοιχοποιιών. ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ STRUTTURALE NHL 777 είναι ένα κονίαμα τοιχοποιίας και επίχρισμα, με βάση τη φυσική υδραυλική ασβέστο, υψηλής ποζολανικής δράσης, με διαβαθμισμένα αδρανή διαμέτρου <3 mm, ίνες και πρόσθετα για τη βελτίωση της εργασιμότητας και της πρόσφυσης στο υπόστρωμα. Εξασφαλίζει θλιπτική αντοχή >10 MPa και κατατάσσεται ως κονίαμα τοιχοποιίας τύπου M10 κατά EN 998-2 και CSIV κατά EN 998-1.

Πεδία εφαρμογής Το κονίαμα παρουσιάζει υψηλές μηχανικές αντοχές, εφαρμόζεται για τη δομική ενίσχυση και επισκευή (μετά από σεισμικές δράσεις) τοιχοποιιών (από οπτόπλινθους, λίθους, τόφφους) όπως:

Οπλισμένους μανδύες

Ενίσχυση θεμελιώσεων ή γενικά για εργασίες όπου απαιτούνται κονιάματα τοιχοποιίας υψηλής αντοχής

Ενίσχυση θόλων και αψίδων, επίσης και μαζί με ράβδους ινών άνθρακα ή αραμιδίων

Μικρή αύξηση πάχους θολωτών κατασκευών.

Οπλισμένους αρμούς (με ράβδους από ίνες άνθρακα)

Ειδικά χαρακτηριστικά

Προϊόν με σήμανση CE: διαδικασία παραγωγής και έλεγχος ποιότητας κατά EN 998-1 & EN 998-2

Υψηλές μηχανικές αντοχές: οι υψηλές μηχανικές αντοχές που παρουσιάζει είναι εξαιρετικές για ένα προϊόν με βάση τη φυσική υδραυλική ασβέστο επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τη σύζευξη ιστορικών, τεχνολογικών, δομικών και εκτελεστικών απαιτήσεων

Υψηλή πρόσφυση στην τοιχοποιία: καλή συμπεριφορά σε διάτμηση (σημαντική για τους αρμούς) και σε εφελκυσμό (σημαντικός για τους οπλισμένους μανδύες και θόλους). Εύκολο και απλό στην εφαρμογή: με μυστρί ή με εκτόξευση χρησιμοποιείται για επεμβάσεις ενίσχυσης για πάχη μέχρι 4 cm.

Υψηλή διαπερατότητα σε υδρατμούς: σημαντική ιδιότητα που επιτρέπει την κανονική διαπνοή της τοιχοποιίας

<p>ΔΕΛΤΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ <u>Αποθήκευση</u></p> <p>Το προϊόν πρέπει να αποθηκεύεται σε στεγασμένο και ξηρό μέρος σε θερμοκρασία +5 °C - +35 °C.</p> <p><u>Προετοιμασία του υποστρώματος</u></p> <p>Ο φθαρμένος-σαθρός σοβάς ή κονίαμα πρέπει να απομακρύνεται. Πρέπει επίσης να απομακρύνονται ενδεχόμενα υπολείμματα εξανθήσεων ή οποιαδήποτε άλλη ουσία που θα μπορούσε να διακινδυνεύσει την καλή πρόσφυση στο υπόστρωμα. Πριν την εφαρμογή του κονιάματος το υπόστρωμα πρέπει να έχει καθαρισθεί και να έχει γίνει κορεσμός με νερό χαμηλής πίεσης. Ο κορεσμός με νερό είναι αναγκαίος για να παρεμποδισθεί η αφαίρεση νερού από το κονίαμα στο υπόστρωμα. Η κακή διαβροχή του υποστρώματος με νερό μπορεί να προκαλέσει απώλεια στην πρόσφυση και ρηγματώσεις στο κονίαμα. Σε περίπτωση που το υπόστρωμα δε μπορεί να διαβρεχτεί συνίσταται ωστόσο η ελάχιστη διαβροχή για να επιτευχθεί η σωστή αγκύρωση του κονιάματος.</p>	<p>Εφαρμογή</p> <p>Η εφαρμογή του κονιάματος μπορεί να γίνει με το χέρι ή με μηχανή επίχρισης. Στην περίπτωση εφαρμογής με το χέρι συνίσταται η εφαρμογή με μυστρί μιας λεπτής πρώτης στρώσης (2÷3 mm), με το ίδιο υλικό ημίρρευσης συνεκτικότητας, ούτως ώστε να εξισορροπηθεί η ρόφηση της τοιχοποιίας και να αυξηθεί η πρόσφυση.</p> <p>Στη συνέχεια ακολουθείται ο παλιός κανόνας, με στρώσεις 2 cm την κάθε φορά, μέχρι να φθάσουμε το επιθυμητό ολικό πάχος. Σε κάθε περίπτωση η μια στρώση δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 4 cm.</p> <p>Όταν το υπόστρωμα αποτελείται από ανομοιογενή υλικά (τούβλο, πέτρα, τόφφοι κλπ) που παρουσιάζουν διαφορετική θερμική συμπεριφορά συνίσταται η εφαρμογή στο επίχρισμα ενός πλέγματος με ίνες υάλου (160-225 g/cm²), ανθεκτικό σε αλκαλικό περιβάλλον, ούτως ώστε να παρεμποδιστούν πιθανές ρηγματώσεις. Τέτοιο μέτρο μπορεί να ληφθεί και επίσης και για τα άκρα των ανοιγμάτων (πόρτες, παράθυρα, κλπ) όπου δημιουργούνται συγκεντρώσεις τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν ρηγματώσεις.</p> <p><u>Φινίρισμα</u></p> <p>Μετά την εφαρμογή και ωρίμανση (μετά τουλάχιστον 4 εβδομάδες) του ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ STRUTTURALE NHL 777 πρέπει να εφαρμοστεί τελικό φινίρισμα. Το πιο κατάλληλο υλικό φινιρίσματος είναι εκείνο που δεν παρεμποδίζει τη διαπνοή των υλικών που έχουν ήδη εφαρμοστεί στην τοιχοποιία. Τέτοια υλικά για φινίρισμα, με βάση την υδράσβεστο ή τη φυσική υδραυλική άσβεστο, είναι το S 605, FINITURA 750 ή FINITURA 756 με την ενδιάμεση τοποθέτηση ενός υαλοπλέγματος με ανθεκτικότητα σε αλκαλικό περιβάλλον (Fassanet 160 ή Fassanet ZR 185 ή Fassanet ZR 225).</p> <p><u>Ανάμειξη</u></p> <p>Εάν το κονίαμα θα εφαρμοστεί με μυστρί ή εκτόξευση το ΕΜΠΟΡΙΚΟ ΚΟΝΙΑΜΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΥ STRUTTURALE NHL 777 θα πρέπει να αναμιγνύεται μόνο με καθαρό νερό (χωρίς άλατα και οργανικές ενώσεις) σε αναλογία 5÷5,5 λίτρα/σάκο (~21% κατά βάρος της ξηρής μάζας). Το κονίαμα μπορεί να αναμιχθεί στο χέρι, ή αναμικτήρα μηχανής επίχρισης μέχρι να αποκτηθεί ένα</p>
---	--

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

<p><u>Εφαρμογή πλέγματος ενίσχυσης</u></p> <p>Στην περίπτωση επεμβάσεων ενίσχυσης με την τεχνική του οπλισμένου μανδύα ή θόλου, το πλέγμα ενίσχυσης θα πρέπει να έχει επικάλυψη τουλάχιστον 2 cm και θα πρέπει να απέχει από το υπόστρωμα τουλάχιστο 1 cm χρησιμοποιώντας παρεμβλήματα. Το ελάχιστο πάχος επέμβασης με πλέγμα ενίσχυσης δεν μπορεί να είναι κατώτερο των 4 cm.</p> <p><u>Θερμοκρασία εφαρμογής</u></p> <p>Μην εφαρμόζετε το προϊόν σε θερμοκρασίες κάτω των 5 °C και άνω των 35 °C.</p>	<p>ομοιογενές πλαστικό μίγμα χωρίς σβόλους.</p> <p><i>Το προϊόν εισάγεται και διανέμεται από τη ΔΑΛΚΑΦΟΥΚΗ ΟΙΚΟΣ Ε.Π.Ε.</i></p> <p><u>Κατανάλωση και συσκευασία</u></p> <p>Κατανάλωση: 16,5 Kg/m² ανά cm πάχους Το κονίαμα συσκευάζεται σε ειδικούς σάκους που το προστατεύουν από την υγρασία των 25 κιλών.</p>
---	--

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Αντοχή σε θλίψη 28 ημ. (EN 12190)	12 MPa
Συντελεστής διάχυσης υδρατμών (EN 1015-19)	μ < 8
Συντελεστής τριχοειδούς ρόφησης (EN 1015-18)	≤ 18 Kg.m ⁻² .min ^{-0,5}
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (EN 1745)	λ = 0,77 W/m °K
Στατικό μέτρο ελαστικότητας (EN 13412)	7000 MPa
Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας UNI (9771)	11500 MPa
Πρόσφυση στο υπόστρωμα (με άμεσο εφελκυσμό) (EN 1015-12)	> 0,5 MPa Θραύση τύπου A (διεπιφάνεια κονίαμα- υπόστρωμα)
Περιεχόμενα χλωριόντα (EN 1015-17)	< 0,005%
Ειδικό φαινόμενο βάρος ξηρού προϊόντος	1.350 Kg/m ³
Ειδικό βάρος κονιάματος μετά την σκλήρυνση	1.650 Kg/m ³

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Π.4. Μετακαολίνη

Χημική ανάλυση :

SiO₂:55% Fe₂O₃:1,4% Al₂O₃:40% TiO₂ : 1,5%

K₂O+Na₂O:0,8% CaO+MgO : 0,3%

Απώλεια κατά την καύση: (1 050 °C) 1%

Τυπικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά : pH6

Δείκτης ποζολανικότητας : 1100 mg Ca(OH)₂ / g Φωτεινότητα με μπλε φίλτρο Photovolt : 73 %
Ειδική επιφάνεια : 17 m²/g

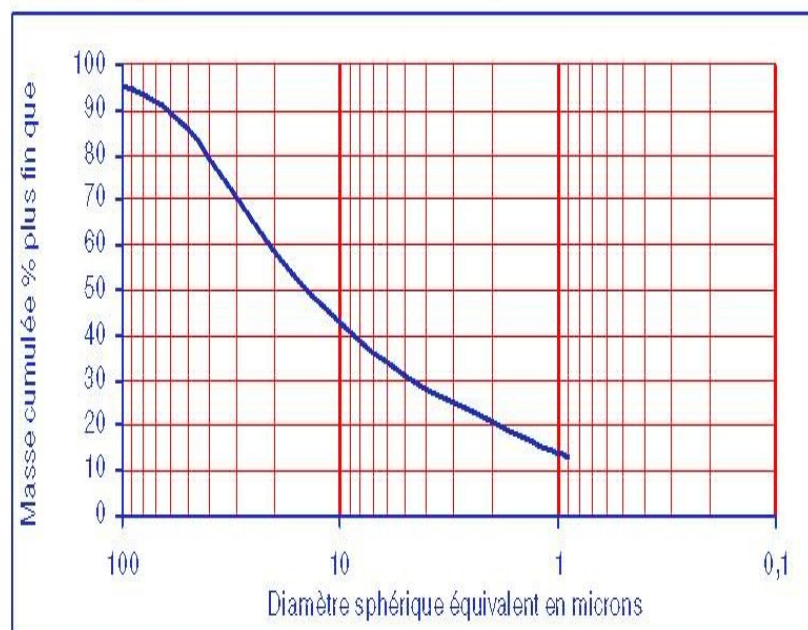
Απαιτήσεις σε νερό: 900g/kg Ειδικό βάρος : 2,4 g/cm³ Πυκνότητα :

Χαλαρή->400kg/m³ Συμπιεσμένη->800kg/m³

DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE

Inférieur à 80 µm : 95 %

Particle size distribution



ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Π.5. Φυσική Υδραυλική Άσβεστος

Secil NATURAL LIME NHL 3,5 - NATURAL HYDRAULIC LIME -NHL 3,5

DESCRIPTION

Secil NATURAL LIME NHL 3,5 is a natural hydraulic lime, hydraulic binder constituted by silicates, calcium aluminates and calcium hydroxide, obtained by firing marl limestone followed by grinding. **Secil NATURAL LIME NHL 3,5** is classified as NHL 3,5 according to NP EN 459-1.

Secil NATURAL LIME NHL 3,5 is a singular binder, because apart from the hydraulic setting, it also presents air setting, obtained by carbonation with atmospheric CO₂.

FIELD OF USE

In the fabrication of mortars, as sole binder or in admixture with other hydraulic or air binders, giving them workability and flexibility, reducing significantly the retraction of hydraulic mortars (for example, mortar for render, finishing or grout of old masonries). In the fabrication of mortars for rehabilitation, as sole binder, in the execution of external and internal renders on old substrates.

PRODUCT CHARACTERISTICS

CHEMICAL CHARACTERISTICS	VALUE	STANDARD
Free lime Ca(OH) ₂	≥ 25,0 %	EN 459-1
Sulfate	≤ 1,0 %	EN 459-1
PHYSICAL CHARACTERISTICS	VALUE	STANDARD
Color	Beige	-
Free water	≤ 1,0 %	EN 459-1
Apparent density	0,60 ± 0,05 kg/dm ³	-
Density	2,7 g/cm ³	-
Fineness	90 μm ≤ 15,0 % 200 μm ≤ 5,0 %	EN 459-1
Expansion	≤ 2,0 mm	EN 459-1
Penetration	> 10 mm and < 50 mm	EN 459-1
Air level	≤ 5,0 %	EN 459-1
Setting time	Initial Final	
	> 1 h ≤ 30 h	EN 459-1
MECHANIC CHARACTERISTICS	VALUE	STANDARD
Compressive strength (28 days)	≥ 3,5 and ≤ 10,0 MPa	EN 459-1

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

APPLICATION

FABRICATION OF MORTARS

The dosing of **Secil NATURAL LIME NHL 3,5** in a mortar should be appropriate to the intended use. In mortars for render and laying **Secil NATURAL LIME NHL 3,5**, has a major role as sole binder.

Premix **Secil NATURAL LIME NHL 3,5** with the aggregate and afterwards add the right quantity of water to obtain a good workability. For guidance, use a relation water binder of 0,6 expressed in volume.

Restrictions

Do not apply mortars under temperatures below 5° C and above 30° C, avoiding the application in situations of high sun exposure and/or under strong winds.

Do not use weakened mortars or that have already started the setting process.

Avoid fast dry of the mortars, by watering the substrate, 1 to 2 hours before the application and as soon as the mortar presents enough resistance. Repeat watering 1, 2 and 7 days later.

Further advice

The excess of mixing water is damaging to the physical characteristics of the mortar;

Always use the minimum quantity of water to allow good workability;

The mixing water should be free of impurities (clay, organic matter) and preferably be drinkable;

Once the trace to use for a mortar is determined, keep the dosing constant as well as the mixing time.

Validity

12 months provided the conditions of the original packaging remain unaltered and in good storage conditions, protected from extreme temperature and humidity.

PACKAGING AND VALIDITY

Packaging

€ Paper bags of 25kg in plasticized pallets;

€ Bulk for use in silo system.



ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

HEALTH AND SAFETY

(DOES NOT REPLACE CONSULTATION OF THE PRODUCT SAFETY DATA SHEET)

- € Irritating to skin;
- € May cause serious injuries in the eyes;
- € May cause irritation to respiratory system;
- € Avoid breathing dust/ vapors. Keep out of children’s reach;
- € Wear protective gloves and clothing/ eyes protection/ facial protection;

Being in conditions of applying our products out of our reach we do not take responsibility for its misuse. It is the customer’s duty to verify the suitability of the product for the intended purpose. In any case, our responsibility is limited to the value of the goods supplied by us. The information contained in the present data sheet may be altered without prior notice. In case of doubt and if you need any further advice please contact our Technical Services.

Review of January 2014 TC.E.085.4



5. TRACES RECOMMENDED

TRACES OF MORTAR RECOMMENDED	RAW MATERIALS (VOLUME)					COMPRESSIVE STRENGTH (MPa)		MODULUS OF ELASTICITY (MPa) 90 days
	NHL 5	Fine sand (<0,6 mm)	Medium sand (<1,2 mm)	River sand (<2,5 mm)	Water	28 days	90 days	
Mortar for coating (sand:binder) = (3:1)	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	1,81	2,86	5900

Secil Natural Lime NHL 3,5 EN 459-1:2011

Certificado: 1328-CPR-0215 Natural Hydraulic Lime – NHL 3,5

Declaration of performance TC.E.0915

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.

Π.6. Εμπορικό κονίαμα αποκατάστασης Ασβέστη - Μετακαολίνη

MasterEmaco S 285 TIX

Subject: ALBARIA STRUTTURA

Cement-free pozzolanic lime, highly resistant, premixed, applicable by trowel, sprayed or casting masonry mortar. It leaves no water-soluble salts and does not induce efflorescence.

DESCRIPTION

MasterEmaco S 285 TIX is a cement-free pozzolanic lime masonry mortar packed with natural siliceous aggregates with a maximum diameter of 2 mm. It guarantees a compressive strength of > 15 MPa and can therefore be classified as an M15 type of masonry mortar according to European standard EN 998/2.

MAIN FIELDS OF APPLICATION

Thank to its high mechanical strength and despite being a cement-free lime mortar, MasterEmaco S 285 TIX is used to consolidate masonry structures in many situations, such as:

reinforced slabs;

stringer vaults, even reinforced with bars made of carbon fibre or aramid fibre of the MBar line;

bedding for the foundations of curtain walls or

works in general that require highly resistant masonry mortars;

CEMENT-FREE concrete: if the thickness is

greater than 5 cm, aggregates of adequate grain size are added to MasterEmaco S 285 TIX, resulting in highly resistant lime concrete or grout;

small stringer of vaults;

reinforced joints (pointing of reinforced mortar joints with carbon fibre bars).



ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου”.



MASTER[®]
BUILDERS
SOLUTIONS

CHARACTERISTICS

The particular characteristics of MasterEmaco S 285 TIX are:

MasterEmaco S 285 TIX meets the acceptance limits indicated in EN 998/2 and is certified with the CE marking.

cement-free: the complete absence of cement makes MasterEmaco S 285 TIX a product that is entirely compatible with the masonry that is to be consolidated;

high mechanical performance: high mechanical

resistance is an exceptional requirement for a lime product for it to combine the historical and technological requirements with the structural and executive requirements;

high masonry adhesion; both shear (important for

bedding) and direct traction (important for reinforced slabs and reinforced vaults);

very low content of water-soluble salts:

MasterEmaco S 285 TIX is in fact distinguished by a low electrical conductivity value; it does not leave salt which contains sulphates, chlorides, nitrates, potassium and sodium and does not contribute to the physical and chemical degradation related to the formation and crystallisation of the salts themselves;

Versatility and simplicity of application: by trowel

or spray, it is used for consolidation works in thicknesses of up to 5 cm. If the thickness is >5 cm, it can also be used for casting by adding aggregates to the mortar in order to obtain highly resistant lime concrete or grout;

high permeability to water vapour: it is important

to allow the masonry to transpire normally;

low capillary absorption: it is important for the water not to enter the wall from the outside;

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.


no reaction to fire: the material is not combustible and does not produce fumes (Euroclass A1)

PERFORMANCE

The performance described below is obtained with

a consistency of 160-170 mm, in accordance with EN 1015/3

Test method	Performance
Compression strength, EN 1015/11	18 MPa Class M15
Coefficient of vapour diffusion, EN 1745	$\mu < 35$
Content of water-soluble salts (hardened mortar), UNI 11087	Specific electrical conductivity $< 80 \mu S \cdot cm^{-1}$ $SO_4^{=} < 0.1 \%$ $Na^+ < 0.05 \%$ $K^+ < 0.05 \%$
Capillary absorption coefficient, UNI EN 1015/18	$0.2 \text{ Kg} \cdot m^{-2} \cdot min^{-0.5}$ 0.5
Reaction to fire, EN 13501/1	Euroclass A1
Pull-out resistance of steel bars and the MBar line, RILEM-CEB-FIP RC6-78	$> 6 \text{ MPa}$
Static elastic modulus, EN 13412	16,000 MPa
Adhesion to the substrate, - EN 1015/12 (direct traction) - EN 1052/3 (for cutting)	$> 0.6 \text{ MPa}$, type A break (mortar-substrate interface) $\tau_0 > 0.80 \text{ MPa}$

 1305
BASF CC Italia spa, Via Vicinale delle Corti, 21 Treviso 13 IT0004/01
EN 998-2 Malta da muratura a prestazione garantita per scopi generali per l'utilizzo esterno in elementi soggetti a requisiti strutturali. EN 998-2 G Resistenza a compressione: Categoria M15 Resistenza a taglio iniziale: $0,15 \text{ N/mm}^2$ (valore tabulato) Contenuto di cloruri: 0,03% Reazione al fuoco: Classe A1 Assorbimento d'acqua: $0,2 \text{ Kg/(m}^2 \cdot \text{min}^{-0,5})$ Permeabilità al vapore acqueo: $\mu \text{ 15/35}$ (valore tabulato) Conducibilità termica: ($\lambda_{10, dry}$) $0,83 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ (valore tabulato) Durabilità (al gelo/disgelo): NPD

Adding Dmax 20 mm fine gravel to MasterEmaco S 285 TIX, lime concrete is obtained with S3 consistency, EN 206/1, distinguished by compression strength of $> 15 \text{ MPa}$.

CONSUMPTION AND PACKAGING

Consumption:

Mortar: 18 kg/m^2 per cm of thickness.

Concrete: 13 kg/m^2 per cm of thickness Packaging: 25 kg bag.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

APPLICATION SHEET

STORAGE

Store in a dry place indoors at a temperature between +5°C and +35°C.

PREPARING THE SUBSTRATE

Degraded plaster must be removed with electric hammers or compressed air or simply by chiselling. Any efflorescence residue must also be eliminated

together with any other substance that could prevent good adhesion to the substrate. Before applying the mortar, the substrate must be clean and saturated with low pressure water. Saturation is required to prevent the substrate from removing water from the mortar. Improper saturation could lead to weak adhesion and the filler mortar cracking. If the substrate cannot be saturated, it is advisable to dampen it as much as possible to allow the mortar to adhere correctly.

POSSIBLE APPLICATION OF REINFORCEMENT

In the case of reinforcing by means of a reinforced slab or reinforced vault, the reinforcing mesh must have a layer of at least 2 cm and must be detached from the substrate by at least 1 cm using spacers. The minimum intervention thickness if a reinforcement mesh is used cannot be less than 4 cm.

TEMPERATURE

MasterEmaco S 285 TIX can be used when the ambient temperature of the substrate is between +5°C and +35°C.

MIXING

If applied by spray or trowel, MasterEmaco S 285 TIX must be mixed with clean water, free from salts or organic particles at 3,75 ~ 4,25 litres per bag (equivalent to 15 ~ 17% of the total weight). If used for casting, which is typical if the thickness is greater than 5 cm, fluid grout must be packed and fine gravel or crushed stone (5-20 mm) must be added to the mortar equal to 35% of the weight of the dry mortar and 28% of water to achieve a fluid consistency (S3 -S4).

It must be mixed in a concrete mixer or in the mixer of the plastering machine until a plastic, smooth mixture which is free of lumps is obtained. Mixing by hand is not recommended.

APPLICATION

MasterEmaco S 285 TIX can be applied by trowel or sprayed with a plastering piston machine with a non - continuous cycle or by casting. When applied by hand, it is advisable to apply a thin rough coat of 2 -3 mm with a trowel, with the same material with semi-liquid consistency for the wall to absorb it evenly and improve adherence.

ΔΠΜΣ: “Προστασία Μνημείων” - Β’ Κατεύθυνση: “Μελέτη υλικών και επεμβάσεων συντήρησης για την αποκατάσταση του Ναού του Πυθίου Απόλλωνα στην Αρχαία Ακρόπολη της Ρόδου ”.

Then apply the mortar in subsequent layers with a thickness, of 1-1.5 cm, making sure to apply the next layer when the previous one is not hardened completely.

If the application substrate were to be very absorbent, for example in the presence of tuff stone, it is recommended to apply the rough coat with MasterEmaco P 225 so as to contain the surface absorption of the mortar mixture water.

After applying MasterEmaco S 285 TIX by trowel, the mortar will be smoothed for surface flatness.

When the substrate is made of various materials (brick, stone, tuff etc.), characterised by different thermal behaviour, it is advisable to insert a fibre mesh made of alkali-resistant glass so as to counter the risk of cracking. This precaution is also applicable at the edges of openings (doors, windows, etc.) where stress concentrations are generated that may cause cracking.

FLOATING

MasterEmaco S 285 TIX floating must be applied using a sponge float after sufficient time has elapsed following the application, depending on the weather.

The time interval between the application and the float finish depends on the first hardening phase of the mortar, which occurs when placing your hand on the surface and your fingers do not sink but leave a light mark on the plaster. Proper floating will be essential to effectively counter the formation of micro-cracks resulting from plastic shrinkage. Ageing is improved by applying a polyethylene sheet on top of MasterEmaco S 285 TIX for about 1 day, if it is possible, such as in the case of screeds and vault covers, so as to maintain high humidity and contain plastic shrinkage.

Since 16/12/1992 BASF Construction Chemicals Italia Spa operates under a Certified Quality System in compliance with UNI EN ISO 9001. Furthermore, the Environmental Management System is certified according to UNI EN ISO 14001 and the Safety Management System is certified according to OHSAS 18001. Environmental sustainability: Green Building Council Partner since 2009.

BASF Construction Chemicals Italia Spa

Via Vicinale delle Corti, 21 – 31100 Treviso – Italy T +39 0422 304251 F +39 0422 421802

<http://www.master-builders-solutions.basf.it> e-mail: infomac@basf.com

For more information contact the BASF Construction Chemicals Italia Spa Technician in your area. Technical advice that may be provided verbally or in writing concerning the use and methods applied for our products reflect the current state of our scientific knowledge and practices and do not imply a guarantee and/or liability for the end result of the works when using our products. Therefore, the customer bears the sole responsibility of verifying the suitability of our products for the intended use and purpose.

This edition supersedes all previous ones. February 2014.