



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΑ ΕΡΓΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΣΙΚΥΩΝΑ**



ΧΡΗΣΤΟΣ - ΔΡΑΚΟΥΛΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΓΟΝΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΑΛΕΞΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF APPLIED ARTS & CULTURE
DEPARTMENT OF CONSERVATION OF ANTIQUITIES AND WORKS OF ART

DIPLOMA THESIS

**STUDY OF RESTORATION MORTAR COMPOSITIONS
FOR THE CONSERVATION PROJECTS OF THE ARCHITECTURAL REMAINS
IN ANCIENT SIKYONA**

CHRISTOS - DRAKOULIS KYRIAKONGONAS

SUPERVISOR: NIKOLAOS - ALEXIOS STEFANIS

ATHENS 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΓΙΑ ΤΑ ΕΡΓΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΚΑΤΑΛΟΙΠΩΝ
ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΣΙΚΥΩΝΑ**

ΧΡΗΣΤΟΣ - ΔΡΑΚΟΥΛΗΣ ΚΥΡΙΑΚΟΓΓΟΝΑΣ | Α.Μ.: 18676068

**ΜΕΛΗ ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΑ**

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι εξεταστική επιτροπή:

Α/Α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ / ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1.	ΝΙΚΟΛΑΟΣ - ΑΛΕΞΙΟΣ ΣΤΕΦΑΝΗΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
2.	ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΘΕΟΥΛΑΚΗΣ	ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	
3.	ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΧΛΟΥΒΕΡΑΚΗ	ΕΠΙΚΟΥΡΗ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Χρήστος - Δρακούλης Κυριακόγγονας του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 18676068, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών



Χρήστος - Δρακούλης Κυριακόγγονας

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Πρόλογος.....	1
Περίληψη.....	2
Abstract.....	3
ΚΕΦ.1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.2. ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΣΙΚΥΩΝΑΣ	6
1.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	8
1.3.1. Ποζολανικά Υλικά.....	9
1.3.2. Ρωμαϊκή Περίοδος.....	10
1.3.2.1. Opus Caementicium.....	10
1.3.3. Βυζαντινή Περίοδος.....	15
1.3.4. Τεχνολογία ασβέστου.....	17
1.3.4.1. Ποιότητα και χρόνος ωρίμανσης.....	19
1.4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	21
1.4.1. Μελέτη ιστορικών κονιαμάτων.....	21
1.4.2. Σχεδιασμός συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης.....	21
1.4.3. Κριτήρια σχεδιασμού.....	21
1.4.4. Μεθοδολογία σχεδιασμού συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης Αντίστροφη μηχανική προσέγγιση.....	21
ΚΕΦ. 2: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	
2.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	22
2.2. ΥΛΙΚΑ	26
2.1.1. Ποζολάνη Νισύρου	26
2.1.2. Κεραμάλευρο.....	26
2.1.3. Πολτός υδρασβέστου.....	27
2.1.4. Άμμος.....	27
2.3. ΤΡΑΠΕΖΑ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ	29
2.4. ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ	29
2.4.1. Νωπό κονίαμα.....	29
2.4.2. Σκληρυμένο κονίαμα.....	31
2.5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ / ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ	33
2.6. ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ	34
2.7. ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΕΙΣΔΥΣΗΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ	37
2.8. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ	40
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	42
4. Βιβλιογραφία.....	43
5. Κατάλογος εικόνων.....	47

Κατάλογος πινάκων.....	49
Κατάλογος σχεδίων.....	49

Πρόλογος

Στην παρούσα εργασία θα πραγματοποιηθεί μελέτη συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης με βάση το χαρακτηρισμό κονιαμάτων των αρχαιολογικών καταλοίπων από την ανασκαφή της Αρχαίας Σικυώνας που πραγματοποιήθηκε στην πτυχιακή εργασία της Ευαγγελίας Κωνσταντάτου, η οποία αποτελεί συμπληρωματικό μέρος της μελέτης συντήρησης και προστασίας του αρχαιολογικού χώρου με ονομασία «Μελέτη συντήρησης αρχιτεκτονικών καταλοίπων - Αρχαιολογικός χώρος Σικυώνας» της συντηρήτριας αρχαιοτήτων και έργων τέχνης κ. Αμαλίας Σιάτου.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο - Αλέξιο Στεφανή, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, για την πολύτιμη στήριξή του στην εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης, τον Καθηγητή Παναγιώτη Θεουλάκη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Συντήρησης Αρχιτεκτονικών Στοιχείων του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, για την έμπνευση και τη διδασκαλία του. Ευχαριστώ ιδιαίτερα και τους δύο για τη χρήση του τεχνικού εξοπλισμού του Εργαστηρίου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν και τις γνώσεις που μου προσέφεραν σε όλο τον κύκλο των προπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Νικηφόρο Μείμαρογλου, Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, για την καθοριστική του συμβολή, τη βοήθεια του σε επιστημονικό και τεχνικό επίπεδο, τις πολύτιμες ιδέες του και τη δημιουργική και άριστη συνεργασία μας.

Τέλος, την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Σχολής Αρχιτεκτόνων ΕΜΠ Ελευθερία Τσακανίκα και το Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών της Σχολής Αρχιτεκτόνων - Μηχανικών του Ε.Μ.Π για το πολύτιμο κλίμα συνεργασίας και την παροχή του τεχνικού εξοπλισμού του εργαστηρίου, καθώς και τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ Χαράλαμπο Μουζάκη και το Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ για την παραχώρηση του χώρου και της χρήσης της μηχανής θραύσης με μικρομετρικό ρολόι.

Περίληψη

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να διερευνήσει βιβλιογραφικά και να μελετήσει τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά συνθέσεων κονιαμάτων με συμβατά υλικά, αντίστοιχα με εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν στη Αρχαία Σικυώνα, ώστε να συμβάλει στον τελικό σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης με ανάλογα χαρακτηριστικά και ιδιότητες με τα αυθεντικά.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στα κονιάματα των κλιβάνων των Χώρων 1 και 2 του σκάμματος των Εργαστηρίων, καθώς τα ληφθέντα δείγματα παρουσιάζουν παρόμοια τεχνολογικά χαρακτηριστικά, αλλά και συνέπεια στην επιλογή των υλικών.

Στο πλαίσιο αυτό, πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με την τεχνολογία των ιστορικών ασβεστιτικών ποζολανικών κονιαμάτων και παρασκευάστηκαν δύο συνθέσεις, η πρώτη με φυσική ποζολάνη Νισύρου και η δεύτερη με τεχνητή ποζολάνη (κεραμάλευρο) που τοποθετήθηκαν σε μήτρες, προκειμένου να παραχθούν πρισματικά και κυβικά δοκίμια. Ύστερα από 30 ημέρες, πραγματοποιήθηκε έλεγχος θλιπτικής αντοχής, δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης και ολικής εμβάπτισης, καθώς και ποροσιμετρία είσδυσης υδραργύρου, για τον προσδιορισμό του συντελεστή υδαταπορρόφησης και του ολικού ανοιχτού πορώδους, προκειμένου να ακολουθήσει η μεταξύ τους σύγκριση και η εξαγωγή γενικότερων συμπερασμάτων. Η παρασκευή των κονιαμάτων και οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών της Σχολής Αρχιτεκτόνων - Μηχανικών του Ε.Μ.Π και στο Εργαστήριο Συντήρησης Αρχιτεκτονικών Στοιχείων του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του ΠΑ.Δ.Α.

Abstract

The aim of the present study is to investigate bibliographically and to study the physical and mechanical characteristics of mortar compositions with compatible materials, corresponding to those used in Ancient Sicyon, in order to contribute to the final design of restoration mortars with similar characteristics and properties to the original ones.

The study focused on the mortars of the kilns of Rooms 1 and 2 of the Workshops' pit, as the samples obtained show similar technological characteristics, but also consistency in the choice of materials.

In this context, a bibliographical research on the technology of historical calcareous pozzolanic mortars was carried out and two compositions were prepared, the first with natural Nisyros pozzolan and the second with artificial pozzolan (ceramic powder), in prismatic and cubic specimens. After 30 days, a compressive strength test of the specimens was carried out, as well as a capillary climbing and total immersion test and a mercury intrusion porosimetry test, for the determination of the water absorption coefficient and total open porosity, in order to compare them and draw general conclusions. The preparation of the specimens and the tests were conducted at the Laboratory of Technical Materials of the School of Architecture of the National Technical University of Athens and at the Architectural Conservation Laboratory of the University of West Attica.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αρχαία Σικυώνα βρίσκεται ανάμεσα στον Ασωπό και τον Ελισσώνα ποταμό, κοντά στο Βασιλικό Κορινθίας. Αποτελούσε σημαντικό καλλιτεχνικό κέντρο κατά την Αρχαϊκή, Κλασική και Ελληνιστική Περίοδο, με παράδοση στην εγκαυστική ζωγραφική και τη γλυπτική. Η παλαιότερη ονομασία της ήταν Αιγιαλεία.

Η περιοχή κατοικείται από τη Μέση Νεολιθική Περίοδο. Από το δεύτερο μισό του 7ου αιώνα π.Χ. η παράκτια πόλη της Σικυώνας αναπτύσσει μεγάλη στρατιωτική, πολιτική και πολιτιστική δράση που κορυφώνεται τον 6ο αιώνα επί Κλεισθένη. Κατά τον 4ο και 5ο αιώνα γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη. Τα περισσότερα αρχαιολογικά κατάλοιπα ανήκουν σε αυτή την περίοδο. Τον 4ο αιώνα π.Χ. εγκαθίστανται οι Μακεδόνες στην πόλη έως το 303 π.Χ. που εκδιώκεται η μακεδονική φρουρά και καταστρέφεται η παράκτια πόλη. Η Σικυώνα επανιδρύεται στη σημερινή της θέση 3.5 χιλιόμετρα ΝΔ του Κορινθιακού κόλπου, σε υψόμετρο 136 μέτρων (Λώλος, 2011). Τον 3ο αιώνα εντάσσεται στην Αχαϊκή Συμπολιτεία και κατά τον Αχαϊκό Πόλεμο ακολουθεί μια ουδέτερη έως φιλορωμαϊκή στάση. Οι Ρωμαίοι της αναθέτουν τη διεξαγωγή των Ίσθμιων αγώνων και της παραχωρούν το μεγαλύτερο μέρος της κορινθιακής πεδιάδας. Έπειτα, η πόλη καταστρέφεται από σεισμό. Ερημώνει, ύστερα από 2 αιώνες όμως ανακηρύσσεται έδρα επισκοπής και η ύπαιθρος επανακατοικείται από τον 4ο έως τον 6ο αιώνα μ.Χ. (Λώλος 2011, Κωνσταντάτου 2020).

Η Σικυώνα έχει ανασκαφεί από την Αμερικανική Σχολή Κλασικών Σπουδών στο χώρο του θεάτρου (1886-89). Επίσης, από την Αρχαιολογική Εταιρεία (1920-26, 1935-41, 1951-54, 1982-88) στον χώρο της αρχαίας αγοράς και κατά την περίοδο 2013-19 στους χώρους και τα μνημεία γύρω από την αρχαία αγορά, με επικεφαλής τον Γ. Λώλο (Σιάτου, 2019).

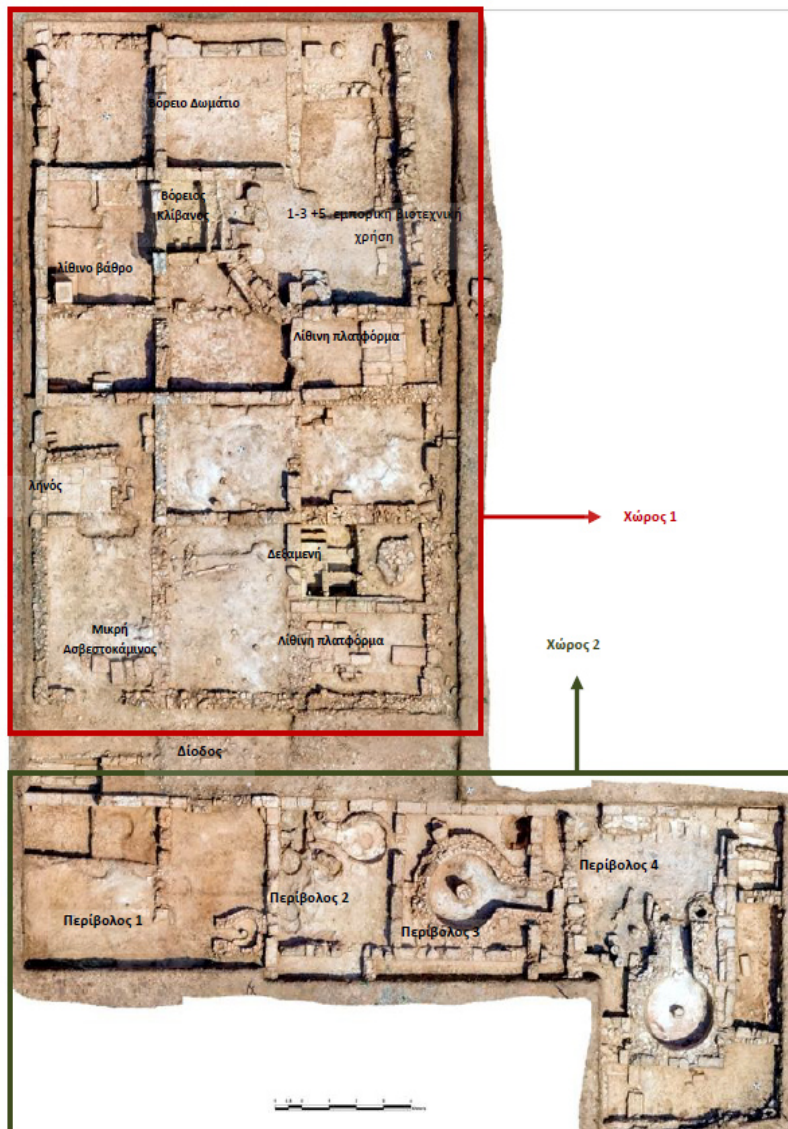


Εικ. Ι: Ορθοφωτογραφία του χώρου της Αρχαίας Σικυώνας.
(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019, Κωνσταντάτου 2020)

Με τις τελευταίες ανασκαφές ήρθαν στο φως αρχαιολογικά κατάλοιπα που χρονολογούνται από τον 1ο αιώνα π.Χ. έως τον 7ο αιώνα μ.Χ. Στο ΒΔ τμήμα του αρχαιολογικού χώρου ανακαλύφθηκε ένα Πειόσχημο Κτήριο και στο ανατολικό τμήμα της Στοάς το Δωμάτιο 4. Στο ΝΔ τμήμα, αποκαλύφθηκε ένα σύμπλεγμα εργαστηρίων με τον Χώρο 1 που χρησιμοποιήθηκε από την πρώιμη έως και τα ύστερη ρωμαϊκή εποχή και τον Χώρο 2 με έξι κλιβάνους κεραμικής που κατασκευάστηκαν μεταγενέστερα. Παρατηρείται ότι οι κλιβανοί αυτοί παρουσιάζουν μια συνέπεια στην επιλογή των υλικών (Σιάτου, 2019, Κωνσταντάτου 2020).

1.2 ΕΥΡΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΤΩΝ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΣΙΚΥΩΝΑΣ

Από τη «Μελέτη συντήρησης αρχιτεκτονικών καταλοίπων - Αρχαιολογικός χώρος Αρχαίας Σικυώνας» από τη συντηρήτρια αρχαιοτήτων και έργων τέχνης κ. Αμαλία Σιάτου και την πτυχιακή εργασία της Ευαγγελίας Κωνσταντάτου (2020), «Μελέτη της παθολογίας και χαρακτηρισμός των κονιαμάτων των αρχιτεκτονικών καταλοίπων από την ανασκαφή της Αρχαίας Σικυώνας» και σε ό,τι αφορά τα δείγματα κονιαμάτων (επιχρίσματα και κονιάματα σύνδεσης) από τους **κλιβάνους** των Χώρων 1 & 2 του σκάμματος των Εργαστηρίων, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:



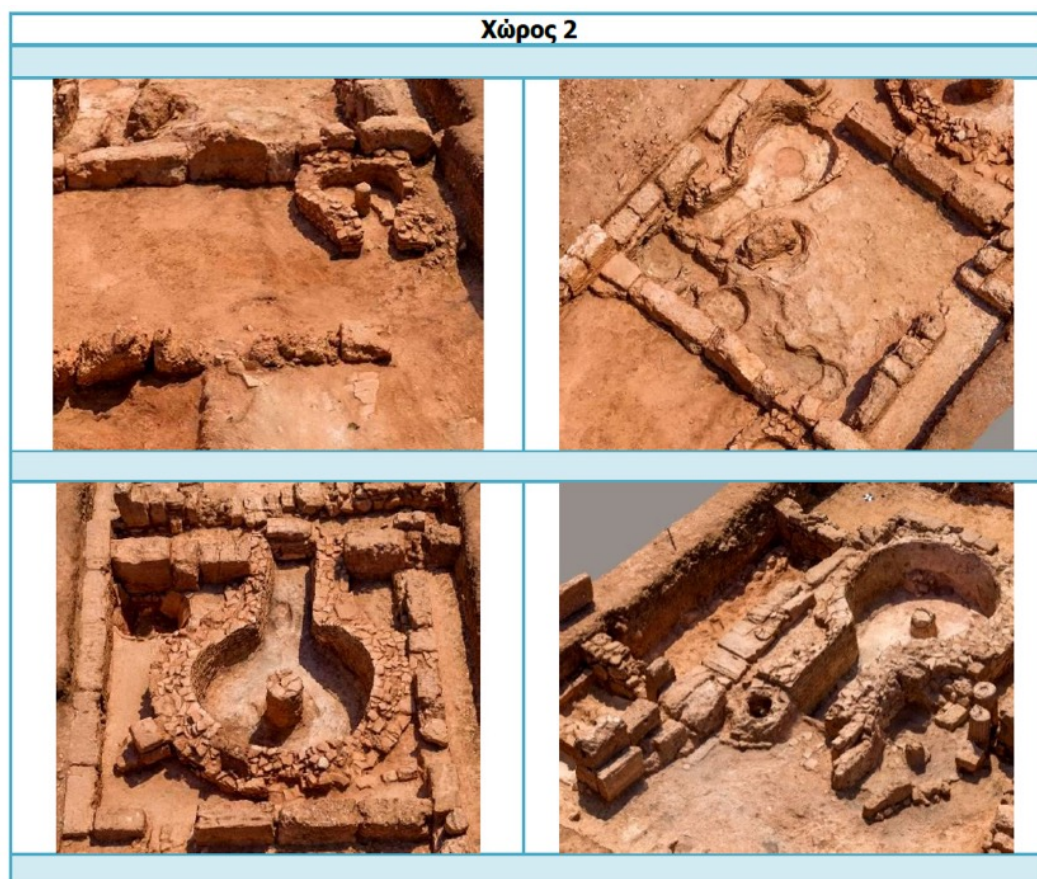
Εικ. II: Σκάμμα 1ο – Εργαστήρια.

(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019, Κωνσταντάτου 2020)

Οι κόνιες των δειγμάτων που εξετάστηκαν στα επιχρίσματα (Δ3, Δ7, Δ8, Δ10, Δ13) είναι ασβεστιτικές και τα αδρανή είναι αργιλοπυριτικής και ασβεστιτικής προέλευσης, της τάξης των 63μm - 2mm, με μεγαλύτερη συγκέντρωση στα 63μm. Στα δείγματα Δ3 και Δ8 υπάρχει θραυστό κεραμικό, το οποίο προσδίδει υδραυλικότητα στα κονιάματα.

Στα κονιάματα σύνδεσης (Δ9, Δ14) οι κόνιες είναι ασβεστοαργιλοπυριτικές, ενώ τα αδρανή είναι κυρίως πυριτικής προέλευσης της τάξης των 63 μm - 4 mm.

Τα δείγματα Δ8, Δ10, Δ13, Δ14 παρουσιάζουν παρόμοια τεχνολογικά χαρακτηριστικά, με ιδιαίτερα λεπτόκοκκα αδρανή (0 - 0,125 mm) και συνέπεια στην επιλογή των υλικών, γεγονός που ευνοεί το σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης.



Εικ. III: Τρισδιάστατη απεικόνιση του Χώρου 2 των Εργαστηρίων.
(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019 , Κωνσταντάτου 2020)

Στην παρούσα εργασία θα γίνει βιβλιογραφική έρευνα των ιστορικών ασβεστιτικών ποζολανικών κονιαμάτων και θα μελετηθούν συνθέσεις εργαστηριακά, προκειμένου να σχεδιαστούν κονιάματα αποκατάστασης με αντίστοιχα χαρακτηριστικά και ιδιότητες με τα αυθεντικά κονιάματα των κλιβάνων, με βάση το χαρακτηρισμό του αρχαιολογικού υλικού που πραγματοποιήθηκε.

1.3. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Κονίαμα: Το μείγμα κονιάς, αδρανών και νερού που χρησιμοποιείται ως συνδετικό και συγκολλητικό υλικό, καθώς από υλικό ρευστής μορφής, στερεοποιείται και σκληρύνεται με το χρόνο, εξασφαλίζοντας την αναγκαία συνοχή. Τα κονιάματα διακρίνονται σε κατηγορίες, ανάλογα με τη συνδετική κονία παρασκευής τους (πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα, τσιμεντοκονιάματα κ.α.), τις ιδιότητές τους (αεροπαγή, υδατοπαγή, θερμομονωτικά κ.α.) ή τη χρήση τους (δόμησης, επιχρίσματος, αρμολόγησης κλπ.).

Κονία: Συνδετικό υλικό σε μορφή σκόνης (κόνις), βασικό συστατικό του κονιάματος, το οποίο κατά την ανάμιξή του με νερό μετατρέπεται σε πλαστικό πολτό με συγκολλητικές ιδιότητες και αναπτύσσει πρόσφυση σε αδρανή υλικά. Με την πάροδο ορισμένου χρόνου, πήζει, σκληρύνεται, σχηματίζει συμπαγή μάζα και αποκτά αντοχή. (Τσίμας 2001, Παπαγιάννη κ.α. 2014).

Οι κόνιες διακρίνονται σε **αερικές**, οι οποίες πήζουν και σκληραίνουν με την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς αποβάλλεται το νερό και γίνεται η ενανθράκωση, ενώ δεν διατηρούνται υπό την επίδραση του νερού (π.χ. αερική άσβεστος, γύψος) και σε **υδραυλικές** που πήζουν, σκληραίνουν και έχουν αυξημένη ανθεκτικότητα στον ατμοσφαιρικό αέρα, αλλά και στο νερό (π.χ. τσιμέντο, υδραυλικός ασβέστης) (Μπακόλας, 2002).

Υδραυλικές ιδιότητες είναι οι ιδιότητες σχηματισμού σταθερών ένυδρων ενώσεων, ελάχιστα υδατοδιαλυτών, με μεγάλη συνάφεια μεταξύ τους και με τα αδρανή υλικά. Υπό την επίδραση του νερού, οι ενώσεις αυτές αυξάνουν τη συνοχή των κονιαμάτων με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αντοχών (Τσίμας, 2001).

Ασβεστοκονιάματα από πολτό υδρασβέστου και χαλαζιακή άμμο εμφανίζονται στην Εγγύς Ανατολή από το 12.000 π.Χ. και χρησιμοποιούνται στην αρχιτεκτονική από το 10.000 π.Χ. (Brandon et al. 2014). Κατά τη Μινωική Περίοδο χρησιμοποιήθηκαν ασβεστιτικά επιχρίσματα σε τοιχογραφίες εξαιρετικής ποιότητας. Στην Κάμειρο της Ρόδου τον 6ο αι. π.Χ. ανακαλύφθηκε ποζολανικό κονίαμα υδρασβέστου και ηφαιστειογενούς τέφρας σε υπόγεια δεξαμενή νερού.

Από έρευνα του Κονοφάγου (1982) τεκμηριώθηκε ότι στο Λαύριο κατά την Κλασική Περίοδο, χρησιμοποιούνταν δεξαμενές μεταλλουργικών εγκαταστάσεων με 2-3 στρώσεις ασβεστιτικών κονιαμάτων με λιθάργυρο - προσμίξεις βαρέων μετάλλων (μόλυβδο, μαγγάνιο και ψευδάργυρο καθώς και υαλώδη υλικά), με εξαιρετικές μηχανικές αντοχές (Μπακόλας 2002, Κυροπούλου 2016).

Η τεχνική του “opus caementicium” η πρώιμη μορφή σκυροδέματος με ποζολάνη, ως εσωτερικός πυρήνας της τρίστρωτης τοιχοποιίας, ήταν ήδη γνωστή στους Έλληνες και μεταδόθηκε στους Ρωμαίους. Η χρήση των υδραυλικών κονιαμάτων είχε ξεκινήσει πολύ πριν τη ευρεία χρήση και εφαρμογή τους κατά την Ρωμαϊκή εποχή (Μπακόλας 2002, Κυροπούλου 2016).

Τεκμηριώνεται επίσης, ότι **ποζολανικά υλικά** είχαν χρησιμοποιηθεί και στην περιοχή της **Αρχαίας Κορίνθου** κατά την **Κλασική** και την **Ελληνιστική Περίοδο** σε κονιάματα με υδραυλικές ιδιότητες. (Siddall, 2019)

1.3.1. ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Διακρίνονται σε **φυσικές** και σε **τεχνητές ποζολάνες**. Είναι δραστικές κονίες που αντιδρούν με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ του ασβεστοκονιάματος και παρουσία H_2O δίνουν ενώσεις με αυξημένες υδραυλικές ιδιότητες (Jackson et al. 2007).

Οι ποζολάνες αποτελούνται κυρίως από αργιλοπυριτικές ενώσεις, δηλ. δραστικό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και οξειδίο του αργιλίου (Al_2O_3). (Μοροπούλου κ.α., 2019). Όταν απαντώνται σε λεπτόκοκκο διαμερισμό και με την (άμορφη η υαλώδη) μη κρυσταλλική τους μορφή, αντιδρούν σε αλκαλικά διαλύματα με αργό ρυθμό (Τσίμας, 2001) και παράγονται ένυδρα τσιμεντοειδή προϊόντα [ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ($\text{CaH}_2\text{SiO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) και ένυδρο αργιλοπυριτικό ασβέστιο (C_4AH_{13})], τα οποία καθιστούν εφικτή την πήξη και σκλήρυνση του κονιάματος κάτω από το νερό (Κυροπούλου 2016).

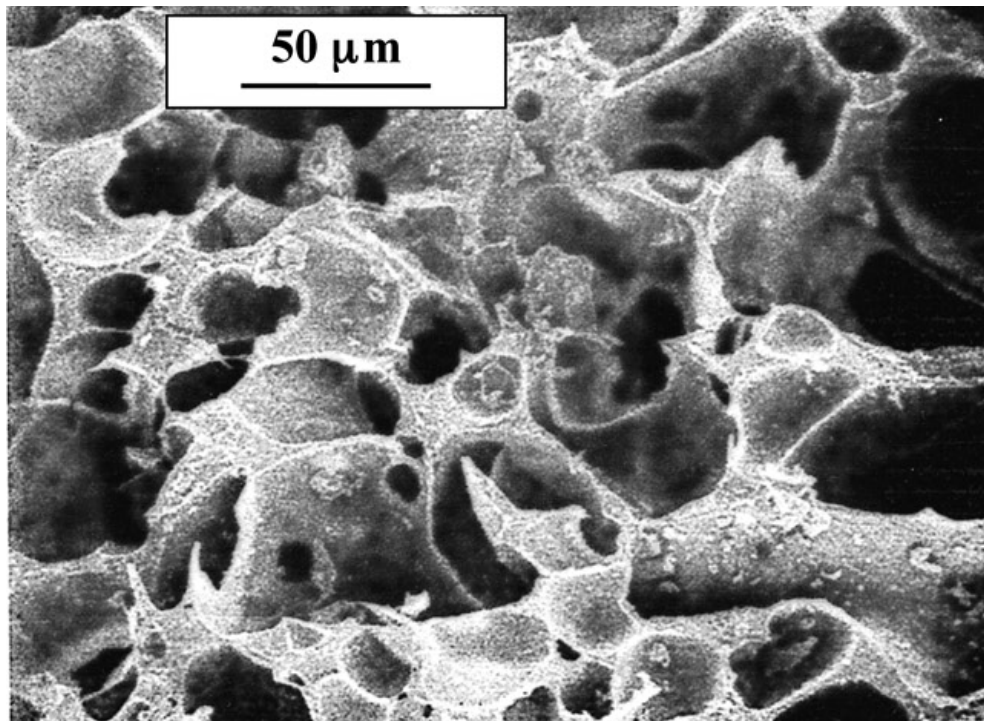


Η χρήση των ποζολανών σε κονιάματα αποδίδει υψηλές τιμές μηχανικών αντοχών, αλλά και μεγάλη αντίσταση στην προσβολή από διάφορους παράγοντες (Μπακόλας, 2002).

Οι **φυσικές ποζολάνες** (όπως η θηραϊκή και η ποτιόλια γη) είναι φυσικές κονίες ηφαιστειογενούς προέλευσης πυριτικής ή αργιλοπυριτικής σύστασης. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών των ηφαιστειακών δράσεων, τα οξείδια υπέστησαν φυσική όπτηση και μετατράπηκαν σε δραστικές κονίες.

Οι **τεχνητές ποζολάνες** είναι αργιλοπυριτικά υλικά που έχουν ενεργοποιηθεί με θερμική κατεργασία. Στα κονιοποιημένα κεραμικά, η δραστικότητά τους εξαρτάται από τη αρχική σύνθεση της αργίλου, τη θερμοκρασία έψησης και το τελικό μέγεθος των τεμαχιδίων (πιο ενεργές $< 75 \mu\text{m}$). (Μπακόλας, 2002).

Οι ποζολάνες χρησιμοποιούνται από την αρχαιότητα. Η θηραϊκή γη που προήλθε από την έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας του 1600 π.Χ., χρησιμοποιείται αδιάλειπτα από τεχνίτες της περιοχής από τον 7ο αι. έως σήμερα (Brandon et al. 2014, Αγγελακοπούλου 2006, Κουμανούδης 1960), ενώ κατά τη ρωμαϊκή εποχή γίνεται εκτενής χρήση των ασβεστιτικών κονιαμάτων φυσικής και τεχνητής ποζολάνης.



Εικ. 1.1: Εικόνα SEM - Πορώδης μικροδομή θηραϊκής γης από τη Σαντορίνη (πηγή: Εταιρία Τσιμέντων ΗΡΑΚΛΗΣ, Αθήνα) (Hobbs L. W. & Siddall R., 2011, p. 46)

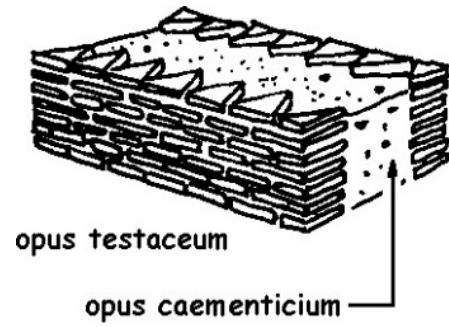
1.3.2. ΡΩΜΑΪΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Με τη χρήση οπτοπλίνθων και κονιαμάτων μειώθηκε το βάρος των κατασκευών συγκριτικά με αυτό της λιθοδομής. Το γεγονός αυτό επέτρεψε την κατασκευή τόξων, θόλων και επιβλητικών μνημείων μεγάλων διαστάσεων (Γραμμένος Γ. 2012, σελ.42).

1.3.2.1. OPUS CAEMENTICIUM

Το σκυρόδεμα που ονομαζόταν *opus caementicium* και είναι γνωστό ως «ρωμαϊκό τσιμέντο» είναι υδραυλικό κονίαμα που αποτελείται από άσβεστο, ποζολανικά υλικά και αδρανή. Αν και οι Ρωμαίοι δεν ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τα ποζολανικά υλικά, κατάφεραν να αναπτύξουν συστηματικές τεχνικές εφαρμογής, ένα εξαιρετικά σημαντικό επίτευγμα για την εποχή (Silva et al., 2005). Κατά την Ρωμαϊκή Περίοδο τα ποζολανικά σκυροδέματα εφαρμόζονται για πρώτη φορά συστηματικά και σε μεγάλη κλίμακα.

Έως τα μέσα του 1ου αι. π.Χ. η χρήση του ήταν ευρύτατη σε διαφορετικούς τρόπους δόμησης, ιδιαίτερα ως πλήρωση του εσωτερικού πυρήνα τρίστρωτης τοιχοποιίας μαζί με ακατέργαστους λίθους (Αγγελικοπούλου, 2006). Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής του *opus caementicium* αποτελούν το Πάνθεον στη Ρώμη, που έως σήμερα αποτελεί τον μεγαλύτερο και αρχαιότερο θόλο από μη ενισχυμένο σκυρόδεμα (εσωτ. διάμετρος: 43,3 m) και οι υποθαλάσσιες προβλήτες σε αρχαία λιμάνια που επιβιώνουν έως σήμερα.



Εικ. 1.2: Κατοικία (Insula) Ρωμαϊκής περιόδου από οπτόπλινθους - Ostia Antica, αρχές 2^{ου} αι.μ.Χ.

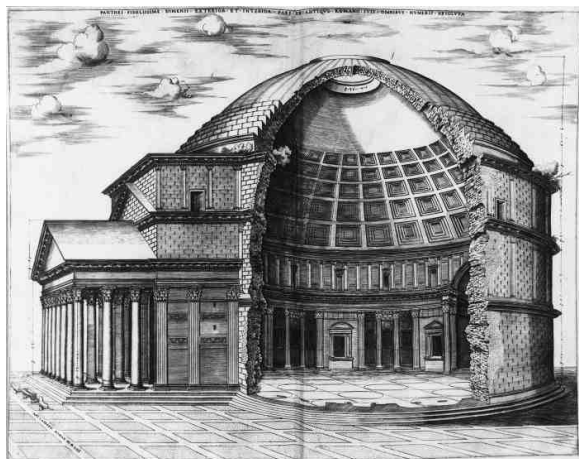
Εικ. 1.3: Opus testaceum / opus caementicium



Εικ. 1.4: Narni, Ponte de Augusto, 1ος αι. μ.Χ.

Εικ. 1.5: Opus caementicium - Mausoleo di Cecilia Metella, Ρώμη, 1^{ος} αι.π.Χ.

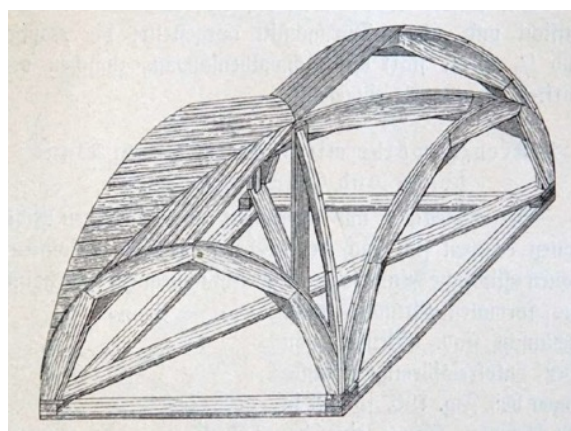
Τα **ρωμαϊκά τόξα και θόλοι** κατασκευάζονταν από λαξευτούς λίθους, οπτόπλινθους ή χυτά υλικά. Συχνά, εφαρμόζονταν μικτή τεχνική. Οι θόλοι εδράζονται σε τοιχοποιίες και σπανιότατα σε τόξα. Οι πλάγιες ωθήσεις εξουδετερώνονται από τον μεγάλο όγκο του τοίχου (Κανετάκη, 2020). Χαρακτηριστικό είναι το μέγιστο πάχος της τοιχοδομής στη Ροτόντα Θεσσαλονίκης (6,30 m).



Εικ. 1.6: Πάνθεον - Ρώμη, 1^{ος} αι. π.Χ.

Εικ. 1.7: Ροτόντα - Θεσσαλονίκη, 4^{ος} αι. μ.Χ.

Για την κατασκευή των θόλων στη ρωμαϊκή εποχή χρησιμοποιούνταν κατά κανόνα, ξυλότυπος.



Εικ. 1.8: Κολοσσαίο, Ρώμη, 1 αι. μ.Χ. - ρωμαϊκό σταυροθόλιο

Εικ. 1.9: Ξυλότυπος ρωμαϊκού σταυροθολίου (Breymann - Warth, 1903)

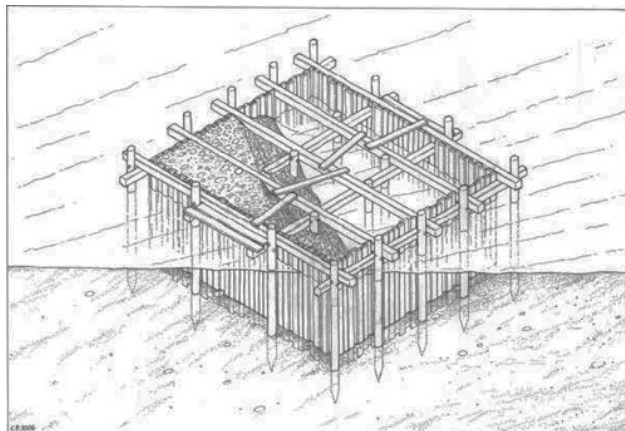
Η **ποτιόλια γη** (η ονομασία *pulvis puteolanus* προέρχεται από την πόλη των Ποτιόλων - Puteoli, σημερινό Pozzuoli) είναι η συνδετική κονία με την υδραυλική ιδιότητα, που αποτελεί για τους αρχαίους συγγραφείς (Στράβων, Βιτρούβιος, Πλίνιος) υλικό που δημιουργεί θαυμασμό για τις ιδιαίτερες ιδιότητές του.

Ο **Βιτρούβιος** το 1ος αι. π.Χ., γράφει στο *De Architectura*: «Υπάρχει ένα είδος κονιάς που από τη φύση της κάνει θαυμάσια πράγματα. Βρίσκεται στην περιοχή των Βαϊών και στους αγρούς των πόλεων γύρω από το όρος Βεζούβιος. Αναμεμιγμένη με άσβεστο και λίθους όχι μόνο δίνει αντοχή στα διάφορα κτίρια, αλλά και στερεοποιεί μέσα στο νερό τα θαλάσσια κρηπιδώματα». Σε άλλο σημείο, αναφέρει σαφώς ότι πρέπει να χρησιμοποιείται πολτός υδρασβέστου (Vitruvius De architectura 2.5.1–3).

Ο **Στράβων** στο έργο του *Γεωγραφικά* (5.4.6) αναφέρει για το λιμάνι των Ποτιόλων και τις εξαιρετικές ιδιότητες (**ευφυΐαν**) της **ποζολάνης**:

ἢ δὲ πόλις ἐμπόριον γεγένηται μέγιστον, χειροποίητους ἔχουσα ὄρμους διὰ τὴν εὐφυΐαν τῆς ἄμμου· σύμμετρος γὰρ ἔστι τῇ τιτάνῳ καὶ κόλλησιν ἰσχυρὰν καὶ πῆξιν λαμβάνει. διόπερ τῇ χάλικι καταμίξαντες τὴν ἄμμοκονίαν προβάλλουσι χώματα εἰς τὴν θάλατταν, καὶ κολποῦσι τὰς ἀναπεπταμένας ἠόνας ὥστ' ἀσφαλῶς ἐνορμίζεσθαι τὰς μεγίστας ὀλκάδας (Brandon et al., 2014).

Σχετικά με το έγχυτο **υποβρύχιο λιθόδεμα** στις προβλήτες των ρωμαϊκών λιμένων ο Βιτρούβιος αναφέρει: «Λαμβάνεται η κονία που υπάρχει στην περιοχή ανάμεσα στην Κύμη και το ακρωτήριο της Αθηνάς, και αναμιγνύεται για την παρασκευή κονιάματος, σε αναλογία 2 μέρη προς 1 μέρος (ασβέστου)» (5.12.2) [...] Με εμπηγνυόμενους πασσάλους δημιουργείται ένα κιβώτιο, του οποίου ο θαλάσσιος βυθός κάτω από το νερό, καθαρίζεται και ισοπεδώνεται με εξολκείς (Τάσιος Θ., 2018).



Εικ. 1.10: Υποθαλάσσιος ξυλότυπος, κατασκευασμένος in situ στο βυθό, σύμφωνα με περιγραφή του Βιτρούβιου (De arch. 5.12.3) (C. J. Brandon).

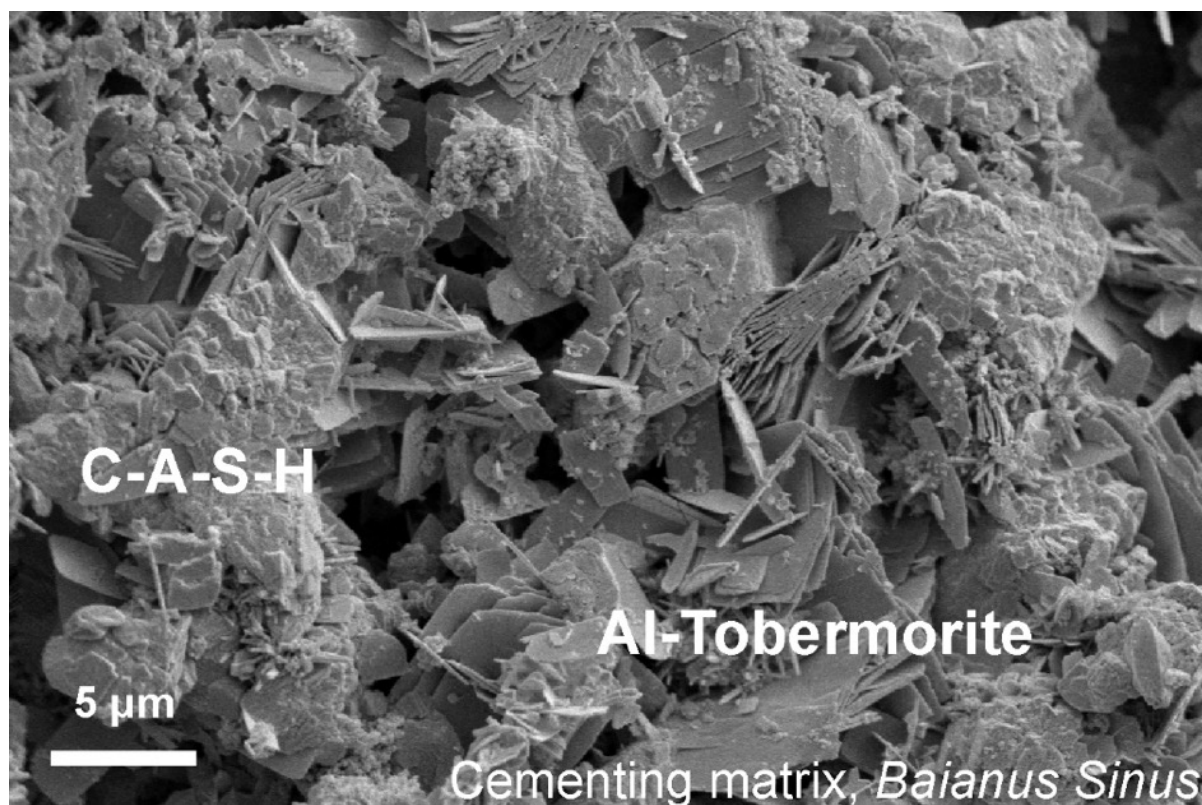
Εικ. 1.11: Αρχαίο ρωμαϊκό σκυρόδεμα σε κατασκευή στο λιμάνι Portus Cosanus, Orbetello, 3ος αι. π.Χ.

Το ποζολανικό λιθόδεμα στις προβλήτες των ρωμαϊκών λιμένων διατηρείται ύστερα από δύο χιλιετίες, αν και έχει σχετικά χαμηλές μηχανικές αντοχές, ενώ παρουσιάζει μεγαλύτερη φθορά σε χερσαίο περιβάλλον. Όταν παραμένουν **κορεσμένα σε νερό**, τα περισσότερα ρωμαϊκά κονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν υποθαλάσσιο, αλλά και σε χερσαίο περιβάλλον παραμένουν ακέραια, ενώ επιπλέον, **αναπτύσσουν και νέες φάσεις** (Brandon et al., 2014).

Το σύγχρονο σκυρόδεμα αν και έχει υψηλές μηχανικές αντοχές, σε ανάλογες συνθήκες έχει χρόνο ζωής μερικών δεκαετιών. Η σύγχρονη έρευνα αναζητά τον καθοριστικό παράγοντα που συντελεί στην ανθεκτικότητα του αρχαίου υδραυλικού κονιάματος.

Τεκμηριώνεται ότι σε θερμοκρασίες μεταξύ 50-90°C το κύριο προϊόν της ποζολανικής αντίδρασης είναι το άμορφο C-S-H, παρόμοιο με αυτό που ανακτάται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου Portland, καθώς και ο ισχνής κρυσταλλικότητας τοβερμορίτης (Μπακόλας Α., 2002).

Σύμφωνα με την M. D. Jackson, η ποτιόλια γη περιέχει φιλλιψίτη $[KCa(Al_3Si_5O_{16}) \cdot 6H_2O]$. Η αντίδρασή του με την υδράσβεστο σε ελαφρώς μεγαλύτερες θερμοκρασίες και η δράση του θαλασσινού νερού προκαλεί τον σχηματισμό κρυστάλλων αργιλιούχου τοβερμορίτη (Al-tobermorite) που θεωρείται το κλειδί για την επέκταση και ενδυνάμωση των κρυσταλλικών δομών του κονιάματος κατά την υποθαλάσσια πήξη του, καθιστώντας το σημαντικά ανθεκτικότερο από το σύγχρονο τσιμέντο (Jackson et al 2017, Brandon et al. 2014).

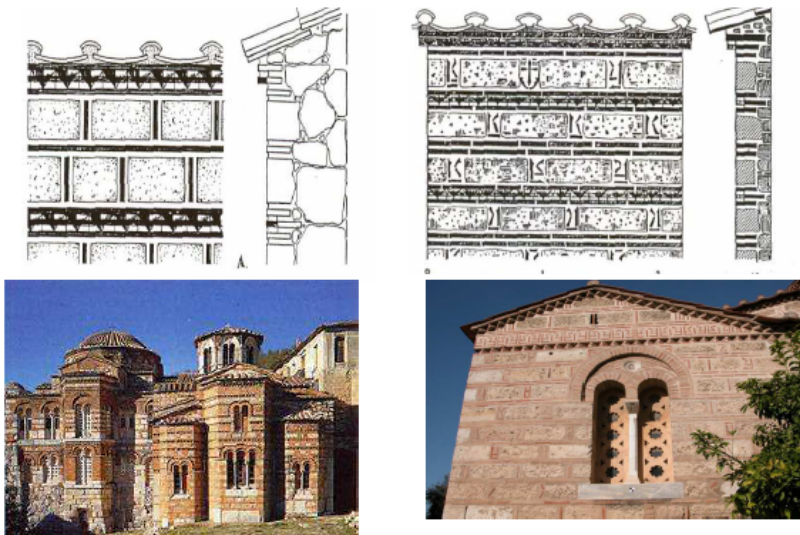


Εικ. 1.12: Κρύσταλλοι αργιλιούχου τοβερμορίτη (Al-tobermorite) αναπτύσσονται ανάμεσα στις δομές του ένυδρου αργιλοπυριπτικού ασβεστίου (C-A-S-H) σε δείγμα ασβεστοποζολανικού κονιάματος σε θαλασσινό νερό (M. D. Jackson).

Παράλληλα με την χρήση της ποζολάνης, τεκμηριώνεται από τον Βιτρούβιο (*De architectura* 2.5.1–3) και η χρήση θραυσμένου και αλεσμένου κεραμικού (*testam tunsam et succretam*), που υποστηρίζει ότι ενισχύει το κονίαμα. Επίσης, η τεχνική *opus signinum* χρησιμοποιήθηκε την κατασκευή δαπέδων και δεξαμενών (Brandon et al. 2014, Κυροπούλου 2016).

1.3.3. ΒΥΖΑΝΤΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Κατά τη Βυζαντινή Περίοδο χρησιμοποιούνται ευρέως ασβεστιτικά κονιάματα με θραυσμένα και κονιοποιημένα κεραμικά (Αγγελακοπούλου, 2006), κατά περιπτώσεις και με ποζολάνη. Οι τοιχοποιίες κατασκευάζονταν από λαξευτούς ή αργούς λίθους και οπτόπλινθους. Από τον 11^ο αιώνα εφαρμόστηκε το πλινθοπερίκλειστο σύστημα, κατά το οποίο οι οπτόπλινθοι εναλλάσσονταν με λαξευτούς λίθους. Ο ρόλος του ασβεστοκονιάματος στην δόμηση είναι ιδιαίτερα σημαντικός.



Εικ. 1.13: Το πλινθοπερίκλειστο σύστημα στους Ναούς του Οσίου Λουκά και των Άγιων Απόστολων.

Σε σχέση με τη Ρωμαϊκή Εποχή, υπήρχαν διαφοροποιήσεις στην γεωμετρία των θόλων και των αψίδων. Ο συνδυασμός κονιαμάτων με πλίνθους δημιούργησε **ελαφροβαρείς κατασκευές** που κάλυπταν μεγαλύτερα ανοίγματα. Οι πλινθόκτιστοι θόλοι ασκούσαν μικρότερες ωθήσεις και οι μεγάλοι πάχους ρωμαϊκές τοιχοποιίες από σκυρόδεμα δεν ήταν πλέον απαραίτητες. (Κυροπούλου Δ., 2016).

Στη βυζαντινή **θολοδομία** ο νεωτερισμός είναι η κάλυψη του τετράγωνου σε κάτοψη χώρου από ένα ημισφαιρικό θόλο. Τέσσερα σφαιρικά τρίγωνα (τα ονομαζόμενα «λοφία») στις γωνίες του τετραγώνου εξασφαλίζουν τη μεταβίβαση των φορτίων από την κυκλική στεφάνη του θόλου προς τις πλευρές του τετραγώνου.

Έως τον 6ο αι. μ.Χ. τα τόξα και οι θόλοι κατασκευάζονται από λίθους ή πλίνθους, ανάλογα με την οικοδομική παράδοση της περιοχής και τις οικονομικές δυνατότητες. Θόλοι από οπτοπλινθοδομή συναντώνται στην Κωνσταντινούπολη, στη δυτική Μικρά Ασία, στα Βαλκάνια και την Ιταλία, και κατασκευάζονταν με τη χρήση ξυλοτύπων κατά τη ρωμαϊκή παράδοση, αλλά και χωρίς ξυλότυπο, με συγκεκριμένη μέθοδο και τη χρήση ισχυρών ταχύπηκτων κονιαμάτων (Μαμαλούκος, 2005).

Ως προς τα **χαρακτηριστικά του κονιάματος** της Αγίας Σοφίας, η κονία έχει υδραυλικές ιδιότητες, ενώ τα αδρανή είναι μίγμα κεραμικών θραυσμάτων μεγάλης διαμέτρου (<15mm) και άμμου, με αναλογία κονιάς υδρασβέστου : αδρανών - 1:2 έως 1:4 (μετρήσεις: Princeton University, Prof. Marc, ΕΜΠ, Καθ. Θ. Τάσιος & ερευνητική ομάδα).

Ο συνδυασμός των συγκεκριμένων οπτοπλίνθων και κονιάματος παρουσιάζει χαμηλό δυναμικό μέτρο ελαστικότητας και υψηλή αντοχή σε κάμψη. Με αυτόν τον τρόπο, τα υλικά συνεισέφεραν στη σεισμική απόκριση του μνημείου. (Μοροπούλου Α. κ.α., Η Διεπιστημονική Συνεργασία και τα Αποτελέσματα της για την Προστασία της Αγία Σοφίας).

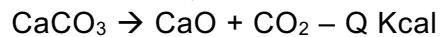


Εικ. 1.14: Δείγμα οπτοπλίνθων - κονιάματος και τοιχοδομή από την Αγία Σοφία.

1.3.4. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΣΒΕΣΤΟΥ

Η άσβεστος (CaO) παράγεται από την **όπτηση** ασβεστολιθικών πετρωμάτων (CaCO₃) σε ειδικά καμίνια. Ανάλογα με την καθαρότητα του αρχικού πετρώματος παράγεται και το ανάλογο προϊόν. Κατά την διάρκεια της όπτησης το ανθρακικό ασβέστιο διασπάται και αποβάλλει διοξείδιο του άνθρακα με την μορφή αερίου.

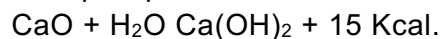
Το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), που προκύπτει από τη θερμική διάσπαση σε υψηλή θερμοκρασία (900-1000°C περίπου) του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃), με σύγχρονη αποβολή διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κατά την ενδόθερμη αντίδραση:



Είναι σημαντικό η όπτηση να μην ξεπερνά την ενδεικνυόμενη θερμοκρασία, καθώς μετά η άσβεστος δεν αντιδράει καλά με το νερό. Βέλτιστη θερμοκρασία όπτησης θεωρείται αυτή των 900°C περίπου, όπου παράγεται μικροκρυσταλλικός ασβέστης (κόκκοι < 0,1 μm), αυξάνεται το πορώδες του, η ειδική του επιφάνεια και η δραστηκότητά του (Μπακόλας, 2002).

Το παραγόμενο προϊόν είναι η **άσβεστος** ή αλλιώς, κεκαυμένη άσβεστος ή καυστική άσβεστος (οξείδιο του ασβεστίου - CaO). Το χρώμα της είναι λευκό, εκτός αν το αρχικό πέτρωμα περιείχε μεγάλες ποσότητες MgCO₃ (δολομιτική άσβεστος) ή έχει απορροφήσει ρύπους.

Μετά την όπτηση ακολουθεί η **σβέση** που είναι η κατεργασία της ασβέστου με νερό και η παραγωγή Ca(OH)₂, δηλ. υδρασβέστου (σβησμένης ασβέστου). Η σβέση είναι εξώθερμη αντίδραση:



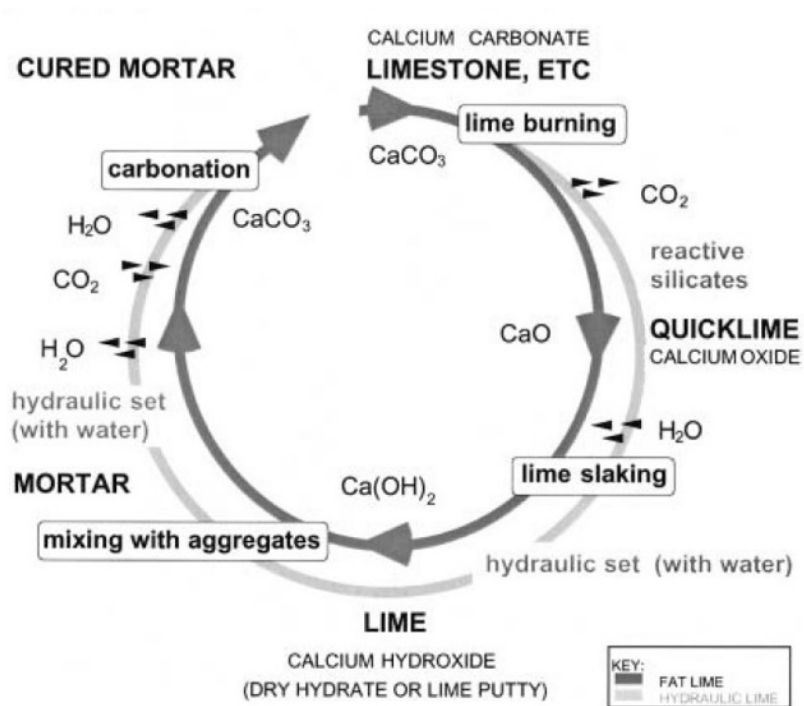
Η ποιότητα του πολτού υδρασβέστου εξαρτάται από τις συνθήκες σβέσης. Επιτυχής σβέση θεωρείται όταν ο πολτός είναι σε κολλοειδή μορφή με μεγάλο όγκο και μεγάλη πλαστικότητα.

Όταν το προστιθέμενο νερό είναι το απολύτως απαραίτητο (32% του βάρους της ασβέστου) τότε το τελικό προϊόν έχει την μορφή **σκόνης** (ξηρή σβέση), ενώ εάν επεξεργασία της ασβέστου γίνει με πλεόνασμα νερού, παράγεται **πολτός υδρασβέστου** (υγρή σβέση).

Ακολουθως, κατά τη δημιουργία κονιάματος, την εφαρμογή του και την έκθεση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, το CO₂ που υπάρχει στην ατμόσφαιρα και το νερό, προκαλούν μετατροπή της υδρασβέστου Ca(OH)₂ ξανά σε ανθρακικό ασβέστιο CaCO₃ (δηλ. στην αρχική ένωση από την οποία προέκυψε η άσβεστος) κατά την **αντίδραση ενανθράκωσης**:
$$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$$

Κατά την διαδικασία της σβέσης η θερμοκρασία πρέπει να είναι 80-150° C, η ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει προσδιοριστεί και το ίδιο τα μην περιέχει άλατα. (Torraca, 2005)

Ολοκληρώνεται έτσι, ο κύκλος της ασβέστου:

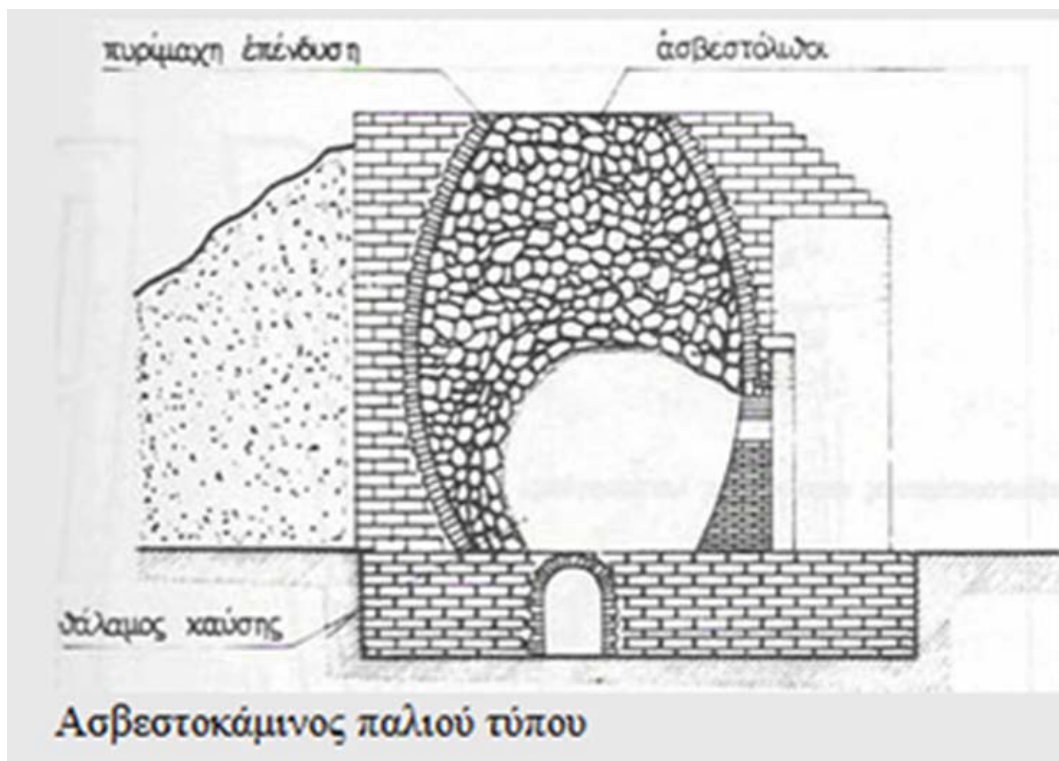


Εικ. 1.15: Ο κύκλος παραγωγής ασβεστιτικών αερικών και υδραυλικών κονιαμάτων

Για την παραγωγή ασβέστου απαιτείται η όπτηση των ασβεστολιθικών πετρωμάτων σε ασβεστουργικά καμίνια.

Τυπικό ασβεστοκάμινο είναι η ονομαζόμενη θολωτή σωροκάμινος (domed kiln), με ασβεστουργικό σωρό διαμέτρου 4-5 μ., της οποίας ο θόλος καταρρέει στο εσωτερικό μετά την καμίνευση - που διαρκεί πάνω από 24 ώρες. Συνήθως δομείται με περιμετρική τοιχοδομή (Ζαχαροπούλου Γ., 2004).

Τα ασβεστοκάμινα τοποθετούνταν συνήθως στη βάση μιας πλαγιάς, όπου συνέτρεχαν οι εξής προϋποθέσεις: υπήρχε επάρκεια ασβεστόλιθων και ξυλείας (θάμνοι και μικρά δέντρα), που με σχετική ευκολία θα μεταφέρονταν από τα υψηλότερα σημεία της πλαγιάς.



Εικ. 1.16: Θολωτή σωροκάμινος

1.3.4.1. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΩΡΙΜΑΝΣΗΣ

Βιτρούβιος (1^{ος} αι. π.Χ.) : Η πρώτη γνωστή σ' εμάς εμπειρική θεωρία, είναι αυτή που διατυπώθηκε από τον Βιτρούβιο και υιοθετήθηκε από τον Πλίνιο και άλλους Ρωμαίους συγγραφείς. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, η καταλληλότερη για δόμηση άσβεστος παράγεται με όπτηση λευκών ασβεστολίθων. Συστήνονται συμπαγείς και σκληροί ασβεστόλιθοι για παραγωγή ασβέστου δόμησης φερόντων στοιχείων και μαλακότεροι για διακοσμητικά επιχρίσματα. Η παρασκευή του ισχυρού και ανθεκτικού ρωμαϊκού σκυροδέματος επιτυγχάνονταν μόνο με την προσθήκη ποζολάνης στην άσβεστο. (Ζαχαροπούλου Γ. 2004, σ.25)

Ο Βιτρούβιος έδινε μεγάλη σημασία στην **ποιότητα** της **ασβέστου**: «Για να εκτελέσουμε σωστά τις εργασίες αυτές, θα πρέπει να πάρουμε βώλους του καλύτερου ασβέστη και να τους κάνουμε πολτό πολύ πριν την έναρξη των εργασιών» Βιτρούβιος: 7.2.1. (σελ. 93) .

«Αν όμως, γύρω από το σκέπαρνο μένει κολλημένος ασβέστης, τότε όλα δείχνουν ότι είναι έτοιμος: «παχύς» και σωστά σβησμένος» Βιτρούβιος: 7.2.2. (σελ. 93) .

«Οι Έλληνες κονιατές όμως δεν περιορίζονται μόνο σε αυτό για να κάνουν στέρεα τα επιχρίσματα: μόλις ρίξουν στον κάδο και αναμίζουν τον ασβέστη με την άμμο, βάζουν εργάτες να τα κτυπήσουν με ξύλινους λοστούς· το κονίαμα που προκύπτει το χρησιμοποιούν αφού το δουλέψουν εντατικά με αυτόν τον τρόπο» Βιτρούβιος: 7.3.10. (σελ. 99).

«Έχοντας εξασφαλίσει την προμήθεια της άμμου, πρέπει να επιμεληθούμε με προσοχή τη όπτηση του ασβέστη από λευκό πέτρωμα, μαλακό ή σκληρό. Ο ασβέστης από συμπαγές και σκληρό πέτρωμα είναι καλός για δομικές κατασκευές, αυτό από πορώδες [και λιγότερο σκληρό] για επιχρίσματα». Βιτρούβιος: 2.5.1. (σελ. 99)

Ο **Πλίνιος ο Πρεσβύτερος** (Historia naturalis 36.174–76) αναφέρει ότι «όσο πιο παλαιωμένος είναι ο πολτός υδρασβέστου (intrita) τόσο καλύτερος είναι». Στους κανονισμούς δόμησης της εποχής αναγράφεται ότι ο εργολάβος (redemptor) δεν έπρεπε να χρησιμοποιεί πολύ υδρασβέστου που έχει υποστεί φύραση λιγότερο από 3 έτη, για να μην εμφανίζονται ρηγματώσεις στα κτήρια. (Brandon et al., 2014)

Μετά από τη σβέση καλής ποιότητας ασβέστου παραλαμβάνεται η λεγόμενη παχιά υδράσβεστος, που έχει λιπαρή υφή, μεγάλη πλαστικότητα και ικανότητα παραλαβής και συγκράτησης μεγάλης ποσότητας άμμου. Οι συνθήκες φύρασης συντελούν στη βελτίωση της ποιότητας. Ο πολτός πρέπει να μείνει στον ασβεστόλακκο ορισμένο χρονικό διάστημα, προκειμένου να παχυνθεί (Τσίμας Σ., 2001).

Με την επιμελημένη **φύραση** επιτυγχάνεται (Τσίμας Σ., 2001):

- ~ Συμπλήρωση της σβέσης στα μικρά κομμάτια οξειδίου που δεν είχαν σβεσθεί που θα προκαλούσαν μειώσεις αντοχών, διογκώσεις και απολεπίσεις.
- ~ Τόνωση της πλαστικότητας με εμπλουτισμό της κολλοειδούς μορφής.
- ~ Απομάκρυνση διαλυμένων αλάτων που αποτελούν παράγοντες εμφάνισης εξανθημάτων.
- ~ Παραλαβή συμπαγούς, πλαστικού και λιπώδους πολτού υδρασβέστου.

Η διαδικασία ωρίμανσης της ασβέστου είναι η πρώτη καινοτόμα νανοτεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα ήδη από την αρχαιότητα. Ενεργοποιεί μεταβολές στις μορφολογικές και φυσικές ιδιότητες του πολτού υδρασβέστου και του προσδίδει καλύτερες ρεολογικές ιδιότητες. Ως αποτέλεσμα, η ενανθράκωση και ο ρυθμός ανάπτυξης μηχανικών αντοχών βελτιώνονται σημαντικά στα αερικά και τα υδραυλικά κονιάματα (Zacharoglou, 2009).

1.4. ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

1.4.1. ΜΕΛΕΤΗ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Κατά τη μελέτη των ιστορικών κονιαμάτων **ερευνώνται αρχικά** (Theoulakis, 2020):

- Το είδος των πρώτων υλών, της συνδετικής κονίας και των αδρανών
- Οι αναλογίες των υλικών
- Η τεχνολογία κατασκευής
- Οι παράγοντες φθοράς

Με τη χρήση των ακόλουθων **μεθόδων** και **τεχνικών**:

- Στερεομικροσκόπιο και οπτικό μικροσκόπιο >> χρώμα, σχήμα, μέγεθος, κατανομή
- Φυσικός διαχωρισμός υλικών >> κοκκομετρική διαβάθμιση
- Ποροσιμετρία υδραργύρου >> ιδιότητες μικροδομής
- XRD >> ορυκτολογική ανάλυση
- SEM/EDX, DTA/TG, XRF, AAS, ICP >> χημική ανάλυση
- Δοκιμές θλίψης, εφελκυσμού, μέτρου ελαστικότητας
- Καταγραφή / συλλογή πληροφοριών / επεξεργασία αποτελεσμάτων

1.4.2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Τα υλικά που επιλέγονται θα πρέπει να τηρούν τους ακόλουθους όρους:

- Να είναι αναστρέψιμα.
- Να είναι συμβατά.
- Να έχουν ικανοποιητική διάρκεια ζωής.
- Να έχουν αποδεκτό οικονομικό κόστος επέμβασης και συντήρησης.

1.4.3. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. Προσομοίωση των ιδιοτήτων των ιστορικών κονιαμάτων, ώστε να είναι συμβατά
2. Βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων, ώστε να είναι επιτελεστικά
3. Αναπαραγωγισιμότητα και έλεγχος της παρασκευής τους βάσει προδιαγραφών
ΣΤΟΧΟΣ: Ο σχεδιασμός και η αποτίμηση συμβατών και επιτελεστικών κονιαμάτων αποκατάστασης ιστορικών μνημείων με κριτήρια τις ορυκτολογικές - φυσικοχημικές - φυσικομηχανικές τους ιδιότητες

1.4.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΒΑΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

1. Χαρακτηρισμός και αποτίμηση ιστορικών κονιαμάτων
– επιλογή πρώτων υλών – επιλογή συνθέσεων.
2. Προετοιμασία συνθέσεων κονιαμάτων αποκατάστασης.
Συντήρηση σε ελεγχόμενες συνθήκες κατά την πήξη και σκλήρυνση
3. Αποτίμηση ιδιοτήτων κονιαμάτων αποκατάστασης
(σύμφωνα με τα όρια αποδοχής, που έχουν προκύψει από την μελέτη των ιστορικών Κονιαμάτων)
4. Αριστοποίηση - Τυποποίηση βάσει χαρακτηριστικών
5. Πιλοτική επί τόπου εφαρμογή για την αποτίμηση των κονιαμάτων αποκατάστασης στην κλίμακα της τοιχοποιίας (Μοροπούλου Α., Μούνδουλας Π.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών της Σχολής Αρχιτεκτόνων - Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και στο Εργαστήριο Συντήρησης Αρχιτεκτονικών Στοιχείων του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του ΠΑ.Δ.Α., μελετήθηκαν 2 συνθέσεις: Η πρώτη με φυσική **ποζολάνη (Π)** και η δεύτερη με **κεραμάλευρο (Κ)**, προκειμένου να ακολουθήσει η μεταξύ τους σύγκριση και να εξαχθούν συμπεράσματα που θα συμβάλλουν στον σχεδιασμό των κονιαμάτων αποκατάστασης.

Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων ελέγχθηκαν με την παρασκευή 6 πρισματικών και 4 κυβικών δοκιμίων 40 x 40 x 160 mm και 50 x 50 x 50 mm αντίστοιχα, για κάθε σύνθεση (ποζολάνης και κεραμάλευρου), σύμφωνα με όσα ορίζονται στο πρότυπο BS EN 1015.

Για **αναλογίες 1/1/4** (κατά βάρος):

Σύνθεση με φυσική ποζολάνη Νισύρου:

500 gr ασβεστοπολτός
500 gr ποζολάνη
2000 gr άμμος
315 ml απιονισμένο νερό

Σύνθεση με τεχνητή ποζολάνη (κεραμάλευρο):

500 gr ασβεστοπολτός
500 gr κεραμάλευρο
2000 gr άμμος
370 ml απιονισμένο νερό

Για την ανάμιξη του μίγματος χρησιμοποιήθηκε μηχανικός αναμικτήρας κονιαμάτων - TONINDUSTRIE - Baujahr 176/65 (140 - 285 U/min). Τοποθετήθηκε στον κάδο η συνδετική κονία (πολτός υδρασβέστου), η (φυσική ή τεχνητή) ποζολάνη και τα αδρανή και αναμίχθηκαν εν ξηρώ, έως ότου το μίγμα αποκτήσει ομοιομορφία. Ακολούθως, προστέθηκε σταδιακά η κατάλληλη ποσότητα απιονισμένου νερού και συνεχίστηκε η ανάμιξη για 10 min μέχρι την πλήρη ομογενοποίηση του μίγματος.

Η συνεκτικότητα του νωπού κονιάματος ελέγχθηκε με τράπεζα εξαπλώσεως (flow table). Ακολούθως, παρατηρήθηκε σε στερεοσκόπιο η εικόνα των νωπών κονιαμάτων σε μεγεθύνσεις: 6.7x, 10x, 20x και 40x.

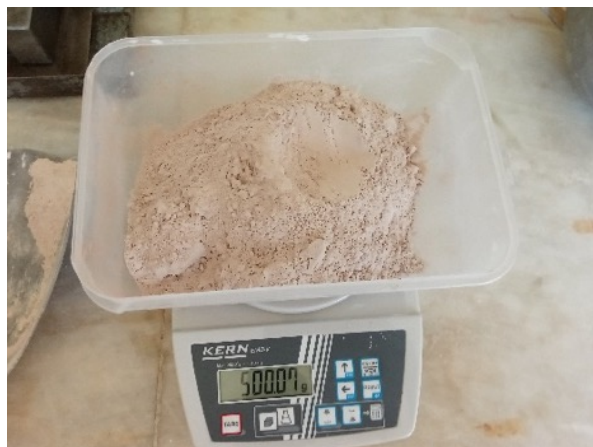
Τα δοκίμια συντηρήθηκαν για 28 ημέρες σε πλαστικές σακούλες (ελλείψει υγρού θαλάμου). Οι μήτρες με το νωπό κονίαμα τοποθετήθηκαν με ένα δοχείο νερό και μετρητή

θερμοκρασίας / υγρασίας στις πλαστικές σακούλες και σφραγίστηκαν αεροστεγώς, προκειμένου να υπάρχει $RH\ 100\% \pm 5$. Η θερμοκρασία δωματίου ήταν 20°C . Την 7^η ημέρα ανοίχθηκε στις πλαστικές σακούλες το κατάλληλο άνοιγμα, ώστε η σχετική υγρασία να είναι $60\% \pm 5$, με συνεχή έλεγχο υγρασίας και θερμοκρασίας έως και την 28^η ημέρα. Την 29^η ημέρα τοποθετήθηκαν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος $20^{\circ}\text{C} \pm 5$ και $60\% \pm 5\text{RH}$.

Ακολουθούν οι δοκιμές μηχανικών αντοχών. Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε μετά από 30-32 ημέρες.



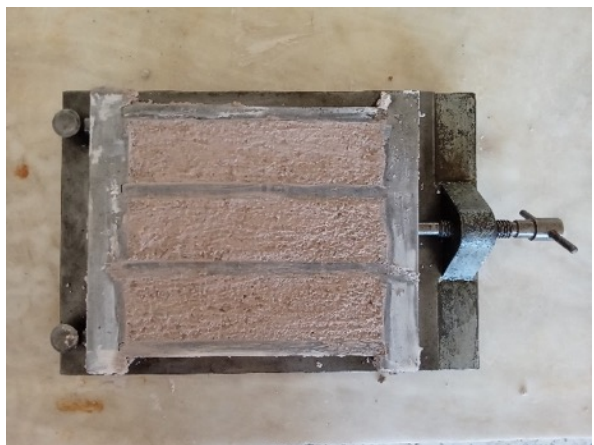
Εικ. 2.1, 2.2: Εισαγωγή της άμμου στη συσκευή κοσκίνισης για κοκκομετρική ανάλυση.



Εικ. 2.3: Ζύγιση των υλικών σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων
Εικ. 2.4: Ανάμιξη του μίγματος



Εικ. 2.5, 2.6: Η σύνθεση με κεραμάλευρο στην τράπεζα εξάπλωσης.



Εικ. 2.7, 2.8: Εισαγωγή των συνθέσεων σε μεταλλικές μήτρες για πρισματικά και κυβικά δοκίμια.



Εικ. 2.9, 2.10: Εισαγωγή των δοκιμών σε περιβάλλον με 100% RH \pm 5, 20° C \pm 5 για 7 ημέρες.



Εικ. 2.11, 2.12: Εξαγωγή των δοκιμών από τις μεταλλικές μήτρες ύστερα από 28 ημέρες.



Εικ. 2.13: Το σύνολο των αριθμημένων δοκιμών.

2.2.ΥΛΙΚΑ

2.1.1. Ποζολάνη Νισύρου (0-75 μm)

2.1.2. Κεραμάλευρο

Προμηθευτής: Δαλκαφούκη (<https://dalkafoukis.gr>).

Προέρχεται από τη θραύση παραδοσιακών κεραμικών ψημένων σε χαμηλές θερμοκρασίες

Χημικά χαρακτηριστικά

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Cl ₂ O	MnO
(%)	66,5	15,65	9,62	2,4	0,99	0,46	3,4	0,27	0,13	0,09	0,5

Φυσικά χαρακτηριστικά

Φυσική υγρασία < 1%

Φαινόμενο ειδικό βάρος: 1240 – 1280 kg/m³

Ειδική επιφάνεια: 3,85 m²/g

Ορυκτολογικά χαρακτηριστικά

Το υλικό παρουσιάζει ημίμορφη κρυσταλλική δομή. Οι κρυσταλλικές φάσεις που ανιχνεύονται είναι χαλαζίας και ανορθίτης

Κοκκομετρική διαβάθμιση

Συνολικό βάρος: 50 gr

Μέγεθος κόκκων (mm)	m (gr)
0,5	0,67
0,25	12,73
0,125	12,24
0,063	8,66
< 0,063	15,02



Πιν. 2.1: Κοκκομετρική διαβάθμιση κεραμάλευρου.

Σχ. 2.1: Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης,

2.1.3. Πολτός υδρασβέστου

Προμηθευτής: Δεβετζόγλου Β.Α. ΑΒΕΕ (<http://develime.com/el>)

Πολτός υδρασβέστου διετούς ωρίμανσης.

Κατηγορία: CL-90 (EN 459-1)

Φαινόμενη πυκνότητα: 1.4 g/cm³

Ελεύθερο νερό: 50%.

	Τύπος οικοδομικού ασβέστη	CaO + MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Διαθέσιμος ασβέστης
	CL 90	³ 90	£ 5 °	£ 4	£ 2	-

Πιν. 2.2: Χημικές απαιτήσεις ποιότητας ασβέστη κατά ΕΛΟΤ EN 459-1:2001

2.1.4. Άμμος ποταμίσις (πυριτική)

Προμηθευτής: Δαλκαφούκη

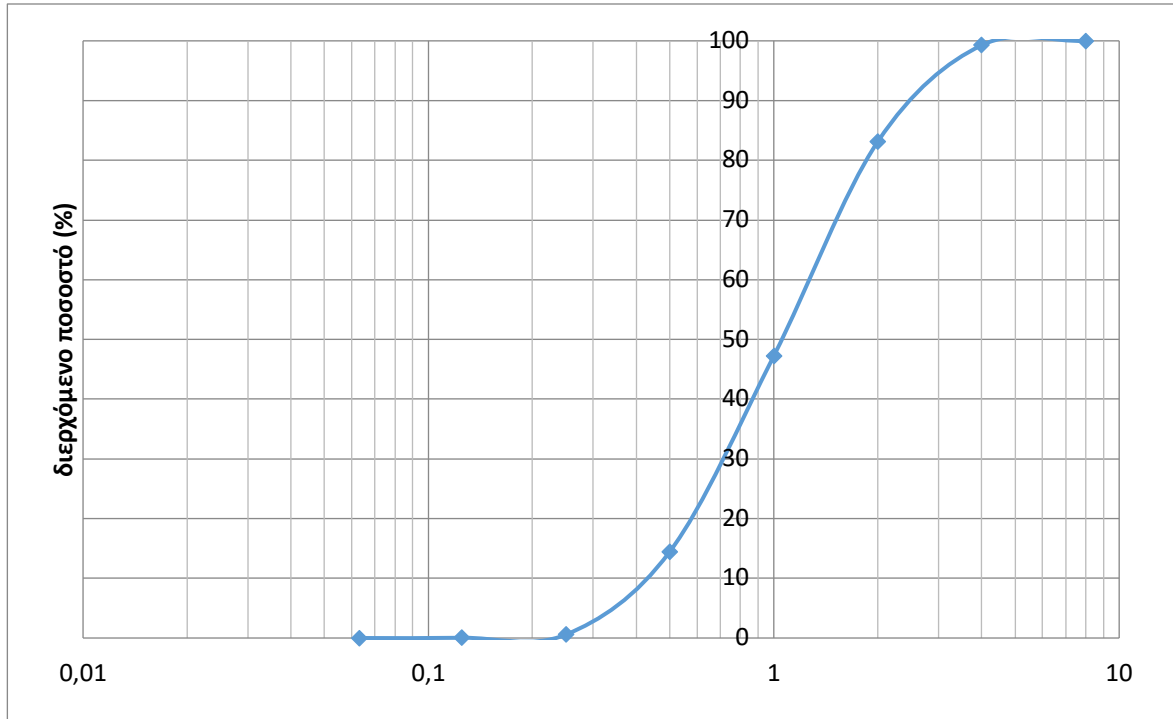
Συνολικό βάρος: 500 gr

Κοκκομετρική διαβάθμιση

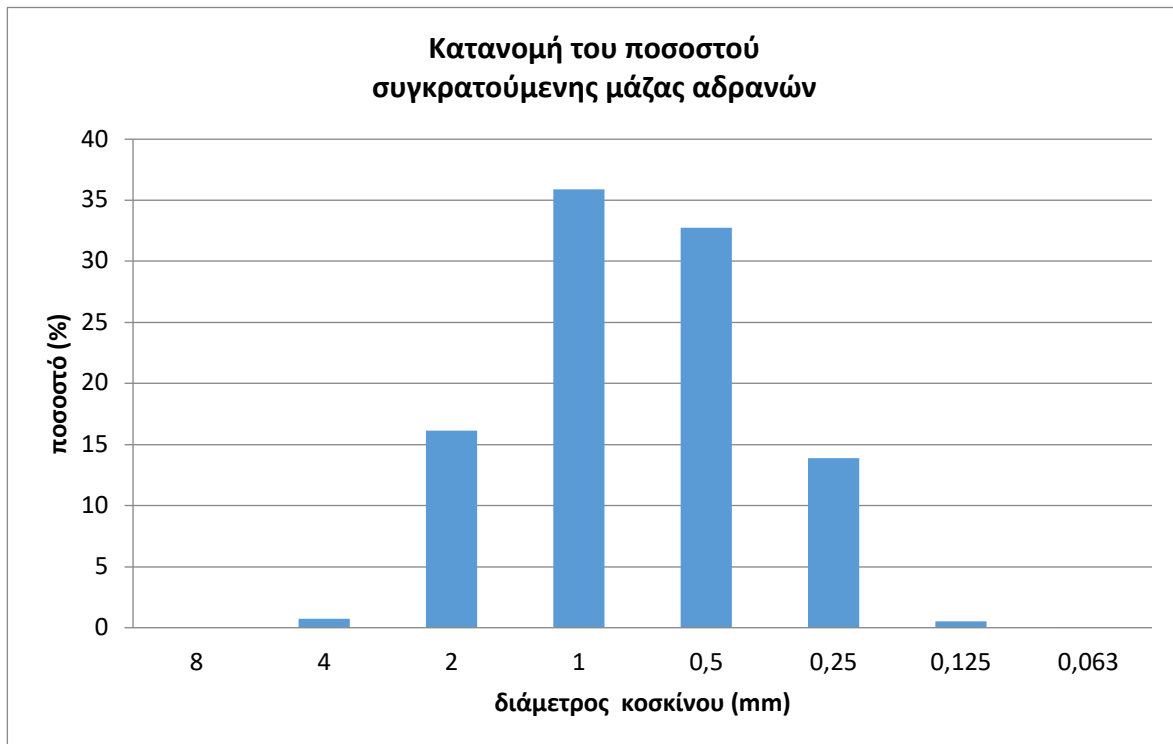
Η κοσκίνιση πραγματοποιήθηκε σε δονητή κοσκίνων TONINDUSTRIE - Baujahr 1959 (1500 U/min, 50 Per/s).

Οπές κόσκινου (μm)	Συγκρατούμενη Ποσότητα σε κάθε κόσκινο (g)	Συγκρατούμενο Ποσοστό σε κάθε κόσκινο (%)	Συγκρατούμενο Ποσοστό αθροιστικά σε κάθε κόσκινο (%)	Διερχόμενο Ποσοστό αθροιστικά από κάθε κόσκινο (%)
16	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	3.62	0.73	0.73	99.27
2	80.4	16.15	16.88	83.12
1	178.6	35.88	52.76	47.24
0.5	163.1	32.77	85.52	14.47
0.25	69.22	13.91	99.43	0.57
0.125	2.63	0.53	99.96	0.04
0.063	0.2	0.04	100	0
<63	0.2			
Σύνολο	497.97	100		

Πιν. 2.3: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου



Σχ. 2.2: Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης



Σχ. 2.3: Κατανομή του ποσοστού συγκρατούμενης μάζας

2.3. ΤΡΑΠΕΖΑ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Προσδιορισμός συνεκτικότητας του νωπού κονιάματος (με τράπεζα εξαπλώσεως), BS EN 1015-11:1999: Methods of test for mortar for masonry



Εικ. 2.14: Τράπεζα εξαπλώσεως (flow table) και μέτρηση

Flow table: 15 cm στο μίγμα με ποζολάνη και 16 cm στο μίγμα με κεραμάλευρο.

Συμπεράσματα

Το νωπό κονίαμα φυσικής ποζολάνης παρουσιάζει μεγαλύτερη συνεκτικότητα από τη σύνθεση με κεραμάλευρο.

2.4. ΣΤΕΡΕΟΣΚΟΠΙΟ

Χρησιμοποιήθηκε το στερεοσκόπιο Euromex Image Focus Alpha με ψηφιακή απεικόνιση.

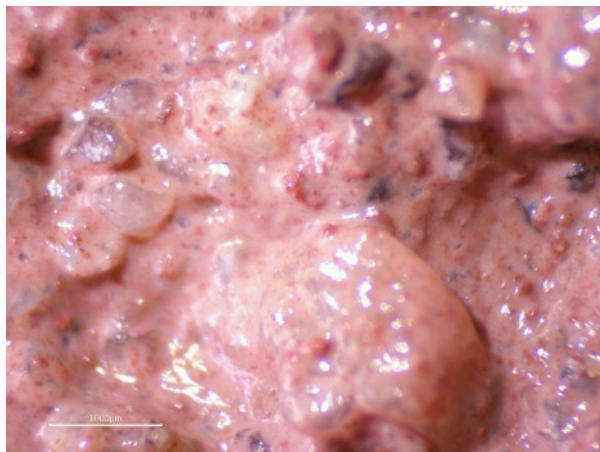
2.4.1. ΝΩΠΟ ΚΟΝΙΑΜΑ

Σύνθεση με κεραμάλευρο

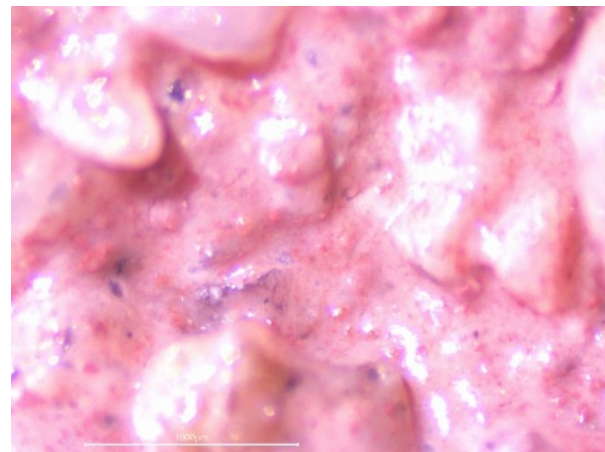


Εικ. 2.15: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 6,7x

Εικ. 2.16: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 10x

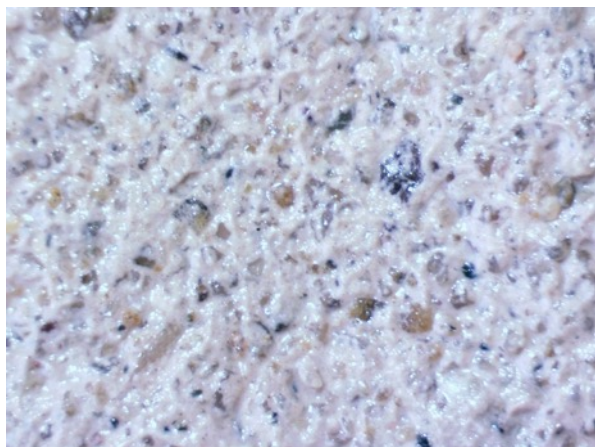


Εικ. 2.17: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 20x

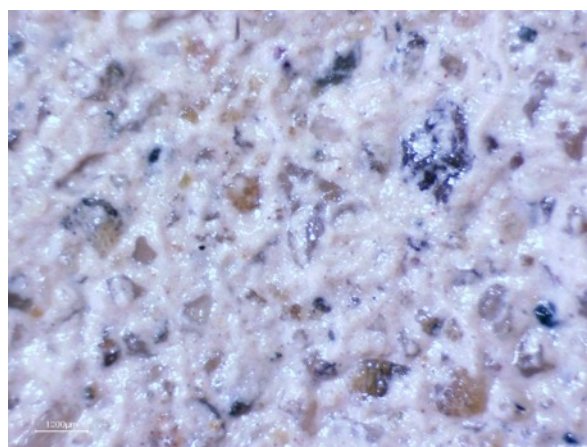


Εικ. 2.18: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 40x

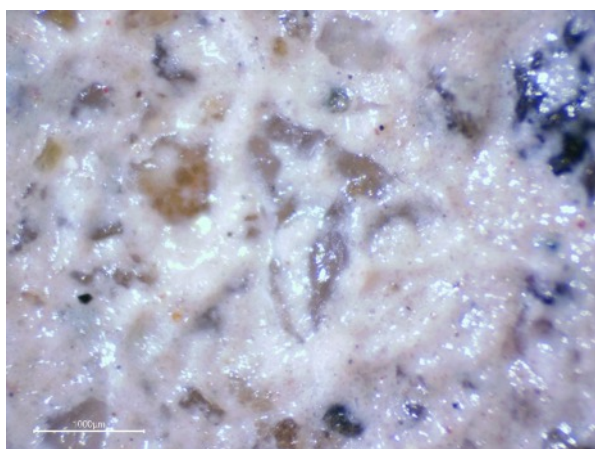
Σύνθεση με φυσική ποζολάνη



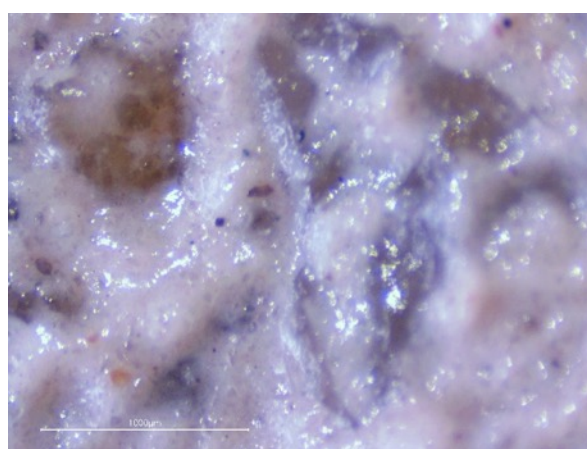
Εικ. 2.19: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 6,7x



Εικ. 2.20: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 10x



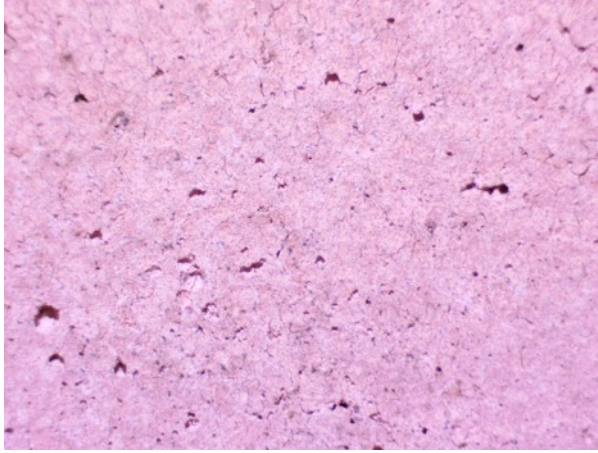
Εικ. 2.21: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 20x



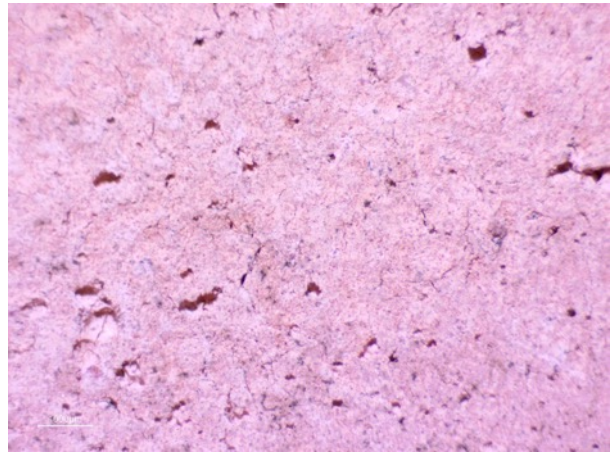
Εικ. 2.22: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 40x

2.4.2. ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟ ΚΟΝΙΑΜΑ

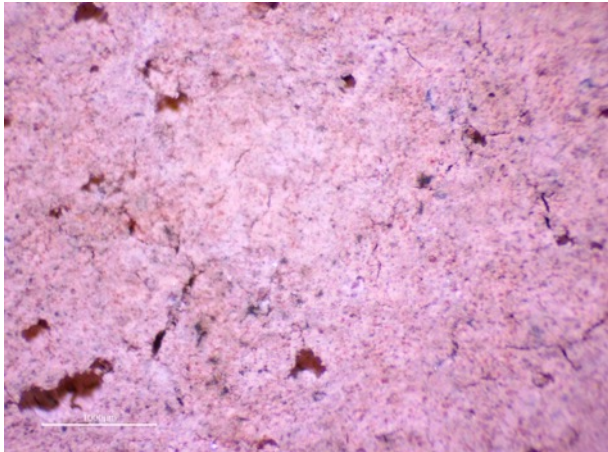
Σύνθεση με κεραμάλευρο:



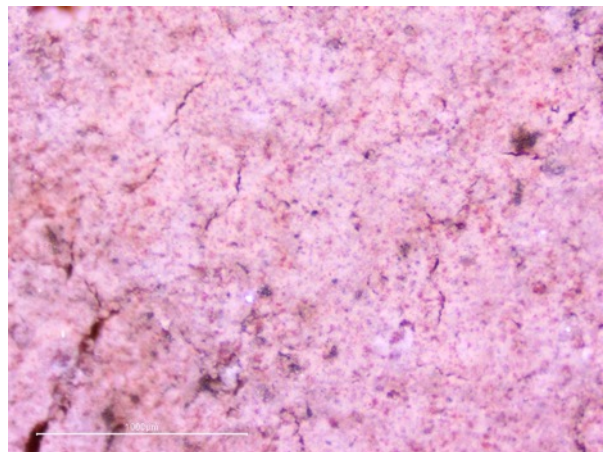
Εικ. 2.23: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 6.7x



Εικ. 2.24: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 10x

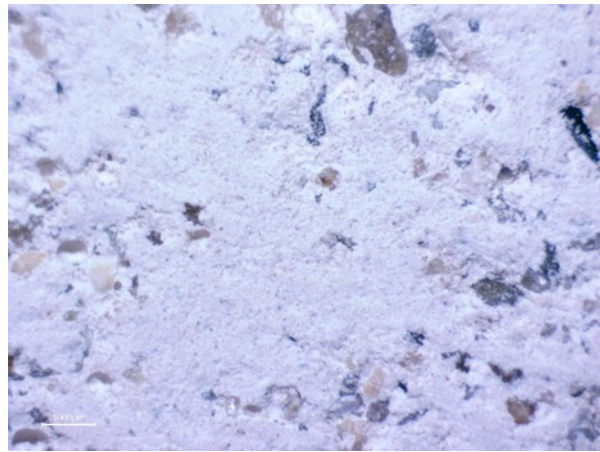
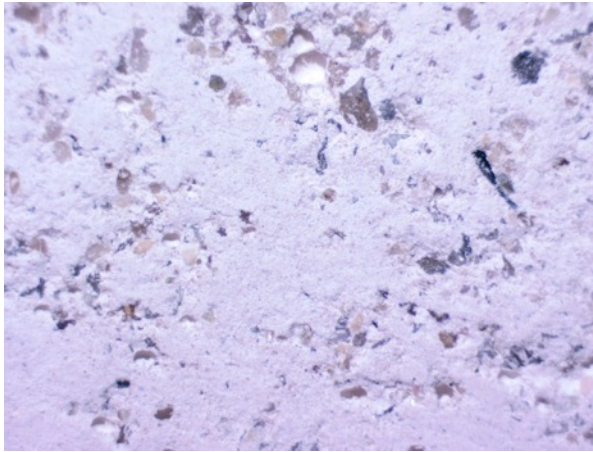


Εικ. 2.25: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 20x



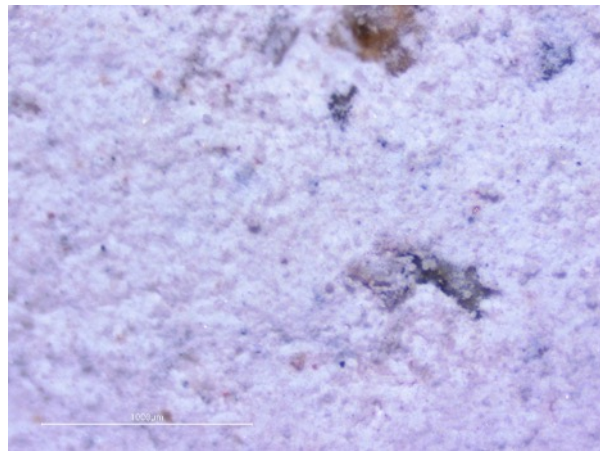
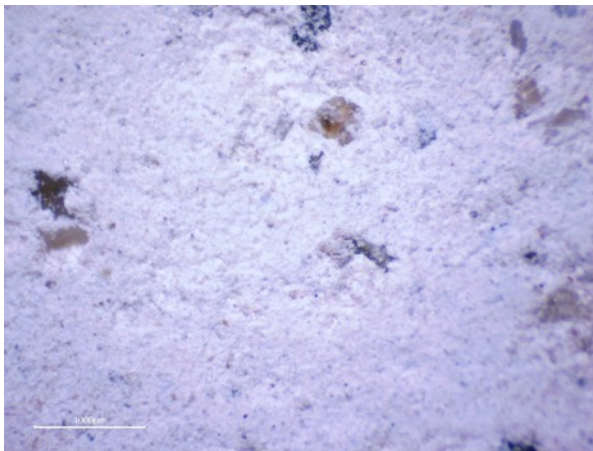
Εικ. 2.26: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 40x

Σύνθεση με φυσική ποζολάνη:



Εικ. 2.27: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 6.7x

Εικ. 2.28: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 10x



Εικ. 2.29: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 6.7x

Εικ. 2.30: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 10x

2.5. ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ / ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ



Εικ. 2.31: Μετρήσεις διαστάσεων με ηλεκτρονικό παχύμετρο.



Εικ. 2.32: Μετρήσεις μάζας με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας.

Οι ζυγίσεις πραγματοποιήθηκαν σε ζυγό ακριβείας KERN EMB 2000-2V (υποδ.: 0,01gr). Παρατίθενται οι ακριβείς διαστάσεις, το βάρος και η φαινόμενη πυκνότητα των δοκιμίων:

Κωδικός δοκιμίου	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Βάρος (g)	Πυκνότητα (g/cm ³)
Π1	15,99	3,99	3,99	435,19	1,71
Π2	15,98	4,00	4,00	444,58	1,73
Π3	15,98	3,98	4,00	440,29	1,73
Π4	15,90	3,98	3,98	434,96	1,72
Π5	15,90	3,97	4,00	436,74	1,72
Π6	15,89	4,00	4,00	440,88	1,73
Κ1	15,94	3,93	3,96	421,25	1,69
Κ2	15,97	3,96	3,96	425,94	1,70
Κ3	15,86	3,93	3,96	423,97	1,70
Κ4	15,79	3,95	3,95	414,91	1,68
Κ5	15,77	3,95	3,95	419,11	1,70
Κ6	15,78	3,96	3,96	419,97	1,70
Π7	4,98	4,99	4,99	215,41	1,73
Π8	4,99	5,00	4,96	215,24	1,73
Π9	5,00	5,00	4,98	216,16	1,73
Π10	4,98	5,00	4,95	214,78	1,74
Κ7	5,00	4,95	4,93	209,83	1,71
Κ8	5,00	4,95	4,92	207,64	1,70
Κ9	5,00	4,97	4,90	209,02	1,71
Κ10	5,00	4,95	-	197,78	-

Πιν. 2.4: Διαστάσεις και φαινόμενη πυκνότητα των δοκιμίων.

2.6. ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΡΙΧΟΕΙΔΟΥΣ ΑΝΑΡΡΙΧΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΥΔΑΤΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΚΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΠΟΡΩΔΟΥΣ

Το δομικό υλικό απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον σε υγρή μορφή και σε μορφή ατμού (ανερχόμενη υγρασία από το έδαφος, βροχοπτώσεις, συμπύκνωση υδρατμών από τον αέρα). Το φαινόμενο οφείλεται στην επιφανειακή τάση των τριχοειδών αγγείων. Στο εσωτερικό σύστημα των πόρων του οι δυνάμεις πρόσφυσης και συνοχής και η διαφορά πίεσης υπερνικούν τη βαρύτητα με αποτέλεσμα την απορρόφηση υγρασίας στο εσωτερικό του υλικού. Το πορώδες είναι θεμελιώδες χαρακτηριστικό του υλικού που επηρεάζει τις φυσικές του ιδιότητες (μηχανικές αντοχές, συμπεριφορά σε καιρικές συνθήκες, βαθμός αποσάθρωσης κ.λ.π.) (ICCROM, 1999).

Η τεχνική προσδιορισμού του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης και της απορρόφησης ύδατος με ολική εμβάπτιση ανήκουν στις φυσικές αναλυτικές τεχνικές.

Η μέθοδος καταγράφει την τριχοειδή αναρρίχηση του νερού σε πορώδη δομικά υλικά. Μετράται ο ρυθμός και προσδιορίζεται η μέγιστη ικανότητα απορρόφησης.

Με τα στοιχεία της καταγραφής, σχεδιάζεται η καμπύλη τριχοειδούς αναρρίχησης, προσδιορίζεται ο συντελεστής από την κλίση της καμπύλης και το ποσοστό του ολικού ανοιχτού πορώδους.

Η μέθοδος προσδιορισμού της υδαταπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση ακολουθεί την ακόλουθη διαδικασία (BS EN 1015): Τα δοκίμια τοποθετούνται σε κλίβανο για 24 ώρες σε θερμοκρασία 105° C και έπειτα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (24.8° C). Ζυγίζεται η ξηρή μάζα των δοκιμίων. Ακολούθως, τοποθετούνται μέσα σε πλαστικά δοχεία 12x12 cm και επάνω σε διπλωμένο απορροφητικό χαρτί (χαρτοβάμβακα) πάχους 1-1.5 cm, το οποίο διαβρέχεται επαρκώς με απιονισμένο νερό. Ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα, το δοκίμιο απομακρύνεται από το δοχείο, σκουπίζεται ελαφρά και ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν σταθεροποιηθούν οι τιμές του βάρους. Ο συνολικός χρόνος της δοκιμής διήρκεσε 2 ώρες και τα χρονικά διαστήματα μέτρησης των μεταβολών του βάρους των δοκιμίων αναφέρονται στο σχ. 2.4.



Εικ. 2.33: Δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.

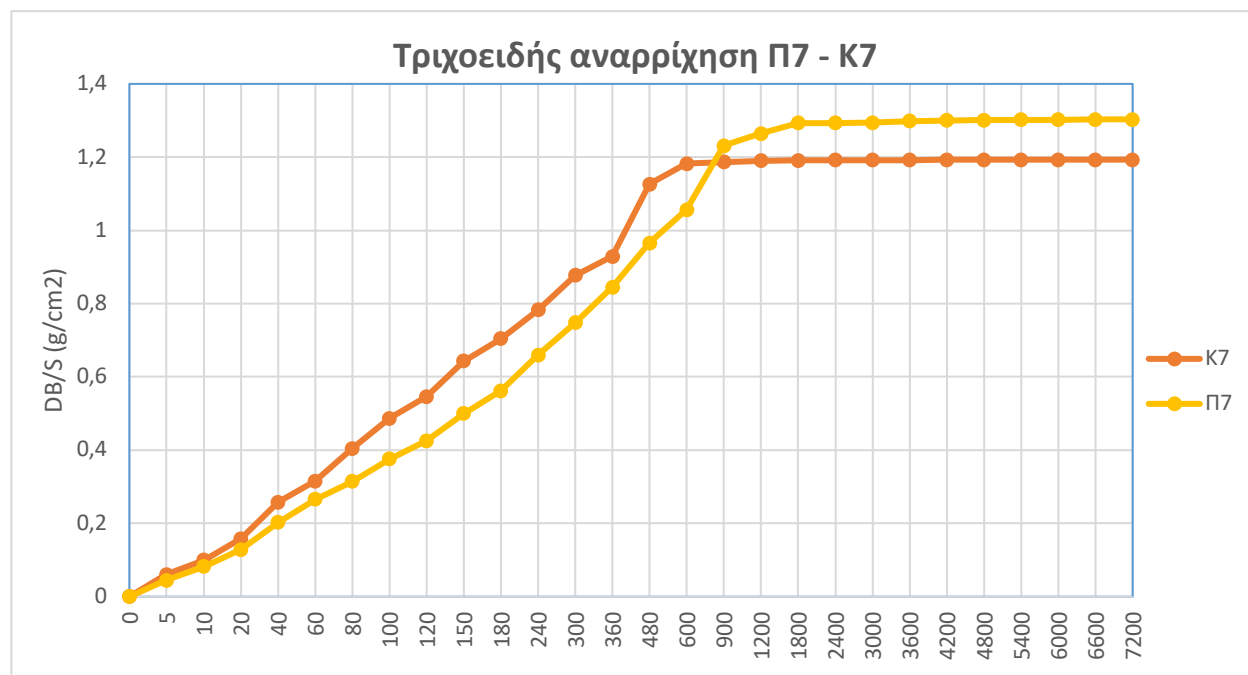
Εικ. 2.34: Ζύγιση κατά τη δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.

Ακολουθεί η ολική εμβάπτιση του υλικού σε ποτήρια ζέσεως με απιονισμένο νερό για 24 ώρες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (28° C). Η επιφάνεια του νερού απέχει 3 cm από την άνω επιφάνεια των δοκιμίων. Την επόμενη ημέρα τα δοκίμια απομακρύνονται από τα δοχεία, στραγγίζονται ελαφρά και ζυγίζονται.

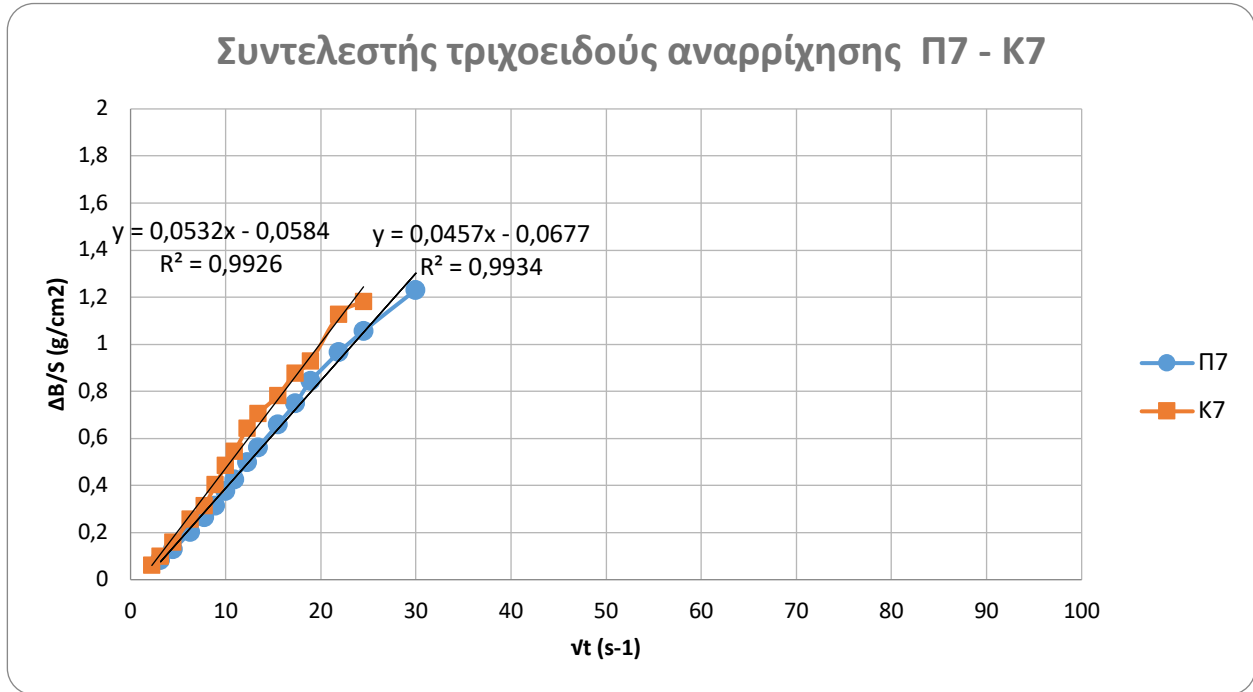


Εικ. 2.35: Δοκιμή ολικής εμβάπτισης.

Ακολουθεί το διάγραμμα που προέκυψε από τη δοκιμή υδαταπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση και ο προσδιορισμός του συντελεστή υδαταπορρόφησης:



Σχ. 2.4: Διάγραμμα τριχοειδούς αναρρίχησης



Σχ. 2.5: Προσδιορισμός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν:

Φαινόμενη πυκνότητα: $\rho_{\phi} = m_d / V_d$

Ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών: $V_{cw} = 100 * (m_c - m_d) / m_d$

Ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε μέσω ολικής εμβάπτισης: $V_{maxw} = 100 * (m_{max} - m_d) / m_d$

Όγκος ανοιχτού πορώδους: $V_{op} = m_{max} - m_d$

Ποσοστό ανοιχτού πορώδους: $\%_{op} = 100 * (V_{op} / V_d)$

Όπου

m_d : μάζα ξηρού δείγματος

m_c : βάρος κορεσμού με τριχοειδή αναρρίχηση:

m_{max} : βάρος κορεσμού με εμβάπτιση

V_{cw} : ποσότητα νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών

V_{maxw} : ποσότητα νερού που απορροφήθηκε μέσω ολικής εμβάπτισης

V_{op} : όγκος ανοιχτού πορώδους

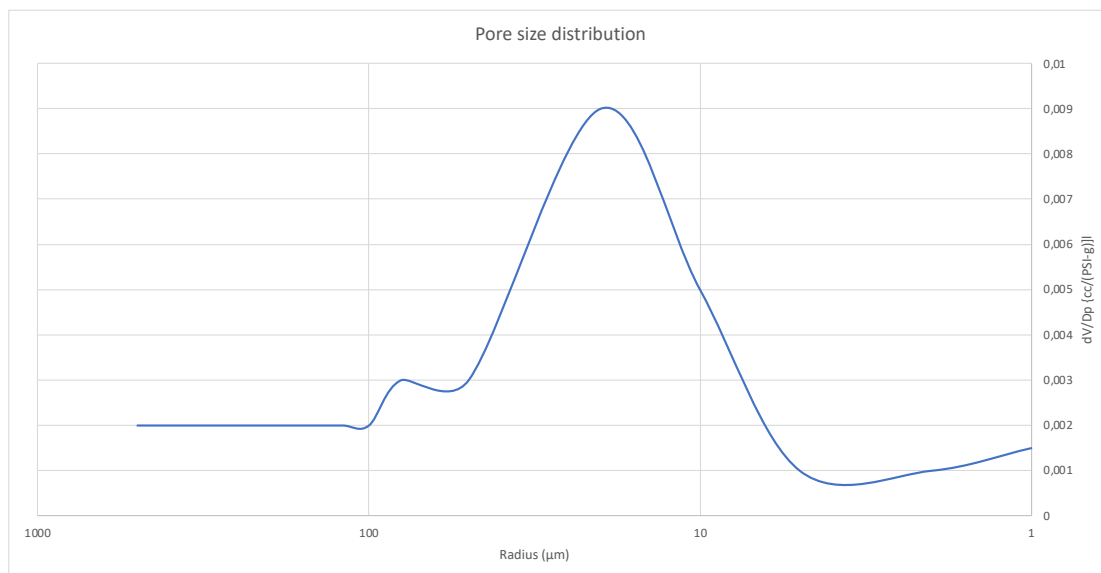
$\%_{op}$: ποσοστό ανοιχτού πορώδους

2.7. ΠΟΡΟΣΙΜΕΤΡΙΑ ΕΙΣΔΥΣΗΣ ΥΔΡΑΡΓΥΡΟΥ

Το πορώδες των δοκιμίων μετρήθηκε επίσης με ποροσιμετρία εισόδου υδραργύρου (MIP) με ποροσίμετρο PoreMaster της Quantachrome.

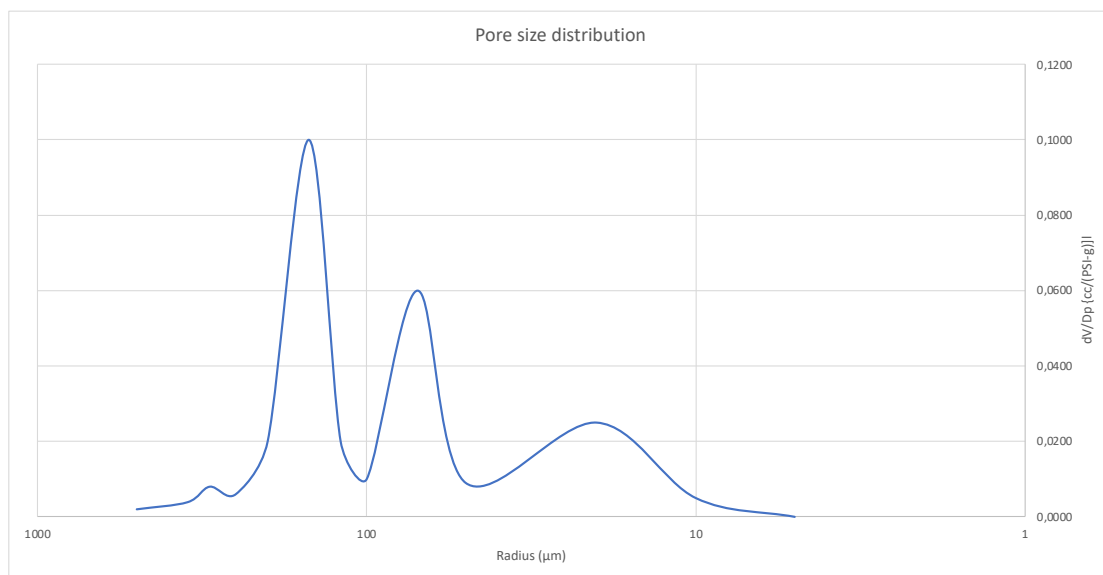


Εικ. 2.36: Ποροσιμετρία εισόδου υδραργύρου (PoreMaster - Quantachrome)



Σχ. 2.6: Κατανομή μεγέθους πόρων του Π7

Το πορώδες του δοκιμίου Π7 είναι 32,56% και η κατανομή του μεγέθους των πόρων (Σχήμα 2.6) βρίσκεται στην περιοχή 10-100 μm.



Σχ. 2.7: Κατανομή μεγέθους πόρων του Κ7

Το πορώδες του δοκιμίου Κ7 είναι 29,34% και η κατανομή του μεγέθους των πόρων (Σχήμα 2.7) βρίσκεται στις περιοχές 50-100 μm και 100-500 μm.

Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι τιμές της μάζας, της επιφάνειας της βάσης και του όγκου, της φαινόμενης πυκνότητας, καθώς και τα ποσοστά αύξησης του βάρους τους, το ποσοστό του νερού που απορροφήθηκε ο συντελεστής υδαταπορρόφησης και το ποσοστό ανοιχτού πορώδους των δοκιμών Π7 και Κ7:

	Π7	Κ7
Επιφάνεια βάσης (S)	25 cm ²	25 cm ²
Ύψος δείγματος (h)	5 cm	5 cm
Μάζα ξηρού δείγματος (m _d)	215,78 g	210,04 g
Όγκος δείγματος (V _d)	125 cm ³	125 cm ³
Φαινόμενη πυκνότητα (ρ _φ)	1.72 g/cm ³	1.68 g/cm ³
Βάρος κορεσμού με τριχοειδή αναρρίχηση (m _c)	247,36 g	239,87 g
Βάρος κορεσμού με εμβάπτιση (m _{max})	247,63 g	239,98 g
Πυκνότητα νερού (ρ _w)	1 g/cm ³	1 g/cm ³
Βάρος νερού μετά την εμβάπτιση (m _{maxw})	32,85 g	29,94 g
Όγκος νερού μετά την εμβάπτιση (V _{maxw})	32,85 cm ³	29,94 cm ³
Ποσοστό απορρόφησης νερού (% _{maxw})	26,28%	23,95%
Συντελεστής υδαταπορρόφησης (R ²)	0.9934	0.9926
Όγκος ανοιχτού πορώδους (V _{op})	31,85 cm ³	29,94 cm ³
Ποσοστό ανοιχτού πορώδους (% _{op}) (με εμβάπτιση)	25,48%	23,95%
Ποσοστό ανοιχτού πορώδους (% _{op}) (MIP)	32,56%	29,34%

Πιν. 2.5: Στοιχεία των δοκιμών Π7 και Κ7

Συμπεράσματα

Από τις ανωτέρω τιμές συμπεραίνεται ότι το ενεργό πορώδες του δοκιμίου Π7 (σύνθεση με ποζολάνη) αποτελείται από μικρότερους πόρους (R²=0.9934), ενώ του δοκιμίου Κ7 (σύνθεση με κεραμάλευρο) από μεγαλύτερους πόρους (R²=0.9926). Το νερό που απορροφήθηκε στο Π7 είναι 26,28%, ενώ στο Κ7 23,95%. Το ποσοστό ανοιχτού πορώδους (MIP) είναι 32,56% για το Π7 και 29,34% για το Κ7.

Επομένως η σύνθεση με ποζολάνη, με μεγαλύτερη τιμή φαινόμενης πυκνότητας και σύστημα πόρων με μικρότερη διάμετρο, έχει μεγαλύτερο ποσοστό ανοιχτού πορώδους και μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας μέσω τριχοειδών.

2.8. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις μηχανικές αντοχές, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντοχής σε κάμψη και σε θλίψη σε δοκίμια και δύο συνθέσεων (ποζολάνης και κεραμάλευρου) στις 30 ημέρες, σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 1015. Οι πρώτες δοκιμές μονοαξονικής θλίψης πραγματοποιήθηκαν με τη μηχανή θραύσης Toni Technik, model No 1544.0010/2015, μέγιστου φορτίου 300KN και με ρυθμό φόρτισης 0.01-0.05 MPa/s, οι οποίες δεν ήταν επιτυχημένες, καθώς το κατώτατο όριο καταγραφής της είναι τα 1.5 MPa (στον πίνακα σημειώνεται με «x»).



Εικ. 2.37, 2.38: Δοκιμές αντοχής σε κάμψη και σε θλίψη με τη μηχανή θραύσης Toni Technik

Η διεξαγωγή των επόμενων δοκιμών αντοχής σε θλίψη έγινε σε χειροκίνητη μηχανή θραύσης με μικρομετρικό ρολόι με δυνατότητα μέτρησης μικρότερων φορτίων.



Εικ. 2.39, 2.40, 2.41: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη του δοκιμίου Π6 στη χειροκίνητη μηχανή θραύσης.



Εικ. 2.42: Το μικρομετρικό ρολόι της χειροκίνητης μηχανής θραύσης

Εικ. 2.43: Πίνακας μετατροπής

Ο πίνακας της εικ. 2.42 αντιστοιχεί τις τιμές της μικρομετρικής συσκευής σε τιμές Newton, οι οποίες μετατράπηκαν σε MPa. Η άνω και η κάτω επιφάνεια θλίψης έχει εμβαδό 16 cm².

Παρουσιάζονται οι ακριβείς διαστάσεις των δοκιμίων, η φαινόμενη πυκνότητά τους και οι τιμές των αντοχών σε θλίψη:

Κωδικός δοκιμίου	Μήκος (cm)	Πλάτος (cm)	Ύψος (cm)	Βάρος (g)	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αντοχή σε θλίψη (MPa)	
						A' δοκιμή	B' δοκιμή
Π1	15,99	3,99	3,99	435,19	1,71	x	x
Π2	15,98	4,00	4,00	444,58	1,73	1,15	1,21
Π3	15,98	3,98	4,00	440,29	1,73	1,10	0,91
Π4	15,90	3,98	3,98	434,96	1,72	0,99	-
Π5	15,90	3,97	4,00	436,74	1,72	-	-
Π6	15,89	4,00	4,00	440,88	1,73	0,94	x
Κ1	15,94	3,93	3,96	421,25	1,69	0,63	x
Κ2	15,97	3,96	3,96	425,94	1,70	0,63	0,56
Κ3	15,86	3,93	3,96	423,97	1,70	0,63	-
Κ4	15,79	3,95	3,95	414,91	1,68	-	-
Κ5	15,77	3,95	3,95	419,11	1,70	-	-
Κ6	15,78	3,96	3,96	419,97	1,70	0,55	-

Πιν. 2.6: Διαστάσεις των δοκιμίων, φαινόμενη πυκνότητα και τιμές των αντοχών σε θλίψη.

Συμπεράσματα

Η σύνθεση με τη φυσική ποζολάνη παρουσιάζει μεγαλύτερες αντοχές σε θλίψη από τη σύνθεση με κεραμάλευρο.

Τα δοκίμια Π4β, Π5 και Κ3β, Κ4, Κ5 και Κ6β αποθηκεύτηκαν, προκειμένου να πραγματοποιηθούν δοκιμές μηχανικών αντοχών στους 12 μήνες.

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη βιβλιογραφική έρευνα και τον έλεγχο των ιδιοτήτων των συνθέσεων με φυσική και τεχνητή ποζολάνη (κεραμάλευρο) συμπεραίνεται ότι:

Το νωπό κονίαμα φυσικής ποζολάνης παρουσιάζει καλύτερη συνεκτικότητα από τη σύνθεση με κεραμάλευρο.

Μετά από 30 ημέρες, η σύνθεση με φυσική ποζολάνη παρουσιάζει μεγαλύτερες αντοχές σε θλίψη, έχει σύστημα πόρων με μικρότερη διάμετρο, μεγαλύτερο ποσοστό ανοιχτού πορώδους και μεγαλύτερη ικανότητα απορρόφησης υγρασίας μέσω τριχοειδών από τη σύνθεση με κεραμάλευρο.

Δεν παρατηρήθηκε ισχυρή ανάπτυξη αντοχών σε θλίψη. Τα δοκίμια δεν έχουν αποκτήσει τις μέγιστες μηχανικές τους αντοχές. (Μοροπούλου et al. 2005, Τσίμας 2001, Αγγελακοπούλου 2006). Επιπλέον δοκιμές σε θλίψη μπορούν να πραγματοποιηθούν σε 3 μήνες και σε 1 έτος.

Σημειώνεται ότι η ανθεκτικότητα των ποζολανικών κονιαμάτων στο χρόνο δεν εξαρτάται μόνο από τις μηχανικές αντοχές, αλλά είναι πιο σύνθετη διαδικασία. Σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν είναι ότι παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση στην προσβολή από διάφορους παράγοντες (Μπακόλας, 2002). Όταν παραμένουν κορεσμένα σε νερό, ποζολανικά κονιάματα που χρησιμοποιήθηκαν σε υποθαλάσσιο, αλλά και σε χερσαίο περιβάλλον παραμένουν ακέραια, ενώ επιπλέον, αναπτύσσουν και νέες φάσεις (Brandon et al., 2014). Παρατηρείται ότι ο ρυθμός της ποζολανικής αντίδρασης εξαρτάται και από τη θερμοκρασία (Μπακόλας, 2002).

Περαιτέρω έρευνα και δοκιμές με διαφορετικές συνθήκες, υλικά και αναλογίες επιβάλλεται να πραγματοποιηθούν, προκειμένου να διερευνηθούν οι ασβεστοποζολανικές συνθέσεις, καθώς θα μπορούσαν να παραχθούν επιτελεστικά κονιάματα, συμβατά με τα ιστορικά κονιάματα του αρχαιολογικού χώρου της Αρχαίας Σικυώνας.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αγγελακοπούλου Ε. (2006). *Κριτήρια και μέθοδοι αποτίμησης φυσικοχημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών κατά την διερεύνηση αριστοποίησης συμβατών κονιαμάτων και σκυροδεμάτων αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών, με έμφαση στις ποζολανικές πρώτες ύλες* (διδακτορική διατριβή). Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

<https://10.12681/eadd/16788> [Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Βιτρούβιος (c. 1998) *Περί Αρχιτεκτονικής*. Αθήνα: εκδ. Πλέθρον.

Γραμμένος Γ. (2012) *Μελέτη πλίνθων από δάπεδα σε αρχαιολογικούς χώρους και μνημεία*, Διπλωματική Εργασία ΔΜΠ Προστασία, Συντήρηση και Αποκατάσταση Μνημείων Πολιτισμού, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 42.

Διαθέσιμο: <http://ikee.lib.auth.gr/record/131774/files/GRI-2013-10447.pdf>

[Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Ζαχαροπούλου Γ. (2004), *Παραγωγή ασβέστου υψηλής δραστηριότητας κατάλληλης για αποκαταστάσεις μνημείων και ιστορικών κτιρίων* (διδακτορική διατριβή), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ., διαθέσιμη από το Εθνικό Κέντρο Τεκμηρίωσης Ε.Κ.Τ.

Διαθέσιμη: <http://thesis.ekt.gr/14566>. [Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Κανετάκη Ε. (2020) *Σημειώσεις πανεπιστημιακών παραδόσεων Ε΄ έτους στην Ιστορία Τεχνολογίας*, Σ.Α.Ε.Τ., Π.Α.Δ.Α.

Κουμανούδης Ι. (1960), *Η λαϊκή εκκλησιαστική αρχιτεκτονική της νήσου Θήρας* (διδακτορική διατριβή), Ανωτάτη Σχολή Αρχιτεκτόνων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κυροπούλου Δ. (2016) *Τεχνολογική εξέλιξη και παθογένειες ιστορικών κονιαμάτων* (διδακτορική διατριβή). Τμήμα Γεωλογίας, Σχολή Θετικών Επιστημών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

<https://doi.org/10.12681/eadd/38172> [Ημ/νία ανάκτησης: 20.08.2022].

Κωνσταντάτου Ε. (2020) *Μελέτη παθολογίας και χαρακτηρισμός των κονιαμάτων των αρχιτεκτονικών καταλοίπων από την ανασκαφή της Αρχαίας Σικυώνας* (πτυχιακή εργασία). Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής.

Λώλος Γ. (2011) *Σικυών, Κορινθία σ.Ι.*: σελ. 28-33.

Μαμαλούκος Σ. (2005) Η Οικοδομική Τεχνολογία στο Βυζάντιο, Η τεχνολογία των βυζαντινών και μεταβυζαντινών χρόνων, *περιοδικό Αρχαιολογία και Τέχνες*, τ.96 Σεπτ.2005

Μοροπούλου Α., Λαμπρόπουλος Κ., *Τσιμέντο και σκυρόδεμα*, ntua ACADEMIC OPEN COURSES, Δομικά Υλικά, 9ο εξάμηνο Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ.

Διαθέσιμο:<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf> (αναρτήθηκε την 20-7-2019). [Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Μοροπούλου Α., Μούνδουλας Π. *Συμβατά και επιτελεστικά κονιάματα αποκατάστασης.*

Πανεπιστημιακές παραδόσεις Πανεπιστημιακές παραδόσεις Δ.Π.Μ.Σ. Προστασία Μνημείων, Ε.Μ.Π. (ntua Academic Open Courses / άδεια χρήσης Creative Commons)

https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1224_5%20Compatible%20restoration%20mortars.pdf [Ημ/νία ανάκτησης: 15.04.2021].

Μπακόλας Α. (2002) *Κριτήρια και μέθοδοι χαρακτηρισμού ιστορικών κονιαμάτων* (διδακτορική διατριβή). Τομέας Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. <https://doi.org/10.12681/eadd/16484> [Ημ/νία ανάκτησης: 20.08.2022].

Παπαγιάννη Ι., Οικονόμου Ν., Στεφανίδου Μ. (2014) «*Δομικά Υλικά Ι. Ενότητα 3. Κονίες-Κονιάματα*» Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη.

Διαθέσιμο: <http://eclass.auth.gr/courses/OCRS178/>. [Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Σιάτου Α. (2019) *Μελέτη συντήρησης αρχιτεκτονικών καταλοίπων – αρχαιολογικός χώρος Σικυώνας*, ανασκαφές 2013 -2017.

Τάσιος Θ. (2018) *Κύμη και Νεάπολις - Η μεταφύτευση της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας*, Αθήνα: Μορφωτικός και Εκπολιτιστικός Σύλλογος Κύμης, σελ.24

Διαθέσιμο: <https://www.square.gr/kumi-kai-neapolis/33886>. [Ημ/νία ανάκτησης: 04.01.2021].

Τσίμας Σ. (2001). Σημειώσεις πανεπιστημιακών παραδόσεων, Δ.Π.Μ.Σ. Προστασία Μνημείων, Κατεύθυνση Β: Υλικά και Επεμβάσεις Συντήρησης, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. [Ημ/νία ανάκτησης: 20.08.2022].

Brandon C. J., Hohlfelder R. L., Jackson M. D., & Oleson J. P. (2014). *Building for Eternity: The history and technology of Roman concrete engineering in the sea*. Oxford; Philadelphia: Oxbow Books, 2014.

Hobbs L. W., & Siddall R. (2011). Cementitious materials of the ancient world. In Å. Ringbom & R. L. Hohlfelder (Eds.), *Building Roma aeterna: current research on Roman mortar and concrete* (pp. 35–60). Societas Scientiarum Fennica.

https://www.academia.edu/10648507/Cementitious_materials_of_the_ancient_world

[Accessed 20 Aug 2022].

ICCROM (1999) *ARC Laboratory Handbook*. Vol. 1 Introduction, Vol. 2 Porosity, ISBN 92-9077-157-7 © International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property

https://www.iccrom.org/sites/default/files/ICCROM_14_ARCLabHandbook01_en.pdf

[Ημ/ρία ανάκτησης: 20.08.2022].

Jackson M, Marra F, Deocampo D, Vella A, Kosso C, Hay R (2007). Geological observations of excavated sand (*harenae fossiciae*) used as fine aggregate in Roman pozzolanic mortars. *Journal of Roman Archaeology* 20, 25-53.

Jackson M. D. et al (2012) *Cement Microstructures and Durability in Ancient Roman Seawater Concretes*. Διαθέσιμη: <http://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/AUTHORS/Jackson2014-RomanConcrete.pdf>

[Accessed 20 Aug 2022].

Jackson, M. D., Moon, J., Gotti, E., Kunz, M., Taylor, R., A. Emwas, A., Meral, C., Guttman, P., Levitz, P., Wenk, H.-R. and Monteiro, P. J. M. 2013b "Material and elastic properties of Al-tobermorite in ancient Roman seawater concrete." *Journal of the American Ceramic Society*. DOI: 10.1111/jace12407. [Accessed 20 Aug 2022].

Jackson, Marie D.; Mulcahy, Sean R.; Chen, Heng; Li, Yao; Li, Qinfei; Cappelletti, Piergiulio; Wenk, Hans-Rudolf (2017). "Phillipsite and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reactions in Roman marine concrete". *American Mineralogist*.

Διαθέσιμη: <https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article/102/7/1435/353606/Phillipsite-and-Al-tobermorite-mineral-cements>. [Accessed 20 Aug 2022].

Moropoulou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., & Anagnostopoulou, S. (2005). *Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries*. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 289–294.

<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.017> [Accessed 20 Aug 2022].

Siddall, R; (2019) Pre-Roman waterproofing mortars in Ancient Corinth: materials and technology. In: Ortega, IF and Bouffier, S, (eds.) *Mortiers et hydraulique en Méditerranée antique*. (pp. 41-52). Presses Universitaires de Provence: Aix-en-Provence, France.
[https://www.academia.edu/49515727/Pre Roman waterproofing mortars in Ancient Corinth materials and technology](https://www.academia.edu/49515727/Pre_Roman_waterproofing_mortars_in_Ancient_Corinth_materials_and_technology) [Accessed 20 Aug 2022].

Silva DA, Wenk HR and Monteiro PJM (2005). Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern. *Thermochimica Acta* 438, 35-40.
[Accessed 20 Aug 2022].

Silva, D. A., Wenk, H. R., & Monteiro, P. J. M. (2005). *Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern. Thermochimica Acta*, 438(1-2), 35–40.
doi:[10.1016/j.tca.2005.03.003](https://doi.org/10.1016/j.tca.2005.03.003) [Accessed 20 Aug 2022].

Theoulakis P., (2020) Analytical & microscopic techniques for the study of historic mortars, Case study from the floor mosaics of Theba, Greece, Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Σ.Α.Ε.Τ., Π.Α.Δ.Α.

Torraca G. (2005). *Porous building materials: materials science for architectural conservation*. ICCROM. Ημερομηνία ανάκτησης 25/12/20. Διαθέσιμο στο :
<https://www.iccrom.org/publication/porous-building-materials-materials-science-architectural-conservation> [Ημ/νία ανάκτησης: 20.08.2022].

Zacharopoulou G. (2009). Interpreting chemistry and technology of lime binders and implementing it in the conservation field. *Conservar Património* , 10, 41–53.
<https://doi.org/10.14568/cp10-4>
[https://www.researchgate.net/publication/265591876 Interpreting chemistry and technology of lime binders and implementing it in the conservation field](https://www.researchgate.net/publication/265591876_Interpreting_chemistry_and_technology_of_lime_binders_and_implementing_it_in_the_conservation_field)
[Accessed 20 Aug 2022].

5. ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ. I: Ορθοφωτογραφία του χώρου της Αρχαίας Σικυώνας.

(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019, Κωνσταντάτου 2020)

Εικ. II: Σκάμμα 1ο – Εργαστήρια.

(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019, Κωνσταντάτου 2020)

Εικ. III: Τρισδιάστατη απεικόνιση του Χώρου 2 των Εργαστηρίων.

(πηγή: αρχείο Λώλου Γ., 2007, Σιάτου 2019, Κωνσταντάτου 2020)

Εικ. 1.1: Εικόνα SEM - Πορώδης μικροδομή θηραϊκής γης από τη Σαντορίνη

(πηγή: Εταιρία Τσιμέντων ΗΡΑΚΛΗΣ, Αθήνα) (Hobbs L. W. & Siddall R., 2011, p. 46)

Εικ. 1.2: Κατοικία (Insula) Ρωμαϊκής περιόδου από οπτόπλινθους - Ostia Antica, αρχές 2^{ου} αι.μ.Χ.

https://www.ducksters.com/history/ancient_rome/housing_and_homes.php

Εικ. 1.3: Opus testaceum / opus caementicium

<archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SEAD307/%CE%9F%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%B%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1%20%28%CE%92%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BB%CE%AE%CF%82%20-%20-%20%CE%A7%CE%B1%CF%84%CE%B6%CE%B7%CE%B3%CE%B9%CE%AC%CE%BD%CE%BD%CE%B7%CF%82%29/Oikodomiki-Texnologia-01-324-600.ppt>

<https://depdf.de/suche/blumenverzierung-in-der-baukunst>

Εικ. 1.4: Narni, Ponte de Augusto, 1ος αι. μ.Χ.

<https://depdf.de/suche/blumenverzierung-in-der-baukunst>

Εικ. 1.5: Opus caementicium - Mausoleo di Cecilia Metella, Ρώμη, 1^{ος} αι.π.Χ.

<http://www.architetturadi Pietra.it/wp/?p=4831>

Εικ. 1.6: Πάνθεον - Ρώμη, 1^{ος} αι. π.Χ.

<http://davidrifkind.org/fiu/Design I Images 1/Pages/Rome the Pantheon.html>

Εικ. 1.7: Ροτόντα - Θεσσαλονίκη, 4^{ος} αι. μ.Χ.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotunda_of_Saint_George_\(2915239740\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotunda_of_Saint_George_(2915239740).jpg)

Εικ. 1.8: Κολοσσαίο, Ρώμη, 1 αι. μ.Χ. - ρωμαϊκό σταυροθόλιο

<https://depdf.de/suche/blumenverzierung-in-der-baukunst>

Εικ. 1.9: Ξυλότυπος ρωμαϊκού σταυροθολίου (Breymann - Warth, 1903)

<https://depdf.de/suche/blumenverzierung-in-der-baukunst>

Εικ. 1.10: Υποθαλάσσιος ξυλότυπος, κατασκευασμένος in situ στο βυθό, σύμφωνα με περιγραφή του Βιτρούβιου (De arch. 5.12.3) (C. J. Brandon).

<http://www.ancientportsantiques.com/wp-content/uploads/Documents/AUTHORS/Jackson2014-RomanConcrete.pdf>

Εικ. 1.11: Αρχαίο ρωμαϊκό σκυρόδεμα σε κατασκευή στο λιμάνι Portus Cosanus, Orbetello, 3ος αι. π.Χ.

<https://www.archdaily.com/875212/scientists-uncover-the-chemical-secret-behind-roman-self-healing-underwater-concrete>

Εικ. 1.12: Κρύσταλλοι αργλιούχου τοβερμορίτη (Al-tobermorite) αναπτύσσονται ανάμεσα στις δομές του ένυδρου αργλιοπυριτικού ασβεστίου (C-A-S-H) σε δείγμα ασβεστοποζολανικού κονιάματος σε θαλασσινό νερό (M. D. Jackson).

<https://www.archdaily.com/875212/scientists-uncover-the-chemical-secret-behind-roman-self-healing-underwater-concrete>

Εικ. 1.13: Το πλινθοπερίκλειστο σύστημα στους Ναούς του Οσίου Λουκά και των Άγιων Απόστολων.

<http://ecourses.dbnet.ntua.gr/fsr/18332/DOCUMO%2002b%202011.pdf>

Εικ. 1.14: Δείγμα οπτοπλίνθων - κονιάματος και τοιχοδομή από την Αγία Σοφία.

http://old.ntua.gr/temp_announce/170/parousiaseis170/files170/SYNEDRIA%20II/2410_presentation.pdf

Εικ. 1.15: Ο κύκλος παραγωγής ασβεστιτικών και υδραυλικών κονιαμάτων (Leslie and Hughes 2002: 257) (Leslie A. and Hughes J. (2002). Binder Microstructure in lime mortars: implications for the interpretation of analysis results. Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology, 35, 257-263).

Εικ. 1.16: Θολωτή σωροκάμινος | konies.koniamata_arch.ntua.dialexi.pdf

Εικ. 2.1 έως εικ. 2.42 και εικόνα εξωφύλλου: προσωπικό αρχείο

Εικ. 2.1, 2.2: Εισαγωγή της άμμου στη συσκευή κοσκίνισης για κοκκομετρική ανάλυση.

Εικ. 2.3: Ζύγιση των υλικών σε ζυγό ακριβείας 2 δεκαδικών ψηφίων

Εικ. 2.4: Ανάμιξη του μίγματος

Εικ. 2.5, 2.6: Η σύνθεση με κεραμάλευρο στην τράπεζα εξάπλωσης.

Εικ. 2.7, 2.8: Εισαγωγή των συνθέσεων σε μεταλλικές μήτρες για πρισματικά και κυβικά δοκίμια.

Εικ. 2.9, 2.10: Εισαγωγή των δοκιμίων σε περιβάλλον με 100% RH \pm 5, 20° C \pm 5 για 7 ημέρες.

Εικ. 2.11, 2.12: Εξαγωγή των δοκιμίων από τις μεταλλικές μήτρες ύστερα από 28 ημέρες.

Εικ. 2.13: Το σύνολο των αριθμημένων δοκιμίων.

Εικ. 2.14: Τράπεζα εξάπλωσης και μέτρηση

Εικ. 2.15: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 6,7x

Εικ. 2.16: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 10x

Εικ. 2.17: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 20x

Εικ. 2.18: Νωπό κονίαμα με κεραμάλευρο σε μεγέθυνση 40x

Εικ. 2.19: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 6,7x

Εικ. 2.20: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 10x

Εικ. 2.21: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 20x

Εικ. 2.22: Νωπό κονίαμα με ποζολάνη σε μεγέθυνση 40x

Εικ. 2.23: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 6.7x

Εικ. 2.24: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 10x

Εικ. 2.25: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 20x

Εικ. 2.26: Το δοκίμιο K7 σε μεγέθυνση 40x

Εικ. 2.27: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 6.7x

Εικ. 2.28: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 10x

Εικ. 2.29: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 6.7x

Εικ. 2.30: Το δοκίμιο Π7 σε μεγέθυνση 10x

- Εικ. 2.31: Μετρήσεις διαστάσεων με ηλεκτρονικό παχύμετρο.
- Εικ. 2.32: Μετρήσεις μάζας με ηλεκτρονικό ζυγό.
- Εικ. 2.33: Δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.
- Εικ. 2.34: Ζύγιση κατά τη δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.
- Εικ. 2.35: Δοκιμή ολικής εμβάπτισης.
- Εικ. 2.36: Ποροσιμετρία είσδυσης υδραργύρου (PoreMaster - Quantachrome)
- Εικ. 2.37, 2.38: Δοκιμές αντοχής σε κάμψη και σε θλίψη με τη μηχανή θραύσης Toni Technik
- Εικ. 2.39, 2.40, 2.41: Δοκιμή αντοχής σε θλίψη του δοκιμίου Π6 - χειροκίνητη μηχανή θραύσης.
- Εικ. 2.42: Το μικρομετρικό ρολόι της χειροκίνητης μηχανής θραύσης
- Εικ. 2.43: Πίνακας μετατροπής

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πιν. 2.1: Κοκκομετρική διαβάθμιση κεραμάλευρου.
- Πιν. 2.2: Χημικές απαιτήσεις ποιότητας ασβέστη κατά ΕΛΟΤ EN 459-1:2001
http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm#%CE%91%CE%A3%CE%92%CE%95%CE%A3%CE%A4%CE%9F%CE%A3
- Πιν. 2.3: Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου
- Πιν. 2.4: Διαστάσεις και φαινόμενη πυκνότητα των δοκιμίων.
- Πιν. 2.5: Στοιχεία των δοκιμίων Π7 και Κ7
- Πιν. 2.6: Διαστάσεις των δοκιμίων, φαινόμενη πυκνότητα και τιμές των αντοχών σε θλίψη.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΕΔΙΩΝ

- Σχ. 2.1: Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης,
- Σχ. 2.2: Καμπύλη κοκκομετρικής διαβάθμισης
- Σχ. 2.3: Κατανομή του ποσοστού συγκρατούμενης μάζας
- Σχ. 2.4: Διάγραμμα τριχοειδούς αναρρίχησης
- Σχ. 2.5: Προσδιορισμός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης
- Σχ. 2.6: Κατανομή μεγέθους πόρων του Π7
- Σχ. 2.7: Κατανομή μεγέθους πόρων του Κ7