

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης



Πτυχιακή Εργασία

**Σχεδιασμός Κονιαμάτων Αποκατάστασης Αρχιτεκτονικών
Καταλοίπων της Αρχαίας Δρήρου**



Κωνσταντίνα Ιορδανοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής – **Νικόλαος-Αλέξιος Στεφανής**

Αθήνα, 2023

University of West Africa
School of Applied Arts and Culture
Department of Conservation of Antiques and Works of Art



Diploma Thesis

**Design of Restoration Mortars for the Architectural Remains of
Ancient Dreros**



Konstantina Iordanopoulou

Supervisor – **Nikolaos-Alexios Stefanis**

Athens, 2023

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού
Τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης



Πτυχιακή Εργασία

**Σχεδιασμός Κονιαμάτων Αποκατάστασης Αρχιτεκτονικών
Καταλοίπων της Αρχαίας Δρήρου**

Κωνσταντίνα Ιορδανοπούλου – Α.Μ 18676061

Μέλη Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

A/A	Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα / Ιδιότητα	Ψηφιακή Υπογραφή
1.	Νικόλαος-Αλέξης Στφανής	Επίκουρος Καθηγητής	
2.	Παναγιώτης Θεουλάκης	Καθηγητής	
3.	Στεφανία Χλουβεράκη	Επίκουρη Καθηγήτρια	

Αθήνα, 2023

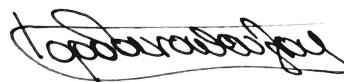
Δήλωση Συγγραφέα Πτυχιακής

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ιορδανοπούλου Κωνσταντίνα του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 18676061 φοιτήτρια 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/διπλωματικής 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».

Η Δηλούσα



Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο- Αλέξιο Στεφανή για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την καθοδήγηση, τις γνώσεις και το πολύτιμο κλίμα συνεργασίας καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Επίσης την καθηγήτρια Στεφανία Χλουβεράκη για την καθοδήγηση και τις συμβουλές της που υπήρξαν πολύτιμες, την ευχαριστώ για την βοήθεια της τόσο κατά την διάρκεια των σπουδών μου στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, όπως επίσης και για την συμβολή της στις σπουδές μου στο Πανεπιστήμιο του Τορίνο ως υπεύθυνη καθηγήτρια στο πρόγραμμα Erasmus.

Ευχαριστώ θερμά τον συντηρητή Θεοχάρη Κατρακάζη για τον χρόνο που διέθεσε και την βοήθεια του κατά την διάρκεια του εργαστηριακού μέρους της πτυχιακής μου.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου για την διαρκή τους υποστήριξη και ενθάρρυνση όλα αυτά τα χρόνια, χάρη σε αυτούς είχα την δυνατότητα να σπουδάσω.

Περίληψη

Τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα της Αρχαίας Δρήρου αποτελούν μαρτυρία της πλούσιας ιστορικής και πολιτιστικής κληρονομιάς της περιοχής. Με την πάροδο του χρόνου τα υλικά υποβλήθηκαν σε φυσικές και ανθρωπογενείς διαδικασίες υποβάθμισης, έτσι η συντήρησή τους είναι απαραίτητη για την διατήρηση της ακεραιότητας και της ιστορικής τους αξίας.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι ο σχεδιασμός εξειδικευμένων κονιαμάτων προσαρμοσμένα για την συντήρηση του μνημείου. Η έρευνα ξεκινάει με την μελέτη της τεχνολογίας των υλικών, δίνοντας έμφαση στην τεχνολογία παρασκευής τους και στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες. Αυτό επιτρέπει την βέλτιστη επιλογή των πρώτων υλών οι οποίες πληρούν κριτήρια όπως η συμβατότητα και η ασφάλεια. Στην συνέχεια εξετάζονται αναλυτικά τα κριτήρια και η μεθοδολογία σχεδιασμού κονιαμάτων αποκατάστασης.

Διάφορες συνθέσεις κονιαμάτων παρασκευάστηκαν με βάση το λευκό τσιμέντο, που ενσωματώνουν τοπικά αδρανή και δοκιμάστηκαν για να καθοριστεί η καταλληλότητά τους. Η απόδοση τους αξιολογήθηκε με βάση κριτήρια όπως η εργασιμότητα, το πορώδες, η αντοχή σε θλίψη και η αντοχή σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Τα προτεινόμενα κονιάματα διασφαλίζουν τη δομική σταθερότητα για την αναστύλωση των τμημάτων και διατηρούν επίσης τη γνησιότητα και την αισθητική αξία του μνημείου. Συνοψίζοντας, αυτή η έρευνα παρέχει μια συστηματική προσέγγιση στο σχεδιασμό κονιαμάτων για την αποκατάσταση αρχαίων αρχιτεκτονικών καταλοίπων.

Abstract

The architectural remains of Ancient Dreros are a testimony to the rich historical and cultural heritage of the region. Over time the materials have undergone natural and anthropogenic degradation processes, so their preservation is essential to maintain their integrity and historical value.

The purpose of this thesis is the design of specialized mortars adapted for the preservation of the monument. The research begins with the study of the technology of the materials, emphasizing their manufacturing technology and their physicochemical properties. This allows the optimal selection of raw materials that meet criteria such as compatibility and safety. Then the criteria and methodology for designing restoration mortars are examined in detail.

Various mortar compositions were prepared based on white cement, incorporating local aggregates and tested to determine their suitability. Their performance was evaluated based on criteria such as workability, porosity, compressive strength and resistance to various environmental conditions.

The proposed mortars ensure the structural stability for the restoration and also preserve the authenticity and aesthetic value of the monument. In summary, this research provides a systematic approach to the design of mortars for the restoration of ancient architectural remains.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	i
Περίληψη	ii
Abstract	iii
Περιεχόμενα	iv
Κατάλογος Εικόνων	vi
Κατάλογος Πινάκων	viii
Εισαγωγή	1
1 Αρχαία Δρήρος	2
1.1 Ιστορικά Στοιχεία	2
1.2 Περιγραφή των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων	6
2 Παθολογία των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων	8
2.1 Οι Μικροκλιματικές Παράμετροι της Φθοράς των Υλικών	8
2.2 Κύριοι Τύποι Φθοράς	9
2.3 Στόχοι επέμβασης	14
3 Τεχνολογία των Κονιαμάτων	15
3.1 Κονίαμα	15
3.2 Τεχνολογία της Υδραυλικής Ασβέστου	17
3.3 Τεχνολογία του Τσιμέντου	18
3.4 Τεχνολογία της Αργίλου	19
4 Κριτήρια και Μεθοδολογία Επιλογής Υλικών και Σχεδιασμού Επεμβάσεων	21
4.1 Μεθοδολογία Σχεδιασμού Συμβατών Κονιαμάτων - Αντίστροφη Μηχανική Προ- σέγγιση	21
4.2 Μελέτη ιστορικών κονιαμάτων	21
4.3 Κριτήρια σχεδιασμού κονιαμάτων	22
4.4 Κριτήρια επιλογής των πρώτων υλών	23
4.5 Κριτήρια για την αξιολόγηση των κονιαμάτων αποκατάστασης	24
5 Παρασκευή Συνθέσεων Κονιαμάτων Αποκατάστασης	25
5.1 Πρώτες Ύλες	25
5.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών	25
5.1.2 Περιθλασμετρία ακτίνων X (XRD)	28

5.2	Παρασκευή και Χύτευση Κονιαμάτων Αποκατάστασης	29
6	Εργαστηριακός έλεγχος κονιαμάτων	32
6.1	Προσδιορισμός μηχανικών αντοχών	32
6.2	Χαρακτηρισμός του πορώδους.	36
6.2.1	Προσδιορισμός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης	36
6.2.2	Δοκιμή ολικής εμβάπτισης	40
6.2.3	Αποτελέσματα	40
6.3	Συζήτηση	41
7	Συμπεράσματα	43
	Βιβλιογραφία	43

Κατάλογος Εικόνων

1.1	Οι λόφοι πάνω στους οποίους είναι κτισμένη η αρχαία Δρήρος, φωτογραφία Google Earth	2
1.2	Φωτογραφία κατά την ανασκεφή της δεξαμενής. Πίσω διακρίνεται ο ναός του Απόλλωνα, Florence Gaignerot-Driessen, The 'killing' of a city: a destruction by enforced abandonment, 1936	3
1.3	Σχεδιαστική αποτύπωση της περιοχής, Van Effenterre Henri, Demargne Pierre. Recherches à Dréros, 1937	3
1.4	Σχεδιαστική αποτύπωση του ναού, Roux Georges. Le vrai temple d'Apollon à Délos, 1979	4
1.5	Κέρατα αιγών που βρέθηκαν μέσα στον ναό, Marinatos Spyridon. Le temple géométrique de Dréros 1936	5
1.6	Το γοργόνειο της Δρήρου, Marinatos Spyridon. Le temple géométrique de Dréros 1936	5
1.7	Ο νόμος της Δρήρου, Van Effenterre Henri, Ruzé Françoise. Nomima. Recueil d'inscriptions politiques et juridiques de l'archaïsme grec 1994	5
1.8	A-5, Τομέας 5, λεπτομέρεια τομή A&B. Σχεδιαστική αποτύπωση αργολιθοδομής, Σχεδιαστική απόδοση: Γεώργιος Ζαχαράκης	7
1.9	A-7, Τομέας 5, λεπτομέρεια E, F, G. Σχεδιαστική αποτύπωση λιθοδομής με ημιλαξευτούς λίθους, Σχεδιαστική απόδοση: Γεώργιος Ζαχαράκης	7
1.10	Αργολιθοδομή, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	7
1.11	Λιθοδομή με ημιλαξευτούς λίθους, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	7
2.1	Τμήμα λίθου με καφέ κρούστα	9
2.2	Μικροφωτογραφία του ανωτέρου στρώματος της επιφάνειας όπου είναι εμφανές το δίκτυο ρωγμών	9
2.3	Φάσμα EDS από την περιοχή της κρούστας	9
2.4	Λεπτομέρεια λίθου με βιολογική ανάπτυξη στην επιφάνεια του, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης.	10
2.5	Απώλεια συνδετικού υλικού από την λιθοδομή και ανάπτυξη φυτών στα κενά των αρμών, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	10
2.6	Αποδιοργάνωση λιθοδομής, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	10
2.7	Φωτογραφία από ΟΜ όπου φαίνονται οι φλεβώσεις του υλικού	11
2.8	Ρηγματώσεις στην επιφάνεια λίθου, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	11
2.9	Σύγκριση της όψης ενός θερμικά διαβρωμένου λίθου (αριστερά) με ένα υγιή που φέρει μόνο την τυπική πατίνα του χώρου (δεξιά), Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	12
2.10	Μικροφωτογραφία SEM δείγματος από λίθο που βρίσκονταν σε γειτνίαση με το ασβεστοκάμινο, η ύπαρξη δικτύου ρωγμών στην επιφάνεια του είναι εμφανής	12
2.11	Φάσμα EDS από την περιοχή της θερμικής φθοράς	12
2.12	Φωτογραφία σε ΟΜ δείγματος από την περιοχή του ασβεστοκάμινου, παρατηρείται η διαφοροποίηση του ανώτερου στρώματος σε σχέση με το εσωτερικό του λίθου	12
2.13	Ανάπτυξη φυτών στα κενά των αρμών, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	13

2.14	Ανάπτυξη ριζικού συστήματος δέντρου στα κενά των αρμών,Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης.	13
2.15	Προχωρημένη ανάπτυξη κορμού και ριζικού συστήματος με αποτέλεσμα την αποδιοργάνωση και μετατόπιση των λίθων,Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης	13
3.1	Τα είδη των κονιών. (ΑΠΘ, Δομικά Υλικά Ι, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα)	16
3.2	Ο κύκλος του ασβέστη. Πηγή: https://connectingheritage.com/guidance/materials/material-lime	18
3.3	Παραγωγή τσιμέντου Portland. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)	18
3.4	Αντίδραση ενανθράκωσης του τσιμέντου. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)	19
3.5	Δομή αργιλικού ορυκτού. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)	20
3.6	Διόγκωση και συρρίκνωση του αργίλου. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)	20
5.1	Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη άμμου	26
5.2	Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού υλικού	27
5.3	Ακτινοδιάγραμμα δείγματος εδαφικού υλικού	28
5.4	Ακτινοδιάγραμμα δείγματος άμμου	28
5.5	Υλικά και εργαλεία παρασκευής κονιαμάτων	29
5.6	Εισαγωγή των συνθέσεων σε μεταλλικές μήτρες για πρισματικά και κυβικά δοκίμια	30
5.7	Τοποθέτηση των συνθέσεων σε θάλαμο ωρίμανσης	31
6.1	Δοκιμή θλίψης σε κυβικό δοκίμιο διαστάσεων 40x40x160mm.	33
6.2	Δοκιμή κάμψης τριών σημείων σε πρισματικό δοκίμιο διαστάσεων 40x40x160mm.	33
6.3	Μηχανικές αντοχές Σ1, 28-60 ημερών	34
6.4	Μηχανικές αντοχές Σ2, 28-60 ημερών	34
6.5	Μηχανικές αντοχές Σ3, 28-60 ημερών	34
6.6	Θλιπτική αντοχή Σ1, Σ2 και Σ3	34
6.7	Καμπτική αντοχή Σ1, Σ2 και Σ3	34
6.8	Δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.	37
6.9	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ1	37
6.10	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ2	38
6.11	Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ3	38
6.12	Δοκιμή ολικής εμβάπτισης.	40

Κατάλογος Πινάκων

5.1	Υλικά σύνθεσης κονιάματος	25
5.2	Πίνακας μετρήσεων κοκκοδιαβάθμισης άμμου	26
5.3	Χαρακτηριστικά μεγέθη κοκκομετρικής καμπύλης άμμου.	26
5.4	Πίνακας μετρήσεων κοκκοδιαβάθμισης εδαφικού υλικού	27
5.5	Χαρακτηριστικά μεγέθη κοκκομετρικής καμπύλης εδαφικού υλικού	27
5.6	Συνθέσεις κονιαμάτων στερέωσης	29
5.7	Παρασκευή συνθέσεων κονιαμάτων Σ1, Σ2 και Σ3 (σε σύνολο 2kg ξηρού μείγματος υλικών)	29
6.1	Πίνακας τιμών μετρήσεων μηχανικών αντοχών	35
6.2	Ποσοστιαία αλλαγή μηχανικών αντοχών στις 60 ημέρες	35
6.3	Συντελεστής Υδαταπορρόφησης C	38
6.4	Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ1	39
6.5	Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ2	39
6.6	Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ3	39

Εισαγωγή

Τα αρχιτεκτονικά μνημεία αντιπροσωπεύουν τα απτά κατάλοιπα της ιστορίας, του πολιτισμού και της ταυτότητας μιας κοινωνίας. Μαρτυρούν τα επιτεύγματα, τις αξίες και τον τρόπο ζωής των προηγούμενων γενεών. Η συντήρηση και αποκατάσταση αυτών των μνημείων επιδιώκει να διαφυλάξει την πολιτιστική κληρονομιά των εθνών. Τα κονιάματα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην αποκατάσταση τέτοιων μνημείων καθώς διασφαλίζουν την δομική ακεραιότητα και την αισθητική αυθεντικότητα.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εστιάζει στην μελέτη και τον σχεδιασμό κονιαμάτων αποκατάστασης για τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα της Αρχαίας Δρήρου. Αναπτύσσεται σε έξι ενότητες αρχίζοντας από το ιστορικό πλαίσιο όπου γίνεται αναφορά στην ιστορία της πόλης της Δρήρου και την περιγραφή των αρχιτεκτονικών καταλοίπων, στην συνέχεια περιγράφονται οι παράγοντες φθοράς του χώρου και τα φαινόμενα φθοράς που εμφανίζει το μνημείο. Έπειτα γίνεται μία βασική αναφορά στην τεχνολογία των κονιαμάτων και των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους. Συνεχίζοντας παρουσιάζεται η μεθοδολογία και τα κριτήρια βάση των οποίων γίνεται ο σχεδιασμός των κονιαμάτων αποκατάστασης. Η εργασία ολοκληρώνεται με την παρασκευή τριών συνθέσεων και τον εργαστηριακό τους έλεγχο.

Κεφάλαιο 1

Αρχαία Δρήρος

1.1 Ιστορικά Στοιχεία

Η Αρχαία Δρήρος είναι αρχαία πόλη που βρίσκεται στο νησί της Κρήτης, κοντά στο σύγχρονο χωριό Νεάπολη, βόρεια από τον κόλπο του Μιραμπέλλου. Ήταν μια από τις εξέχουσες πόλεις-κράτη της αρχαίας Κρήτης και προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για τις πρώιμες φάσεις του ελληνικού πολιτισμού.

Είναι κτισμένη πάνω σε δύο λόφους μιας μικρής οροσειράς, έχει δύο ακροπόλεις με οχυρωματικούς περιβόλους. Ο οικισμός επεκτείνονταν γύρω από την περιοχή των λόφων και πιθανών προστατεύονταν περιμετρικά από τοίχος. Κατείχε στρατηγική θέση καθώς συνδέει την κεντρική με την ανατολική Κρήτη και έλεγχε το πέρασμα. Οι γύρω πεδιάδες είναι ιδιαίτερα εύφορες ευνοώντας έτσι την ανάπτυξη της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Η πόλη είχε φυσικά οχυρωματική θέση με εύκολη πρόσβαση στην θάλασσα.



Εικ. 1.1: Οι λόφοι πάνω στους οποίους είναι κτισμένη η αρχαία Δρήρος, φωτογραφία Google Earth

Οι πρώτες αρχαιολογικές ενδείξεις για την ζωή της Δρήρου ξεκινούν από την Υπομινωική εποχή δηλαδή στο τέλος της ύστερης εποχής του χαλκού. Η ανακάλυψη της έγινε τυχαία το 1854, όταν δύο αγρότες βρήκαν μία μεγάλη επιγραφή που περιείχε το όνομα της πόλης, την τοποθεσία της και το κείμενο όρκου πίστης των νέων της Δρήρου. Αργότερα διεξάχθηκαν ανασκαφές, αρχικά το 1917 από τον Σ. Ξανθουδίδη το 1932 από την Γαλλική Σχολή με επικεφαλής τον P. Demerge και το 1935-6 από τον Σ. Μαρινάτο (Lemerle 1936).



Εικ. 1.2: Φωτογραφία κατά την ανασκεφή της δεξαμενής. Πίσω διακρίνεται ο ναός του Απόλλωνα, Florence Gaignerot-Driessen, The 'killing' of a city: a destruction by enforced abandonment, 1936

Αρχικά εντοπίστηκε στην δυτική ακρόπολη ένα κτήριο που προσδιορίζεται ως ναός μαζί με πολλά αφιερώματα από χαλκό, η χρήση του όμως δεν έχει καθοριστεί ακόμα. Ανάμεσα από τις δύο ακρόπολεις στο διάσελο βρίσκεται η αγορά της πόλης, πολύ κοντά βρέθηκε ο αρχαϊκός ναός του Απόλλωνα Δελφινίου και μία μεγάλη ελληνιστική δεξαμενή με πλήθος επιγραφών.

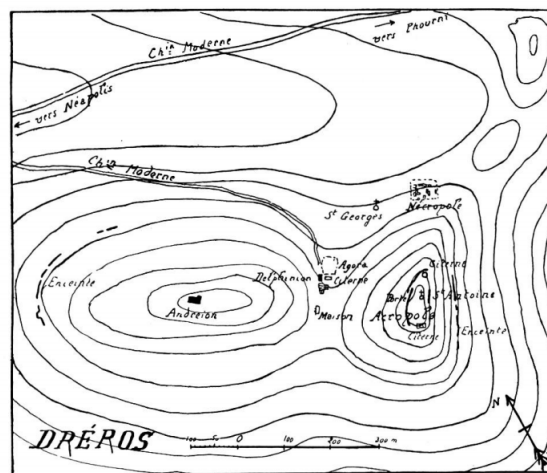


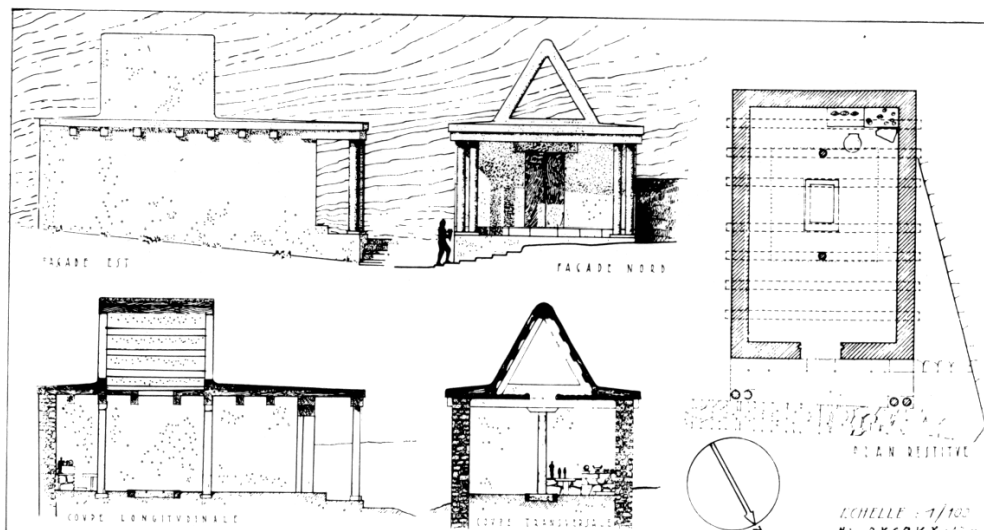
Fig. 2. — Croquis de situation.

Εικ. 1.3: Σχεδιαστική αποτύπωση της περιοχής, Van Effenterre Henri, Demargne Pierre. Recherches à Dréros, 1937

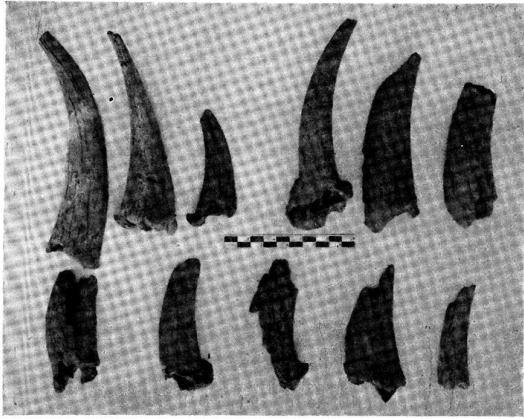
Στον ανατολικό λόφο υπήρχε η ακρόπολη της Δρήρου, περιμετρικά έχουν βρεθεί λείψανα κτηρίων. Η νεκρόπολη βρέθηκε στις βόρειες υπώρειες του ανατολικού λόφου. Οι δύο λόφοι φέρουν το λατρευτικό και διοικητικό κέντρο της πόλης. Η μεγάλη ακμή της διήρκεσε από την γεωμετρική έως την ελληνιστική εποχή, κάτι που είναι εμφανές από τα μνημεία που βρέθηκαν αλλά και από το πλήθος επιγραφών που μαρτυρούν ένα οργανωμένο πολιτειακό σύστημα ήδη από την γεωμετρική περίοδο.

Η πόλη καταστράφηκε από την πόλη Λύττο, καθώς στον εμφύλιο πόλεμο που συνέβη η Δρήρος πήρε το μέρος της Κνωσού. Η συμμαχία μαρτυρείται και στον όρκο των εφήβων της Δρήρου όπου 180 έφηβοι ορκίστηκαν να πολεμήσουν μαζί με την Κνωσό ενάντια στην Λύττο.

Από τα πιο σημαντικά ευρήματα της Δρήρου είναι ο ναός του Απόλλωνα Δελφινίου. Ο ναός αποκαλύφθηκε το 1935 από τον Σ.Μαρινάτο. Αφτηρία ήταν η τυχαία ανακάλυψη τριών χάλκινων αγαλματιδίων από έναν αγρότη. Το κτήριο έχει διαστάσεις 10,90 x 7,20μ. Είναι κατασκευασμένο από τον τοπικό λίθο, η δόμηση των τοίχων έγινε από επεξεργασμένα κομμάτια λίθων που συνδέονταν μεταξύ τους μόνο με πηλό. Την εποχή της ανασκαφής οι τοίχοι διατηρούνταν ακόμα σε σημαντικό ύψος. Οι ακριβείς διαστάσεις του ναού είναι δύσκολο να προσδιοριστούν καθώς λόγω του τρόπου κατασκευής του, κατά τους αιώνες οι τοίχοι έχουν υποστεί μικρές μετατοπίσεις και για αυτό παρουσιάζονται διακυμάνσεις στις μετρήσεις (Marinatos 1936). Η πρόσβαση στον ναό γίνονταν από την βόρεια πλευρά της αγοράς μέσω σκαλοπατιών. Καθώς ο ναός δεν βρέθηκε άρτια διατηρημένος υπάρχουν διάφορες θεωρίες ως προς την πραγματική μορφή του. Σύμφωνα με τον Σ. Μαρινάτο έφερε στεγασμένο προστώο που στηρίζονταν από δύο ζεύγη κίωνων. Εσωτερικά υπάρχει μόνο ένα κεντρικός χώρος όπου ήταν τοποθετημένη η εσχάρα που ορίζονταν από τέσσερις πλάκες και βόρεια και νότια πλαισιώνονταν από δύο κίονες. Ο τύπος της στέγης είναι αβέβαιος. Στο εσωτερικό του βρέθηκε ένα κτιστό βάθρο με αγγεία και ειδώλια που χρονολογούνται στον 7αι. π.Χ. μαζί με ένα χάλκινο αναθηματικό γοργόνειο. Μέσα στον βωμό του ναού βρέθηκε ένα μεγάλος αριθμός κεράτων αιγών και οστών.



Εικ. 1.4: Σχεδιαστική αποτύπωση του ναού, Roux Georges. Le vrai temple d'Apollon à Délos, 1979

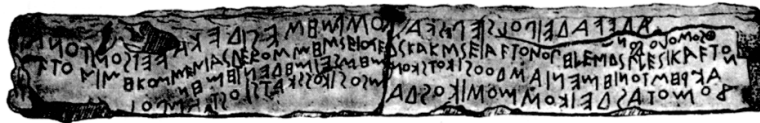


Εικ. 1.5: Κέρατα αιγών που βρέθηκαν μέσα στον ναό, Marinatos Spyridon. Le temple géométrique de Dréros 1936



Εικ. 1.6: Το γοργόνειο της Δρήρου, Marinatos Spyridon. Le temple géométrique de Dréros 1936

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει και ο νόμος της Δρήρου που βρέθηκε στον ναό του Απόλλωνα. Είναι μέρος των οκτώ επιγραφών που βρέθηκαν στον ναό. Αποτελεί την παλαιότερη ελληνική νομοθετική επιγραφή που έχει βρεθεί έως σήμερα και το πρώτο κείμενο στο οποίο αναφέρεται ο όρος *πόλις* (De Rossi 2017).



Εικ. 1.7: Ο νόμος της Δρήρου, Van Effenterre Henri, Ruzé Françoise. Nomima. Recueil d'inscriptions politiques et juridiques de l'archaïsme grec 1994

Ο όρος *πόλις* εκφράζει την έννοια μίας κοινότητας με την δύναμη λήψης αποφάσεων, συλλογική βούληση και ισχυρή ταυτότητα που έρχεται σε αντίθεση με την ατομική δύναμη. Η επιγραφή αναφέρει πρώτα την νομική διάταξη και στην συνέχεια την ποινή σε περίπτωση παράβασης. Είναι από τις αρχαιότερες μορφές οργάνωσης στον ελληνικό χώρο και έχει αποτελέσει τις βάσεις για μερικές από τις πιο εξελιγμένες νομοθετικές διατάξεις του 5ου αι.

Ο νόμος αναφέρεται στο αξίωμα του Κόσμου και θέτει ένα χρονικό περιορισμό για το δικαίωμα άσκησης του, συγκεκριμένα απαγορεύει την άσκηση του πάνω από δύο φορές σε λιγότερο από δέκα χρόνια. Η ανάγκη για τον νόμο αυτό πιθανώς να προέκυψε από μία παλαιότερη απόπειρα τυραννίας, κατάχρηση εξουσίας ή την νομική ασάφεια σχετικά με την άσκηση πολιτικών αξιωμάτων που ενδεχομένως να προυπήρχε. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι παρά την δημιουργία του νόμου τα προβλήματα κατάχρησης εξουσίας ήταν έντονα και αργότερα δημιουργήθηκε ένα σύστημα εναλλαγής ηγετών με σκοπό να αποτρέψει το μονοπώλιο από συγκεκριμένες οικογένειες ή ομάδες. Από αυτό είναι φανερό ότι ο Κόσμος ήταν ένα πολύ σημαντικό αξίωμα για τις κρητικές κοινωνίες. Επίσης η τοποθέτηση των θεσμικών επιγραφών στον τοίχο του ναού δείχνει μία τοποθεσία που ήταν εύκολα προσβάσιμη από τους πολίτες, στο κέντρο της δημόσιας ζωής της πόλης και την άσκηση της θείας εξουσίας σε περίπτωση ανάγκης επιβολής του νόμου.

Η καταστροφή της Δρήρου επήλθε στο τέλος του 3ου αι. π.Χ όταν δέχτηκε επίθεση από τον στρατό της Λύττου(Gaignerot-Driessen χ.η.). Ο λόγος ήταν μία εμφύλια διαμάχη που είχε ξεσπάσει ανάμεσα από τις πόλεις κράτη της Κρήτης. Η αρχή έγινε όταν το 220 π.Χ. η Κνωσσός που κυριαρχούσε στην περιοχή εκείνη την εποχή, επιτέθηκε στην Λύττο καθώς ήταν η μόνη δυνατή της αντίπαλος. Η Κνωσσός επιτέθηκε στην πόλη όταν οι άντρες έλλειπαν σε στρατιωτική εκστρατεία και έπειτα πήραν της γυναίκες και τα παιδιά αιχμάλωτους πίσω στην Κνωσσό. Η επιχείρηση καταστροφής δεν πέτυχε και έτσι αργότερα η Λύττος επιτέθηκε στην Δρήρο καθώς ήταν σύμμαχος της Κνωσσού.

Από εκείνη την εποχή έχει βρεθεί ο όρκος των εφήβων της Δρήρου, ο οποίος αναγράφει ότι οι νέοι ορκίστηκαν να μισούν και να εξοντώσουν την Λύττο και να είναι πάντα πιστοί στους συμμάχους τους από την Κνωσσό.

Επομένως είναι εμφανές ότι η Λύττος είχε κάθε λόγο να εξοντώσει την Δρήρο. Η επίθεση της ήταν ιδιαίτερα βάρβαρη και οργανωμένη. Οι Λύττοι ήξεραν από προσωπική εμπειρία πως να καταστρέψουν την πόλη και έτσι την εξαφάνισαν ολοκληρωτικά.

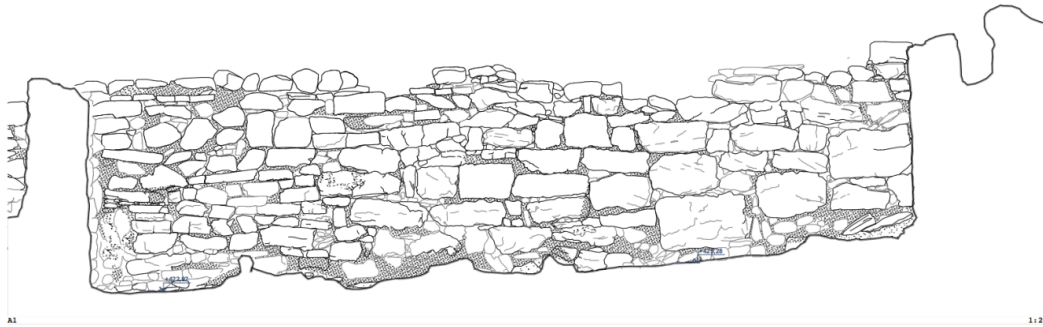
1.2 Περιγραφή των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων

Το κύριο είδος τοιχοποιίας που συναντάται στην αρχαία Δρήρο είναι η αργολιθοδομή με ακανόνιστους λίθους διαφορετικών διαστάσεων. Ήταν ο κύριος τρόπος δόμησης μέχρι και την Ύστερη Εποχή του Χαλκού όπου άρχισαν να χρησιμοποιούνται σταδιακά και ημιλαξευτοί λίθοι(Shaw 2009). Η αλλαγή οφείλεται στην χρήση του μπρούτζου αντί του χαλκού για την επεξεργασία των πετρωμάτων. Η χρήση ενός σκληρότερου μετάλλου για την κατεργασία των υλικών είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή λιθοδομών με πιο φροντισμένη εμφάνιση. Η σύνδεση των λίθων γίνονταν με την χρήση πηλοκονιάματος, υλικό που είχε χρησιμοποιηθεί και σε άλλα μνημεία εκείνη την περίοδο (Μόχλος, Αζοριά, Κομμός).

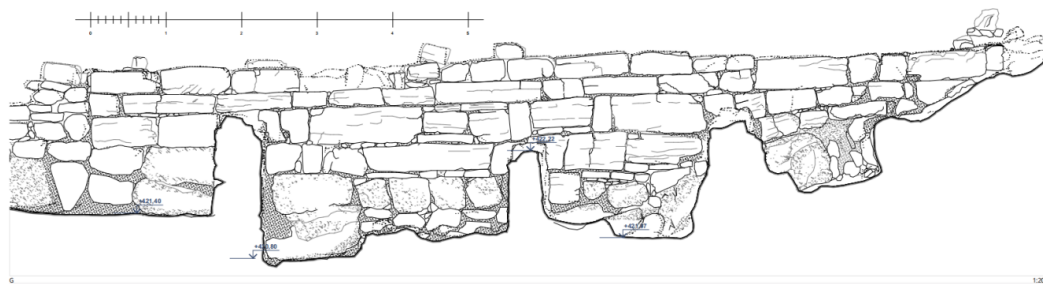
Στο χώρο παρατηρούνται δύο τύποι δόμησης, μία με αργούς λίθους και μία με ημιλαξευτούς. Οι λιθοδομές με ημιλαξευτούς λίθους παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάξη στην δόμηση τους σε σχέση με τις αργολιθοδομές. Και στις δύο περιπτώσεις η δόμηση είναι πυκνή καθώς έχουν χρησιμοποιηθεί λίθοι πολλών μεγεθών ώστε να πληρώσουν τα κενά της τοιχοποιίας. Στο κάτω μέρος έχουν χρησιμοποιηθεί λίθοι μεγάλου μεγέθους για την ενίσχυση της βάσης του κτηρίου. Για περαιτέρω ενίσχυση χρησιμοποιούνταν και ξυλεία που είτε τοποθετούνταν οριζόντια κατά μήκος του τοίχου, είτε εγκάρσια. Η επιφάνεια καλύπτονταν εσωτερικά και εξωτερικά από ένα στρώμα πηλοκονιάματος που ενίοτε ακολουθούνταν από μία στρώση ασβεστοκονιάματος. η συγκεκριμένη μέθοδος ενίσχυε την αντοχή του τοίχου στην υγρασία.

Τα ύψη διατήρησης των καταλοίπων διαφέρουν ανάλογα με την θέση. Σε γενικές γραμμές τα κατάλοιπα σώζονται σε αρκετά μεγάλο ύψος που σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνά το 1 μέτρο.

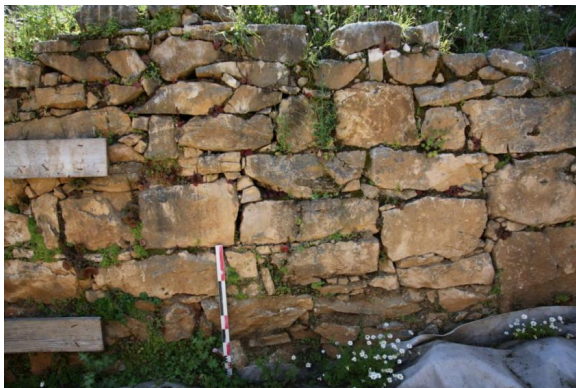
Η δόμηση έχει γίνει αποκλειστικά με σιδερόπετρα η οποία είναι ο τοπικός γκρίζος κρυσταλλικός ασβεστόλιθος που εξάγονταν κατά την αρχαιότητα από τα γύρω λατομεία. Ονομάζεται και μελανός ασβεστόλιθος ή τιτανόλιθος, πρόκειται για ένα πολύ σκληρό πέτρωμα με φυσικές ευθύγραμμες ρωγμές που εγκλείουν χαλαζία.



Εικ. 1.8: A-5, Τομέας 5, λεπτομέρεια τομή A&B. Σχεδιαστική αποτύπωση αργολιθοδομής, Σχεδιαστική απόδοση: Γεώργιος Ζαχαράκης



Εικ. 1.9: A-7, Τομέας 5, λεπτομέρεια E, F, G. Σχεδιαστική αποτύπωση λιθοδομής με ημιλαξευτούς λίθους, Σχεδιαστική απόδοση: Γεώργιος Ζαχαράκης



Εικ. 1.10: Αργολιθοδομή, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης



Εικ. 1.11: Λιθοδομή με ημιλαξευτούς λίθους, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης

Κεφάλαιο 2

Παθολογία των Αρχιτεκτονικών Καταλοίπων

Προκειμένου να γίνουν κατανοητοί οι λόγοι για τους οποίους τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα χρήζουν συντήρησης μελετήθηκαν οι μικροκλιματικές παράμετροι φθοράς και στην συνέχεια οι κύριοι τύποι φθοράς. Στόχος ήταν να διερευνηθεί η σχέση του περιβάλλοντος και των υλικών.

2.1 Οι Μικροκλιματικές Παράμετροι της Φθοράς των Υλικών

- i.) Γειτνίαση με την θάλασσα: Η θάλασσα η οποία βρίσκεται σε κοντινή απόσταση τροφοδοτεί το μνημείο με άλατα. Μέσω των ανέμων και της βροχής με την μορφή σταγονιδίων τα άλατα μεταφέρονται στην επιφάνεια των υλικών και στο έδαφος. Λόγω του φαινομένου της τριχοειδούς αναρρίχησης τα άλατα περνάνε από το έδαφος μέσα στα υλικά όπου κρυσταλλώνονται μέσα στο πορώδες. Κατά την ανάπτυξη των κρυστάλλων ασκούνται πιέσεις στο εσωτερικό των πόρων που οδηγούν σε μείωση των αντοχών του υλικού και αποσάθρωσή του.
- ii.) Υψηλές τιμές θερμοκρασίας: Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην περιοχή και όχι μόνο κατά του θερινούς μήνες προκαλούν θερμοκρασιακές μεταβολές και θερμικές συστολοδιαστολές. Η επίδραση των θερμοκρασιακών μεταβολών είναι εμφανής στα σημεία των γεωλογικών ασυνεχειών καθώς ασκούνται διατμητικές τάσεις που προκαλούν αποκόλλησεις Αυτή η θερμική διαστολή και συστολή μπορεί να προκαλέσει στρες στο εσωτερικό του υλικού ειδικά εάν η θερμοκρασία αλλάζει γρήγορα. Με την πάροδο του χρόνου, αυτό το στρες μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη ρωγμών και καταγμάτων. Επίσης οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν εξάτμιση της υγρασίας από τα υλικά και δημιουργία κορεσμένων διαλυμάτων αλάτων.
- iii.) Υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας: Οι υψηλές τιμές σχετικής υγρασία ευνοούν την μεταφορά του νερού μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης. Ο διακυμάνσεις και οι κύκλοι ύγρανσης ξήρανσης διευκολύνουν την μεταφορά και κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων. Επίσης υποβαθμίζει και τα πηλοκονιάματα που παρουσιάζουν μεγάλη ευπάθεια στην υγρασία. Δημιουργούνται και ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη φυκών, βρύων, λειχήνων και άλλων μικροοργανισμών στην επιφάνεια των λίθων. Αυτοί οι βιολογικοί μικροοργανισμοί εκκρίνουν οξέα και αναπτύσσουν ριζίδια που διεισδύουν στο πορώδες των υλικών, προκαλώντας φυσική και χημική προσβολή.

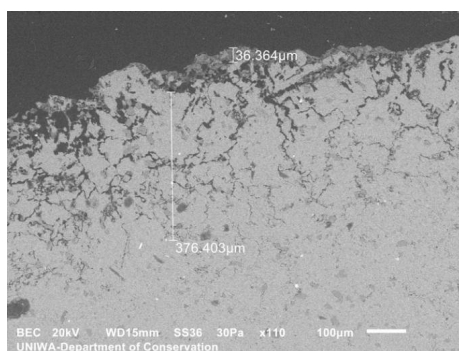
2.2 Κύριοι Τύποι Φθοράς

Εξετάζοντας την παθολογία του μνημείου γίνεται κατανοητό ότι υπάρχουν σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διατήρηση των σωζόμενων καταλοίπων, μεταξύ των οποίων τα στάσιμα νερά, ο άνεμος και η ανάπτυξη φυτών. Επίσης σημαντικός παράγοντας φθοράς είναι και η καταστροφή και εγκατάλειψη της πόλης κατά την αρχαιότητα.

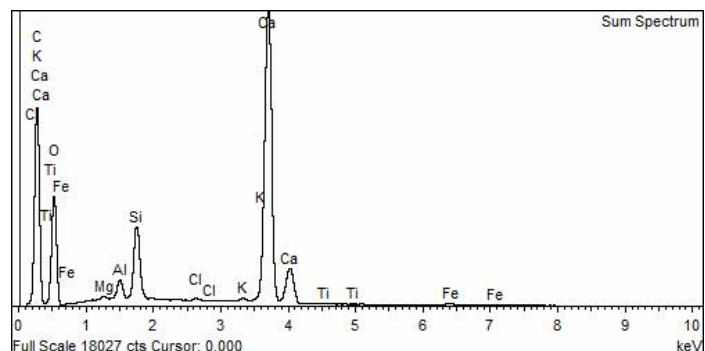
- i.) Επιφανειακές κρούστες: Στο μεγαλύτερο μέρος την επιφάνειας των λίθων παρατηρείται μία καφέ συμπαγής κρούστα. Το χρώμα της πιθανώς να προκύπτει στο εδαφικό υλικό με το οποίο ήταν σε επαφή λόγω της ταφής. Έχει πάχος από 8.5 έως 36μm και είναι αργιλοπυριτικής σύστασης με υψηλή περιεκτικότητα σε K, Fe και Si. . Ο σχηματισμός της οφείλεται στην επαφή των αργιλοπυριτικών ενώσεων του χώματος με την υγρασία του περιβάλλοντος που σε συνδυασμό με το υπάρχων ασβέστιο σχηματίζουν αδιάλυτες κρούστες. Οπτικά δεν φαίνεται να είναι επιβλαβής για το υλικό αλλά από την εξέταση δείγματος με SEM παρατηρήθηκε ότι το ανώτερο στρώμα της επιφάνειας παρουσιάζει δίκτυο μικρορωγμών. Επομένως η παρουσία τους προκαλεί χημική φθορά στο υλικό.



Εικ. 2.1: Τμήμα λίθου με καφέ κρούστα



Εικ. 2.2: Μικροφωτογραφία του ανώτερου στρώματος της επιφάνειας όπου είναι εμφανές το δίκτυο ρωγμών



Εικ. 2.3: Φάσμα EDS από την περιοχή της κρούστας

- ii.) Βιολογικές πατίνες: Η ανάπτυξη των μικροοργανισμών παρατηρείται κυρίως στον πάνω μέρος των λιθοδομών. Αναπτύσσονται συνήθως στην διεπιφάνεια αέρα-λίθου και δημιουργούν μεγάλες αποικίες. Μπορούν και διεισδύουν μέσα στο πορώδες και το αποικούν, ο σχηματισμός τους επηρεάζεται από περιβαλλοντικές συνθήκες όπως το φως, η θερμοκρασία, η υγρασία και η παρουσία θρεπτικών ουσιών. Είναι επικίνδυνες για την ακεραιότητα του λίθου καθώς παράγουν όξινες ενώσεις που φθείρουν χημικά την επιφάνεια και προκαλούν φαινόμενα όπως ο βελονισμός.



Εικ. 2.4: Λεπτομέρεια λίθου με βιολογική ανάπτυξη στην επιφάνεια του, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης.

iii.) Απώλεια συνδετικού υλικού

Το συνδετικό υλικό της λιθοδομής αποτελείται από κατεργασμένο εδαφικό υλικό. Κατά την δόμηση δεν είχε τοποθετηθεί σε ανάμειξη με κάποιο άλλο υλικό με υδραυλικές ιδιότητες, έτσι με την δράση των όμβριων υδάτων προκαλείται έκπλυση και σταδιακή απομάκρυνση του υλικού. Με την πάροδο του χρόνου οδηγεί σε χαλάρωση της τοιχοποιίας και αποδιοργάνωση με τελικό αποτέλεσμα την σταδιακή κατάρρευση. Το φαινόμενο παρατηρείται σε μεγάλη έκταση στον χώρο, κάτι που απειλεί την ακεραιότητα του μνημείου.

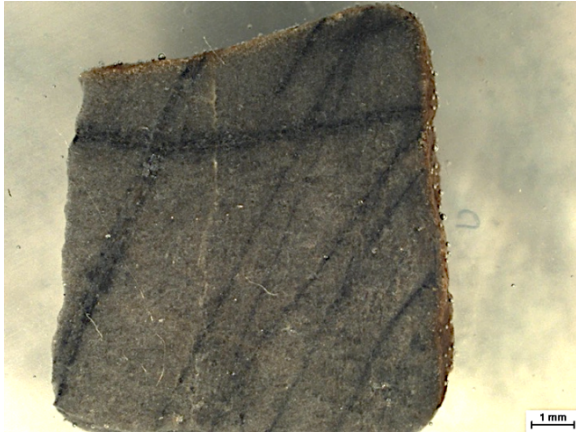


Εικ. 2.5: Απώλεια συνδετικού υλικού από την λιθοδομή και ανάπτυξη φυτών στα κενά των αρμών, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης



Εικ. 2.6: Αποδιοργάνωση λιθοδομής, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης

iv.) Ρωγμές σε εγγενείς ασυνέχειες των λίθων: Σε πολλούς λίθους παρατηρούνται ρηγματώσεις λόγω των ασυνεχειών της δομής του. Αυτό είναι ένα φυσικό φαινόμενο που παρουσιάζεται σε λίθους με ανομοιομορφίες καθώς στα σημεία της ασυνέχειας η δομή του λίθου διαφοροποιείται και αποτελεί σημείο αδυναμίας. Θέτουν σε κίνδυνο την δομική ακεραιότητα του υλικού καθώς κατά την δράση των παραγόντων φθοράς όπως η υγρασία και η μηχανική καταπόνηση τα σημεία αυτά διαβρώνονται πρώτα και εμφανίζονται φαινόμενα όπως η ολική ή τμηματική θραύση του υλικού. Στον χώρο παρατηρούνται φαινόμενα θραύσης στα σημεία όπου έχει αποδυναμωθεί η λιθοδομή λόγω της έκπλυσης του κονιάματος, σε συνδυασμό με τα μεγάλα μηχανικά φορτία που υπάρχουν προκαλείται θραύση του υλικού και περαιτέρω αποδυνάμωση της τοιχοποιίας.



Εικ. 2.7: Φωτογραφία από ΟΜ όπου φαίνονται οι φλεβώσεις του υλικού

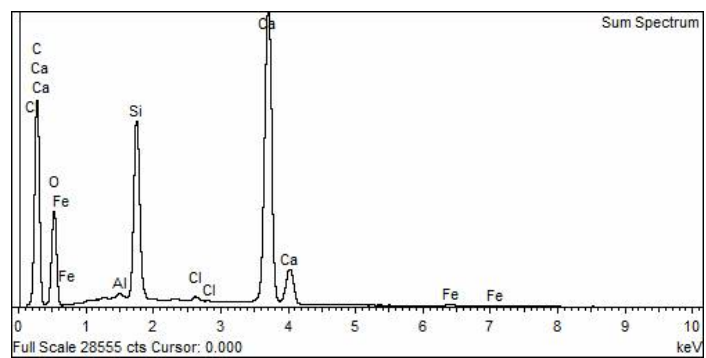
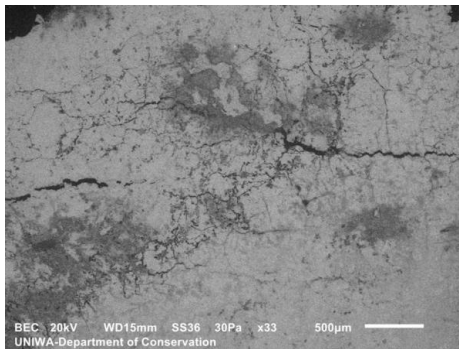


Εικ. 2.8: Ρηγματώσεις στην επιφάνεια λίθου, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης

v.) Θερμική φθορά: Το φαινόμενο της θερμικής φθοράς εντοπίζεται στις λιθοδομές γύρω από το κτήριο του τομέα 5 με το ασβεστοκάμινο. Παρατηρείται δίκτυο ρωγμών λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονταν κατά την χρήση του. Αυτό συμβαίνει διότι οι λίθοι διαστέλλονται όταν θερμαίνονται, και οδηγούνται σε απώλεια συνοχής της δομής του υλικού και μείωση της αντοχής του. Επίσης στους ασβεστιτικούς λίθους το περιεχόμενο ανθρακικό ασβέστιο λόγω των υψηλών θερμοκρασιών μετατρέπεται σε οξείδιο του ασβεστίου, αλλοιώνοντας την όψη του υλικού. Γενικότερα το υλικό αποδυναμώνεται και μειώνεται η αντοχή του σε κάμψη και θλίψη.



Εικ. 2.9: Σύγκριση της όψης ενός θερμικά διαβρωμένου λίθου (αριστερά) με ένα υγιή που φέρει μόνο την τυπική πατίνα του χώρου (δεξιά), Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης



Εικ. 2.10: Μικροφωτογραφία SEM δείγματος από λίθο που βρίσκονταν σε γειτνίαση με το ασβεστοκάμινο, η ύπαρξη δικτύου ρωγμών στην επιφάνεια του είναι εμφανής

Εικ. 2.11: Φάσμα EDS από την περιοχή της θερμικής φθοράς



Εικ. 2.12: Φωτογραφία σε ΟΜ δείγματος από την περιοχή του ασβεστοκάμινου, παρατηρείται η διαφοροποίηση του ανώτερου στρώματος σε σχέση με το εσωτερικό του λίθου

vi.) Ανάπτυξη ριζικών συστημάτων: Η ανάπτυξη φυτών παρατηρείται εκτεταμένα στον χώρο, τα φυτά αναπτύσσονται τόσο στις βάσεις των λιθοδομών όσο και μέσα σε αυτές. Τα κενά που έχουν δημιουργηθεί ανάμεσα από τους λίθους λόγω της έκπλυσης του κονιάματος σε συνδυασμό με την παρουσία υγρασίας και εδαφικού υλικού δημιουργούν το τέλειο μικροπεριβάλλον για την ανάπτυξη βλάστησης. Τα ριζικά συστήματα που αναπτύσσονται αποδιοργανώνουν την τοιχοποιία και προκαλούν μετατόπιση των λίθων. Στην οικία με το ασβεστοκάλμινο του τομέα 5 παρατηρείται η ανάπτυξη των ριζών ενός δέντρου μέσα στους αρμούς των λιθοδομών. Η ύπαρξη τόσο μεγάλων ριζών ασκεί έντονες μηχανικές πιέσεις στην δομή και προκαλεί μεγαλύτερη αποδιοργάνωση.



Εικ. 2.13: Ανάπτυξη φυτών στα κενά των αρμών, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης



Εικ. 2.14: Ανάπτυξη ριζικού συστήματος δέντρου στα κενά των αρμών, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης.



Εικ. 2.15: Προχωρημένη ανάπτυξη κορμού και ριζικού συστήματος με αποτέλεσμα την αποδιοργάνωση και μετατόπιση των λίθων, Φωτογραφία: Θ. Κατρακάζης

2.3 Στόχοι επέμβασης

Λόγω της καταστροφής της πόλης της Δρήρου κατά την αρχαιότητα και της επακόλουθης εγκατάλειψής της τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα παρουσιάζουν μία σειρά δομικών προβλημάτων. Την κατάσταση αυτή επιδεινώνει και η έκθεση τους στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που υποβαθμίζουν την κατάσταση διατήρησης των λίθων και κατ' επέκταση ολόκληρων των λιθοδομών. Λόγω της έκπλυσης του συνδετικού υλικού οι λιθοδομές έχουν χαλαρώσει, πολλές παρουσιάζουν επίφοβη κλίση και ρηγματώσεις φαινόμενα που μελλοντικά θα οδηγήσουν στην κατάρρευση τους. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων όπως σεισμοί ή καταιγίδες η κατάσταση του μνημείου θα επιδεινωθεί.

Επομένως είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση και συντήρηση των αρχαίων τοίχων με τρόπο που να έχει το μικρότερο αντίκτυπο στις φυσικές δομές και θα επιτρέπει στους επισκέπτες την κατανόηση της αρχαίας αρχιτεκτονικής αλλά και των οικοδομικών πρακτικών, μεθόδων κατασκευής και οικοδομικών φάσεων. Είναι σημαντικό οι επεμβάσεις εκτός από το απαραίτητο αισθητικό αποτέλεσμα να δείξουν και την κατάλληλη αντοχή στον χρόνο και στους διαβρωτικούς παράγοντες.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή κονιαμάτων στερέωσης με την μέγιστη δυνατή συμβατότητα με τα υπάρχοντα υλικά. Σε τοιχοδομές όπως αυτές της Δρήρου έχει διαπιστωθεί ότι τα ενισχυμένα αργιλοκονιάματα παρουσιάζουν μεγάλη συμβατότητα. Είναι τύπος κονιάματος με βάση το εδαφικό υλικό του χώρου σταθεροποιημένο με ενισχυμένες μηχανικές ιδιότητες, έχει εφαρμοστεί ήδη και σε άλλες αρχαίες πόλεις (Κομμός, Αζοριά, Μόχλος) παρουσιάζοντας πολύ καλά αποτελέσματα. Η υψηλή συμβατότητα του οφείλεται στο ότι ενσωματώνει στην σύνθεση του ένα μεγάλο ποσοστό (30 – 35%) εδαφικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε ως συνδετικό υλικό και κατά της αρχαιότητα. Λόγω της ομοιότητας της σύνθεσης του παρουσιάζει καλή πρόσφυση πάνω στα υπάρχοντα κονιάματα και έχει άρτιο αισθητικό αποτέλεσμα. Η προσθήκη υδραυλικών κονιών βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες και την αντίσταση στην υγρασία. Έτσι διασφαλίζεται η αποτελεσματικότητα του σε βάθος χρόνου. Στόχος είναι το κονίαμα στερέωσης που θα εφαρμοστεί να ενισχύσει τις λιθοδομές και να δώσει την απαραίτητη σταθερότητα. Με την εφαρμογή του θα αποτραπούν τα φαινόμενα φθοράς που αναλύθηκαν παραπάνω, όπως η αποδιοργάνωση των λιθοδομών, η κατάρρευση και η ανάπτυξη ριζικών συστημάτων

Κεφάλαιο 3

Τεχνολογία των Κονιαμάτων

3.1 Κονίαμα

Το **κονίαμα** είναι το κύριο συνδετικό υλικό των δομικών στοιχείων. Έχει την μορφή πολτού και είναι το προϊόν της ανάμιξης μίας συνδετικής κονιάς, αδρανών, προσθέτων και νερού. Όταν αναμιγνύεται με το νερό μετατρέπεται σε πάστα με πλαστικές και συγκολλητικές ιδιότητες. Το κονίαμα έχει την δυνατότητα να προσφύεται σε αδρανή υλικά και να αναπτύσσει μηχανικές αντοχές. Διακρίνονται διάφοροι τύποι κονιαμάτων, ανάλογα με τον ρόλο που προορίζονται να έχουν:

- Κονιάματα δόμησης
- Επιχρίσματα
- Κονιάματα οροφών και επικάλυψης στεγών
- Υποστρώματα δαπέδων, τοιχογραφιών, ψηφιδωτών
- Κονιάματα αρχιτεκτονικών μελών

Η χρήση τους προσδιόριζε και την σύστασή τους και κατ' επέκταση τις ιδιότητές τους (φυσικές, χημικές, μηχανικές) (Pachta και Papayianni 2013).

Συστατικά κονιαμάτων		
1	Κονία	Άργιλοι
		Γύψος
		Ασβέστης
		Τσιμέντο
2	Αδρανή	Ασβεστολιθική άμμος
		Χαλαζιακή άμμος
		Τριμμένο κεραμίδι
3	Ποζολανικά πρόσθετα	Φυσικές ή τεχνητές ποζολάνες
4	Νερό	

Ανάλογα με τον τύπο της κονιάς τα κονιάματα χωρίζονται σε υδραυλικά και αερικά, δηλαδή σε αυτά που σκληραίνουν με την επίδραση του νερού και του αέρα αντίστοιχα.

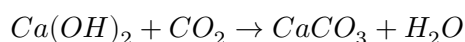


Εικ. 3.1: Τα είδη των κονιών. (ΑΠΘ, Δομικά Υλικά Ι, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα)

Πιο συγκεκριμένα οι **αερικές κονίες** σταθεροποιούνται και πήζουν μόνο όταν βρίσκονται σε επαφή με τον αέρα της ατμόσφαιρας. Ενώ εάν υπάρχουν μεγάλα ποσοστά υγρασίας στο περιβάλλον η σταθεροποίηση του κονιάματος είναι πολύ αργή.

Μία από τις πιο συνηθισμένες αερικές κονίες της αρχαιότητας είναι ο ασβέστης. Μετά την ανάμιξη του για την δημιουργία κονιάματος, το νερό σταδιακά εξατμίζεται, επιτρέποντας έτσι στον αέρα να εισέλθει μέσα στην δομή του υλικού. Κατά την διαδικασία αυτή το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά με το υδροξείδιο του ασβεστίου και παράγεται ανθρακικό ασβέστιο. Με την ολοκλήρωση της αντίδρασης το υλικό σκληραίνει και αποκτά τις μηχανικές του αντοχές.

Η αντίδραση του ασβέστη με τον αέρα είναι

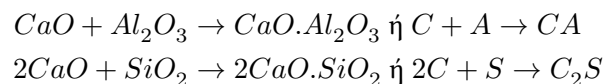


Αντίθετα οι υδραυλικές κονίες δεν παρουσιάζουν ευαισθησία στην υγρασία, αλλά σκληραίνουν με την επίδραση της. Μπορούν να είναι φυσικές όπως οι ποζολάνες ή τεχνητές όπως το τσιμέντο. Έχουν την δυνατότητα να σκληρυνθούν και μέσα στο νερό και έπειτα να διατηρηθούν μέσα σε αυτό. Αυτή τους η ιδιότητα οφείλεται σε ορισμένους υδραυλικούς παράγοντες οι οποίοι κατά την επαφή τους με το νερό σχηματίζουν οξείδια αργιλίου, πυριτίου και σιδήρου (Παπαγιάννη, Οικονόμου και Στεφανίδου 2014).

3.2 Τεχνολογία της Υδραυλικής Ασβέστου

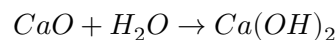
Η φυσική υδραυλική ασβεστος (Natural Hydraulic Lime) είναι προϊόν που προκύπτει από την κατεργασία ασβεστιτικών πετρωμάτων με περιεκτικότητα 10 – 15% σε άργιλο. Οι υδραυλικές ιδιότητες της προσδίδονται στο υλικό από την ένωση του ασβεστίου με το πυρίτιο, το αργίλιο και τον σίδηρο (Torraca 2009). Ανάλογα με την ελάχιστη αντοχή σε θλίψη που δίνουν σε ένα πρότυπο κονίαμα μετά από 28 ημέρες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: 2MPa, 3.5MPa, 7MPa.

Η **όπτηση** της γίνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (1000-1200°C), με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το χημικά ενωμένο νερό και επιτυγχάνεται η αντίδραση μεταξύ ασβεστίου και πυριτίου που σχηματίζουν διπυριτικό ασβέστιο. Οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα κατά την όπτηση των πετρωμάτων:



Ανάλογα με το ποσοστό οξειδίου του αργιλίου και του πυριτίου που υπάρχουν φυσικά στο πέτρωμα υπάρχει και η ανάλογη παραγωγή CA και C_2S . Το ποσοστό τους μέσα στην τελική κονία καθορίζει την υδραυλικότητα του υλικού.

Η **σβέση** ή αλλιώς ενυδάτωση είναι μία πολύ αργή διαδικασία. Στην περίπτωση των υδραυλικών κονιών γίνεται ξηρή σβέση. Ονομάζεται ξηρή διότι η ποσότητα του νερού που χρησιμοποιείται είναι μικρή και ελεγχόμενη. Η ενυδάτωση γίνεται μέσω ψεκασμού, η ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται είναι τέτοια ώστε αυτό να αντιδράσει μόνο με το ελεύθερο CaO και όχι τα υδραυλικά συστατικά.

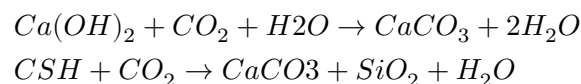


Κατά την διαδικασία αυτή παράγονται μεγάλα ποσοστά θερμότητας, κάτι που διευκολύνει την άλεση του υλικού.

Η **τελική ανάμιξη της κονιάς με το νερό** προκαλεί την πλήρη πήξη και σκλήρυνση της. Το νερό αντιδρά με τις αργιλοπυριτικές ενώσεις και παράγεται ένυδρο πυριτικό ασβέστιο (CSH) και ένυδρο πυριτικό αργίλιο (CAH).



Έπειτα έρχεται σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα που περιέχεται στην ατμόσφαιρα και σταθεροποιείται μέσω της ενανθράκωσης κατά την αντίδραση:

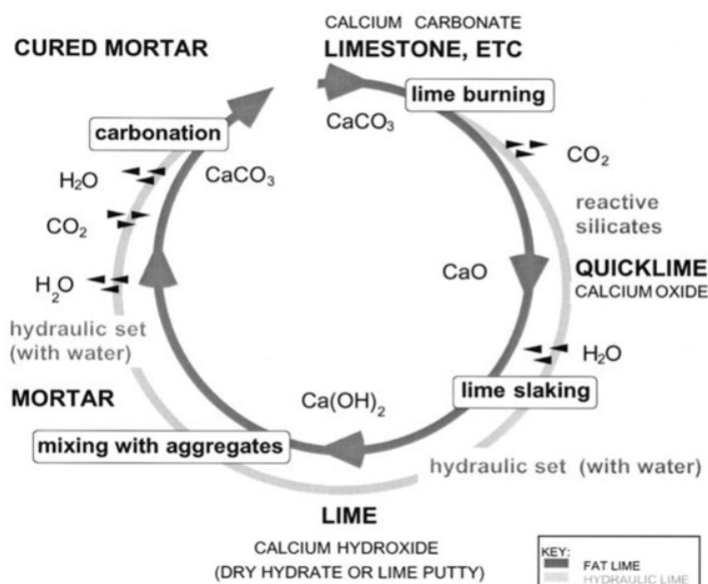


Ο δείκτης υδραυλικότητας είναι

$$i = \frac{Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3}{CaO + MgO}$$

Το άθροισμα των ποσοστών του οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3), του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) και του οξειδίου του σιδήρου (Fe_2O_3) στο μείγμα, προς το άθροισμα των ποσοστών του οξειδίου του ασβεστίου (CaO) και του οξειδίου του μαγνησίου (MgO) (Καλοφώνου 2018)

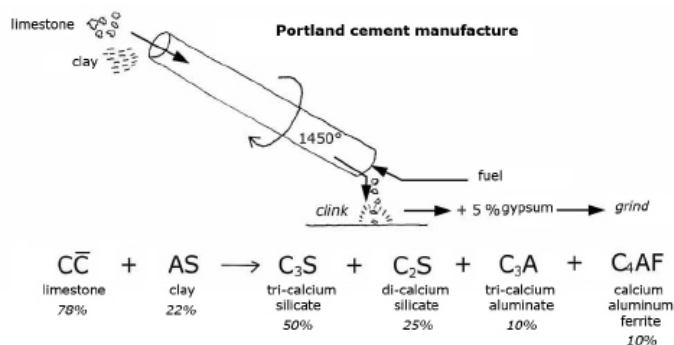
Δείκτης υδραυλικότητας	Χαρακτηρισμός
$i=0.00-0.01$	Αερική άσβεστος
$i=0.10-0.16$	Άσβεστος χαμηλής υδραυλικότητας
$i=0.16-0.32$	Άσβεστος μεσαίας υδραυλικότητας
$i=0.31-0.42$	Υδραυλική άσβεστος
$i=0.42-0.50$	Άσβεστος υψηλής υδραυλικότητας
0.5	Τσιμέντο



Εικ. 3.2: Ο κύκλος του ασβέστη. Πηγή: <https://connectingheritage.com/guidance/materials/material-lime>

3.3 Τεχνολογία του Τσιμέντου

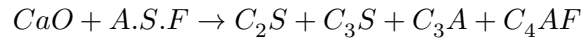
Το τσιμέντο είναι τεχνητή υδραυλική κόνια. Παρασκευάζεται από την καύση ασβεστόλιθων με μεγάλη περιεκτικότητα αργίλου (> 22%) ή από την ανάμιξη αργίλου και ασβεστόλιθου.



Εικ. 3.3: Παραγωγή τσιμέντου Portland. (Giorgio Torracca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)

Για την παρασκευή του αρχικά αλέθονται οι πρώτες ύλες έως ότου να προκύψει ένα προϊόν πολύ λεπτού διαμερισμού και στην συνέχεια γίνεται η όπτηση τους σε ειδικά κυλινδρικά καμίνια στους 1450°C. Κατά την όπτηση όλο το CaO δεσμεύεται από τις αργιλοπυριτικές ενώσεις (Torraca 2009).

Η αντίδραση που συμβαίνει είναι:

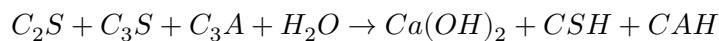


Το παραγόμενο προϊόν ονομάζεται κλίνκερ. Οι ενώσεις που προκύπτουν είναι:

$3Ca.SiO_2$	C_3S
$2Ca.SiO_2$	C_2S
$3Ca.Al_2O_3$	C_3A
$4CaAl_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

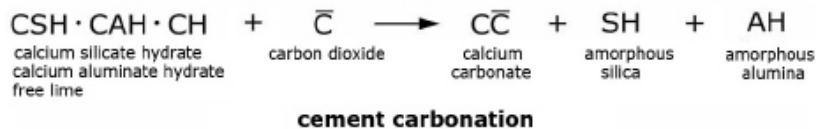
Στην συνέχεια γίνεται προσθήκη γύψου, ποζολάνης ή ιπτάμενης τέφρας με σκοπό να βελτιωθούν οι ιδιότητες του τελικού προϊόντος όπως η ταχύτητα πήξης. Τέλος γίνεται άλεση του τελικού μίγματος.

Κατά την ανάμιξη του τσιμέντου με το νερό οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα είναι:



Η άμεση πήξη και σκλήρυνση του υλικού οφείλεται στον σχηματισμό ένυδρου CSH και CAH .

Στην συνέχεια κατά την διαδικασία την ενανθράκωσης η ελεύθερη άσβεστος μετατρέπεται σε ανθρακικό ασβέστιο και το ένυδρο πυριτικό αργίλιο και το αργιλικό ασβέστιο σε άμορφο πυρίτιο και αλουμίνα.



Εικ. 3.4: Αντίδραση ενανθράκωσης του τσιμέντου. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)

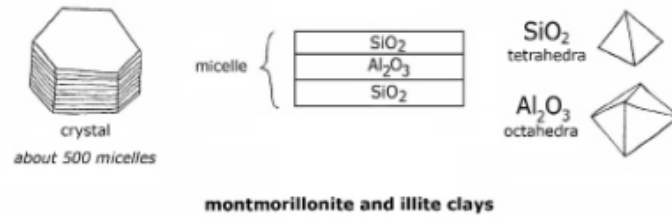
3.4 Τεχνολογία της Αργίλου

Η άργιλος είναι φυσικό, γαιώδες και λεπτόκοκκο υλικό, το οποίο εμφανίζει πλαστικότητα όταν αναμιγνύεται με νερό. Είναι μείγμα ορυκτών αργιλοπυριτικής σύστασης και άλλων ενώσεων. Είναι λεπτόκοκκο, με σωματίδια διαμέτρου < 2 μm. Οι άργιλοι είναι κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα που σχηματίστηκαν από την χημική, μηχανική και βιολογική αποσάθρωση πυριτικών πετρωμάτων της επιφάνειας της γης. Το υλικό που προκύπτει συνεχίζει να μετασχηματίζεται, διότι μεταφέρεται από το νερό και τον αέρα και εναποτίθεται ως ίζημα. Οι άργιλοι έχουν την ιδιότητα να διογκώνονται όταν προσροφούν νερό και να γίνονται εύπλαστοι και κολλοειδείς (πηλός / πηλοκονίαμα). Κατά την ξήρανση το νερό αποβάλλεται και ο πηλός σκληρύνεται, συρρικνώνεται και σταθεροποιείται.

Τα κύρια ορυκτά από τα οποία αποτελείται είναι ο καολίνης, ο μοντμοριλλονίτης, ο ιλλίτης και ο αλλοούσιτης.

Δομή αργιλικών ορυκτών

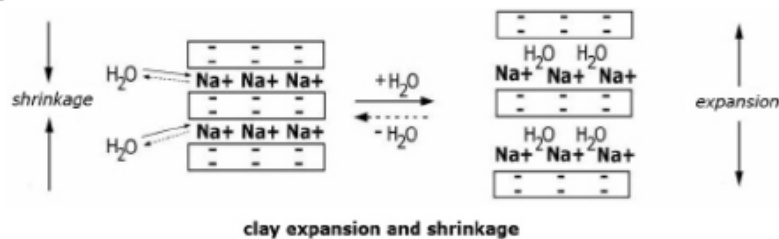
Το κρυσταλλικό πλέγμα των αργιλοπυριτικών ορυκτών αποτελείται από τετράεδρα πυριτίας (SiO_4) και οκτάεδρα αλουμίνιας (Al_2O_3). Με αυτές τις βασικές μονάδες σχηματίζονται εξαγωνικές δομές σε επίπεδα φύλλα. Αρκετές εκατοντάδες φύλλων με τη σειρά τους, δημιουργούν διακριτά πλακοειδή σωματίδια σε στρώσεις. Το επίπεδο σχήμα των κρυστάλλων εξηγείται από αυτή ακριβώς τη φυλλώδη κρυσταλλική δομή.



Εικ. 3.5: Δομή αργιλικού ορυκτού. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)

Κατά την ενυδάτωση το νερό εισβάλλει μεταξύ των στρωμάτων, που ενώνονται μεταξύ τους με την παρουσία οξυγόνων (O) και υδροξυλίων (OH). Τα μόρια του νερού κυκλώνουν τα ιόντα και τα στρώματα διαχωρίζονται.

Καθώς τα λεπτά φύλλα της αργίλου συγκρατούνται με σχετικά ασθενείς δεσμούς ηλεκτροστατικής φύσης, τα δίπολα των μορίων του νερού που έχουν συγχρόνως θετικά και αρνητικά φορτία, έλκονται από ιόντα και διεισδύουν μεταξύ των φύλλων, γεγονός που προκαλεί την διόγκωση του πηλού (Torraca 2009).



Εικ. 3.6: Διόγκωση και συρρίκνωση του αργίλου. (Giorgio Torraca, 2009, lectures on materials science for architectural conservation)

Επομένως, ο πηλός αποκτά πλαστικότητα επειδή το νερό δρα ως λιπαντικό, τα κρυσταλλικά φύλλα ολισθαίνουν μεταξύ τους με την άσκηση ελάχιστης δύναμης (όπως πχ. μεταξύ δύο υαλοπινάκων σε νερό). Εάν όμως, υπάρχει περίσσεια νερού παρατηρείται απώλεια συνοχής, αποδιοργάνωση και υγροποίηση του υλικού. Αντιθέτως, σε ξηρές συνθήκες το νερό εξατμίζεται και ο πηλός συστέλλεται και στερεοποιείται επιστρέφοντας στην προηγούμενη κατάσταση του.

Κεφάλαιο 4

Κριτήρια και Μεθοδολογία Επιλογής Υλικών και Σχεδιασμού Επεμβάσεων

4.1 Μεθοδολογία Σχεδιασμού Συμβατών Κονιαμάτων - Αντίστροφη Μηχανική Προσέγγιση

Η μέθοδος της αντίστροφης μηχανικής προσέγγισης αποτελεί ένα αξιόπιστο πρωτόκολλο βάση του οποίου ελέγχονται τα απαραίτητα χαρακτηριστικά των πρώτων υλών και των παραγόμενων κονιαμάτων. Περιλαμβάνεται πιλοτική εφαρμογή των συνθέσεων και βελτίωση τους με σκοπό την μέγιστη συμβατότητα (Μοροπούλου κ.ά. 2005).

Τα ακολουθούμενα βήματα είναι:

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

4.2 Μελέτη ιστορικών κονιαμάτων

Τη μελέτη των ιδιοτήτων και των ορυκτολογικών, χημικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των ιστορικών κονιαμάτων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στάδιο για τον σχεδιασμό των κονιαμάτων αποκατάστασης. Η ανάλυση δειγμάτων καθορίζει και τα όρια αποδοχής των νέων κονιαμάτων. Μέσω του χαρακτηρισμού της μικροδομής, της υδραυλικότητας και των μηχανικών αντοχών διασφαλίζεται η συμβατότητα των υλικών (Α. Μοροπούλου, Bakolas και Moundoulas 2000).

Για τον χαρακτηρισμό των ιστορικών κονιαμάτων αρχικά εξετάζονται:

- **Οι μηχανικές ιδιότητες**, δηλαδή η αντοχή στην θλίψη και την κάμψη.
- **Η κοκκομετρία**, μέσω κοκκομετρικής διαβάθμισης τους με αποσυναρμολόγηση του δείγματος και κοσκίνιση του υλικού μέσα από κόσκινα ISO 565. Το υλικό που απομένει στο κάτω μέρος και είναι μικρότερο των 63 μm αποτελεί την συνδετική κονία, συχνά υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό επιμολύνσεων από τα αδρανή. Με την μέτρηση της ποσότητας της κονιάς γίνεται γνωστό το ποσοστό κονιάς και αδρανών που χρησιμοποιούνταν αλλά και η κοκκομετρία των αδρανών.
- **Η μικροδομή**, με την χρήση ποροσιμετρίας υδραργύρου, εξετάζεται το ολικό πορώδες, η μέση ακτίνα των πόρων και η κατανομή του μεγέθους τους
- **Τα ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά** μέσω της:
 - Περίθλασης ακτίνων X (XRD) όπου γίνεται γνωστή η ορυκτολογική σύσταση των κονιαμάτων μέσω του προσδιορισμού των ορυκτών κρυσταλλικών φάσεων των υλικών.
 - Μικροσκοπίας σάρωσης ηλεκτρονίων (SEM) σε συνδυασμό με ανάλυση EDX με σκοπό την παρατήρηση και ανάλυση της μορφολογίας, της υφής και της σύνθεσης καθώς και για στοιχειώδη ημιποσοτική ανάλυση.
 - Φασματοσκοπία υπερύθρων μετασχηματισμού Fourier (FTIR) για την συλλογή ποιοτικών πληροφοριών για την παρουσία χαρακτηριστικών ουσιών όπως το ανθρακικό ασβέστιο, ο γύψος, οργανικά πρόσθετα κ.λπ.
 - Διαφορική θερμική ανάλυση (DTA) και Θερμοβαρυμετρική (TG) για τον προσδιορισμό του βαθμού και του ρυθμού σκλήρυνσης των συνδετικών κονιών και κατ' επέκταση του ρυθμού ενανθράκωσης τους και του σχηματισμού υδραυλικών ενώσεων. Η πληροφορία αυτή οδηγεί στην κατηγοριοποίηση των κονιαμάτων με βάση την υδραυλικότητα τους.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των προδιαγραφών συμβατών κονιαμάτων αποκατάστασης. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητο να ακολουθείται κάποιο πρωτόκολλο κατά τον σχεδιασμό ώστε να διασφαλισθεί η καταλληλότητα των υλικών.

4.3 Κριτήρια σχεδιασμού κονιαμάτων

Ο σχεδιασμός των κονιαμάτων αποκατάστασης είναι απαραίτητο να γίνεται με γνώμονα:

- i Τις ιδιότητες των ιστορικών κονιαμάτων, ώστε να είναι συμβατά.
- ii Την βελτίωση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών σε σχέση με τα ιστορικά κονιάματα.
- iii Την επαναληψιμότητα και τον έλεγχο τους βάσει προδιαγραφών.

Πιο αναλυτικά τα κονιάματα πρέπει είναι συμβατά με τα υλικά στα οποία εφαρμόζονται, καθώς είναι αποδεδειγμένο ότι η εφαρμογή του λάθους υλικού μπορεί να προκαλέσει περαιτέρω φθορά. Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά των κονιαμάτων είναι η μικροδομή τους και πιο συγκεκριμένα η κατανομή του πορώδους και ο τρόπος με τον οποίο κινείται η υγρασία μέσα στην δομή του υλικού. Η ομοιότητα της μικροδομής των υλικών καθορίζει και την διάρκεια ζωής της επέμβασης, διότι η ροή της υγρασίας και των αλάτων είναι ομοιογενής και δεν διακόπτεται. Έτσι δεν δημιουργούνται τάσεις στην διεπιφάνεια των υλικών και δεν παρατηρούνται φαινόμενα όπως σπηλαίωση, ρηγμάτωση ή ακόμα και κατάρρευση της τοιχοποιίας λόγω της αποσάθρωσης των κονιαμάτων.

4.4 Κριτήρια επιλογής των πρώτων υλών

Η επιλογή των πρώτων υλών είναι σημαντικό βήμα για την πορεία της έρευνας. Μέσω της ανάλυσης τους με την χρήση διαγνωστικών τεχνικών προσδιορίζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους και έτσι κρίνεται η καταλληλότητα των υλικών.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι:

1. Θερμική ανάλυση (DTA, TG)
2. Περίθλαση ακτίνων X (XRD)
3. Φθορισμός ακτίνων X (XRF)
4. Ποροσιμετρία υδραργύρου
5. Τεστ ποζολανικότητας
6. Προσδιορισμός διαλυτού πυριτίου (Reactive silica) (EN 196-2)
7. Κοκκομετρική ανάλυση (ISO 565)
8. Μέτρηση ειδικού βάρους

Βάση της έρευνα σχετικά με τα χαρακτηριστικά των ιστορικών κονιαμάτων οι πρώτες ύλες πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προϋποθέσεις.

Συνδετικά υλικά

Υδράσβεστος

- Χαμηλή θερμοκρασία όπτησης 900°C, έτσι ώστε να παραχθούν κρύσταλλοι CaO με υψηλή συγκεκριμένη επιφάνεια.
- Σβέση και ωρίμανση της ασβέστου για την παραγωγή κατάλληλου κολλοειδούς προϊόντος.
- Καθαρότητα του ασβεστόλιθου σε ανθρακικό ασβέστιο (> 95%).
- Ποσότητα ελεύθερου νερού 50 – 60%.

Φυσική Υδραυλική άσβεστος

- Θερμοκρασία όπτησης 900°C
- Παρουσία C_2S και CA
- Δείκτης υδραυλικότητας 0.31 – 0.42

Αδρανή

Άμμος

- Υψηλή καθαρότητα
- Απουσία διαλυτών αλάτων και ξένων προσμίξεων ($< 1\%$)
- Επιθυμητή κατανομή κοκκομετρίας βάσει ορίων αποδοχής
- Φυσικής προέλευσης

Θραυσμένο κεραμικό

- Απουσία ξένων προσμίξεων (βιολογικά προϊόντα, άλατα $< 1\%$)

Πρόσθετα

Κεραμάλευρο (Τεχνητή Ποζολάνη)

- Μεγάλη ειδική επιφάνεια
- Υψηλή λεπτότητα $< 63 \mu\text{m}$
- Ποζολανικές ιδιότητες (τιμές σε αντοχή $> 5 \text{ MPa}$ στο τεστ ποζολανικότητας και ποσοστό ενεργού πυριτίου $> 20\%$)
- Θερμοκρασία όπτησης κεραμικού θερμοκρασία 900°C

Φυσική ποζολάνη

- Μεγάλη ειδική επιφάνεια
- Υψηλή λεπτότητα $< 63 \mu\text{m}$
- Ποζολανικές ιδιότητες (τιμές σε αντοχή $> 5 \text{ MPa}$ στο τεστ ποζολανικότητας και ποσοστό ενεργού πυριτίου $> 20\%$)

4.5 Κριτήρια για την αξιολόγηση των κονιαμάτων αποκατάστασης

Η αξιολόγηση των τελικών συνθέσεων έχει ως στόχο την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων τους και την επίτευξη της μέγιστης δυνατής συμβατότητας. Η αξιολόγηση γίνεται τόσο κατά την παρασκευή των συνθέσεων όσο και κατά την σκλήρυνση αλλά και μετά το πέρας της (Α. Μοροπούλου, Bakolas, Moundoulas και Michailidis 2000).

- i Αξιολόγηση των κονιαμάτων αποκατάστασης κατά την πήξη και σκλήρυνση
- ii Αξιολόγηση συμβατότητας της μικροδομής σε σχέση με την τοιχοποιία
- iii Αξιολόγηση των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των συνθέσεων
- iv Αξιολόγηση των μηχανικών χαρακτηριστικών

Κεφάλαιο 5

Παρασκευή Συνθέσεων Κονιαμάτων Αποκατάστασης

Η παρασκευή και ο έλεγχος των συνθέσεων έγιναν στο Εργαστήριο Συντήρησης Αρχιτεκτονικών Στοιχείων, του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του ΠΑ.Δ.Α. Ο σχεδιασμός των κονιαμάτων και η επιλογή των πρώτων υλών έγινε με κριτήριο την συμβατότητα των υλικών και την διαθεσιμότητα στην τοπική αγορά. Το εδαφικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από τον αρχαιολογικό χώρο της Δρήρου και είναι όμοιο με το αρχικό υλικό που είχε εφαρμοστεί κατά την δημιουργία του μνημείου. Ακολουθώντας επομένως την αρχή της συμβατότητας των επεμβάσεων και των υλικών σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν τρεις συνθέσεις. Αποτελούνται από το εδαφικό υλικό του χώρου και από λευκό τσιμέντο, φυσική υδραυλική άσβεστος και άμμο σπαστήρα. Στόχος είναι τα κονιάματα που θα προκύψουν να είναι συμβατά με την τοιχοποιία και να παρουσιάζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά σε σχέση με τα αρχικά πηλοκονιάματα.

5.1 Πρώτες Ύλες

Λευκό τσιμέντο
Φυσική υδραυλική άσβεστος
Εδαφικό υλικό (0-2mm)
Χαλαζιακή άμμος

Πιν. 5.1: Υλικά σύνθεσης κονιάματος

5.1.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

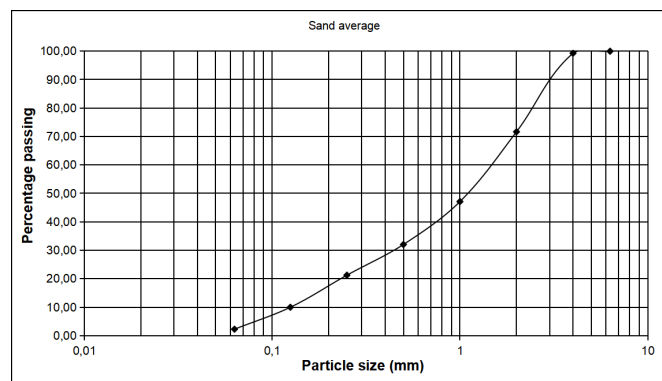
Η κοκκομετρική διαβάθμιση πραγματοποιήθηκε εν ξηρώ σε συσκευή κοσκίνισης MATEST A059-02, με πρότυπα κόσκινα κατά το ISO 3310-1:2000. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τρεις φορές για κάθε υλικό χρησιμοποιώντας 0,5kg δείγματος την φορά. Στόχος ήταν το αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατό πιο κοντά στην πραγματικότητα. Οι καμπύλες που προέκυψαν αποτελούν τον μέσο όρο των μετρήσεων. Σκοπός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των πρώτων υλών είναι η ομαδοποίηση των σωματιδίων των υλικών σε ξεχωριστές σειρές μεγεθών και η δημιουργία κοκκομετρικής καμπύλης που θα αποτυπώνει γραφικά την διαβάθμιση τους.

Χαλαζιακή άμμος σπαστήρα

Η άμμος κατατάσσεται ως έδαφος χωρίς συνοχή, διότι δεν υπάρχει συγκόλληση μεταξύ των κόκκων της. Χαρακτηρίζεται από την κοκκομετρική της διαβάθμιση και την σχετική πυκνότητα, δηλαδή από το μέγεθος των κενών μεταξύ των κόκκων. Είναι βιομηχανικά παραγόμενη και το αρχικό πέτρωμα προέρχεται από λατομείο. Έτσι οι κόκκοι που προκύπτουν διαφέρουν σε σχήμα, είναι γενικά γωνιώδεις και λιγότερο ή περισσότερο σφαιρικοί. Ο τρόπος παραγωγής εξασφαλίζει ένα τελικό προϊόν υψηλής καθαρότητας και συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Ακολουθεί ο πίνακας των μετρήσεων και η κοκκομετρική καμπύλη

Sieve (mm)	Mass (g)	% Retained	% passing
6,3	0,28	0,08	99,94
4,0	3,52	0,09	99,23
2,0	136,76	0,46	71,64
1,00	121,55	0,52	47,12
0,50	74,76	0,17	32,03
0,25	53,47	0,61	21,24
0,125	55,82	0,70	9,98
0,063	38,21	0,93	2,27

Πιν. 5.2: Πίνακας μετρήσεων κοκκοδιαβάθμισης άμμου



Εικ. 5.1: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη άμμου

Ενεργός διάμετρος ¹ D_{10}	0,14
Συντελεστής ομοιομορφίας ² C_u	11,42
Συντελεστής καμπυλότητας ³ C_c	0,86

Πιν. 5.3: Χαρακτηριστικά μεγέθη κοκκομετρικής καμπύλης άμμου.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας είναι μεγαλύτερος από 5, επομένως το υλικό χαρακτηρίζεται ως καλά διαβαθμισμένο.

¹Ενεργός διάμετρος D_{10} : Η διάμετρος από την οποία διέρχεται το 10% του δείγματος

²Συντελεστής ομοιομορφίας: το πηλίκο $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$, όπου D_{60} δηλώνει τη διάμετρο από την οποία διέρχεται το 60% του δείγματος

³Συντελεστής καμπυλότητας: το πηλίκο $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$, είναι ένα μέτρο της καμπυλότητας της καμπύλης μεταξύ των σημείων D_{60} και D_{10}

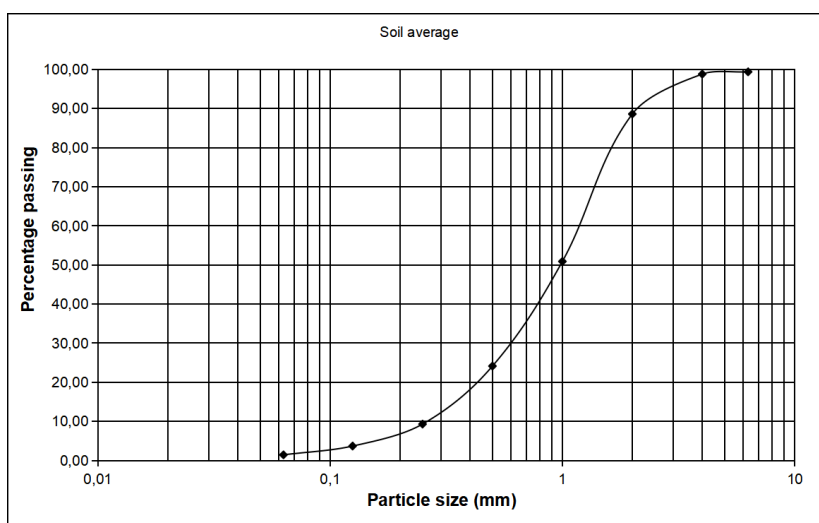
Εδαφικό υλικό

Το εδαφικό υλικό που συλλέχθηκε προέρχεται από τον ανώτερο εδαφικό ορίζοντα του εδάφους. Αποτελείται από ένα σύνολο σωματιδίων διαφόρων σχημάτων και μεγεθών. Η συμπεριφορά του υλικού καθορίζεται από τους τύπους και τις σχετικές αναλογίες των σωματιδίων. Επίσης περιέχει μεγάλα ποσοστά οργανικών ουσιών οι οποίες δίνουν στο έδαφος σκούρο χρώμα. Η οργανική ύλη αποτελείται από τμήματα φυτών, οργανικά λείψανα και λοιπά υπολείμματα. Χαρακτηρίζεται ως συνεκτικό καθώς υπάρχει συγκόλληση μεταξύ των κόκκων λόγω του περιεχόμενου αργίλου.

Ακολουθεί ο πίνακας των μετρήσεων και η κοκκομετρική καμπύλη

Sieve (mm)	Mass (g)	% Retained	% passing
6,3	3,09	0,62	99,38
4,0	2,88	0,58	98,80
2,0	50,56	10,20	88,59
1,00	186,83	37,69	50,90
0,50	132,63	26,76	24,14
0,25	73,51	14,83	9,31
0,125	27,85	5,62	3,69

Πιν. 5.4: Πίνακας μετρήσεων κοκκοδιαβάθμισης εδαφικού υλικού



Εικ. 5.2: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη εδαφικού υλικού

Ενεργός διάμετρος D_{10}	0,27
Συντελεστής ομοιομορφίας C_u	4,44
Συντελεστής καμπυλότητας C_c	1,11

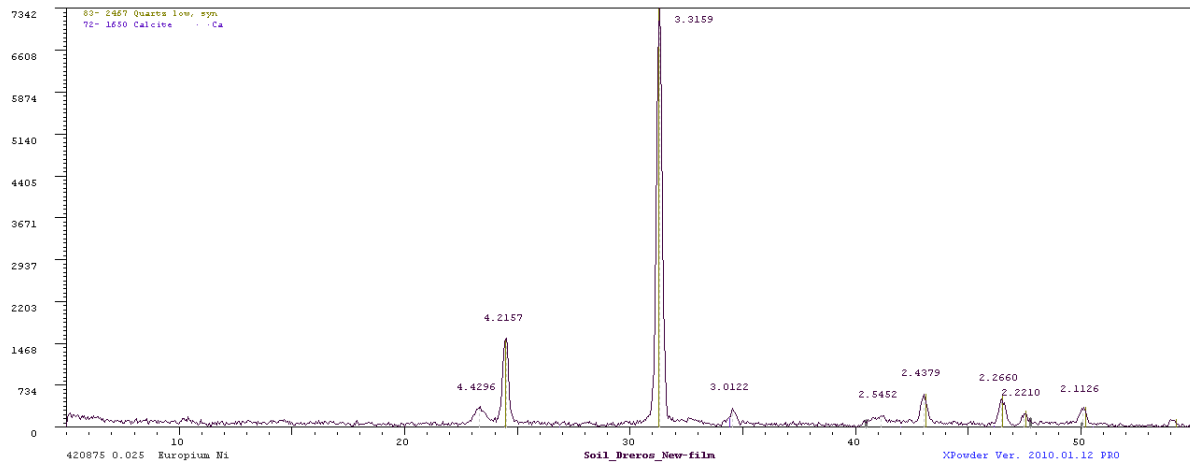
Πιν. 5.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη κοκκομετρικής καμπύλης εδαφικού υλικού

Η καμπύλη που προκύπτει υποδηλώνει ότι το υλικό είναι σχετικά ομοιόμορφο, όπως δείχνει

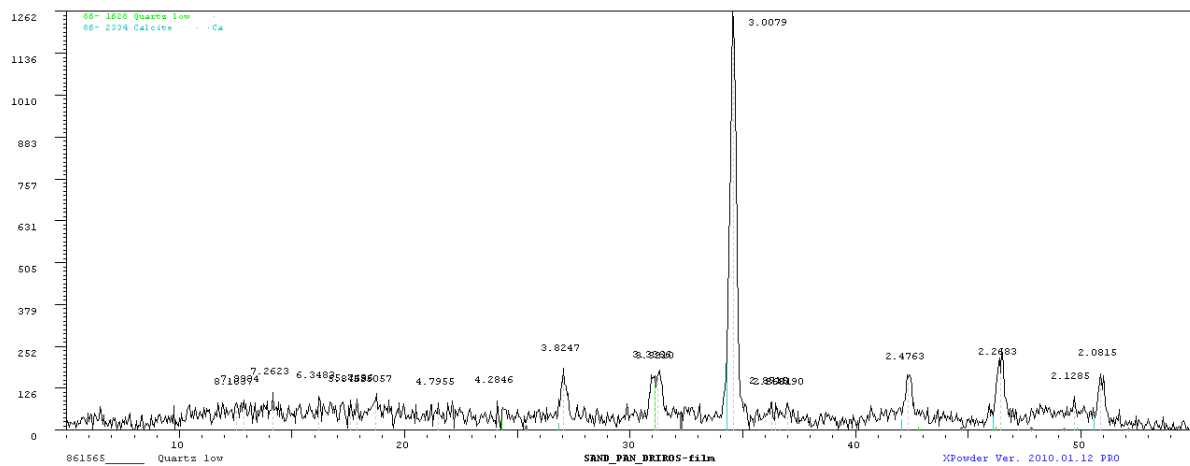
και ο συντελεστής ομοιομορφίας που είναι < 5 . Οι πιο λεπτοί κόκκοι εισχωρούν ανάμεσα από τους μεγαλύτερους κόκκους. Ως αποτέλεσμα το έδαφος έχει αντοχή στην διάβρωση, σχετική σταθερότητα, μικρή παραμόρφωση και μεγάλη αντοχή στην διάτμηση.

5.1.2 Περιθλασιμετρία ακτίνων X (XRD)

Κατά την ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων άμμου και εδαφικού υλικού του χώρου ταυτοποιούνται οι παρακάτω κρυσταλλικές δομές: ασβεσίτης, χαλαζίας.



Εικ. 5.3: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος εδαφικού υλικού



Εικ. 5.4: Ακτινοδιάγραμμα δείγματος άμμου

5.2 Παρασκευή και Χύτευση Κονιαμάτων Αποκατάστασης

Η παρασκευή των κονιαμάτων έγινε σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 196-1:1995 «Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength» και η ποσότητα του νερό προσδιορίστηκε σύμφωνα με το πρότυπο BS EN 12350-5: 2000 «Testing fresh concrete – Part 5: Flow table test».



Εικ. 5.5: Υλικά και εργαλεία παρασκευής κονιαμάτων

Υλικά	Σ1	Σ2	Σ3
Λευκό τσιμέντο	15%	12%	12%
Φυσική υδραυλική άσβεστος	-	-	8%
Εδαφικό υλικό (0-2mm)	35%	38%	30%
Άμμος (0-5mm)	50%	50%	50%

Πιν. 5.6: Συνθέσεις κονιαμάτων στερέωσης

Σύνθεση κονιάματος	Αδρανές 1	Αδρανές 2	Κονία 1	Κονία 2	H ₂ O(mL)	Τράπεζα εξάπλωσης (cm)
	Εδαφικό υλικό	Χαλαζιακή άμμος	Λευκό τσιμέντο	NHL 3.5		
Σ1 (2kg)	35%	50%	15%		420	12,7
Σ2 (2kg)	38%	50%	12%		410	11,6
Σ3 (2kg)	30%	50%	12%	8%	420	11,7
	0-2mm	0-5mm				

Πιν. 5.7: Παρασκευή συνθέσεων κονιαμάτων Σ1, Σ2 και Σ3 (σε σύνολο 2kg ξηρού μείγματος υλικών)

Για την ανάμειξη του μείγματος χρησιμοποιήθηκε μηχανικός αναμεικτήρας κονιαμάτων MATEST. Η παρασκευή έγινε σύμφωνα με το πρότυπο με τα εξής βήματα:

- i) Προσθήκη του νερού και της κονιάς στον κάδο.
- ii) Ανάδευση με χαμηλή ταχύτητα για 30 δευτ.
- iii) Κατά τα επόμενα 30 δευτ. προσθήκη των αδρανών ξεκινώντας από τα πιο χοντρόκοκκα.
- iv) Ανάδευση με γρήγορη ταχύτητα για 30 δευτ
- v) Παύση για 1λ και 30 δευτ, κατά τα πρώτα 15 δευτ με την χρήση σπάτουλας σιλικόνης γίνεται αποκόλληση του υλικού από τα τοιχώματα του κάδου.
- vi) Ανάδευση με υψηλή ταχύτητα για άλλα 60 δευτ.

Η καταλληλότητα της ποσότητας του νερού στο μείγμα ελέγχθηκε με τράπεζα εξάπλωσης (flow table) και σύμφωνα με το επιθυμητό εργάσιμο με τα εξής βήματα:

- i) Γέμισμα του καλουπιού με δύο ίσες στρώσεις μέχρι την επάνω άκρη.
- ii) Πίεση του υλικού με το ειδικό εργαλείο.
- iii) Παύση για 30 δευτ.
- iv) Αφαίρεση του καλουπιού.
- v) Περιστροφή της μανιβέλας μέχρι ο κυλινδρικός άξονας να κάνει έναν πλήρη κύκλο, επανάληψη της διαδικασίας 15 φορές, το μεσοδιάστημα δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2-5 δευτ.
- vi) Με τον κομπάσο μετρίεται και σημειώνεται η διάμετρος του υλικού.

Στην συνέχεια το κονίαμα τοποθετήθηκε στις ειδικές μήτρες. Αρχικά τοποθετήθηκε υλικό μέχρι της μέση της μήτρας και πιάστηκε με μία μεταλλική σπάτουλα. Αφού διαβεβαιώθηκε ότι το υλικό είχε πιεστεί καλά μέσα σε όλες τις γωνίες και αιχμές το καλούπι “χτυπήθηκε” πάνω στην επιφάνεια εργασίας 60 φορές. Η διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα πρισματικά και για τα κυβικά δοκίμια.



Εικ. 5.6: Εισαγωγή των συνθέσεων σε μεταλλικές μήτρες για πρισματικά και κυβικά δοκίμια

Κατόπιν τα καλούπια τοποθετήθηκαν στον θάλαμο ωρίμανσης και μετά από τέσσερις μέρες αφαιρέθηκαν και τα δοκίμια παρέμειναν μέσα μόνα τους. Οι συνθήκες του θαλάμου ήταν σχετική υγρασία άνω του 75% και θερμοκρασία 30°C.



Εικ. 5.7: Τοποθέτηση των συνθέσεων σε θάλαμο ωρίμανσης

Τα δείγματα παρέμειναν μέσα για 28 και 60 ημέρες αντίστοιχα μέχρι να μετρηθούν οι μηχανικές τους αντοχές.

Κεφάλαιο 6

Εργαστηριακός έλεγχος κονιαμάτων

Ο εργαστηριακός έλεγχος των δοκιμίων έγκειται στον προσδιορισμό των μηχανικών αντοχών και του πορώδους τους. Σκοπός είναι να κριθεί η καταλληλότητα των συνθέσεων καθώς και η βελτιστοποίηση τους.

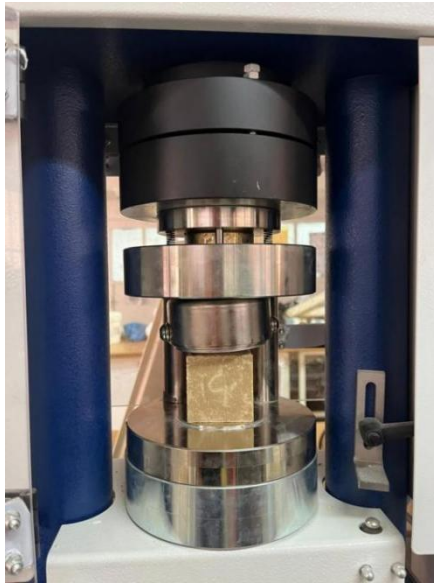
6.1 Προσδιορισμός μηχανικών αντοχών

Ο πειραματικός προσδιορισμός σε θλίψη και κάμψη δοκιμίων κονιαμάτων επηρεάζεται από πολλές παραμέτρους. Μία από αυτές είναι η περιεχόμενη υγρασία, τα ξηρά δοκίμια τείνουν να έχουν μεγαλύτερη αντοχή από δοκίμια με μεγάλη περιεχόμενη υγρασία. Αυτό συμβαίνει διότι τα μόρια του νερού αυξάνουν τις αποστάσεις μεταξύ των κρυστάλλων και μειώνοντας έτσι τις ελκτικές δυνάμεις και κατ' επέκταση την αντοχή. Επίσης η θλιπτική αντοχή επηρεάζεται και από τον λόγο νερού/κονίας με το πορώδες. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις μηχανικές αντοχές σχετίζονται με τα υλικά, τις αναλογίες και τις συνθήκες ωρίμανσης.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις μηχανικές αντοχές των συνθέσεων χρησιμοποιήθηκαν δοκιμές αντοχής σε θλίψη και κάμψη με υδραυλική μηχανή θραύσης MATEST E159N-C127N σύμφωνα με το πρότυπο EN-169-1/ ASTM C109.

Θλιπτική αντοχή

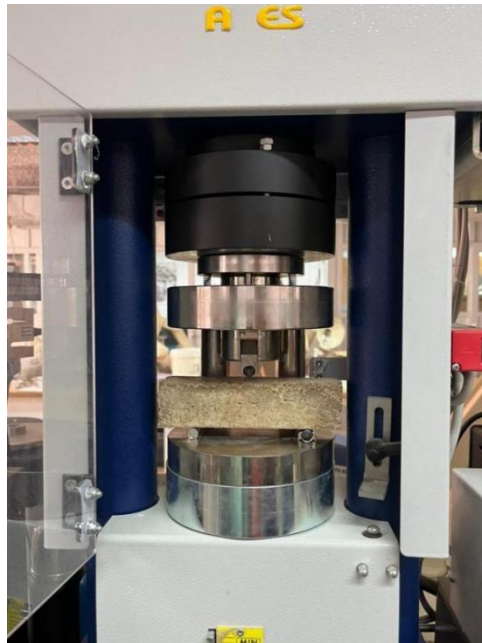
Δοκιμή κάμψης τριών σημείων. Ελέγχθηκαν δοκίμια διαστάσεων $40x40x160$ mm.



Εικ. 6.1: Δοκιμή θλίψης σε κυβικό δοκίμιο διαστάσεων $40x40x160$ mm.

Καμπτική αντοχή

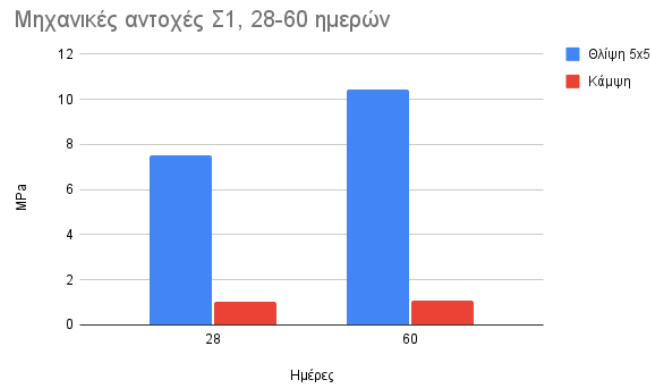
Δοκιμή κάμψης τριών σημείων. Ελέγχθηκαν δοκίμια διαστάσεων $40x40x160$ mm.



Εικ. 6.2: Δοκιμή κάμψης τριών σημείων σε πρισματικό δοκίμιο διαστάσεων $40x40x160$ mm.

Αποτελέσματα

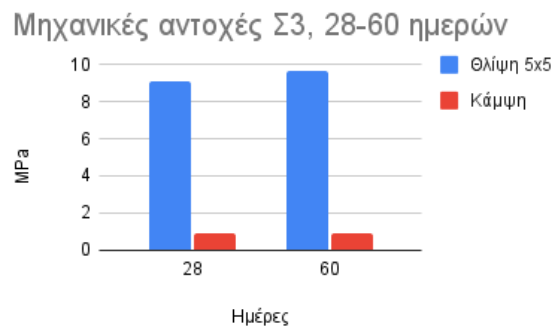
Ακολουθούν τα διαγράμματα αποτελεσμάτων των μηχανικών αντοχών των Σ1, Σ2 και Σ3



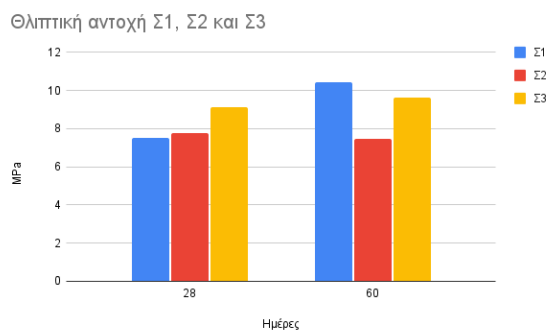
Εικ. 6.3: Μηχανικές αντοχές Σ1, 28-60 ημερών



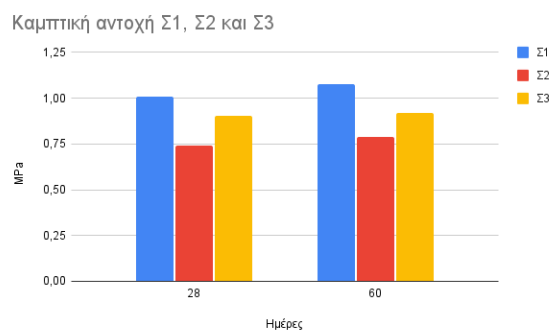
Εικ. 6.4: Μηχανικές αντοχές Σ2, 28-60 ημερών



Εικ. 6.5: Μηχανικές αντοχές Σ3, 28-60 ημερών



Εικ. 6.6: Θλιπτική αντοχή Σ1, Σ2 και Σ3



Εικ. 6.7: Καμπτική αντοχή Σ1, Σ2 και Σ3

Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων μηχανικών αντοχών κονιαμάτων στερέωσης.

Σύνθεση	Κωδ. Δοκιμίου	Ημέρες	Θλίψη 5x5 c	Κάμψη f
			Max Strength (MPa)	Max Strength (MPa)
Σ1	Σ1-1A	28	7,247	0,983
	Σ1-2A	28	7,217	0,937
	Σ1-3A	28	8,074	1,1
		M.O.	7,513	1,007
		T.A.	0,49	0,08
Σ1	Σ1-1B	60	10,231	1,043
	Σ1-2B	60	11,07	1,118
	Σ1-3B	60	10,057	1,073
		M.O.	10,453	1,078
		T.A.	0,54	0,04
Σ2	Σ2-1A	28	7,803	0,696
	Σ2-2A	28	7,182	0,761
	Σ2-3A	28	8,342	0,769
		M.O.	7,776	0,742
		T.A.	0,58	0,04
Σ2	Σ2-1B	60	6,593	0,757
	Σ2-2B	60	7,157	0,801
	Σ2-3B	60	8,722	0,81
		M.O.	7,491	0,789
		T.A.	1,10	0,03
Σ3	Σ3-1A	28	9,003	0,951
	Σ3-2A	28	9,652	1,001
	Σ3-3A	28	8,698	0,766
		M.O.	9,118	0,906
		T.A.	0,49	0,12
Σ3	Σ3-1B	60	9,832	0,914
	Σ3-2B	60	10,159	0,952
	Σ3-3B	60	8,925	0,888
		M.O.	9,639	0,918
		T.A.	0,64	0,03

Πιν. 6.1: Πίνακας τιμών μετρήσεων μηχανικών αντοχών

	%Θλίψη	%Κάμψη
Σ1	53,39	19,32
Σ2	-0,35	5,26
Σ3	5,25	-4,90

Πιν. 6.2: Ποσοστιαία αλλαγή μηχανικών αντοχών στις 60 ημέρες

Συμπεράσματα

Η σύνθεση Σ1 με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λευκό τσιμέντο παρουσιάζει την μεγαλύτερη ανάπτυξη των αντοχών σε θλίψη με την μικρότερη τυπική απόκλιση. Οι Σ2 και Σ3 δεν έδειξαν μεγάλη ανάπτυξη. Οι συνθέσεις δεν έχουν αποκτήσει ακόμα τις μέγιστες μηχανικές τους αντοχές, αυτό οφείλεται στον σύντομο χρόνο ωρίμανσης, διότι κανονικά τα δοκίμια εξετάζονται στις 28-90-120 ημέρες, σύμφωνα με το πρωτόκολλο.

6.2 Χαρακτηρισμός του πορώδους.

Το πορώδες στους λίθους και στα κονιάματα αναφέρεται στο ποσοστό του κενού χώρου που κατανέμεται μέσα στην μάζα του υλικού με την μορφή πορωδών κοιλοτήτων. Το άθροισμα αυτού του κενού χώρου ονομάζεται πορώδες. Στα κονιάματα το πορώδες καθορίζεται από το τρόπο και τα υλικά παρασκευής τους. Χαρακτηρίζεται από την κατανομή, τον τύπο του, δηλαδή αν είναι ανοιχτό ή κλειστό πορώδες και από το σχήμα και μέγεθος των πόρων. Η μελέτη του είναι πολύ σημαντική καθώς οδηγεί στην κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ υλικού-νερού και της κίνησης της υγρασίας μέσα από το πορώδες. Η υγρασία μπορεί να εισέλθει στο υλικό μέσω της τριχοειδούς αναρρίχησης ή της άμεσης επαφής του με το νερό. Το πορώδες μπορεί να χαρακτηριστεί εν μέρη ως θετικό χαρακτηριστικό καθώς επιτρέπει την ομαλή ροή της υγρασίας αλλά και ως αρνητικό διότι τα υλικά με μεγάλο πορώδες τείνουν να διαβρώνονται πιο εύκολα.

Η αλληλεπίδραση νερού και πορώδους αποτελεί την κύρια αιτία φθοράς λίθων και κονιαμάτων. Τα υλικά που είναι άμεσα εκτεθειμένα στο περιβάλλον υφίστανται εποχιακούς κύκλους με μέγιστη και ελάχιστη περιεκτικότητα σε υγρασία. Η συνεχής επανάληψη των κύκλων προκαλεί την μηχανική καταπόνηση των υλικών και την μείωση των μηχανικών τους αντοχών. Επίσης μέσω της υγρασίας περνάνε μέσα στην δομή ατμοσφαιρικοί ρύποι και άλατα που υποβαθμίζουν τα υλικά μέσω των διαδικασιών κρυστάλλωσης.

Για την σωστή περιγραφή πορωδών υλικών είναι σημαντικός ο προσδιορισμός τριών κύριων χαρακτηριστικών του πορώδους, της κατανομής του μεγέθους των πόρων και της ειδικής επιφάνειας.

6.2.1 Προσδιορισμός συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης

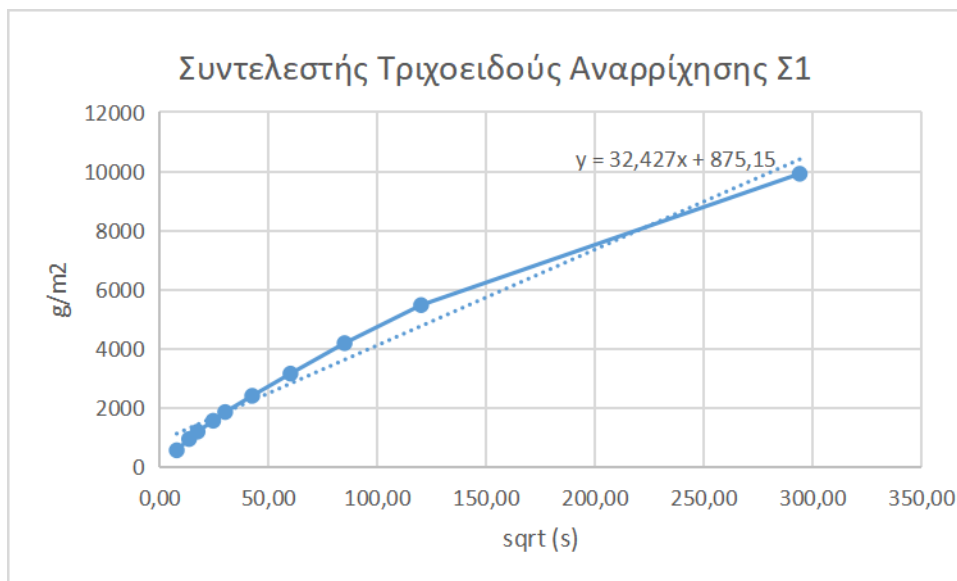
Η μέθοδος προσδιορισμού υδαταπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση καταγράφει την τριχοειδή αναρρίχηση του νερού μέσα σε πορώδη υλικά. Το φαινόμενο οφείλεται στην επιφανειακή τάση των τριχοειδών αγγείων. Οι δυνάμεις συνάφειας που αναπτύσσονται μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων των πόρων έλκουν τα μόρια του νερού στο εσωτερικό του υλικού. Αποτελεί μη καταστρεπτική τεχνική αλλά έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί δείγματα συγκεκριμένου γεωμετρικού σχήματος και μεγέθους, για αυτό είναι δύσκολα εφαρμόσιμη σε δείγματα αυθεντικού υλικού από μνημεία.

Για την δοκιμή τα δοκίμια αρχικά ζυγίζονται και έπειτα τοποθετούνται στο πυριατήριο στους 75 °C μέχρι σταθεροποίησεως του βάρους τους, έπειτα τοποθετούνται σε ξηραντήρα μέχρι να φτάσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Μετά την ξήρανση ζυγίζονται ξανά και αφού μετρηθεί το εμβαδόν της βάσης τους τοποθετούνται σε δοχείο που περιέχει μέσα ένα λεπτό στρώμα άμμου, χαρτοβάμβακα και νερό. Ανά ορισμένα χρονικά διαστήματα αφαιρούνται και ζυγίζονται. Η διαδικασία ολοκληρώνεται όταν σταθεροποιούνται οι τιμές του βάρους τους.

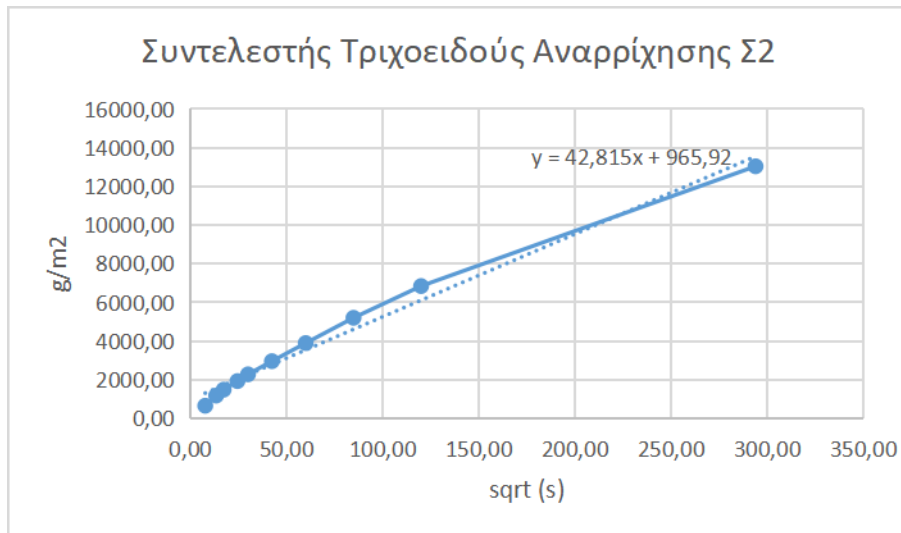


Εικ. 6.8: Δοκιμή τριχοειδούς αναρρίχησης.

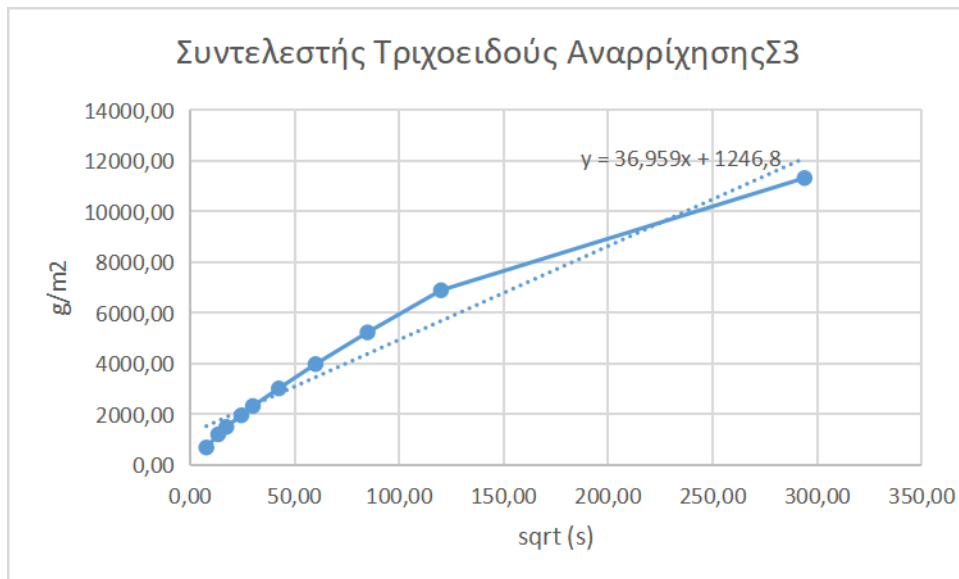
Ακολουθεί το διάγραμμα που προέκυψε από τη δοκιμή υδαταπορρόφησης με τριχοειδή αναρρίχηση και ο προσδιορισμός του συντελεστή υδαταπορρόφησης



Εικ. 6.9: Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ1



Εικ. 6.10: Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ2



Εικ. 6.11: Συντελεστής τριχοειδούς αναρρίχησης Σ3

$C (g \cdot m^{-2} \cdot sec^{-1/2})$		
Σ1	Σ2	Σ3
32.4	42.8	36.95

Πιν. 6.3: Συντελεστής Υδαταπορρόφησης C

Σ1							
t		md	A	srt	mt	δm	Δm/A
1	60	440,89	0,0016	7,75	441,79	0,9	562,5
3	180	440,89	0,0016	13,42	442,4	1,51	943,75
5	300	440,89	0,0016	17,32	442,8	1,91	1193,75
10	600	440,89	0,0016	24,49	443,39	2,5	1562,5
15	900	440,89	0,0016	30,00	443,86	2,97	1856,25
30	1800	440,89	0,0016	42,43	444,74	3,85	2406,25
60	3600	440,89	0,0016	60,00	445,94	5,05	3156,25
120	7200	440,89	0,0016	84,85	447,59	6,7	4187,5
240	14400	440,89	0,0016	120,00	449,65	8,76	5475
1440	86400	440,89	0,0016	293,94	456,76	15,87	9918,75

Πιν. 6.4: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ1

Σ2							
t		md	A	srt	mt	δm	Δm/A
1	60	436,69	0,0016	7,75	437,72	1,03	643,75
3	180	436,69	0,0016	13,42	438,56	1,87	1168,75
5	300	436,69	0,0016	17,32	439,05	2,36	1475,00
10	600	436,69	0,0016	24,49	439,76	3,07	1918,75
15	900	436,69	0,0016	30,00	440,32	3,63	2268,75
30	1800	436,69	0,0016	42,43	441,41	4,72	2950,00
60	3600	436,69	0,0016	60,00	442,91	6,22	3887,50
120	7200	436,69	0,0016	84,85	445	8,31	5193,75
240	14400	436,69	0,0016	120,00	447,63	10,94	6837,50
1440	86400	436,69	0,0016	293,94	457,55	20,86	13037,50

Πιν. 6.5: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ2

Σ3							
t		md	A	srt	mt	δm	Δm/A
1	60	432,32	0,0016	7,75	433,42	1,10	687,50
3	180	432,32	0,0016	13,42	434,25	1,93	1206,25
5	300	432,32	0,0016	17,32	434,72	2,40	1500,00
10	600	432,32	0,0016	24,49	435,45	3,13	1956,25
15	900	432,32	0,0016	30,00	436,04	3,72	2325,00
30	1800	432,32	0,0016	42,43	437,15	4,83	3018,75
60	3600	432,32	0,0016	60,00	438,69	6,37	3981,25
120	7200	432,32	0,0016	84,85	440,69	8,37	5231,25
240	14400	432,32	0,0016	120,00	443,35	11,03	6893,75
1440	86400	433,32	0,0016	293,94	451,44	18,12	11325,00

Πιν. 6.6: Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών μετρήσεων του συντελεστή τριχοειδούς αναρρίχησης Σ3

6.2.2 Δοκιμή ολικής εμβάπτισης

Για την δοκιμή ολικής εμβάπτισης τα δοκίμια αρχικά ζυγίζονται και έπειτα τοποθετούνται σε ποτήρια ζέσεως με νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Μετά από 20 ώρες στραγγίζονται ελαφρά και ζυγίζονται.



Εικ. 6.12: Δοκιμή ολικής εμβάπτισης.

6.2.3 Αποτελέσματα

Οι υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν

- Φαινόμενη πυκνότητα: $\rho_{\varphi} = \frac{m_d}{V_d}$
- Ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών: $V_{cw} = 100 \frac{m_c - m_d}{m_d}$
- Ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε μέσω ολικής εμβάπτισης: $V_{max(w)} = 100 \frac{m_{max} - m_d}{m_d}$
- Όγκος ανοιχτού πορώδους: $V_{op} = m_{max} - m_d$
- Ποσοστό ανοιχτού πορώδους: $\%_{op} = 100 \frac{V_{op}}{V_d}$

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
- $V_{max(w)}$: ποσότητα νερού που απορροφήθηκε μέσω ολικής εμβάπτισης
- V_{op} : όγκος ανοιχτού πορώδους
- $\%_{op}$: ποσοστό ανοιχτού πορώδους

Αποτελέσματα			
	Σ1	Σ2	Σ3
Όγκος των πόρων που επικοινωνούν μεταξύ τους (Vt)	27,2	29,91	26,63
Φαινομενική πυκνότητα (ρb)	109,58	105,38	90,37
Ποσοστό ανοιχτού πορώδους (%op)	21,25	23,37	20,80
Όγκος του ανοιχτού πορώδους (Vop)	27,20	29,91	26,63
Ποσότητα του νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών (Vcw)	3,60	4,78	4,18

Από τις παραπάνω τιμές συμπεραίνεται ότι το νερό που απορροφήθηκε κατά την ολική εμβάπτιση στο Σ1 είναι 27,2ml στο Σ2 29,91ml και στο Σ3 26,23. Η % ποσότητα νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών είναι για το Σ1 3,6%, για το Σ2 4,78% και για το Σ3 4,18%.

6.3 Συζήτηση

Όσον αφορά τις μηχανικές αντοχές που παρουσίασαν οι συνθέσεις, η Σ1 εμφανίζει τα υψηλότερα αποτελέσματα μηχανικών αντοχών και την μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση, με 53,39% για την θλίψη και 19,32% για την κάμψη. Αντίθετα η σύνθεση Σ2 παρουσιάζει μείωση κατά -0,35% στην θλίψη και αύξηση μόνο 5,26% στην κάμψη. Παρομοίως και η Σ3 που εμφανίζει πολύ μικρή αύξηση στην θλίψη και μείωση στην κάμψη.

Η μείωση των αντοχών του Σ2 και Σ3 πιθανώς οφείλεται στην μικρότερη περιεκτικότητα σε τσιμέντο σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη σε εδαφικό υλικό. Φαίνεται ότι το έδαφος κατακρατεί νερό και με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η εξέλιξη της ενανθράκωσης και των υδραυλικών φάσεων. Αντίθετα η Σ1 με την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε λευκό τσιμέντο δεν παρουσιάζει αυτά τα προβλήματα.

Σχετικά με τις δοκιμές πλήρους εμβάπτισης και τριχοειδούς αναρρίχησης οι Σ2 και Σ3 έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές Συντελεστή Υδατοκορεσμού με 12,82 και 12,19 αντίστοιχα. Ενώ η Σ1 έδωσε μόνο 11,45. Επίσης πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί σχετικά με την φαινομενική πυκνότητα των συνθέσεων, το ποσοστό ανοιχτού πορώδους και της ποσότητας του νερού που απορροφήθηκε μέσω τριχοειδών. Δεν κατάφεραν όμως να πραγματοποιηθούν όλες οι μετρήσεις λόγω έλλειψης δεδομένων που σχετίζονται με τον όγκο των πόρων των δοκιμίων. Ωστόσο οι ελλιπείς τιμές μπορούν να υπολογιστούν και μελλοντικά. Επίσης, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο Συντελεστής

Υδατοκορεσμού παρουσιάζει μεγάλη συνάφεια με το πορώδες και έτσι μπορούμε να βγάλουμε συμπεράσματα για την μικροδομή με σχετική ασφάλεια. Επομένως φαίνεται από τα αποτελέσματα ότι η Σ1 έχει την μικρότερη απορρόφηση υγρασίας μέσω των τριχοειδών και του πλήρη εμβαπτισμού, που την καθιστά πιο κατάλληλη σε σχέση με τις άλλες δύο.

Για την αποτίμηση των ιδιοτήτων των κονιαμάτων αποκατάστασης είναι απαραίτητος αρχικά ο χαρακτηρισμός των ιστορικών κονιαμάτων και υλικών. Αυτό το στάδιο έχει καθοριστικό ρόλο καθώς θέτει τα όρια αποδοχής των νέων υλικών. Καθώς στην συγκεκριμένη μελέτη αυτό δεν έχει πραγματοποιηθεί δεν είναι εφικτό να προταθεί κάποια από τις τρεις συνθέσεις ως η πιο κατάλληλη. Όμως σε συνεργασία με τον πολιτικό μηχανικό και λαμβάνοντας υπόψη τις δικές του απαιτήσεις μπορεί να προταθεί μία από τις συνθέσεις με μεγαλύτερη ασφάλεια.

Η συμβατότητα είναι ένα απαραίτητο χαρακτηριστικό των κονιαμάτων αποκατάστασης. Και οι τρεις συνθέσεις περιέχουν μεγάλο ποσοστό εδαφικού υλικού (30-35%) που ήταν και το συνδετικό υλικό που είχε χρησιμοποιηθεί κατά την αρχαιότητα. Οι υδραυλικές κονίες που έχουν χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετα παρέχουν στα κονιάματα την απαραίτητη σταθερότητα και την αντοχή στους διαβρωτικούς παράγοντες όπως είναι η υγρασία. Κατ' αυτόν τον τρόπο τα κονιάματα παρέχουν την απαραίτητη ενίσχυση στο δομικό σύστημα και παρεμποδίζουν τους μηχανισμούς φθοράς, ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούν τις απαιτήσεις για συμβατότητα και την διατήρηση των αξιών του μνημείου.

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν κονιάματα αποκατάστασης για τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα της Αρχαίας Δρήρου. Η αναγκαιότητα αποκατάστασης του μνημείου προκύπτει από την τρέχουσα κατάσταση διατήρησης του και από τον κίνδυνο της μελλοντικής εξέλιξης των φαινομένων φθοράς.

Και οι τρεις συνθέσεις που παρασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν στο εργαστήριο θεωρούνται κατάλληλες για την αποκατάσταση του μνημείου, καθώς πληρούν τα κριτήρια συμβατότητας των υλικών. Παρ'όλα αυτά δεν είναι εφικτό στην παρούσα μελέτη να προταθεί μία εκ των τριών ως η πιο κατάλληλη. Ο λόγος είναι η έλλειψη δεδομένων που αφορούν τις ιδιότητες των αυθεντικών υλικών του μνημείου, τα οποία θέτουν τα όρια αποδοχής των υλικών αποκατάστασης. Κατά τον εργαστηριακό έλεγχο διαπιστώθηκε ότι οι συνθέσεις με μεγαλύτερο ποσοστό εδαφικού υλικού και μικρότερο ποσοστό υδραυλικής κονίας παρουσιάζουν ανωμαλίες κατά την ανάπτυξη των μηχανικών αντοχών. Φαίνεται ότι αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στην παρουσία του εδαφικού υλικού το οποίο κατακρατεί νερό και με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η εξέλιξη της ενανθράκωσης και των υδραυλικών φάσεων. Για αυτόν τον λόγο προτείνεται να μελετηθούν και άλλες συνθέσεις με βάση το εδαφικό υλικό όπου θα δοκιμαστεί η χρήση και άλλων υλικών όπως ο μετακαολίνης, που φαίνεται να δίνει καλά αποτελέσματα σε κονιάματα τέτοιου τύπου.

Τα αρχιτεκτονικά κατάλοιπα προϊστορικών χρόνων απαιτούν ιδιαίτερη μελέτη και προσοχή. Υπάρχει ευρύ πεδίο έρευνας που αφορά τα κονιάματα αποκατάστασης και την ενίσχυση αρχαίων τοιχοποιιών όπου έχουν χρησιμοποιηθεί πηλοκονιάματα. Η μελέτη της χρήσης εδαφικού υλικού στα κονιάματα αποκατάστασης και η διερεύνηση των ιδιοτήτων του μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στον ορθότερο σχεδιασμό κονιαμάτων τέτοιου τύπου.

Βιβλιογραφία

- Lemerle, Paul (1936). «Dréros». fre. Στο: *Bulletin de Correspondance Hellénique* 60.1, σσ. 485–487. URL: https://www.persee.fr/doc/bch_0007-4217_1936_num_60_1_22206.
- Marinatos, Spyridon (1936). «Le temple géométrique de Dréros.» fre. Στο: *Bulletin de Correspondance Hellénique* 60.1, σσ. 214–285.
- De Rossi, Maria Ilaria (2017). «Legge di Drero». Στο: URL: <https://edizionicafoscari.unive.it/riviste/axon/2017/2/legge-di-drero/>.
- Gaignerot-Driessen, Florence (χ.η.). «The killing of a city: a destruction by enforced abandonment». en. Στο: (). URL: https://www.academia.edu/3589703/The_killing_of_a_city_a_destruction_by_enforced_abandonment.
- Shaw, Joseph W. (2009). *Minoan Architecture: Materials and Techniques*. en. Bottega d’Erasmus.
- Pachta, Vasiliki και Ioanna Papayianni (Μαρ. 2013). «Ιστορική εξέλιξη κονιαμάτων δόμησης». Στο. Παπαγιάννη, Ιωάννα, Νικόλαος Οικονόμου και Μαρία Στεφανίδου (2014). *ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ I Ενότητα 3. Κονίες–Κονιάματα*. URL: https://opencourses.auth.gr/opencourses/Building_Materials/unit3/res/index.html.
- Torraca, G. (2009). *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. Getty Conservation Institute. URL: <https://books.google.it/books?id=a76hbwAACAAJ>.
- Καλοφώνου, Μυρτώ (Ιαν. 2018). «Χαρακτηρισμός Ιστορικών Κονιαμάτων της Τοιχοποιίας της Ανατολικής και Δυτικής όψης του Ιερού Κουβουκλίου του Παναγίου Τάφου στα Ιεροσόλυμα». Στο.
- Moropoulou, A κ.ά. (2005). «REVERSE ENGINEERING: A PROPER METHODOLOGY FOR COMPATIBLE RESTORATION MORTARS». en. Στο.
- Moropoulou, A., Asterios Bakolas και Petros Moundoulas (Ιούν. 2000). «Criteria and methodology for restoration mortars compatible to the historic materials and structures». Στο.
- Moropoulou, A., Asterios Bakolas, Petros Moundoulas και Prodromos Michailidis (Δεκ. 2000). «Evaluation of compatibility between repair mortars and building materials in historic structures by the control of the microstructure of cement-based systems». Στο: *Concrete Science & Engineering* 2, σσ. 191–195.
- Matteo, d’Acunto (χ.η.). «Il tempio di Apollo a Dreros: Il culto e la ‘cucina del sacrificio». en. Στο: (). URL: https://www.academia.edu/1580929/Il_tempio_di_Apollo_a_Dreros_Il_culto_e_la_cucina_del_sacrificio.
- Gulbe, Lelde, I. Vitina και Janina Setina (Δεκ. 2017). «The Influence of Cement on Properties of Lime Mortars». Στο: *Procedia Engineering* 172, σσ. 325–332.

- Faria, Paulina, Fernando Henriques και Vasco Rato (Ιούλ. 2008). «Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation». Στο: *Journal of Cultural Heritage - J CULT HERIT* 9, σσ. 338–346.
- Maravelaki-Kalaitzaki, Pagona κ.ά. (Αύγ. 2005). «Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete». Στο: *Cement and Concrete Research* 35, σσ. 1577–1586.
- Kalagri, A., Androniki Miltiadou-Fezans και Elizabeth Vintzileou (Οκτ. 2010). «Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the strengthening of stone masonry historic structures». Στο: *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* 43, σσ. 1135–1146.
- Haggis, Donald C (χ.η.). «The Conservation of an Archaic Greek City on Crete». en. Στο: ().
- Haggis, Donald (χ.η.). «The Conservation of an Archaic Greek City on Crete». en. Στο: *Heritage, Conservation & Archaeology* (). URL: https://www.academia.edu/5011147/The_Conservation_of_an_Archaic_Greek_City_on_Crete.
- Conservation of architectural heritage, historic structures and materials Vol. 1* (1999). *Conservation of architectural heritage, historic structures and materials Vol. 1: Introduction Vol. 2: Borrelli, Ernesto: Porosity Vol. 3: Borrelli, Ernesto: Salts Vol. 4: Borrelli, Ernesto: Binders Vol. 5: Urland, Andrea: Colour: specification and measurement*. en. ARC laboratory handbook. Rome.
- Bianco, Nadia κ.ά. (Ιούν. 2012). «Laboratory Assessment of the Performance of New Hydraulic Mortars for Restoration». Στο: *Procedia Chemistry* 8.
- Moropoulou, A., Asterios Bakolas, Petros Moundoulas και Eleni Aggelakopoulou (Μάι. 2009). «Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars». Στο.
- Van Effenterre, Henri και Pierre Demargne (1937). «Recherches à Dréros». fre. Στο: *Bulletin de Correspondance Hellénique* 61.1, σσ. 5–32.
- Bonazza, Prepared A κ.ά. (2005). «COMPATIBILITY OF REPAIR MORTARS AT THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF VILLA DOMIZIA ON GIANNUTRI ISLAND, ITALY.» en. Στο.
- Lanas, J και José I Alvarez-Galindo (Νοέ. 2003). «Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior». en. Στο: *Cement and Concrete Research* 33.11, σσ. 1867–1876. URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0008884603002102>.
- Aggelakopoulou, Eleni, Evangelia Ksinopoulou και Vassiliki Eleftheriou (Μάι. 2022). «Evaluation of mortar mix designs for the conservation of the Acropolis monuments». Στο: *Journal of Cultural Heritage* 55, σσ. 300–308.
- Torney, Clare, Alan M. Forster και Ewan M. Szadurski (Ιαν. 2014). «Specialist ‘restoration mortars’ for stone elements: a comparison of the physical properties of two stone repair materials». Στο: *Heritage Science* 2.1, σ. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/2050-7445-2-1>.