

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ
ΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΕΝΕΤΙΚΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ ΚΟΥΛΕ»



ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ ΓΡΙΖΙΩΤΗ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Μαρκόπουλος Θεόδωρος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Αλεβίζος Γεώργιος, Επίκουρος Καθηγητής

Δρ. Ευτυχία Ρεπούσκου

Χανιά, 2012

*Η πέτρα, το σίδηρο, το ασάλι δεν αντέχουν. Ο άνθρωπος αντέχει.
-Νίκος Καζαντζάκης*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία με τίτλο «Έλεγχος συμβατότητας συνθετικών κονιαμάτων με τους δομικούς λίθους του Ενετικού φρουρίου Κούλε Ηρακλείου» εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης και μου ανατέθηκε από τον Καθηγητή Δρ. Θεόδωρο Μαρκόπουλο.

Για την εργασία μου, φιλοξενήθηκα στο Εργαστήριο Πετρολογίας και Οικονομικής Τεχνολογίας του τμήματος μου, καθώς επίσης και στη Διεύθυνση Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης του Υπουργείου Πολιτισμού και στη διεύθυνση Τεχνολογίας Εμπλουτισμού και Μεταλλουργίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Αθήνας.

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω όλους όσους βοήθησαν στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή Μαρκόπουλο Θεόδωρο, επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα καθώς και για το ενδιαφέρον και την βοήθεια του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, την Δρ. Ευτυχία Ρεπούσκου για την συμμετοχή της στην εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις πολύτιμες συμβουλές και γνώσεις που μου μετέφερε στο συγκεκριμένο θέμα. Επίσης τον Επίκουρο Καθηγητή Δρ. Γεώργιο Αλεβίζο για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή αλλά και για τις πολύτιμες υποδείξεις του, όχι μόνο τώρα αλλά καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον Δρ. Γεώργιο Τριανταφύλλου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφερε σε όλα τα θέματα που αφορούν την εργασία αυτή καθώς επίσης για την καθοδήγηση του στην συγγραφή της εργασίας, και επίσης τον κ. Γεώργιο Αποστολάκη για την βοήθειά του στον εργαστηριακό τομέα.

Επίσης θα ήθελα να δώσω ένα μεγάλο ευχαριστώ στη κα Βηθλεέμ Ηλιάδου, Διευθύντρια της Διεύθυνσης Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης της οποίας η πρακτική και ηθική της βοήθεια και συμβολή καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, ήταν κάτι παραπάνω από πολύτιμη. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον

κο Γεώργιο Οικονόμου, Διευθυντή του τμήματος Ορυκτογραφίας-Πετρογραφίας του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών Αθήνας, που με εφοδίασε με πρώτες ύλες για την εκπόνηση των πειραμάτων μου, και που μου επέτρεψε να πραγματοποιήσω μέρος των πειραμάτων μου στο Ι.Γ.Μ.Ε..

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

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εξετάστηκε η δυνατότητα χρήσης ενός πρότυπου επισκευαστικού κονιάματος το οποίο προέκυψε έπειτα από την εργαστηριακή αξιολόγηση μιας σειράς διαφορετικών συνθέσεων κονιάς – αδρανούς – νερού, σε εργασίες συντήρησης – αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων και μνημείων με βασικό φυσικό δομικό λίθο τον ασβεστόλιθο. Το ενετικό φρούριο «Κούλες» στο Ηράκλειο της Κρήτης, αποτελεί ένα τέτοιο χαρακτηριστικό μνημείο. Η σύνθεση του επισκευαστικού κονιάματος που προκρίθηκε ως βέλτιστη, χρησιμοποιήθηκε σε μια πρώτη εργαστηριακή μελέτη ελέγχου της συμβατότητας με δείγματα φυσικών δομικών λίθων, από το φρούριο του «Κούλε».

Χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικές τεχνικές όπως η περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD) για την ανάλυση των πρώτων υλών (κονιών και αδρανών), οπτική μικροσκοπία για την ανάλυση στιλπνών και λεπτών τομών των κονιαμάτων και έλεγχος χαρακτηριστικών μηχανικών ιδιοτήτων αυτών όπως η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και η αντοχή σε κάμψη στις διαφορετικές συνθέσεις που παρασκευάστηκαν εργαστηριακά. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα της μελέτης, φανέρωσαν την επίδραση που είχαν στις ιδιότητες των κονιαμάτων τα διαφορετικά ποσοστά κονιάς αδρανών, όπως επίσης την επίδραση των φυσικών χαρακτηριστικών των διαφορετικών δομικών λίθων στη συμβατότητα με το επισκευαστικό κονίαμα.

ABSTRACT

In the present thesis we examined a series of different mortars to be used for the restoration of the Venetian castle “Kules” in Heraklion, Crete.

We prepared a series of mortars using a variety of binder/aggregate/water ratios as well as different binders and aggregates. The tests we used to define the optimum restoration mortar, include **analytical techniques** like XRD (X Ray Diffraction) for the characterization of raw materials (binder and aggregates) optical microscopy for the study of thin and polished sections made from hardened and cured mortar samples and **mechanical testing** of the uniaxial compressive strength and the bending strength of mortars prepared and cured in the laboratory. The above methods led us to the optimum restoration mortar, fulfilling the aesthetical and mechanical criteria.

The composition of this mortar we used with different building materials (different kind of limestone) to make a first laboratory evaluation of its compatibility with the natural limestones used in the original construction of the “Kules” castle. The laboratory results showed that the mechanical properties of the restoration mortars depend on the nature of the binder and the aggregates, their ratio and the mineralogical properties of the building limestones.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΚΟΝΙΕΣ	1
1.2. ΦΥΣΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ.....	2
1.3. ΤΣΙΜΕΝΤΟ	7
1.3.1. ΓΕΝΙΚΑ – ΙΣΤΟΡΙΚΑ	7
1.3.2. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	9
1.4. ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΤΥΠΟΥ AALBORG.....	9
1.4.1.ΓΕΝΙΚΑ.....	9
1.4.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ AALBORG.....	12
1.4.3. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ	13
1.4.4. ΥΓΕΙΙΝΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ	14
1.5. ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	14
1.5.1. ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	14
1.5.2. Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	17
1.5.3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	17
1.6. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	20
1.6.1. ΓΕΝΙΚΑ	20
1.6.2. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	20
1.6.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	21
1.6.4. ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	22
1.6.5. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	23
1.6.6. ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ	24
1.7. ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	25
1.7.1. ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ	25
1.7.2. ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	25
1.8. ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΟ ΕΝΕΤΙΚΟ ΦΡΟΥΡΙΟ «ΚΟΥΛΕΣ» ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	30
2.1 ΤΟ ΦΡΟΥΡΙΟ «ΚΟΥΛΕΣ» ΚΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ.....	30
2.2 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ.....	32
2.3 ΤΟ ΦΡΟΥΡΙΟ ΣΗΜΕΡΑ.....	34
2.4 ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΦΡΟΥΡΙΟΥ «ΚΟΥΛΕΣ»	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	40
3.1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ	40
3.1.1 ΠΟΛΩΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ	40
3.1.2 ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ –Χ (XRD).....	42
3.1.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	43

3.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ – ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	46
3.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ.....	48
3.2.2 ΔΟΚΙΜΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ.....	53
3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	55
3.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	56
3.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ	58
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ	58
4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ	61
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ	66
4.3.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ	66
4.3.2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΘΛΙΨΗ	68
4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ ΚΟΥΛΕΣ».....	76
5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ	76
5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ «ΚΟΥΛΕ».....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	88
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	92
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	94

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΟΝΙΕΣ

Με τον όρο συνδετική ύλη ή κονία εννοούμε κάθε κονιοποιημένο υλικό που με κατάλληλη προεργασία μπορεί να γίνει πλαστικό και να παρουσιάσει συγκολλητικές ιδιότητες. Μπορεί να συνδέσει μεταξύ τους υλικά όπως άμμο, χαλίκια, βότσαλα κλπ. Το υλικό αυτό στερεοποιείται βαθμιαία, ώσπου να σχηματισθεί σκληρή και συμπαγής μάζα, δηλαδή μετά από ορισμένο χρόνο πήγνυται και σκληρύνεται (Βιάζης, 2003). Οι κονίες διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους, τον τρόπο πήξης και στερεοποίησής τους. Ανάλογα με την προέλευσή τους διακρίνονται σε (Λεγάκις, 1954):

- Φυσικές κονίες. Αυτές που βρίσκονται ελεύθερες στη φύση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αμέσως, χωρίς οποιαδήποτε κατεργασία. Παραδείγματα τέτοιων κονιών είναι η ποζολάνη, η πηλοκονία κ.ά.
- Τεχνητές κονίες. Είναι απαραίτητη η επέμβαση του ανθρώπου για την παρασκευή τέτοιων κονιών, ο οποίος με κατάλληλες χημικές ή φυσικές μεθόδους τις απομονώνει από άλλα υλικά ή τις παρασκευάζει συνθετικά. Παραδείγματα τέτοιου είδους είναι ο ασβέστης, το τσιμέντο, διάφορα ασφαλτικά υλικά κ.ά.

Ανάλογα τώρα με τον τρόπο στερεοποίησής τους διακρίνονται στις (Γερογιάννης, 2003):

- Αερικές κονίες, που σκληραίνουν μόνο όταν έρθουν σε επαφή με τον αέρα και αυτό γίνεται με τη βοήθεια του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) της ατμόσφαιρας. Στις αερικές κονίες ανήκουν η γύψος, η αερική άσβεστος κ.α.
- Υδραυλικές κονίες, που σκληραίνουν με την παρουσία νερού, με ή χωρίς την παρουσία αέρα και παραμένουν σκληρές ακόμα και κάτω από το νερό. Η ιδιότητα που έχουν οι κονίες αυτές καλείται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική σύστασή τους. Στις υδραυλικές κονίες ανήκουν η υδραυλική άσβεστος, το τσιμέντο, η τραχεία γύψος κ.α.

1.2 ΦΥΣΙΚΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Η φυσική υδραυλική άσβεστος παράγεται από έψηση ασβεστολιθικών πρώτων υλών που περιέχουν σημαντικά ποσοστά αργιλοπυριτικών προσμίξεων. Κατά τη διαδικασία ενυδάτωσης το προϊόν μετατρέπεται σε σκόνη, με ή χωρίς επιπλέον λειοτρίβηση (EN 459-1:2001). Οι κονίες της φυσικής υδραυλικής ασβέστου έχουν το πλεονέκτημα σε σύγκριση με την αερική άσβεστο να ενυδατώνονται και να στερεοποιούνται και με παρουσία νερού, δημιουργώντας ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις όπως αυτές που συναντώνται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου (Τριανταφύλλου, 2011).

Χημικά, η υδραυλική άσβεστος μπορεί να ταξινομηθεί σαν κάτι ενδιάμεσο μεταξύ της αερικής ασβέστου και του φυσικού τσιμέντου (ή Ρωμαϊκού τσιμέντου όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία) και του τσιμέντου Portland. Το ποσοστό του αργιλικού ή/και του πυριτικού υλικού που ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της έψησης και δεσμεύεται από το οξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας ασβεστοπυριτικές ενώσεις, καθορίζει και το βαθμό της υδραυλικότητας της κονίας. Την ίδια στιγμή και σε αντίθεση με το τσιμέντο, περιέχει αξιόλογο ποσοστό ελεύθερης ασβέστου (ή $\text{CaO} + \text{MgO}$), το οποίο και ενυδατώνεται παρουσία νερού. Το πέτρωμα από το οποίο είναι δυνατό να προέλθει ένα τέτοιο υλικό περιέχει πολύ περισσότερο διοξείδιο του πυριτίου (και συνήθως και οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου επίσης) από ένα ασβεστόλιθο που προορίζεται για την παραγωγή άνυδρης ασβέστου, αλλά και μικρότερο ποσοστό προσμίξεων που περιέχονται στο μίγμα τροφοδοσίας των πρώτων υλών για την παραγωγή τσιμέντου (Μαρκόπουλος κ.ά., 2006).

Οι υδραυλικές ιδιότητες της φυσικής υδραυλικής ασβέστου δεν εξαρτώνται μόνο από τα συστατικά ενός ασβεστολίθου αλλά και από τις θερμοκρασίες όπτησης. Σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες η παραγόμενη άσβεστος πυροσυσσωματώνεται και δεν μπορεί να σβηστεί επιτυχώς παρά μόνον εάν προηγηθεί λειοτρίβηση. Επίσης, όπου το περιεχόμενο σε αργιλικά συστατικά είναι χαμηλό η υδραυλική πήξη είναι ελάχιστη και η άσβεστος στερεοποιείται μέσω της διεργασίας της ενανθράκωσης. Στο άλλο άκρο, όπου το ποσοστό των αργιλοπυριτικών προσμίξεων είναι πολύ υψηλό, ενδέχεται το ποσοστό της ελεύθερης ασβέστου να είναι αμελητέο και κατά συνέπεια δεν είναι εφικτή η πραγματοποίηση της σβέσης μέσω της ενυδάτωσης. Οι κονίες με

αυτά τα χαρακτηριστικά καλούνται φυσικά τσιμέντα και επιβάλλεται να προηγηθεί λειοτρίβηση πριν την προσθήκη νερού. Βάση του τύπου που προσδιορίζει τον δείκτη υδραυλικότητας (1.1) και του ενεργού αργλικού περιεχομένου των πρώτων υλών, οι διαφορετικοί τύποι ασβέστου έχουν τις ακόλουθες τιμές C.I.:

Πίνακας 1.1 Δείκτης υδραυλικότητας και διαφορετικοί τύποι ασβέστου (Holes & Wingate, 1997).

Τύπος ασβέστου	Τιμές C.I.	Ενεργό αργλικό περιεχόμενο
Αερική άσβεστος	Σχεδόν μηδενικές	Πολύ μικρό
Ασθενώς υδραυλική	0.3 έως 0.5	Περίπου 8%
Μετρίως υδραυλική	0.5 έως 0.7	Περίπου 15%
Ισχυρά υδραυλική	0.7 έως 1.1	Περίπου 25%
Φυσικά Τσιμέντα	> 1.1	Έως και 45%

$$C.I. = \frac{2.8 \times \%SiO_2 + 1.1 \times \%Al_2O_3 + 0.7 \times \%Fe_2O_3}{\%CaO + 1.4 \times \%MgO} \quad (1.1)$$

Γενικεύοντας, όσο πιο υψηλός είναι ο C.I., τόσο πιο μικρό είναι το ποσοστό της διαθέσιμης ελεύθερης ασβέστου και το αντίστροφο. Το ποσοστό του ελεύθερου CaO είναι ιδιαίτερα κρίσιμο για την υδραυλική άσβεστο υψηλού βαθμού υδραυλικότητας, αφού στις δυο άλλες μορφές μόνο ένα ποσοστό 20 – 60% του συνολικού CaO συνενώνεται χημικά, αφήνοντας έτσι αρκετές ποσότητες ελεύθερες για ενυδάτωση. Ο θρυμματισμός που λαμβάνει χώρα μέσα από τη διαστολή (αύξηση του όγκου) λόγω της θερμότητας που εκλύεται από την αντίδραση ενυδάτωσης και την μετατροπή του CaO σε Ca(OH)₂, μετατρέπει το προϊόν σε σκόνη χωρίς την ανάγκη περαιτέρω λειοτρίβησης. Η μεγαλύτερη υδραυλική τιμή, που αποδίδεται στο πυρίτιο σε σχέση με το αργίλιο και το σίδηρο εύκολα αποδεικνύεται από τον παραπάνω τύπο. Ένας ασβεστόλιθος με προσμίξεις μικρής περιεκτικότητας σε πυρίτιο, δεν αποτελεί πρώτη

ύλη σημαντικής αξίας αφότου η παραγωγή της υδραυλικής ασβέστου είναι πρωτίστως μια αντίδραση ασβεστίου και πυριτίου. Τα οξείδια του αργιλίου και του σιδήρου δρουν ως συλλίπασμα, διευκολύνοντας την επιθυμητή συνένωση ασβεστίου και πυριτίου. Άρα η αναλογία ασβέστου – πυριτίου αποτελεί τον ρυθμιστικό παράγοντα.

Οι Ευρωπαϊκές προδιαγραφές **EN 459-1:2001**, **EN 459-2:2002** και **EN 459-3:2002** προβλέπουν διαφορετικούς τύπους δομικής ασβέστου (Πίνακας 1.2) και δίνουν ορισμούς, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης, όπως επίσης και μεθόδους δοκιμών. Οι πέντε πρώτοι τύποι (CL= Calcium Lime, DL= Dolomitic lime), αναφέρονται στην ελάχιστη περιεκτικότητα για το άθροισμα οξειδίου του ασβεστίου και οξειδίου του μαγνησίου για τους τύπους ασβεστιτικής και δολομιτικής ασβέστου. Επίσης, το πρότυπο **EN 459-1:2001** ορίζει τις προδιαγραφές, τις ιδιότητες, την ονομασία και την κατάταξη των κονιών υδραυλικής ασβέστου (“HL”= Hydraulic Lime) και φυσικής υδραυλικής ασβέστου (“NHL”= Natural Hydraulic Lime).

Πίνακας 1.2 Τύποι δομικής ασβέστου κατά το πρότυπο EN 459-1:2001.

Όνομασία	Σημειογραφία
Ασβεστιτική άσβεστος 90	CL 90
Ασβεστιτική άσβεστος 80	CL 80
Ασβεστιτική άσβεστος 70	CL 70
Δολομιτική άσβεστος 85	DL 85
Δολομιτική άσβεστος 80	DL 80
Υδραυλική άσβεστος 2	HL 2
Υδραυλική άσβεστος 3,5	HL 3.5
Υδραυλική άσβεστος 5	HL 5
Φυσική υδραυλική άσβεστος 2	NHL 2
Φυσική υδραυλική άσβεστος 3,5	NHL 3.5
Φυσική υδραυλική άσβεστος 5	NHL 5

Διάκριση δε γίνεται μόνο σύμφωνα με το βαθμό της υδραυλικότητας (χαμηλής- μέσης- υψηλής), αλλά και σύμφωνα με το πώς η ιδιότητα αυτή εκφράζεται μέσω της ανάπτυξης αντοχής σε ένα πρότυπο κονιάμα. Τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται για την κατάταξη έχουν επιλεγεί ώστε να αναπτύσσουν σημαντική αντοχή με μικρότερη δυνατή διακύμανση, εντός ενός περιορισμένου χρονικού ορίου. Με τον τρόπο αυτό το πρότυπο, ταξινομεί τις υδραυλικές ασβέστους σε τρεις ποιότητες **NHL2**, **NHL3.5** και **NHL5** όπου ο αριθμός που ακολουθεί της ονομασίας αναφέρεται στην ελάχιστη τιμή αντοχής σε δοκιμή ανεμπόδιστης μονοαξονικής θλίψης του κονιάματος μετά από την πάροδο 28 ημερών (τα όρια αντοχών που ορίζει το πρότυπο είναι $2 \div 7$, $3.5 \div 10$ και $5 \div 15$ N/mm², αντίστοιχα). Ο έλεγχος ποιότητας των δομικών ασβέστων περιλαμβάνει χημικές αναλύσεις και έλεγχο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων τόσο για την άνυδρη άσβεστο, όσο και για τις διάφορες ενυδατωμένες μορφές. Οι απαιτήσεις του προτύπου ως προς τον χημισμό των κονιών υδραυλικής ασβέστου, επιτρέπουν περιεκτικότητες σε SO₃ έως 3% και ποσοστά ελευθέρως ασβέστου από 3 έως 15%

ανάλογα με τον τύπο της υδραυλικής κονιάς. Οι χημικές απαιτήσεις ανά ποιότητα ασβέστου (% κ.β.) παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.3 που ακολουθεί (Τριανταφύλλου, 2011).

Πίνακας 1.3 Χημικές απαιτήσεις ποιοτήτων ασβέστου κατά EN 459-1:2001.

Τύπος δομικής ασβέστου	CaO+MgO	MgO	CO ₂	SO ₃	Ελευθέρως άσβεστος
CL 90	≥ 90	≤ 5	≤ 4	≤ 2	-
CL 80	≥ 80	≤ 5	≤ 7	≤ 2	-
CL 70	≥ 70	≤ 5	≤ 12	≤ 2	-
DL 85	≥ 85	≥ 30	≤ 7	≤ 2	-
DL 80	≥ 80	≥ 5	≤ 7	≤ 2	-
HL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 8
HL 3.5	-	-	-	≤ 3	≥ 6
HL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3
NHL 2	-	-	-	≤ 3	≥ 15
NHL 3.5	-	-	-	≤ 3	≥ 9
NHL 5	-	-	-	≤ 3	≥ 3

Σημείωση: Οι τιμές είναι εφαρμόσιμες σε όλα τα είδη ασβέστου. Για άσβηστο ασβέστη αυτές οι τιμές ανταποκρίνονται στο τελικό προϊόν. Για τα υπόλοιπα είδη ασβέστου (ξηρή κονία υδρασβέστου, ασβεστοποπτό και υδραυλικές ασβέστους) οι τιμές βασίζονται στο προϊόν μετά την αφαίρεση της υγρασίας και του περιεχόμενου δεσμευμένου νερού.

Όσο πιο ενεργή - δραστική είναι η περιεχόμενη διαθέσιμη ποσότητα υδροξειδίου του ασβεστίου της υδραυλικής κονιάς, τόσο πιο γρήγορα και επιτυχημένα γίνεται η σκλήρυνση του υδραυλικού κονιάματος μέσω της ενανθράκωσης. Η σκλήρυνση δεν πρέπει να συγχέεται με την πήξη του κονιάματος. Η πρώτη διαρκεί πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και σχετίζεται με την ενανθράκωση της ασβέστου και τον επανασηματισμό ανθρακικού ασβεστίου, ενώ η δεύτερη σχετίζεται κυρίως με το είδος και την ποσότητα των υδραυλικών φάσεων της κονιάς καθώς επίσης και από την περιεχόμενη ποσότητα του κονιάματος σε νερό.

Επίσης, το πρότυπο αναφέρεται και σε μια ειδική κατηγορία δομικών προϊόντων υδραυλικής ασβέστου (κονίες) στα οποία έχουν προστεθεί κατάλληλα ποζολανικά ή

άλλα υδραυλικά πρόσθετα σε ποσοστό έως 20% κ.β. και στα οποία προστίθεται το γράμμα “Z” (π.χ. NHL 3.5-Z). Αν και η διάκριση μεταξύ των αμιγών προϊόντων φυσικής υδραυλικής ασβέστου και άλλων, στα οποία έχουν εισαχθεί διάφορα πρόσθετα, είναι ευπρόσδεκτη, είναι γεγονός πως οι ανοχές των πρόσθετων που δίδονται ανωτέρω είναι πολύ ευρείες και πιθανά να οδηγήσουν στη χρήση ακατάλληλων υλικών, ειδικότερα σε περιπτώσεις όπου η εφαρμογή των κονιαμάτων της φυσικής υδραυλικής ασβέστου γίνεται στα πλαίσια έργων συντήρησης και αποκατάστασης. Η προσθήκη υλικών όπως το τσιμέντο, ενισχύει υλικά με χαμηλές υδραυλικές ιδιότητες, αλλά μπορεί να είναι καταστροφική για την υγεία των κατασκευών, όπως έχει εξακριβωθεί σε εργαστηριακές μελέτες. Για το λόγο αυτό θεωρείται σημαντικό οι προμηθευτές ανάλογων προϊόντων να δηλώνουν κατά πόσο ή όχι τα υλικά αυτά περιέχουν πρόσθετα και ειδικότερα τι είδους είναι αυτά.

Ο βαθμός της υδραυλικότητας αυτών των τύπων ασβέστου, καθορίζει τις υποδιαίρεσεις για τις οποίες έγινε αναφορά παραπάνω. Έτσι με κριτήριο το βαθμό αυτό η φυσική υδραυλική άσβεστος ταξινομείται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες (Ashurst, 1997):

- Υδραυλική άσβεστος χαμηλού βαθμού υδραυλικότητας (feebly hydraulic lime), τύπος NHL 2,
- Υδραυλική άσβεστος μέσου βαθμού υδραυλικότητας (moderately hydraulic lime), τύπος NHL 3.5,
- Υδραυλική άσβεστος υψηλού βαθμού υδραυλικότητας (eminently hydraulic lime), τύπος NHL 5.

1.3 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

1.3.1 ΓΕΝΙΚΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΑ

Η πιο κοινή υδραυλική κονία είναι το τσιμέντο. Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μια μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, που έχουν δηλαδή την ιδιότητα να στερεοποιούνται και μέσα στο νερό. Κοινό χαρακτηριστικό όλων των τσιμέντων είναι ότι προέρχονται από την καύση μείγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών

πετρωμάτων. Για κάθε είδος τσιμέντου χρησιμοποιούνται τα πετρώματα αυτά με διαφορετικές αναλογίες. (Λεγάκις, 1954)

Η πρώτη παρασκευή τσιμέντου έγινε το 1756 από τον Άγγλο μηχανικό John Smeaton, ο οποίος ανακάλυψε ότι με το ψήσιμο ενός ειδικού πετρώματος (αργλικού ασβεστολίθου) μπορούσε να παρασκευαστεί υδραυλική κονία. Στην ανακάλυψη αυτή οδηγήθηκε από την ανάγκη να βρει κατάλληλη κονία, που να σκληραίνει και μέσα στο νερό, για να τη χρησιμοποιήσει στην κατασκευή ενός φάρου. Πολλοί ακόμα ασχολήθηκαν με την παρασκευή τσιμέντου καθώς και ιδρύθηκαν αρκετές βιομηχανίες παραγωγής τσιμέντου στην Αγγλία, την Αμερική και σε άλλες χώρες, οι οποίες ως πρώτη ύλη πάντοτε χρησιμοποιούσαν ορισμένο πέτρωμα με κατάλληλες αναλογίες των οξειδίων ασβεστίου, πυριτίου και αργιλίου. Τα τσιμέντα που παρασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο είναι γνωστά ως φυσικά τσιμέντα και σήμερα ελάχιστες χώρες τα παράγουν.

Ο πρώτος που σκέφτηκε να μην χρησιμοποιήσει αυτούσιο ένα πέτρωμα, αλλά να παρασκευάσει μείγμα από διάφορα πετρώματα, ώστε να πετύχει τις καλύτερες αναλογίες οξειδίων και να παράγει επομένως ανώτερης ποιότητας τσιμέντο (τεχνητό τσιμέντο) ήταν ο Άγγλος Joseph Aspdin το 1824, που του έδωσε την ονομασία τσιμέντο Portland γιατί το νέο αυτό υλικό είχε το χρώμα των εδαφών της περιοχής Portland της Αγγλίας. Το τσιμέντο αυτό γρήγορα επιβλήθηκε και προκάλεσε επανάσταση στην οικοδομική, ιδίως μετά την εφαρμογή των οπλισμένων σκυροδεμάτων. Σήμερα μεγάλες βιομηχανίες ασχολούνται με την παραγωγή τσιμέντου Portland.

Πέραν από το κοινό τσιμέντο Portland ή Τύπου I όπως ονομάζεται (CEM I), υπάρχουν και άλλοι τύποι τσιμέντου που διαφοροποιούνται ανάλογα με τη χρήση του και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους. Οι κυριότεροι είναι το τσιμέντο Πόρτλαντ ταχείας πήξεως (Τύπου III), το τσιμέντο χαμηλής παραγόμενης θερμότητας (Τύπου IV), το τσιμέντο τύπου Aalborg με αντοχή στην επίδραση των θειικών αλάτων, το λευκό τσιμέντο, τα τσιμέντα Πόρτλαντ με προσθήκη ποζολάνης (Τύπου IP και P) και το τσιμέντο Πόρτλαντ με προσθήκη σκωρίας υψικαμίνου (Τύπου IS).

1.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η χημική σύνθεση του τσιμέντου δεν είναι απόλυτα σταθερή αλλά εξαρτάται από τη χημική σύνθεση των πετρωμάτων που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες, από τον τρόπο παραγωγής και κυρίως από το χρόνο και τη θερμοκρασία σπτήσεως.

Οι επικρατέστερες ενώσεις του τσιμέντου είναι το οξείδιο του ασβεστίου (CaO), το οξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και το οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3). Ακολουθούν σε μικρότερες ποσότητες το οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), του μαγνησίου (MgO), του νατρίου (Na_2O) και του καλίου (K_2O).

Οι παραπάνω ενώσεις βρίσκονται ενωμένες στα ακόλουθα τέσσερα κύρια συστατικά που αποτελούν τις τέσσερις κύριες φάσεις του τσιμέντου (Βιαζής, 2003):

- Το πυριτικό τριασβέστιο ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_3S και βρίσκεται σε ποσοστό 54% περίπου κατά βάρος.
- Το πυριτικό διασβέστιο ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) που συμβολίζεται με C_2S και βρίσκεται σε ποσοστό 17% περίπου κατά βάρος.
- Το αργλικό τριασβέστιο ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_3A και βρίσκεται σε ποσοστό 19% περίπου κατά βάρος.
- Το αργλικό τετρασβέστιο ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) που συμβολίζεται με C_4AF με κατά βάρος ποσοστό 9% περίπου.

Η αναλογία των παραπάνω συστατικών έχει επίδραση στην ταχύτητα αναπτύξεως της αντοχής, δηλαδή στην ταχύτητα της χημικής αντιδράσεως του τσιμέντου με το νερό. Οι δύο πυριτικές ενώσεις συμβάλλουν σημαντικά στην γρήγορη ανάπτυξη της αντοχής, αντίθετα από τις αργλικές.

1.4 ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΤΥΠΟΥ AALBORG

1.4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Το τσιμέντο τύπου AALBORG ανήκει στην κατηγορία ειδικών τσιμέντων, μια κατηγορία η οποία περιλαμβάνει τσιμέντα τα οποία έχουν κάποια ειδικά χαρακτηριστικά και κατά κανόνα διαφοροποιούνται από τα κοινά τσιμέντα. Το

χαρακτηριστικό γνώρισμα του λευκού τσιμέντου AALBORG είναι ότι είναι ανθεκτικό στην επίδραση θεικών αλάτων. Τσιμέντα ανθεκτικά στα θειικά άλατα και στο θαλασσινό νερό χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από συνάλεση κλίνκερ και γύψου. Για τα τσιμέντα αυτά, το αργλικό τριασβέστιο (C_3A) πρέπει να είναι μικρότερο από 5%, ενώ η περιεκτικότητα σε SO_3 να μην υπερβαίνει τα 2.5%.

Η ανάγκη για τέτοιου είδους τσιμέντα, πηγάζει από τις απαιτήσεις ποιότητας που πρέπει να έχουν σκυροδέματα τα οποία εκτίθενται σε διαβρωτικό περιβάλλον όπως είναι αυτό των θεικών αλάτων. Η δράση των θεικών εκδηλώνεται είτε ως σταδιακή απώλεια μάζας και αντοχών του σκυροδέματος είτε λόγω της δημιουργίας ογκωδών προϊόντων από τις χημικές αντιδράσεις ενυδάτωσης. Με τη χρήση τσιμέντων που είναι ανθεκτικά στη επίδραση των θεικών αλάτων (sulfate resisting cements SR) μπορούν να αντιμετωπίσουν διάφορες περιπτώσεις θαλάσσιων και υποθαλάσσιων κατασκευών (προκουμαίες κ.λπ.), αφού τα SO_4^{2-} αποτελούν μαζί με τα Na^+ , Cl^- και Mg^{2+} τα βασικά ανεπιθύμητα για το σκυρόδεμα συστατικά του θαλασσινού νερού. Πάντως στην περίπτωση του θαλασσινού νερού ο μηχανισμός καταστροφής δεν αποδίδεται μόνο στη δημιουργία ογκωδών προϊόντων λόγω χημικών αντιδράσεων. (Τσίμας & Τσιβιλής, 2010)

Το λευκό τσιμέντο AALBORG είναι ένα ταχείας σκλήρυνσης τσιμέντο τύπου Portland με υψηλές αποδόσεις αντοχής και στις 2 πρώτες μέρες (νωρίτερη μέτρηση) αλλά και στο πρότυπο των 28 ημερών, το οποίο παράγεται από εξαιρετικά καθαρό ασβεστόλιθο, και λεπτού εδάφους άμμο.

Αυτό που κάνει το τσιμέντο AALBORG τόσο μοναδικό είναι το λευκό του χρώμα, η υψηλή του συνοχή, η εξαιρετικά χαμηλή του περιεκτικότητα σε αλκάλια και η υψηλή ανθεκτικότητά του στα θειικά άλατα.



Εικόνα 1.2 Λευκό τσιμέντο AALBORG

Το λευκό τσιμέντο AALBORG δίνει τη δυνατότητα να επιλέξεις ανάμεσα σε όλα τα χρώματα του φάσματος όταν παράγεις κονίαμα ή σκυρόδεμα με βασικό χρώμα το λευκό του τσιμέντου AALBORG.

- Λευκό κονίαμα ή σκυρόδεμα δημιουργείται με την ανάμειξη λευκού τσιμέντου AALBORG με καθαρή ψιλή άμμο και λευκά αδρανή όπως λευκό μάρμαρο, λευκό γρανίτη ή θρυμματισμένο calcined flint.
- Ανοιχτό γκρι κονίαμα ή σκυρόδεμα δημιουργείται με την ανάμειξη συνηθισμένων αδρανών ή με γκρι τσιμέντο Portland
- Χρωματιστά κονιάματα ή σκυροδέματα προκύπτουν με την ανάμειξη χρωστικών ουσιών.

Το λευκό τσιμέντο AALBORG χρησιμοποιείται συχνά σε λευκά ή έγχρωμα ξηρά μείγματα για επιφάνειες. Αυτό δίνει μια ζωντανή όψη η οποία προστατεύει την τοιχοποιία και ικανοποιεί την αισθητική του παρατηρητή, χωρίς να αποκλίνει και πολύ από το ήδη υπάρχον υλικό της επιφάνειας.

Επίσης το τσιμέντο AALBORG είναι ιδανικό για χρήση σε σκυρόδεμα, panel, μπαλκόνια, πλάκες, γλυπτά και άλλα. (www.aalborgwhite.com)

1.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ AALBORG

Το τσιμέντο AALBORG είναι ένα τσιμέντο τύπου CEM I 52,5 R. Αυτό σημαίνει ότι το ανώτατο όριο αντοχής του στις 28 ημέρες υπολογίζεται στα 52,5 MPa. Περιέχει 5% αργλικό τριασβέστιο (C₃A) και η περιεκτικότητά του σε αλκάλια είναι από 0.2 έως 0.3 %. Η διαστολή του κυμαίνεται από 0 έως 2 mm και οι μετρήσεις του σε απώλεια πύρωσης (L.O.I.) έχουν φέρει αποτελέσματα από 0 έως 1 %. Ακόμα, η περιεκτικότητά του σε SO₃ κυμαίνεται από 1.8 μέχρι 2.3 %, ενώ σε χλωριόντα είναι 0-0.02 %. Η αντανάκλαση του τσιμέντου AALBORG (Y-reflection) είναι περίπου 85.0-89.5%. Η ειδική πυκνότητά του είναι 3120 μέχρι 3180 kg/m³ και η φαινόμενη πυκνότητά του 1100 kg/m³. Το initial setting του τσιμέντου AALBORG προσεγγίζεται στα 85 με 130 min.

Ως initial setting χαρακτηρίζεται ένα μέγεθος χρόνου το οποίο μας προσδιορίζει, σε πόση ώρα από τη στιγμή τοποθέτησης του τσιμέντου σε καλούπι, το τσιμέντο αρχίζει να πήζει.

Η αντοχή του τσιμέντου αυξάνει με την πάροδο του χρόνου. Οι αντοχές που έχει παρουσιάσει το τσιμέντο AALBORG σε διαφορετικές χρονικές στιγμές είναι οι εξής:

- Ημέρα 1 ----- 18 – 24 MPa
- Ημέρα 2 ----- 34 – 42 MPa
- Ημέρα 7 ----- 55 – 67 MPa
- Ημέρα 28 ----- 70 – 79 MPa

Στον παρακάτω πίνακα παραθέτονται τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενός εμπορικού προϊόντος λευκού τσιμέντου τύπου AALBORG της εταιρίας AALBORG WHITE Ltd και οι προδιαγραφές που καθορίζονται για αναλόγου τύπου τσιμεντοκονίες, σύμφωνα με το πρότυπο EN 197-1.

Ιδιότητα	Τσιμέντο AALBORG	Απαιτήσεις EN 197-1 για τσιμέντα τύπου CEM I 52.5R
ΑΝΤΟΧΗ, 2 ημέρες	33 – 42 MPa	≥ 30.0 MPa
ΑΝΤΟΧΗ, 28 ημέρες	70 – 79 MPa	≥ 52.5 MPa
ΠΗΞΗ	80 -120 min	≥ 45 min
ΔΙΑΣΤΟΛΗ	0 – 2 mm	≤ 10 mm
ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΥΡΩΣΗΣ	0 – 1.0 %	≤ 5.0 %
ΑΔΙΑΛΥΤΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ	0 – 0.3 %	≤ 5.0 %
SO ₃	1.8 – 2.3 %	≤ 4.0 %
ΧΛΩΡΙΟΝΤΑ	0 – 0.02 %	≤ 0.10 %
C ₃ A	5.0 %	≤ 5.0 %

Πίνακας 1.4. Σύγκριση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τσιμέντου τύπου Aalborg με της απαιτήσεις του προτύπου EN 197-1

1.4.3 ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Η Aalborg Portal (White Cement) εφαρμόζει σύστημα διαχείρισης ποιότητας το οποίο είναι πλήρως εναρμονισμένο με τις απαιτήσεις του προτύπου ποιότητας EN ISO 9001:2000 του φορέα πιστοποίησης Bureau Veritas Certification.

Το λευκό τσιμέντο AALBORG είναι επίσης πιστοποιημένο σύμφωνα με τα ακόλουθα πρότυπα πιστοποίησης :

a) Ευρωπαϊκό πρότυπο EN 197-1:2000 / EN 197-2 : 2000, από τον φορέα πιστοποίησης Bureau Veritas Certification.

Αριθμός πιστοποίησης : 1035–CPD-700541

b) Αμερικάνικο πρότυπο ASTM C 150-02 για τον τύπο I, II, III και V του τσιμέντου καθώς και για τσιμέντα με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια. Ο τύπος τσιμέντου V πρέπει να περιέχει λιγότερο από 5% tricalciuminate (C₃A).

c) Τέλος το σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης AALBORG είναι πιστοποιημένο με το πρότυπο EN/ISO 14001:2004.

1.4.4 ΥΓΕΙΝΗ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑ

Η επαφή με το τσιμέντο, αναμειγμένο με νερό ή σωματικά υγρά (πχ ιδρώτα, δάκρυα κλπ) ή σκυρόδεμα ή κονίαμα, πρέπει να αποφεύγεται, καθώς μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό, δερματίτιδα ή εγκαύματα. Αν συμβεί κάτι τέτοιο, η πληγείσα περιοχή θα πρέπει να ξεπλυθεί αμέσως με άφθονο καθαρό νερό. Επίσης, σε περίπτωση επαφής με τα μάτια, πρέπει να ξεπλένεται αμέσως με καθαρό νερό και να ζητηθεί ιατρική συμβουλή.

1.5 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Με τον όρο αδρανή υλικά γενικά χαρακτηρίζουμε όλα τα προσμείγματα αυτά (συνήθως λίθινα και κοκκώδη που προέρχονται από φυσικό ή τεχνητό τεμαχισμό των φυσικών πετρωμάτων) τα οποία αν χρησιμοποιηθούν κατάλληλα με κάποιο συνδετικό μέσο (κονία), συγκολλούνται μεταξύ τους και μας δίνουν τα κονιάματα. Τα υλικά αυτά είναι γενικώς ανόργανα και ονομάζονται αδρανή διότι τα περισσότερα δεν αντιδρούν χημικά με τις διάφορες συνδετικές ύλες και το νερό.

Τα αδρανή υλικά συμβάλουν μηχανικά στην αντοχή του κονιάματος. Καταλαμβάνουν ένα μεγάλο τμήμα του συνολικού όγκου του κονιάματος και επομένως τα χαρακτηριστικά τους επηρεάζουν την απόδοση και τις ιδιότητές του.

Ως αδρανές μπορεί να χρησιμοποιηθεί θεωρητικά οποιοδήποτε υλικό αρκεί να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις όπως επαρκή αντοχή, επαρκή πρόσφυση, και χημική ανεκτικότητα με την κονία. Τα συνήθη αδρανή υλικά είναι ασβεστολιθικά και πυριτικά.

1.5.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα αδρανή υλικά κατατάσσονται ανάλογα με την προέλευση τους, το μέγεθος των κόκκων τους, το ειδικό τους βάρος και τέλος ανάλογα με την χρήση τους.
(<http://portal.tee.gr>)

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Ανάλογα με την προέλευση τους τα αδρανή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, στα φυσικά αδρανή, τα τεχνητά αδρανή και τα ανακυκλωμένα.

- **Φυσικής προέλευσης**, είναι τα αδρανή τα οποία έχουν ληφθεί από το φυσικό περιβάλλον και δεν έχουν υποστεί τίποτε περισσότερο από μηχανική επεξεργασία θραύσης, πλυσίματος και διαλογής (πχ θραυστά πετρώματα, αλλουβιακοί σχηματισμοί, ποταμίσιες λιμναίες ή θαλάσσιες αποθέσεις, αποθέσεις άμμων ή χαλίκων, λάβα, ηφαιστειακοί τόφφοι, λατομικά προϊόντα κλπ).
- **Τεχνητά ή βιομηχανικά** είναι τα αδρανή που έχουν προκύψει ως προϊόντα ή παραπροϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας από χημική ή θερμική επεξεργασία πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης (πχ τέφρες, σκωρίες, υπολείμματα καύσεων, άργιλοι, βερμικουλίτης, περλίτης, υλικά στίλβωσης, κλπ)
- **Ανακυκλωμένα**, είναι τα αδρανή που προκύπτουν από την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση Δομικών υλικών από υφιστάμενες κατασκευές (υλικά κατεδαφίσεως σκυροδέματος, τοιχοποιίας, ασφαλτικών έργων κλπ)

ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, τα αδρανή υλικά χωρίζονται στις εξής κατηγορίες :

- **Λεπτόκοκκα** (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών Υλικών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου ≤ 4 mm (διάφορα είδη άμμων)
- **Χονδρόκοκκα** (σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς Αδρανών) είναι τα αδρανή με μέγιστο μέγεθος κόκκου > 4 mm, και ελάχιστο > 2 mm (ογκόλιθοι, κροκάλες, έρμα, χαλίκι, γαρμπίλι, ρυζάκι)
- **Παιπάλη ή Filler** είναι το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο 0,063 mm. Προστιθέμενο σε δομικά υλικά προσδίδει συγκεκριμένες ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, ως παιπάλη χαρακτηρίζεται το λεπτότερο τμήμα του υλικού που

διέρχεται από το κόσκινο 0.075mm (Αμερικάνικου προτύπου ASTM). Πρόκειται συνήθως για αργλικές ουσίες ή είναι σκόνη από το ίδιο το μητρικό πέτρωμα. Όταν αυτή βρίσκεται σε μικρή ποσότητα (1 έως 3% του βάρους) δεν βλάπτει τα παρασκευαζόμενα κονιάματα αλλά αντιθέτως είναι χρήσιμη διότι γεμίζει τα πολύ μικρά κενά των αδρανών. Σε μεγαλύτερη όμως ποσότητα έχει βλαβερά αποτελέσματα. Ένας εύκολος τρόπος να απομακρύνουμε την παιπάλη είναι να πλύνουμε τα αδρανή με νερό.

ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΑΔΡΑΝΩΝ

Με βάση το ειδικό τους βάρος τα αδρανή υλικά, διακρίνονται σε κανονικού ειδικού βάρους, ελαφροβαρή και βαρέα.

- **Κανονικού ειδικού βάρους**, είναι τα αδρανή υλικά με ειδικό βάρος από ≥ 2 έως < 3 Mg/m³. Αυτά, είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα (ασφαλτικά, οδοστρωσίας, παραγωγή σκυροδέματος, κονιαμάτων, κτλ).
- **Ελαφροβαρή**, είναι τα αδρανή υλικά με ειδικό βάρος < 2 Mg/m³. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ελαφροβαρή θερμομονωτικά σκυροδέματα ή κονιάματα
- **Βαρέα**, είναι τα αδρανή υλικά με ειδικό βάρος ≥ 3 Mg/m³. Αυτά τα αδρανή, έχουν ειδικές χρήσεις (πχ κατασκευές από σκυρόδεμα για προστασία από την ακτινοβολία κλπ)

ΧΡΗΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ

Με βάση τις χρήσεις τους τα αδρανή μπορούν να καταταχθούν σε επτά βασικές κατηγορίες:

1. Αδρανή για παρασκευή τσιμεντοσκυροδέματος (aggregates for concrete),
2. Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (aggregates for bituminous mixtures)
3. Αδρανή Κονιαμάτων (aggregates for mortar)
4. Αδρανή για Ογκόλιθους για υδραυλικά και λιμενικά έργα (armourstones)
5. Αδρανή για έρμα σιδηροδρομικής γραμμής (aggregates for railway track ballast)

6. Αδρανή υλικά για βάσεις και υποβάσεις σταθεροποιημένες ή όχι για χρήση σε οδοστρώματα και έργα πολιτικού μηχανικού (aggregates for unbound and hydraulically bound materials)
7. Αδρανή για παρασκευή ασφαλτομιγμάτων (aggregates for bituminous mixtures)

1.5.2 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Η άμμος είναι το συνηθέστερο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που 1) να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, 2) να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των και 3) να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την εκάστοτε συνδετική ύλη. (<http://portal.tee.gr>)

Η προσθήκη των αδρανών στα κονιάματα συνιστάται για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους. Τα κονιάματα που παράγονται χωρίς προσθήκη αδρανών, συστέλλονται κατά την πήξη και την σκλήρυνση, με αποτέλεσμα την δημιουργία επιφανειακών ρωγματώσεων. Από οικονομική άποψη τα αδρανή υλικά είναι πιο φθηνή από τις κονίες.

Επιπλέον, τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στα κονιάματα. Ακόμα, δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που θα επηρεάζουν την σταθερότητα, αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων. Τέλος, ένας καθοριστικός παράγοντας είναι η υγρασία τους. Η υγρασία δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3%. Θα πρέπει πάντα να υπολογίζεται πριν τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος.

1.5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σημαντικό ρόλο στα αδρανή υλικά παίζουν συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες και χαρακτηρίζουν την ποιότητά τους και επηρεάζουν και την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η **αντοχή** τους, η οποία σχετίζεται με την αντοχή του μητρικού πετρώματος, η **καθαρότητά** τους, η ύπαρξη δηλαδή ή όχι πρόσμεικτων ουσιών, η **κοκκομετρική διαβάθμιση** των κόκκων του αδρανούς, το **σχήμα** των

κόκκων του, η **χημική συμπεριφορά** τους με άλλα συστατικά του κονιάματος (πχ θαλασσινό νερό, καυσαέριο) κ.α.

ΑΝΤΟΧΗ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η αντοχή των αδρανών υλικών εξαρτάται από την αντοχή του μητρικού πετρώματος. Ανάλογα με την χρήση των υπό κατασκευή κονιαμάτων, ελέγχεται και η κατάλληλη μηχανική αντοχή (σε θλίψη, σε τριβές, σε κρούση κλπ)

ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ

Όσον αφορά την καθαρότητα των αδρανών, αξίζει να τονιστεί ότι αφορά το ποσοστό παρουσίας επιβλαβών συστατικών. Τέτοια συστατικά μπορούν να εμποδίσουν την ομαλή εξέλιξη της στερεοποίησης του κονιάματος, να προκαλέσουν τοπικές αποκολλήσεις – αποφλοιώσεις ή άλλων ειδών ρηγματώσεις, ακόμα και να εμποδίσουν την πρόσφυση με την κονία. Τέτοιες ουσίες μπορούν να είναι (ανάλογα με την ποσότητα και την κατανομή τους) η παιπάλη, υλικά οργανικής προέλευσης, θειούχες ενώσεις κ.α.

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ

Η κοκκομετρική διαβάθμιση εκφράζει το διαχωρισμό και την κατάταξη των κόκκων του αδρανούς σε ομάδες από άποψη όχι του μεγέθους των κόκκων, αλλά του ποσοστού της κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων που περιέχεται στη συνολική ποσότητα των αδρανών. Η διαβάθμιση της άμμου είναι κρίσιμη για τις ρεολογικές ιδιότητες των νωπών κονιαμάτων και τη δομή του σκληρυμένου προϊόντος.








Η κοκκομετρική διαβάθμιση απεικονίζεται σε διάγραμμα με τις διαμέτρους στον οριζόντιο άξονα και τα αθροιστικά ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο. Οι διάμετροι σημειώνονται στον οριζόντιο άξονα, είτε σε απλή είτε σε λογαριθμική κλίμακα.

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης του υλικού και η χάραξη της καμπύλης δεν παρουσιάζουν καμία δυσκολία. Το δύσκολο είναι η εκτίμηση και αξιολόγηση της καμπύλης αυτής και η εκλογή της καταλληλότερης, για κάθε περίπτωση, από άποψη ιδιοτήτων του κονιάματος.

Η κοκκομετρία της άμμου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό της αντοχής ενός μίγματος. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως, η αντοχή του κονιάματος βελτιώνεται με την ύπαρξη κάποιων κενών, γεγονός που σημαίνει ότι ένα τελείως συμπαγές κονίαμα δεν είναι πάντα κατάλληλο. Γενικά πάντως, άμμος με καλή κοκκομετρική διαβάθμιση αποτελεί σημαντικό παράγοντα για ένα κονίαμα με καλές ιδιότητες και υψηλές αντοχές.

ΣΧΗΜΑ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ

Το σχήμα των σωματιδίων και η υφή της επιφάνειάς τους, μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί όταν πρόκειται για χονδρόκοκκα αδρανή, ενώ αντίθετα είναι δύσκολο όταν πρόκειται για λεπτόκοκκα σωματίδια. Με τη βοήθεια μικροσκοπικής μελέτης, μπορούμε πολύ εύκολα να παρατηρήσουμε το σχήμα και την υφή της επιφάνειας των κόκκων, παρ' όλα αυτά δεν είναι και εξίσου εύκολη η περιγραφή τους. Οι κόκκοι των αδρανών που δεν έχουν κανονική γεωμετρική υφή κατατάσσονται στις ακόλουθες γεωμετρικές κατηγορίες : στρογγυλοί, κυβοειδείς, γωνιώδεις, πλακοειδείς και επιμήκεις. Το σχήμα των μη σφαιρικών σωματιδίων που δεν ανήκουν σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες, προσδιορίζεται σε σχέση με το μήκος και το πλάτος του.

Term	Shape
Cylindrical	
Discoidal	
Spherical	
Tabular	
Ellipsoidal	
Equant	
Irregular	

Εικόνα 1.3 Ονοματολογία βάση σχήματος των αδρανών

Το σχήμα και η μορφή των κόκκων , άσχετα από την κοκκομετρική διαβάθμιση, επηρεάζει ιδιότητες του κονιάματος όπως την εργασιμότητα, την αντοχή, την κατακράτηση νερού κ.α.

1.6 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η λέξη κονίαμα προέρχεται από το Λατινικό *mortarium* το οποίο χρησιμοποιούσαν οι Ρωμαίοι χτίστες για το μίγμα της ασβέστου με την άμμο. Σήμερα ο όρος κονίαμα αναφέρεται για μίγμα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, ενώ μετά την πήξη και σκλήρυνση της συνδετικής ύλης αποκτούν, μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες των κονιαμάτων εξαρτώνται από το είδος και τις αναλογίες των πρώτων υλών, από τον τρόπο ανάμιξης και μορφοποίησης καθώς και από τις συνθήκες που επικρατούν και εφαρμόζονται κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης. Επίσης, οι διάφορες αναλογίες των πρώτων υλών, εξαρτώνται από το είδος της κονιάς και από τον σκοπό εφαρμογής του κονιάματος.

Καταλαβαίνουμε λοιπόν ότι το κονίαμα πρόκειται για σύνθετο υλικό που για να το μελετήσουμε στο σύνολό του πρέπει αρχικά να αναλύσουμε τα επιμέρους συστατικά του.

1.6.2 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως, κονιάματα είναι μίγματα μίας ή περισσότερων συνδετικών υλών (κονιών), νερού, λεπτόκοκκων αδρανών (<4mm) και ενδεχομένως ειδικών προσθέτων, τα οποία έχουν αξιόλογη ρευστότητα και πλαστικότητα όταν είναι νωπά, ενώ μετά τη στερεοποίηση τους, αποκτούν μηχανική αντοχή και άλλες φυσικές και χημικές ιδιότητες.

Τα κονιάματα αποκατάστασης, είναι μία κατηγορία κονιαμάτων που αναφέρονται σε έργα αποκατάστασης μνημείων και ιστορικών κτιρίων. Η επιλογή τόσο των πρώτων υλών όσο και της κάθε ποσότητας που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τέτοιων κονιαμάτων είναι σε γενικές γραμμές συγκεκριμένη, με μερικές διαφοροποιήσεις ανάλογα το υλικό που θέλουμε να αποκαταστήσουμε, και αυτό διότι λανθασμένες επιλογές υλικών σε τέτοιες επεμβάσεις μπορούν να αποβούν μοιραίες και καταστροφικές για το ίδιο το μνημείο.

1.6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Μπορούμε να κατατάξουμε τα κονιάματα με βάση τη συνδετική κονία που έχει χρησιμοποιηθεί, σε δύο μεγάλες κατηγορίες :

- Αερικά κονιάματα, στα οποία η συνδετική κονία είναι αερική. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν :
 1. Κονιάματα γύψου με αδρανή υλικά
 2. Κονιάματα ασβέστη. Μίγμα ασβέστη με αδρανή υλικά και κατά περιπτώσεις με οργανικά πρόσθετα.
- Υδραυλικά κονιάματα στα οποία η συνδετική τους ύλη είναι υδραυλική (βλ.κεφ2.2) και τα οποία όταν σκληραίνουν αναπτύσσουν εξαιρετική ανθεκτικότητα στην διαβρωτική δράση του νερού (ακόμα και του θαλάσσιου). Τα κονιάματα που αναπτύσσουν τέτοιες ιδιότητες είναι :
 1. Ασβέστης-Ποζολάνα
 2. Υδραυλική Άσβεστος
 3. Τσιμέντου

Επίσης, ανάλογα με το είδος της κονιάς ή των αδρανών τα κατατάσσουμε σε:

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

Ανάλογα με την χρήση τους διακρίνονται σε:

- **Κονιάματα δόμησης ή κονιάματα τοιχοποιίας**
- **Κονιάματα επιχρισμάτων**
- **Ισοπεδωτικά ή κονιάματα εξίσωσης δαπέδων**
- **Επισκευαστικά κονιάματα και συγκολλητικά** όπου υπάγονται οι διάφορες κόλλες.

Διάφορες επιμέρους κατηγορίες όπως θερμομονωτικά, ηχομονωτικά, πυράντοχα κλπ, είναι υποπεριπτώσεις των παραπάνω γενικών διαιρέσεων.

Ακόμα, με βάση τη μηχανική τους αντοχή διακρίνονται σε 3 ομάδες :

- Ομάδα I, στην οποία ανήκουν τα κονιάματα χαμηλής αντοχής (πηλοκονιάματα, ασβεστοκονιάματα)
- Ομάδα II, στην οποία ανήκουν τα κονιάματα μέτριας αντοχής (ασβεστοκονιάματα, κονιάματα ασβεστοποζολανικά)
- Ομάδα III στην οποία ανήκουν κονιάματα υψηλής αντοχής (τσιμεντοκονιάματα)

Τέλος υπάρχουν διάφορα ακόμα κονιάματα τα οποία παρασκευάζονται με ειδικές μεθόδους και με υλικά ορισμένων ιδιοτήτων ώστε να μπορεί να αυξηθεί ο βαθμός εκδήλωσης μιας συγκεκριμένης κάθε φορά ιδιότητας. Τα κονιάματα αυτά καλούνται ειδικά κονιάματα. Τέτοια είναι τα

- πυρίμαχα κονιάματα
- στεγανά κονιάματα
- θερμομονωτικά και ηχομονωτικά
- ελαφρά (μικρό ειδικό βάρος) ή βαριά (μεγάλο ειδικό βάρος)
- κονιάματα που αντέχουν σε ισχυρές τριβές κ.α.

1.6.4 ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Για να θεωρηθεί ένα κονίαμα κατάλληλο πρέπει να έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά (Γερογιάννης, 2003):

1. **Να είναι πλαστικό και εργάσιμο.** Εργάσιμο ονομάζεται το σύνολο των ρεολογικών ιδιοτήτων, που έχει το νωπό κονίαμα. Έτσι δε διασπάται η μάζα του κατά τους διάφορους χειρισμούς. Η εργασιμότητα επηρεάζεται κυρίως από την ρευστότητα, την πλαστικότητα, καθώς και από την ικανότητα του νωπού κονιάματος να διατηρεί την ομοιογένειά του όταν μεταφέρεται, κοπανίζεται, πέφτει από ψηλά.
2. **Να έχει ικανή εσωτερική τριβή,** έτσι ώστε να μην εκφεύγει των αρμών της τοιχοποιίας και όταν πρόκειται για επιχρίσματα να συγκρατείται στις κατακόρυφες επιφάνειες.
3. **Να έχει σταθερότητα,** να μην υπόκειται δηλαδή σε μεγάλες συστολές και διαστολές, έτσι ώστε να μην προκαλούνται ρωγμές.
4. **Να παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή** (θλίψη, εφελκυσμός), ικανή να φέρει το ίδιο βάρος της κατασκευής, αλλά και των φορτίων αυτής.
5. **Να μην προσβάλλεται από το νερό και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.**

1.6.5 ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Τα κονιάματα τσιμέντου έκαναν την εμφάνιση τους μετά τα μισά του 18^{ου} αιώνα. Η σκλήρυνση των κονιαμάτων αυτών ακολουθεί τις αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά την σκλήρυνση του τσιμέντου. Εναλλακτικά έχουν χρησιμοποιηθεί και μίξεις τσιμέντου-ασβέστη και τσιμέντου-ποζολάνη. Την ποζολάνη την χρησιμοποιούμε συνήθως με υδράσβεστο για την παρασκευή υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων. Το ενεργό διοξείδιο του πυριτίου ενώνεται με την υδράσβεστο Ca(OH)_2 και αποκτά υδραυλικές ιδιότητες. Δηλαδή οι ποζολάνες έχουν την ικανότητα να πήζουν και να σκληραίνουν στον αέρα ή μέσα στο νερό όταν αναμειχθούν με υδράσβεστο ή υδραυλικές κονίες. Επίσης με την χρήση ασβέστη βελτιώνουμε μια σειρά από ιδιότητες όπως : πρόσφυση, στεγανότητα, πλαστικότητα, εργασιμότητα, μείωση πιθανότητας εμφάνισης εξανθημάτων κλπ.

1.6.6 ΝΕΡΟ ΣΤΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

Το νερό με την κονία αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος. Συμπληρώνει δηλαδή μαζί με την κονία και τα αδρανή, το τρίτο συστατικό των κονιαμάτων. Παίρνει μέρος σε μια σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν (με τη δημιουργία ένυδρων κρυστάλλων) στην πήξη και σκλήρυνση του μείγματος. Για τον λόγο αυτό, το νερό πρέπει να είναι τόσο καθαρό ώστε να περιέχει όσο το δυνατόν λιγότερα συστατικά που μπορεί να επηρεάσουν τις χημικές αντιδράσεις. (Γερογιάννης, 2003)

Ο ρόλος του νερού στα κονιάματα είναι διπλός. Ένα μέρος του, χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος και καταναλώνεται στις χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται κατά την πήξη της κονιάς (άσβεστος, τσιμέντο κλπ.). Το υπόλοιπο μέρος χρησιμεύει στη διαβροχή των κόκκων των αδρανών και στην αύξηση της πλαστικότητας και εργασιμότητα του κονιάματος. Αυτό το μέρος επιδρά στις ιδιότητες του κονιάματος. Μικρή ποσότητα, δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δυσκολοκατέργαστο, αλλά αυξημένης μηχανικής αντοχής και στεγανότητας, ενώ μεγάλη ποσότητα το κάνει πλαστικό ως υδαρές και ευκολοκατέργαστο, αλλά συγχρόνως ελαττώνει την αντοχή του και τη στεγανότητά του. Επομένως, το νερό σε κατάλληλη ποσότητα είναι απαραίτητο για να δώσει στο κονίαμα την απαιτούμενη πλαστικότητα και εργασιμότητα.

Επομένως, η συνολική ποσότητα νερού, παίζει σημαντικό ρόλο και στη μηχανική αντοχή και στις υπόλοιπες ιδιότητες του κονιάματος. Όταν γενικά δεν είναι επαρκής, παραμένει μια ποσότητα κονιάς ανενεργή με αποτέλεσμα να έχουμε μερική μόνο σύνδεση των αδρανών. Ενώ όταν η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από την συνολικά απαιτούμενη, δεν απορροφάται από την κονία και τα αδρανή, αλλά μένει ελεύθερη μέσα στη μάζα του υλικού. Το αρνητικό σε αυτή την περίπτωση είναι ότι μετά την εξάτμιση του νερού δημιουργούνται πόροι και κοιλότητες, μειώνοντας έτσι τη συνοχή και τις αντοχές του κονιάματος.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ποσότητας νερού σε ένα κονίαμα, πρέπει να λάβουμε υπόψη και τους δύο ρόλους του νερού στο κονίαμα. Σήμερα, υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους υπολογίζουμε αυτή την ποσότητα και ο πλέον

διαδεδομένος είναι με τη δοκιμή εξάπλωσης. Αυτή είναι και η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική και η οποία αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

1.7 ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

1.7.1 ΦΥΣΙΚΟΙ ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ

Φυσικοί δομικοί λίθοι είναι τα δομικά στοιχεία που προέρχονται από φυσικά πετρώματα. Για να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τα πετρώματα αυτά είναι απαραίτητη η σε μικρό ή μεγάλο βαθμό η κατεργασία τους (Wendehorst, 1975). Οι δομικοί λίθοι, είναι μια κατηγορία των δομικών υλικών, όπως τα αδρανή, το τσιμέντο κ.α. Τα δομικά υλικά αποτελούν τις πιο σημαντικές πρώτες ύλες, από άποψη ποσότητας, οι οποίες εξορύσσονται με εξαίρεση τις ενεργειακές πρώτες ύλες. Περισσότερο από το 80% των μεταλλευτικών επιχειρήσεων στην Ελλάδα, ασχολείται με την εξόρυξη των υλικών αυτών.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ

- Μηχανική αντοχή που καθορίζεται από την ορυκτολογία και την ύπαρξη ή έλλειψη ασυνεχειών,
- Αντοχή σε χημική αποσάθρωση,
- Εμφάνιση των δομικών υλικών που καθορίζεται από το χρώμα και την υφή,
- Ευκολία εκλατόμευσης,
- Διαθεσιμότητα των δομικών υλικών και ύπαρξη αγοράς,
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

1.7.2 ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Γενικά διακρίνονται τρεις κατηγορίες δομικών υλικών των μνημείων, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την επεξεργασία των μητρικών υλών από τις οποίες προήλθαν και που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους ή κατά τις επεμβάσεις συντήρησης (Σκουλικίδης, 2000):

- Τεχνητά Υλικά I

Είναι δομικά υλικά τα οποία για την παρασκευή τους, οι αντίστοιχες πρώτες ύλες έχουν υποστεί από τον άνθρωπο σημαντικές αλλοιώσεις της χημικής και κρυσταλλικής σύστασης τους και αλλοιώσεις της δομής των μορίων τους. Τέτοια υλικά είναι τα κράματα, τα μέταλλα, ο ασβέστης κ.α.

- Τεχνητά Υλικά II

Ισχύει ότι και για τα Τεχνητά Υλικά I, με τη μόνη διαφορά ότι τα υλικά αυτά δεν προέρχονται από ένα συγκεκριμένο πέτρωμα, μετάλλευμα ή ορυκτό, αλλά αποτελούνται από πολλές πρώτες ύλες. Τέτοια υλικά είναι γενικά τα τσιμέντα, τα κονιάματα, το σκυρόδεμα, τα τούβλα κ.α.

- Φυσικά Υλικά

Πρόκειται για δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται χωρίς να αλλοιωθεί η χημική και κρυσταλλική τους σύσταση ή η δομή των μορίων της αντίστοιχης πρώτης ύλης, απ' όπου και προήλθαν. Τα υλικά αυτά αποτελούν τα κύρια δομικά υλικά των μνημείων.

1.8 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΝΗΜΕΙΩΝ

Η τελειότητα της αρχαίας οικοδομικής τέχνης, εξασφάλισε την υψηλή αντοχή των μνημείων στις φυσικές δράσεις για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε πολλές περιπτώσεις ωστόσο, η ανθρώπινη δραστηριότητα διατάραξε την ισορροπία της αρχαίας οικοδομής, καθιστώντας τα μνημεία περισσότερο ευάλωτα στη φθορά από φυσικά αίτια. Είναι επίσης χαρακτηριστικό ότι η πλειονότητα των φθορών που πρέπει να αντιμετωπιστούν στις μέρες μας, δεν οφείλονται μόνο στη δράση φυσικών παραγόντων αλλά και σε ανθρώπινες επεμβάσεις.

Το ιστορικό του μνημείου εμπλέκεται στη μελέτη συντήρησης, μόνο για να γίνει γνωστή η ηλικία του μνημείου, προκειμένου μαζί με όλους τους άλλους παράγοντες (κλιματολογικές συνθήκες, ρύπανση και λοιποί παράγοντες φθοράς) να αποκαλυφθούν η ταχύτητα και η ένταση της φθοράς. Επίσης χρειάζεται για να καθοριστεί το είδος (αν υπάρχει στα αρχεία) και η ηλικία των νέων υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την αποκατάσταση ή την αναστήλωση του. Με βάση αντίστοιχες μετρήσεις, επιλέγονται τα κονιάματα, τα τσιμέντα, και γενικά οι πρώτες ύλες που θα χρησιμοποιηθούν στη συντήρηση του μνημείου. Αυτά δεν πρέπει να

προσβάλλουν τα μέταλλα ή πετρώματα του μνημείου, πράγμα που θα πρέπει να αποδειχθεί με εργαστηριακές μετρήσεις. (Σκουλικίδης, 2000)

Το ενδιαφέρον για την επιλογή φυσικών υδραυλικών κονιών για την παρασκευή και τη χρήση κονιαμάτων σε εφαρμογές, όπου το κοινό τσιμέντο Portland θα είχε ειδάλλως χρησιμοποιηθεί, έχει αυξηθεί έντονα τα τελευταία χρόνια. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στα φυσικά χαρακτηριστικά των κονιών αυτών που καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες έψησης κατά τη διαδικασία παραγωγής τους (Allen et al., 2003). Η στροφή αυτή που έγινε με γνώμονα τη χρήση εναλλακτικών τέτοιων κονιών κυρίως σε εργασίες που είχαν στόχο τη συντήρηση και αποκατάσταση μνημείων και ιστορικών κτιρίων, είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την έννοια της συμβατότητας των προϋπαρχόντων υλικών και των υλικών της επέμβασης που επικράτησε σαν ανάγκη έπειτα από τις αρνητικές συνέπειες της χρήσης τσιμέντου ως συνδετικής κονιάς σε ανάλογες εργασίες. Στοχεύοντας το σχεδιασμό νέων κονιαμάτων που θα χρησιμοποιηθούν σε εργασίες συντήρησης-αποκατάστασης ο όρος της συμβατότητας περιλαμβάνει πρακτικές που σχετίζονται με φιλοσοφικά θέματα ηθικής, φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες, την αλληλεπίδραση των κονιαμάτων με την τοιχοποιία-λιθοδομή, την προστασία των προϋπαρχόντων υλικών δόμησης και την προφύλαξή τους από μηχανισμούς διάβρωσης. Σε κάθε περίπτωση, το τελικό προϊόν πρέπει να είναι ανθεκτικό και εύκολο στη χρήση. Οι κύριες κατευθυντήριες γραμμές στο σχεδιασμό επισκευαστικών κονιαμάτων εισηγούνται την εφαρμογή ανθεκτικών κονιαμάτων για την αντικατάσταση τόσο των κονιαμάτων αρμολόγησης, όσο και των τσιμεντοκονιαμάτων που είχαν προηγουμένα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή, καθώς και τη χρήση πρώτων υλών παρόμοιας χημικής σύστασης. (Τριανταφύλλου, 2012)

Η γνώση της παθολογίας των κατασκευών είναι σημαντική για την αποκατάστασή τους. Εάν είναι γνωστό το αίτιο που προκάλεσε τη βλάβη και αποκατασταθεί τότε η βλάβη δεν θα επαναληφτεί. Η πολυπλοκότητα αυξάνεται όταν η βλάβη αποτελεί συσσωρευτικό αποτέλεσμα περισσότερων του ενός αιτίων. Τα αίτια μπορούν να καταταγούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες στα ενδογενή και στα εξωγενή. Τα ενδογενή οφείλονται στην ίδια την κατασκευή π.χ. κακή μορφολογία απουσία σχεδιασμού, κακή ποιότητα υλικών και δόμησης, κακές ενισχυτικές παρεμβάσεις, μεταβολές όγκου

λόγω θερμοκρασιακών διαφορών ή συνίζησης κλπ. Η ασυμβατότητα των υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες φάσεις της ζωής ενός μνημείου αποτελεί σημαντικό παράγοντα δημιουργίας βλαβών. Τα εξωγενή αίτια οφείλονται σε εξωτερικούς παράγοντες δηλαδή σε δράσεις περιβαλλοντικές ή τυχηματικές όπως είναι ο σεισμός και η φωτιά. Οι περιβαλλοντικές δράσεις έχουν πάντα σχέση με την ύπαρξη νερού ή υγρασίας και έχουν ως αποτέλεσμα την αποσύνθεση της τοιχοποιίας. (Αποστολάκη, 2011)

Βασικές αρχές που πρέπει να τηρούνται κατά τις επεμβάσεις συντήρησης είναι οι εξής (ΥΣΜΑ, 2011) :

- Η αρχή αναστρεψιμότητας των επεμβάσεων, δηλαδή η δυνατότητα επαναφοράς του μνημείου στην κατάσταση που βρισκόταν πριν τις επεμβάσεις.
- Ο σεβασμός του αυθεντικού υλικού, η διατήρηση της δομικής αυτοτέλειας των αρχιτεκτονικών μελών και της αρχικής στατικής τους λειτουργίας.

Θα πρέπει λοιπόν να τονιστεί ότι τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την προστασία της επιφάνειας των μνημείων πρέπει να μην έχουν παρενέργειες στα δομικά υλικά του. Οι μέθοδοι συντήρησης και τα υλικά που επιλέγονται θα πρέπει να τηρούν τους ακόλουθους όρους (Σκουλικίδης, 2000) :

- Τα υλικά να είναι αντιστρεπτά, δηλαδή να μπορούν να αφαιρεθούν όποτε εμφανιστεί κάποια παρενέργεια.
- Τα υλικά δεν πρέπει να μεταβάλλουν αισθητά την εμφάνιση, το χρώμα ή την αρχαιολογική αξία του αντικειμένου στο οποίο έγινε επέμβαση.
- Το υλικό πρέπει να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, δηλαδή δεν θα πρέπει το ίδιο να διαβρώνεται γρήγορα από το περιβάλλον, να αλλάζει χρώμα από την υπεριώδη ακτινοβολία, να ρηγματώνεται ή να χάνει τη συνάφειά του με τα γειτονικά νέα ή παλιά υλικά.

Συνήθης εργασία κατά την αποκατάσταση της λιθοδομής σε έργα συντήρησης - αποκατάστασης ιστορικών κτιρίων είναι η αφαίρεση των σαθρών κονιαμάτων και η εφαρμογή νέων. Οι δυσκολίες που αντιμετωπίζονται κατά την εκτίμηση της ποιότητας

των παλιών κονιαμάτων είναι ποικίλες και διαφορετικές σε κάθε περίπτωση. Μετά τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των παλιών κονιαμάτων αναζητούνται οι ιδιότητες των κονιαμάτων αποκατάστασης. Τα κύρια χαρακτηριστικά του κονιάματος αποκατάστασης πρέπει να είναι η εύκολη εργασιμότητα, η σύντομη και αξιόπιστη πήξη τόσο σε υγρό όσο και σε ξηρό περιβάλλον, η περιορισμένη έκτασης ξήρανση κατά τη διάρκεια της πήξης, η εξασφάλιση μηχανικών και θερμικών χαρακτηριστικών και πορώδους παρόμοιων με αυτά της τοιχοποιίας και η μειωμένη περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα (Rota et al., 1986). Η ικανοποιητική επιλογή των επισκευαστικών κονιαμάτων είναι καθοριστικής σημασίας για την επιτυχή έκβαση της διαδικασίας αποκατάστασης. Η συμβατότητα του νέου κονιάματος και των ήδη υπάρχοντων δομικών συστατικών της κατασκευής είναι απόλυτα αναγκαία. Η συμβατότητα αυτή εκφράζεται με διαφορετικούς τρόπους (Lanas et al., 2003): (i) χημική συμβατότητα μεταξύ του κονιάματος αρμολόγησης και των παλαιότερων υλικών, (ii) φυσική συμβατότητα, με κύρια αναφορά στις διαδικασίες διαλυτότητας και μεταφοράς της υγρασίας και (iii) δομική και μηχανική συμβατότητα (η αντοχή του κονιάματος αποκατάστασης πρέπει να είναι παρόμοια με αυτή του αρχικού).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΤΟ ΕΝΕΤΙΚΟ ΦΡΟΥΡΙΟ «ΚΟΥΛΕΣ» ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ

2.1 ΤΟ ΦΡΟΥΡΙΟ «ΚΟΥΛΕΣ» ΚΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ

Στην είσοδο του λιμανιού του Ηρακλείου, εκεί που τελειώνει ο δυτικός μόλος, δεσπόζει ένα επιβλητικό φρούριο. Κατά τη Ενετοκρατία ήταν γνωστό με τα ονόματα Rocca a Mare ή Castello a Mare, δηλαδή φρούριο στη θάλασσα. Τελικά επικράτησε να ονομάζεται "Κούλες", όνομα που προέρχεται από την τούρκικη ονομασία Su Kulesi. (Χρηστάκης, 2003)

Είναι άγνωστο πότε ακριβώς ξεκινά χρονικά η ιστορία του Κούλε, αλλά ένα λιμάνι με τόσο νευραλγικό ρόλο στη Μεσόγειο, όπως το Ηράκλειο, δεν θα μπορούσε να μείνει απροστάτευτο. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα, το πρώτο φρούριο στη θέση του σημερινού να δημιουργήθηκε στην περίοδο της Αραβοκρατίας (9ος-10ος), ενώ αναφορά για πύργο στην είσοδο του λιμανιού γίνεται στην β' βυζαντινή περίοδο (10ος-13ος) ως Castellum Communis. Ο Castellum Communis, αναφέρεται από τον δούκα της πόλης (1303) επειδή είχε υποστεί σημαντικές ζημιές από τον σεισμό που έπληξε το Ηράκλειο. Σήμερα σώζονται επίσης και κάποια σχέδια περιηγητών που επιχείρησαν να χαρτογραφήσουν το Ηράκλειο, με παλιότερο αυτό του Μπουοντελμόντι του 1429, που απεικονίζουν έναν πύργο στην είσοδο του λιμανιού. Ο πύργος αυτός απεικονίζεται σαν ψηλό οικοδόμημα με κατακόρυφους τοίχους και κάτοψη άλλοτε κυκλική, άλλοτε παραλληλόγραμμη. Τα σχέδια αυτά δεν είναι απαραίτητα αξιόπιστα, αφού η κατασκευή που απεικονίζουν μοιάζει περισσότερο με έργο οχυρωματικής αρχιτεκτονικής της δυτικής Ευρώπης.

Στα μέσα του 14ου μ.Χ. αιώνα, κάνει την εμφάνισή της στην Ευρώπη η πυρίτιδα (μείγμα νιτρικού καλίου, θείου και άνθρακα). Αποκτά τόσο σημαντικό ρόλο στην πολεμική πρακτική αλλάζοντας ριζικά τον τρόπο διεξαγωγής του πολέμου, ώστε αντικατέστησε τις προϋπάρχουσες πολεμικές μηχανές και εκμηδένισε την αμυντική δυνατότητα των παλιών οχυρώσεων.

Έτσι τα μέσα του 15ου μ.Χ. αιώνα βρήκαν το Ηράκλειο ανεπαρκώς οχυρωμένο και ευάλωτο, και τον πύργο του λιμανιού, το Castellum Communis των βυζαντινών, να μην

είναι πια σε θέση να παρέχει επαρκή ασφάλεια στο λιμάνι, οπότε και κρίθηκε απαραίτητη η κατασκευή ενός μεγαλύτερου και πιο ισχυρού κάστρου που θα μπορούσε να συνεχίσει το ρόλο του στο λιμάνι. Η Γερουσία της Βενετίας το 1462 ενέκρινε ένα ευρύ πρόγραμμα οχύρωσης της πόλης, που θα προστάτευε το Ηράκλειο και τους βούργους (προάστια) έξω από αυτό. Η νέα οχύρωση θα ακολουθούσε τα πρότυπα της νέας οχυρωματικής αρχιτεκτονικής με τους προμαχώνες. Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος το 1523 κατεδαφίστηκε ο πύργος του λιμανιού και αντικαταστάθηκε με το φρούριο Κούλες, που σώζεται μέχρι σήμερα. Η κατασκευή ολοκληρώθηκε το 1540, ενώ το υπέρογκο κόστος της κατασκευής του βάρυνε τα ταμεία της Βενετίας και του Χάνδακα. Οι συνθήκες ανέγερσης του δεν ήταν ευνοϊκές, καθώς τον χειμώνα οι εργασίες διακόπτονταν λόγω των τρικυμιών και των χαμηλών θερμοκρασιών. Παρ'όλα αυτά, εκτεταμένες επιχωματώσεις στη φυσική βραχώδη εξέδρα που υπήρχε στο σημείο αυτό του λιμανιού, κατάφεραν να δημιουργήσουν το χώρο για να χτιστεί το φρούριο έκτασης 3.600 m². Οι επιχωματώσεις γίνονταν με μία πολύ ενδιαφέρουσα μέθοδο: Γέμιζαν τα παλιά πλοία με πέτρες από το νησί Ντία και την περιοχή Φρασκιές και τα βύθιζαν έξω από τη Βόρεια πλευρά του μόλου, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό κυματοθραύστες που αύξαναν τον διαθέσιμο χώρο.



Εικόνα 2.1 Το Φρούριο «Κούλες» από τη συλλογή της Δημοτικής Βιβλιοθήκης της Μπολόνια

Ο ρόλος του φρουρίου Κούλε στη διάρκεια της τουρκικής πολιορκίας (1646-1669) δεν υπήρξε ιδιαίτερα σημαντικός, καθώς αρκετά νωρίς το τουρκικό πυροβολικό,

τοποθετημένο στις κατάλληλες θέσεις, κατάφερε να εξουδετερώσει τη δύναμη πυρός του και έτσι οι Τούρκοι απέκτησαν τον έλεγχο της εισόδου του λιμανιού του Ηρακλείου.

Στη διάρκεια της τούρκικης κυριαρχίας ο Κούλες χρησιμοποιήθηκε από τους νέους δυνάστες, αφού πρώτα το επισκεύασαν από τις καταστροφές που είχε υποστεί εξαιτίας των βομβαρδισμών από αυτούς. Δεν δέχτηκε ιδιαίτερες παρεμβάσεις εκτός από την προσθήκη κτιστών επάλξεων με θέσεις τουφεκιοφόρων και κανονιών. Οι Τούρκοι έκτισαν επίσης ένα μικρότερο φρούριο απέναντι από τον Κούλε από την πλευρά της στεριάς, τον Μικρό Κούλε (Κιουτσούκ Σου Καλεσιντέ) και ήταν το μοναδικό οχυρωματικό έργο που έκαναν καθ' όλη τη διάρκεια της επικυριαρχίας τους στο νησί. Δυστυχώς το μνημείο αυτό μαζί με τμήματα των ενετικών νεωρίων κατεδαφίστηκε το 1936 για χάρη της ανάπτυξης της πόλης ύστερα από απόφαση της λιμενικής επιτροπής. Υπάρχουν όμως σημαντικές αναφορές για την ύπαρξή του, μία από αυτές είναι σε έργο του Αυστριακού γιατρού-βοτανολόγου F.W. Sieber όπου γίνεται αναφορά για ένα μακρύ τείχος με στρογγυλό πύργο που βρίσκεται απέναντι από το κάστρο.

Το 1719 κατέρρευσε, ασφαλώς από θαλασσοταραχή, ένα τμήμα της βορειοδυτικής πλευράς του. Γι' αυτό επισκευαστικές εργασίες έγιναν το 1753 και 1754 ενώ και άλλες στερεωτικές εργασίες έγιναν στα πρώτα 100 χρόνια της τουρκοκρατίας.

(<http://www.explorecrete.com/Heraklion/GR17-Heraklion-koules.html>)

2.2 Η ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ

Όπως προείπαμε, η κατασκευή του Κούλε κράτησε μέχρι το 1540. Οι εξωτερικοί τοίχοι έχουν πάχος σχεδόν 9 μέτρα, ενώ οι εσωτερικοί τοίχοι φτάνουν τα 3 μέτρα πάχος σε κάποια σημεία. Ήδη από πολύ νωρίς παρουσιάστηκαν ζημιές (σπηλαιώσεις) στα θεμέλια του από τη θάλασσα, που αντιμετώπιζονταν κατά καιρούς. Επίσης το φρούριο παρουσίασε πολλές οχυρωματικές αδυναμίες, γεγονός που οφείλεται στο ότι χτίστηκε σε μεταβατική φάση όταν η αρχιτεκτονική των φρουρίων πειραματιζόταν ακόμα με τις κατάλληλες λύσεις.

Αρχιτεκτονικά ο Κούλες αποτελείται από δύο επιμέρους τμήματα:

- το Νοτιοδυτικό: παραλληλόγραμμο, λίγο ψηλότερο
- το Βορειοανατολικό σε σχήμα μισής έλλειψης, ελαφρώς χαμηλότερο.

Για την είσοδο στο φρούριο υπήρχαν τρεις πύλες εισόδου: Δυτικά, Βόρεια και Νοτιοδυτικά, με κύρια πύλη του φρουρίου την Δυτική. Η είσοδος ήταν προσεκτικά προστατευμένη : τρεις ξύλινες ισχυρές πόρτες υπήρχαν στον θολοσκεπή και ελαφριά κατηφορικό διάδρομο της εισόδου, ο οποίος οδηγούσε στο εσωτερικό του φρουρίου. Το ένα σκέλος του διαδρόμου οδηγούσε στην βόρεια πλευρά του φρουρίου όπου και υπήρχε και δεύτερη πύλη προς την ανοιχτή θάλασσα. Το άλλο σκέλος με ανατολική κατεύθυνση, κατέληγε στο ανατολικό τμήμα του οχυρού, η κάτοψη του οποίου έχει σχήμα μισής έλλειψης. Στη νοτιοδυτική πλευρά του ισογείου υπήρχε και τρίτη δευτερεύουσα έξοδος, η οποία οδηγούσε στον χώρο του λιμένα.

Στο οικοδόμημα περιμετρικά είχαν εντοιχιστεί διάφορες ανάγλυφες πλάκες, επιγραφές και οικόσημα τα οποία απεικονίζουν σύμβολα της Βενετίας και τα διάσημα των εκπροσώπων της στο νησί, καθώς και εγχάρακτα κείμενα και χρονολογίες που μαρτυρούσαν την πραγματοποίηση του τεράστιου αυτού έργου από την δοξασμένη τους πολιτεία. Κορυφαία έργα γλυπτικής είναι τα τρία μαρμάρινα ανάγλυφα που απεικονίζουν τον φτερωτό λέοντα, σύμβολο της Γαληνότατης Δημοκρατίας της Βενετίας, που επιστέφουν κάθε μία από τις τρεις εισόδους και δύο από αυτά διατηρούνται μέχρι σήμερα με φανερή τη διάβρωση από τον θαλασσινό αέρα.

Το φρούριο είναι διώροφο με 26 διαμερίσματα. Είχε εξοπλιστεί με κανόνια στις κανονιοθυρίδες του, που βλέπουμε ακόμη και σήμερα να ανοίγονται στους τοίχους εξωτερικά. Ο Βασιλικάτα μας πληροφορεί ότι στο ισόγειο του υπήρχαν 18 κανόνια και κανονιοθυρίδες και 25 στις επάλξεις του ορόφου. Συγχρόνως ήταν εφοδιασμένο με 300 κιβώτια και 6.144 μπάλες διαφόρων μεγεθών. Σύντομα φάνηκε ότι η χρήση κανονιών σε εσωτερικούς χώρους δημιουργούσε προβλήματα γιατί και το οπτικό πεδίο εκ των πραγμάτων μέσα από τα μικρά ανοίγματα στους τοίχους ήταν περιορισμένο, αλλά και ο καπνός που δημιουργούνταν μετά την ρίψη κάθε βλήματος έκανε την ατμόσφαιρα αποπνικτική και έτσι εγκαταλείφθηκε η χρήση τους.

Εκτός από τους διαδρόμους των κανονιών (casamatte), στο ισόγειο είχαν διαμορφωθεί και επιμέρους χώροι, ένας λειτουργούσε σαν φυλακή και οι υπόλοιποι για αποθήκευση τροφίμων και πολεμοφοδίων. Όλα τα διαμερίσματα του ισογείου κατέληγαν σε ένα δώμα του φρουρίου. Το δώμα αυτό είχε διαμορφωθεί ως μια ευρεία πλατεία την οποία όριζε ένα φαρδύ στηθαίο. Στο δώμα του φρουρίου οδηγούσαν δύο διαβάσεις που ξεκινούσαν από τον κεντρικό διάδρομο. Ο κεντρικός διάδρομος στην ουσία ήταν ένα κεκλιμένο επίπεδο πάνω στο οποίο οι βενετοί έσερναν τα κανόνια και τα άλλα εφόδια για να τα ανεβάσουν στο δώμα. Στη δυτική πλευρά αυτού εντοιχίστηκε πλάκα με την εγχάρακτη χρονολογία «1539».

Στον επάνω όροφο, που είχε διαμορφωθεί σε ευρύχωρη πλατεία, ήταν στη Βόρεια πλευρά ο πύργος του φάρου. Εκεί υπήρχαν επίσης οι στρατώνες των στρατιωτών και οι κατοικίες των αξιωματούχων και του διοικητή. Παράλληλα στο φρούριο λειτουργούσε μύλος, φούρνος και εκκλησία, παρέχοντας αυτονομία στη φρουρά του.



Εικόνα 2.2 Το Φρούριο «Κούλες» και το λιμάνι του Ηρακλείου

2.3 ΤΟ ΦΡΟΥΡΙΟ ΣΗΜΕΡΑ

Σήμερα το φρούριο Κούλες ατενίζει αγέρωχο το Κρητικό πέλαγος θυμίζοντας το μεγαλείο του ενετικού Χάνδακα, ενώ στοιχειώνεται από θύλους που θέλουν στους εσωτερικούς υγρούς και σκοτεινούς του χώρους να βασανίστηκαν φριχτά οι Κρητικοί

επαναστάτες. Η μακραίωνη ζωή και οι περιπέτειες του φρουρίου έχουν αποτυπωθεί στις όψεις του. Η δόμηση των λίθινων επιφανειών φαίνεται σήμερα σαν να έχει γίνει από ποικίλες και ανομοιόμορφες πέτρες, αποτέλεσμα διαδοχικών επισκευών και συμπληρώσεων.

Παρόλα αυτά όμως το φρούριο Κούλε είναι από τα πιο οικεία και αγαπημένα μνημεία της πόλης, και σύμβολο του Ηρακλείου. Χρησιμοποιείται επίσης περιστασιακά για καλλιτεχνικές εκθέσεις στους εσωτερικούς χώρους του ισογείου και θεατρικές ή μουσικές παραστάσεις στον επάνω όροφο, όταν ο καιρός το επιτρέπει. Είναι επισκέψιμο καθημερινά χειμώνα – καλοκαίρι.



Εικόνα 2.3 Το άγαλμα του φτερωτού λέοντα

2.4 ΔΟΜΙΚΟΙ ΛΙΘΟΙ ΦΡΟΥΡΙΟΥ «ΚΟΥΛΕΣ»

Οι δομικοί λίθοι του ενετικού φρουρίου Κούλες στο Ηράκλειο, όπως και της πλειονότητας των ενετικών μνημείων στην Κρήτη, είναι διάφοροι τύποι ανθρακικών

πετρωμάτων οι οποίοι είναι οι εξής: βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι, μικριτικοί λατυποπαγείς-κροκαλοπαγείς ασβεστόλιθοι, βιοσπαρίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι προέρχονται από βραχονησίδα που υπήρχε στην περιοχή κατασκευής του. Από αυτούς χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικοί λίθοι οι οποίοι περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.2. (Πομόνη-Παπαϊωάννου, 2005)

Τα ανθρακικά πετρώματα είναι σχηματισμοί ενδογενετικοί ή αυτόχθονοι χημικής ή/και βιολογικής καθίζησης και αποτελούν το 1/5 με 1/4 των ιζηματογενών σχηματισμών. Κατά ποσοστό μεγαλύτερο του 50% περιέχουν ανθρακικά ορυκτά. Αυτά κυρίως είναι αραγωνίτης, ασβεσίτης και δολομίτης σαν πρωτεύοντα, ενώ σαν δευτερεύοντα σιδηρίτης, ανκερίτης, μαγνησίτης. Ο αραγωνίτης συναντάται σε πρόσφατα ιζήματα ενώ στα παλαιότερα έχει αντικατασταθεί από άλλα ορυκτά, συνήθως από ασβεσίτη. Μη ανθρακικά ορυκτά που συναντώνται στα ανθρακικά πετρώματα, είναι κυρίως χαλαζίας, αργιλικά, πυρίτης, αιματίτης, πυριτικά και φωσφορικά ορυκτά, άστριοι, βαρέα ορυκτά, ζεόλιθοι, ανυδρίτης, γύψος κ.α.



Εικόνα 2.4. Εξωτερικό Φρουρίου «Κούλες»

Τα συστατικά των ανθρακικών σχηματισμών είναι:

1. Κόκκοι διαμέτρου $< 0.004\text{mm}$ ασβεστιτικοί ή αραγωνιτικοί που καλούνται μικρίτης ή ανθρακικός λουτίτης ή ανθρακική ιλύς. Η προέλευση του μικρίτη μπορεί να είναι μέσω διαδικασίας απόξεσης μηχανικής ή βιολογικής προϋπαρχόντων ανθρακικών υλικών, ή λόγω χημικής/βιολογικής καθίζησης.
2. Κόκκοι ανθρακικοί (κυρίως ασβεστίτης) διαμέτρου $> 0.06\text{ mm}$ που καλούνται μακροσπαρίτης και κόκκοι διαμέτρου $0.06\text{ mm} - 0.004\text{ mm}$ που καλούνται μικροσπαρίτης. Ο σπαρίτης είναι κυρίως δευτερογενής.

Ο μικρίτης σχηματίζεται σε πολλά σύγχρονα περιβάλλοντα από λιμνοθάλασσες και παλιρροϊκές ζώνες μέχρι την βαθιά θάλασσα, κυρίως στην ρηχή υποπαλιρροϊκή ζώνη ως εξής :

Η αντίδραση $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$ δηλώνει ανθρακική ισορροπία, σε περίπτωση υπερκορεσμού όμως ακολουθεί καθίζηση CaCO_3 . Ο σπαρίτης σχηματίζεται σε αναταρασσόμενα νερά και κυρίως από ανακρυστάλλωση μικρίτη.

Τα αλλοχημικά συστατικά των ανθρακικών σχηματισμών είναι :

- Βιοκλάστες – σκελετικοί κόκκοι
Πρόκειται για σκελετούς ή τεμάχια σκελετών, ασπόνδυλων οργανισμών, φυκιών ή τμημάτων αυτών. Το είδος των οργανισμών εξαρτάται από τις ιδιαίτερες περιβαλλοντικές συνθήκες της λεκάνης απόθεσης.
- Ενδοκλάστες
Είναι τεμάχια ανθρακικών σχηματισμών ασθενώς λιθοποιημένων, που προέρχονται από την ίδια λεκάνη απόθεσης μέσω της δράσης των κυμάτων, των καταγίδων και των ρευμάτων.
- Λιθοκλάστες
Είναι τεμάχια ανθρακικών παλαιότερων ασθενώς λιθοποιημένων σχηματισμών, γειτονικών της λεκάνης απόθεσης, μεγέθους $> 2\text{mm}$.
- Εξωκλάστες
Είναι λιθοκλάστες παλαιότερων αποθέσεων προερχόμενοι από περιοχές κοντά μεν, αλλά έξω από τη λεκάνη απόθεσης.
- Επιφλοιωμένοι – επικαλυμμένοι κόκκοι, ωοειδή, ογκοειδή.

Πρόκειται για σφαιροειδή ή ελλειψοειδή ανθρακικά συσσωματώματα μεγέθους συνήθως 0.5 – 1mm, από μικριτικό ασβεστίτη που σχηματίζει ομόκεντρους δακτυλίους γύρω από έναν πυρήνα (τμήμα βιοκλάστη, σφαιρίδιο φύκους ή κλαστικό κόκκο).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

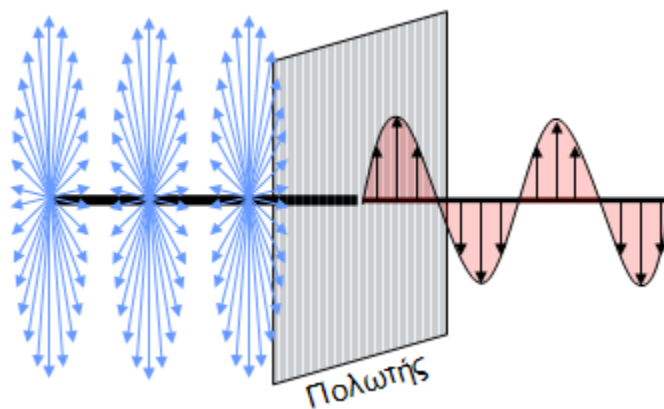
Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές αναλυτικές τεχνικές για την αξιολόγηση των πρώτων υλών και των κονιαμάτων που προέκυψαν από τη σύνθεση αυτών. Οι τεχνικές αυτές καθώς και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, αναλύονται στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου.

3.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

3.1.1 ΠΟΛΩΤΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ

Το πολωτικό μικροσκόπιο είναι από τα σημαντικότερα όργανα προσδιορισμού και μελέτης των ορυκτών και των πετρωμάτων. Διαφέρει από το σύνηθες μικροσκόπιο στο ότι φέρει προσθήκες που επιτρέπουν την παραγωγή και ανάλυση του πολωμένου φωτός και τη μελέτη διαφόρων οπτικών ιδιοτήτων των κρυσταλλικών κυρίως ενώσεων.

Το φυσικό φως, διερχόμενο μέσα από το φίλτρο του πολωτή, μετατρέπεται σε ευθύγραμμο πολωμένο φως. Η διαδικασία πόλωσης του φωτός είναι η εξής: Αν προβάλλουμε το επίπεδο κραδασμού του φυσικού φωτός κατά ένα μικρότατο χρονικό διάστημα, σε ένα επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση διάδοσης του φωτός, προκύπτει μια ευθεία που ορίζει μια ορισμένη κατεύθυνση ταλάντωσης, ενώ κατά διάφορα χρονικά διαστήματα το επίπεδο κραδασμού και κατά συνέπεια και η ευθεία αλλάζουν συνεχώς κατεύθυνση, έτσι που να προκύπτει μια συμμετρική ταλάντωση και συμμετρική κατανομή, των ευθειών γύρω από την κατεύθυνση διάδοσης του φωτός. Όταν ο προσανατολισμός του επιπέδου ταλάντωσης ακολουθεί ορισμένες νομοτέλειες, το φως ονομάζεται πολωμένο. (Κωστάκης, 2005) Στο γραμμικά πολωμένο φως οι ταλαντώσεις λαβαίνουν χώρα πάντα στο ίδιο επίπεδο, και κατά συνέπεια η προβολή του ανύσματος που τις παριστάνει παραμένει επί μιας ευθείας.



Εικόνα 3.1. Μετατροπή φυσικού φωτός σε πολωμένο φως.

Για να διέλθει το πολωμένο φως από το προς μελέτη δείγμα, πρέπει το δείγμα να είναι κομμένο σε λεπτή τομή.

Οι λεπτές τομές που παρασκευάστηκαν αφορούν τα στρογγυλεμένα δοκίμια κονιάματος που περικλείουν τους φυσικούς δομικούς λίθους με σκοπό την όσο το δυνατόν πιο λεπτομερή εξέταση της συμβατότητάς τους (Κεφάλαιο 5.2). Η κατασκευή των λεπτών τομών έγινε στο παρασκευαστήριο του εργαστηρίου Πετρολογίας και Οικονομικής Γεωλογίας του Πολυτεχνείου της Κρήτης και τα δείγματα μελετήθηκαν και φωτογραφήθηκαν στο ίδιο εργαστήριο.

Η κατασκευή των λεπτών τομών γίνεται ως εξής:

Αρχικά το προς μελέτη δείγμα (σε αυτή την περίπτωση δομικός λίθος με κονίαμα) κόβεται στη μέση σε τέτοιο σημείο, ώστε να φαίνεται η επαφή δομικού λίθου – πετρώματος και λειαίνεται. Στη συνέχεια, η επιφάνεια μελέτης, τοποθετείται και κολλάται πάνω σε ένα γυαλάκι με ειδική κόλλα. Η μεριά του δοκιμίου που περισσεύει κόβεται με μηχανικό τρόπο ώστε η επιφάνεια που θα παραμείνει στο γυαλάκι να είναι όσο το δυνατόν πιο λεπτή. Τέλος λειαίνεται σιγά-σιγά η επιφάνεια αυτή μέχρις ότου να δημιουργηθεί ένα «φιλμ» από το προς μελέτη δείγμα μας, το οποίο να έχει πάχος περίπου 30 μm .

Για την μελέτη των δειγμάτων, χρησιμοποιήθηκε πολωτικό μικροσκόπιο τύπου JENALAB ανακλωμένου και διερχομένου φωτός. Η παρατήρηση έγινε με αντικειμενικό

φακό 10x ή 2.5x και με προσοφθάλμιο 10x. Δηλαδή η συνολική μεγέθυνση ήταν 100x ή 200x. Έγινε περιγραφή του παρασκευάσματος και ψηφιακή φωτογράφιση.

3.1.2 ΠΕΡΙΘΛΑΣΙΜΕΤΡΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ -X (XRD)

Η περίθλαση ακτίνων-X από δείγματα σε μορφή σκόνης, επιτρέπει τον προσδιορισμό της δομής και της σύστασης του δείγματος, το οποίο μπορεί να περιέχει περισσότερες από μία κρυσταλλικές ενώσεις. Μελετώνται στερεά οποιασδήποτε χημικής φύσης όπως απλές και σύνθετες χημικές ενώσεις, κράματα μετάλλων και ορυκτά, οργανικά μόρια και άλλα. Η πιστοποίηση της καθαρότητας ή της αναλογίας των προσμίξεων είναι καθημερινό αντικείμενο πολλών ερευνητών και βοηθάει σημαντικά στην πρόοδο της επιστήμης και την κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την σύνθεση και τις ιδιότητες των υλικών.

Στην παρούσα διπλωματική, με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-Ray Diffraction analysis) έγιναν οι ορυκτολογικές αναλύσεις των πρώτων υλών που χρησιμοποιήθηκαν έτσι ώστε να διαπιστωθεί η καθαρότητά τους και να επιβεβαιώσουμε ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν πρώτες ύλες στην δημιουργία κονιαμάτων συντήρησης για το Φρούριο Κούλε. Με τη μέθοδο αυτή είναι δυνατή η απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτίνων-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνεως. (Κωστάκης, 2006)

Οι βασικές μονάδες που συνθέτουν ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτίνων-X είναι:

1. Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης.
2. Λυχνία ακτίνων-X.
3. Γωνιόμετρο.
4. Απαριθμητής ακτίνων-X.
5. Ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
6. Μονάδα μικροϋπολογιστή καθοδήγησης του συστήματος και αξιολόγησης δεδομένων.

Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm², έτσι που να προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1g, η οποία κατανέμεται με τέτοιο τρόπο στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια. (Κωστάκης, 2006)

Οι προσπίπτουσες ακτίνες-Χ διαπερνούν ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων, οπότε λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακλώμενων ακτίνων. Η απόσταση μεταξύ των ανακλώμενων αυτών ακτίνων είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων του κρυστάλλου και της γωνίας ανάκλασης θ . Αν λ είναι το μήκος κύματος των ακτίνων-Χ, τότε για κάθε ορυκτό ισχύει η εξίσωση του Bragg.

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

όπου :

λ : μήκος κύματος,

θ : γωνία ανάκλασης,

d : πλεγματική απόσταση των επιπέδων ανάκλασης του κρυστάλλου.

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των ανακλώμενων ακτίνων για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών.

Το ακτινογράφημα κάθε κρυσταλλικής ουσίας είναι χαρακτηριστικό και μοναδικό, κατά συνέπεια αποτελεί ένα είδος ταυτότητας βάσει της οποίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την ουσία αυτή.

3.1.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2.3.3, η κοκκομετρική διαβάθμιση αφορά στο διαχωρισμό και την κατάταξη των κόκκων σε ομάδες από άποψη όχι του μεγέθους των κόκκων, αλλά του ποσοστού της κάθε κατηγορίας μεγέθους κόκκων που περιέχεται στην συνολική ποσότητα των αδρανών. Η ανάλυση της κοκκομετρικής διαβάθμισης τόσο των αδρανών όσο και των υπολοίπων υλικών είναι ιδιαίτερα

σημαντική, καθώς επηρεάζει τις ιδιότητες των παρασκευασθέντων κονιαμάτων αλλά και την ποσότητα των συνδετικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν.

Το μέγεθος των κόκκων προσδιορίζεται με πρότυπα κόσκινα που έχουν καθορισμένες διαμέτρους οπών. Τα δείγματα που μελετήθηκαν και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, διαχωρίστηκαν με τη χρήση Αμερικάνικων πρότυπων κοσκίνων (ASTM) στα κλάσματα με διάμετρο κόκκων +2.00mm, +1.00mm, +0.5mm, +0.25mm, +0.125mm, +0.063mm και -0.063mm (παιπάλη).

Η κοσκίνιση έγινε με μηχανικό δονητή κοσκίνων αλλά και χειροκίνητα. Τα κόσκινα τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο με ανώτερο αυτό με τη μεγαλύτερη οπή προς αυτό με τη μικρότερη, και δονούνται για 15-20 λεπτά περίπου. Μετά συλλέγεται και ζυγίζεται το υλικό που έχει παραμείνει στο κάθε κόσκινο, καθώς και στο τελικό δοχείο.



Εικόνα 3.2. Αδρανή και Κόσκινα

Τα αποτελέσματά της, δηλαδή η κοκκομετρική διαβάθμιση, απεικονίζεται σε διάγραμμα με τη διάμετρο οπής στον οριζόντιο άξονα και τα ποσοστά του υλικού που περνάει από κάθε κόσκινο στον κατακόρυφο.

Στα δείγματά μας, η κοκκομετρική διαβάθμιση που ακολουθήσαμε ήταν η πρότυπη **normsand**.

Στις παρακάτω εικόνες, παρουσιάζονται δύο διαφορετικά κοκκομετρικά κλάσματα χαλαζιακής άμμου όπως παρατηρήθηκαν στο στερεοσκόπιο. Και στις δύο εικόνες παρατηρούνται αρκετά στρογγυλεμένοι κόκκοι αδρανούς γεγονός που υποδηλώνει ότι η χαλαζιακή άμμος είναι ποταμίσιας προέλευσης.



Εικόνα 3.3. Χαλαζιακή άμμος κλάσμα 2- 3 mm



Εικόνα 3.4. Χαλαζιακή άμμος κλάσμα 1 - 2 mm

3.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ - ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία κατασκευάστηκαν δύο σειρές κονιαμάτων, στις οποίες ως κύρια υδραυλική κονία χρησιμοποιήθηκε μια φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3.5 της εταιρίας Lafarge. Στην πρώτη σειρά κονιαμάτων, χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ως αδρανές χαλαζιακή άμμος πολύ υψηλής καθαρότητας και συγκεκριμένης κοκκομετρικής ταξινόμησης (κατά ISO 679 Silica Sand), ενώ στη δεύτερη με σκοπό την εξέταση της επίδρασης στις μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων του είδους των αδρανών υλικών από τα οποία αυτά αποτελούνται, χρησιμοποιήθηκε ως αδρανή υλικά τόσο ασβεστολιθικής σύστασης λατομική άμμος όσο και χαλαζιακή άμμος σε αναλογία κατ' όγκο 70:30. Επίσης, εξετάστηκε η επίδραση στις ιδιότητες των κονιαμάτων, της προσθήκης σε κάθε μια από τις σειρές αυτών ενός ποσοστού λευκού τσιμέντου Aalborg (5 και 10% αντίστοιχα σε κάθε μια από αυτές). Η αναλογία κονιάς / αδρανές και στις δυο διαφορετικές συνταγές ήταν 1:3.

Οι σειρές σύνθεσης έχουν ως εξής :

1^η σειρά

ΚΟΝΙΑ	ΑΔΡΑΝΕΣ	ΝΕΡΟ	Πρόσθετο τσιμέντο	Κωδικό Όνομα Κονιάματος
NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND (χαλαζιακή άμμος)	268gr NEPO	-----	K.X.
95% NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND (χαλαζιακή άμμος)	319gr NEPO	5% τσιμέντο AALBORG	K.X.5
90% NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND (χαλαζιακή άμμος)	422gr NEPO	10% τσιμέντο AALBORG	K.X.10

2^η σειρά

ΚΟΝΙΑ	ΑΔΡΑΝΕΣ	ΝΕΡΟ	Πρόσθετο τσιμέντο	Κωδικό Όνομα Κονιάματος
NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND (70%ασβεστολιθικό 30%χαλαζιακό)	275gr NEPO	-----	K.A.X.
95% NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND (70%ασβεστολιθικό 30%χαλαζιακό)	296gr NEPO	5% τσιμέντο AALBORG	K.A.X.5
90% NHL 3,5 LAFARGE	NORMSAND 70%ασβεστολιθικό 30%χαλαζιακό)	390gr NEPO	10% τσιμέντο AALBORG	K.A.X.10

Κατασκευάστηκαν συνολικά εικοσιτέσσερις ράβδοι σε μεταλλικές μήτρες διαστάσεων 16x4x4 cm (τέσσερις για κάθε συνταγή) οι οποίες, μετά την δοκιμή της αντοχής τους σε κάμψη, κοπήκανε με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να ληφθούν από την κάθε μια 2 κυβικά δοκίμια διαστάσεων 4x4x4. Οπότε συνολικά προέκυψαν σαράντα οχτώ κυβικά δοκίμια (οχτώ για κάθε συνταγή) από τα οποία τα τριάντα σπάσανε σε πρέσα για να υπολογιστεί η αντοχή τους σε θλίψη. Τα υπόλοιπα κυβικά δοκίμια αποθηκεύτηκαν για μεταγενέστερη μελέτη.

Μετά την αφαίρεση των μητρών τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στον θάλαμο συντήρησης όπου και παρέμειναν για 28 ημέρες. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε και ο έλεγχος της μηχανικής τους αντοχής σε κάμψη, και μετά ακολούθησε και το κόψιμό τους για τον έλεγχο της μηχανικής τους αντοχής σε θλίψη.

3.2.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ

Η διαδικασία παρασκευής των κονιαμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των ιδιοτήτων τους. Η καλή ανάμειξη των πρώτων υλών και η σωστή τοποθέτηση του μείγματος στα καλούπια, καθώς βέβαια και η σύσταση των πρώτων υλών (αδρανές / κονία / νερό / τσιμέντο) αποτελούν κάποιους από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο αποτέλεσμα αυτό.

Η διαδικασία που ακολούθηθηκε ήταν η εξής : αφού αποφασίστηκε η συνταγή που θα χρησιμοποιηθεί, και υπολογίστηκε η κοκκομετρία του κάθε κλάσματος, έπρεπε τα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν να βρίσκονται στο κατάλληλο μέγεθος για χρήση τους στην παρασκευή των κονιαμάτων. Όσα αδρανή δεν ήταν σε κατάλληλο μέγεθος, τοποθετήθηκαν σε σπαστήρες και ξαναπεράστηκαν από τα κόσκινα.

Η κοκκομετρία των αδρανών (για 100gr υλικού) για κάθε μία από τις δύο σειρές κονιαμάτων που κατασκευάστηκαν, είναι η εξής :

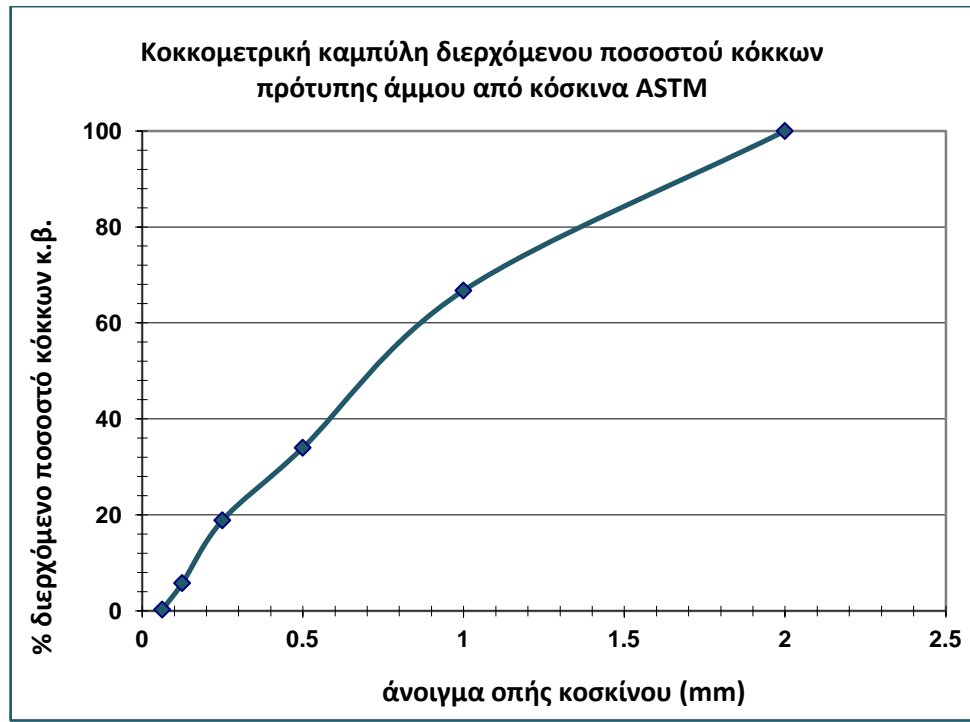
1^η ΣΕΙΡΑ

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	% ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ Κ.Β.
2,000	0
1,000	33,3
0,500	32,8
0,250	15,2
0,125	13,1
0,063	5,5
ΣΥΝΟΛΟ	100

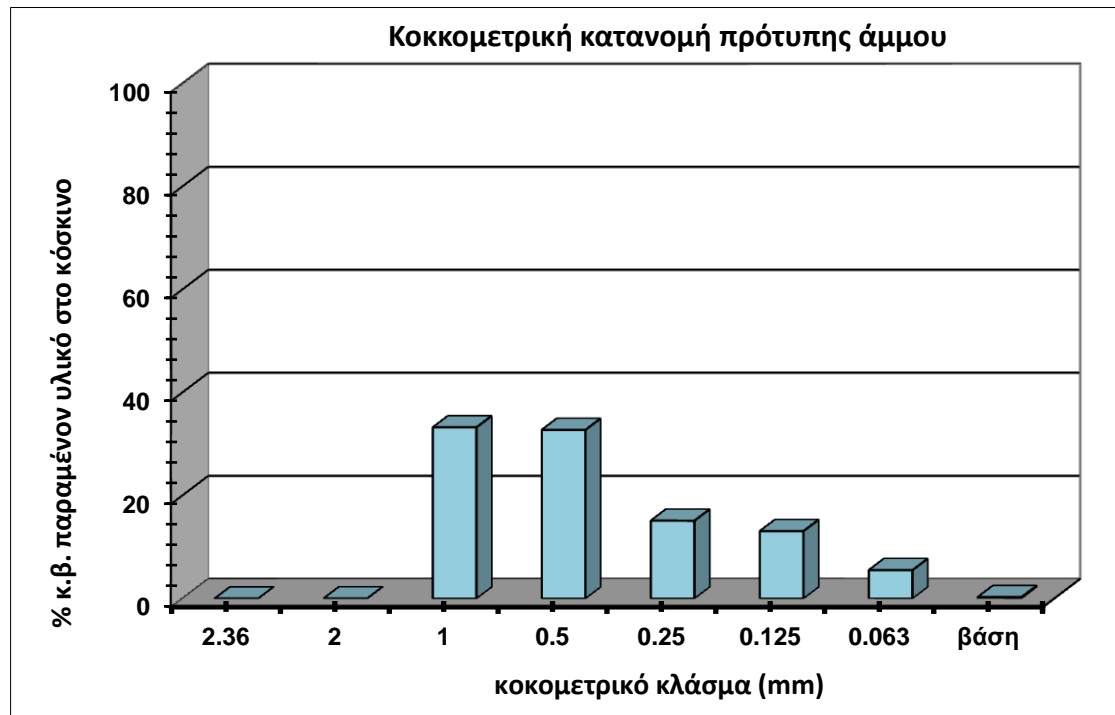
2^η ΣΕΙΡΑ

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΛΑΣΜΑ	% ΠΑΡΑΜΕΝΟΝ Κ.Β.
2,000	0
1,000	33,3 ΑΣΒ
0,500	32,8 ΑΣΒ
0,250	5,2 ΑΣΒ / 10 ΧΑΛΑΖ
0,125	13,1 ΧΑΛΑΖ
0,063	5,5 ΧΑΛΑΖ
ΣΥΝΟΛΟ	100

Όπως παρατηρείται και από την κοκκομετρία των αδρανών της 2^{ης} σειράς των επισκευαστικών κονιαμάτων, τα χαμηλότερα κοκκομετρικά κλάσματα είναι χαλαζιακή άμμος ενώ τα μεγαλύτερα είναι η ασβεστολιθική και αυτό διότι η ασβεστολιθική παιπάλη πρέπει να αποφεύγεται. Η παρουσία ασβεστολιθικής παιπάλης σε ένα κονίαμα είναι δυνατόν να επιδράσει αρνητικά στην αντοχή του κονιάματος είτε με τα διογκούμενα αργιλικά υλικά που πιθανώς να περιέχει, είτε προσκολλώμενη στα αδρανή εμποδίζοντας την πρόσφυσή τους με την κονία.



Εικόνα 3.5. Κοκκομετρική καμπύλη



Εικόνα 3.6. Επιμέρους κλάσματα

Η θραύση και λειοτρίβιση των αδρανών έγινε σε σιαγονωτούς και κωνικούς σπαστήρες, στη Διεύθυνση Τεχνολογίας Εμπλουτισμού και Μεταλλουργίας του Ι.Γ.Μ.Ε. της Αθήνας. Στη συνέχεια, ο διαχωρισμός των κλασμάτων έγινε σε μηχανικό δονητή κοσκίνων αλλά και χειροκίνητα (μετά την μηχανική κοσκίνιση) για καλύτερα αποτελέσματα.

Αφού μετρήθηκαν οι ποσότητες των πρώτων υλών, έγινε η ανάμειξή τους σε μηχανικό αναμικτήρα μαζί με το απαραίτητο νερό. Ο αναμικτήρας είναι ηλεκτροκίνητος και αποτελείται βασικά από υποδοχέα κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, ο οποίος φέρει κατάλληλη διάταξη, με την οποία προσαρμόζεται σταθερά στο πλαίσιο του αναμικτήρα όταν γίνεται η ανάμιξη. Επίσης, υπάρχει μίκτρο το οποίο κινείται μέσα στον υποδοχέα, κατά τη διαδικασία της ανάμιξης και το οποίο εκτελεί δύο κινήσεις, μία γύρω από τον άξονά του και μία άλλη πλανητική στην περιφέρεια του υποδοχέα, με τη βοήθεια κινητήρα με ελεγχόμενη ταχύτητα. Οι δύο φορές περιστροφής πρέπει να είναι αντίθετες και ο λόγος των δύο ταχυτήτων τους να μην είναι ακέραιος αριθμός.

Η διαδικασία ανάμιξης είναι η εξής :

Αρχικά στον αναμικτήρα τοποθετήθηκε η κονία με μία μικρή ποσότητα νερού και αφού μπήκε σε λειτουργία ο αναδευτήρας, ταυτόχρονα προστέθηκαν σιγά-σιγά τα αδρανή με την υπόλοιπη ποσότητα νερού και το μείγμα παρέμεινε στον αναδευτήρα για περίπου 20 λεπτά. Η απαιτούμενη ποσότητα νερού υπολογίστηκε με τη μέθοδο της εξάπλωσης που θα αναλύσουμε στη συνέχεια στο κεφάλαιο 3.2.2.

Μετά την ανάμιξη, το μείγμα τοποθετήθηκε στα καλούπια (μήτρες) τα οποία πρωτύτερα τα είχαν αλειφθεί με λίγο λάδι μηχανής για την ευκολότερη εξαγωγή των δειγμάτων μετά την πήξη τους. Οι μήτρες κατασκευάζονται από σκληρό χάλυβα, με σκληρότητα κατά Vickers ≥ 400 και είναι τρίδυμες για να είναι δυνατή η παρασκευή τριών δοκιμών ταυτόχρονα. Τα τοιχώματα της μήτρας πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον 10 mm. Η τοποθέτηση του κονιάματος στα καλούπια έγινε με τη χρήση χαλύβδινης σπάτουλας. Αρχικά τοποθετείται η μισή ποσότητα στο κάθε διαμέρισμα και το δείγμα ισοπεδώνεται προσεκτικά σε όλη την επιφάνειά του. Στη συνέχεια τοποθετείται και το υπόλοιπο δείγμα στα διαμερίσματα και με τη βοήθεια της

σπάτουλας το ανώτερο στρώμα του μείγματος απλώνεται ομοιόμορφα σε όλο το μήκος της επιφάνειας του κάθε διαμερίσματος της μήτρας. Επίσης, το σύστημα των τριών καλουπιών, υποβάλλεται σε 15 κρούσεις στην αριστερή πλευρά του καλουπιού και 15 στη δεξιά, έτσι ώστε να φύγουν πιθανές φυσαλίδες αέρα που μπορεί να είχαν παραμείνει εγκλωβισμένες στο μείγμα και οι οποίες θα δημιουργούσαν κενά στα δοκίμιά μας.

Το υλικό παρέμεινε στις μήτρες για 7 ημέρες, από τις οποίες στις πρώτες 5 διαβρέχονταν έτσι ώστε να έχουν μια μόνιμη υγρασία και να μην "σκάσουν".

Μετά το πέρας των 7 ημερών τα δοκίμια βγήκαν από τις μήτρες και τοποθετήθηκαν σε θάλαμο συντήρησης όπου και παρέμειναν για 28 ημέρες μέχρι δηλαδή την μέρα της θραύσης τους. Η θερμοκρασία στο θάλαμο συντήρησης είναι γύρω στους 20°C και η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη του 90% (περίπου 95-98%) .



Εικόνα 3.7. Δοκίμια κονιάματος Κ.Χ.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα κυβικά δοκίμια για τον έλεγχο της αντοχής σε θλίψη δεν κατασκευάστηκαν ξεχωριστά αλλά δημιουργήθηκαν από κατάλληλο κόψιμο των ήδη σπασμένων δοκιμίων, που πρωτίτερα είχαν δοκιμαστεί σε κάμψη.

3.2.2 ΔΟΚΙΜΗ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Η δοκιμή εξάπλωσης κονιαμάτων είναι μια πειραματική διάταξη που παρέχει σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την ροή των μειγμάτων με διαφορές κονίες.

Ουσιαστικά η εξάπλωση είναι ένα μέτρο εργασιμότητας που εκφράζεται με τη μέση διάμετρο σε cm που αποκτά μια κωνική στήλη νωπού κονιάματος, η οποία μορφώθηκε επάνω στην τράπεζα εξάπλωσης, έπειτα από ορισμένο αριθμό αναπηδήσεων της τράπεζας.

Η συσκευή εξάπλωσης αποτελείται από μια κινούμενη διάταξη, η οποία στηρίζεται σε ένα πλαίσιο, και μπορεί να προσκρουσθεί πάνω στο πλαίσιο αυτό με τη βοήθεια ενός περιστρεφόμενου έκκεντρου.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ :

Σκουπίζεται προσεκτικά η επιφάνεια της κινητής διάταξης της συσκευής εξάπλωσης για να είναι καθαρή και ξηρή, και τοποθετείται πάνω σ' αυτή κεντρικά ένας κολουροκωνικός δακτύλιος. Τοποθετείται στον κολουροκωνικό δακτύλιο ένα στρώμα κονιάματος πάχους 25 mm (ο μισός δακτύλιος) και συμπυκνώνεται με 20 κτύπους με τον κόπανο. Η δύναμη των κτυπημάτων πρέπει να είναι τόση, όση χρειάζεται για να γεμίσει ομοιόμορφα ο δακτύλιος.

Γεμίζεται ο δακτύλιος με κονίαμα και συμπυκνώνεται όπως τα προηγούμενα. Στην συνέχεια αφαιρείται το περίσσειμα του κονιάματος με μυστρί που μετακινείται σχεδόν κάθετα και πριονωτά πάνω στα χείλη του καλουπιού ώστε να σχηματισθεί επίπεδη επιφάνεια.

Αφού το μείγμα παραμείνει μέσα στον δακτύλιο για 1 λεπτό, αφαιρείται ο δακτύλιος και με τον ειδικό μοχλό αφήνεται η κινητή διάταξη να πέσει 25 φορές. Το μείγμα από

την μορφή που είχε πάρει λόγω του δακτυλίου, μετά τα κτυπήματα, αρχίζει να εξαπλώνεται και αποκτά ένα κυκλικό σχήμα. Μετράται στη συνέχεια η διάμετρός του, και κρίνεται αν το μείγμα έχει σωστή ποσότητα νερού ή όχι. Τα αποδεκτά όρια μιας δοκιμής εξάπλωσης είναι από 15,5 έως 16 cm . Μία άριστη εξάπλωση έχει διάμετρο 15,8 cm. Σε περίπτωση που το μείγμα έχει πάνω από 16 cm διάμετρο σημαίνει ότι η ποσότητα νερού είναι πολύ περισσότερη από όσο θα έπρεπε, και πρέπει να γίνει νέο κονίαμα με λιγότερη ποσότητα νερού. Επίσης στην περίπτωση μικρότερης από 15,5 cm διαμέτρου, γίνεται εκ νέου κονίαμα προσθέτοντας αυτή τη φορά περισσότερη ποσότητα νερού στην συνταγή μας.



Εικόνα 3.8. Συσκευή Δοκιμής Εξάπλωσης

3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε έλεγχος της αντοχής σε κάμψη παραλληλόγραμμων ράβδων και στη συνέχεια, από τα τμήματα των ράβδων που παρέμειναν κόπηκαν κυβικά δοκίμια στα οποία μελετήθηκε η αντοχή τους σε θλίψη.

Η μελέτη της αντοχής των δοκιμίων έγινε με κατάλληλη συσκευή, η οποία βρίσκεται στο Εργαστήριο της Διεύθυνσης Τεχνικών Ερευνών Αναστήλωσης (ΔΙ.ΤΕ.Α.) του Υπουργείου Πολιτισμού στην Αθήνα. Η πρέσα αυτή είναι της εταιρίας WYKEHAM FARRANCE INTERNATIONAL και έχει μέγιστο φορτίο τα 100 kN. Η παραπάνω συσκευή είναι συνδεδεμένη με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και ένα βελόμετρο, το οποίο μετράει την παραμόρφωση κατά τη διάρκεια του ελέγχου, έτσι ώστε να καταγράφονται όλες οι ενδείξεις του βελόμετρου και το αντίστοιχο μέτρο της δύναμης που ασκείται από την πρέσα.



Εικόνα 3.9. Πρέσα WYKEHAM

3.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη γίνεται βάσει των κριτηρίων και της διαδικασίας που αναφέρεται στο πρότυπο EN1015-Part11, σύμφωνα με το οποίο, το πρισματικό δοκίμιο του κονιάματος (διαστάσεων 16x4x4 cm), τοποθετείται στη συσκευή δοκιμής με την πλάγια πλευρά του επαπτόμενη στους κυλίνδρους στήριξης (ώστε να εξασφαλίζεται καλή επαφή των κυλίνδρων στο δοκίμιο) και με τον επιμήκη άξονά του κάθετο προς τα στηρίγματα. Το δοκίμιο φορτίζεται κατακόρυφα, με εφαρμογή του κυλίνδρου φόρτισης στην απέναντι πλάγια πλευρά του πρίσματος.

Η αντοχή σε κάμψη (R_f) υπολογίζεται θεωρητικά από τη σχέση (Αγιουτάντης, 2002) :

$$R_f = 1.5 \cdot F_f \cdot \frac{l}{b \cdot d^2}$$

όπου:

- R_f , η αντοχή σε κάμψη (MPa)
- b , το πλάτος του πρίσματος (mm)
- d , το βάθος του πρίσματος (mm)
- F_f , το φορτίο που ασκείται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση (N)
- l , η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων (mm)

Η εφαρμογή του μέγιστου φορτίου γίνεται στο κέντρο του διαμήκη άξονα του πρισματικού δοκιμίου, δεδομένου ότι στο σημείο αυτό εμφανίζεται η μέγιστη αντοχή του.

Γενικά σε κονίες και κονιάματα δεν γίνονται μελέτες σχετικά με την αντοχή τους σε κάμψη διότι δεν είναι καθοριστική ιδιότητα για τον χαρακτηρισμό τους. Η βασική μέτρηση για να κριθεί η καταλληλότητα μιας κονίας ή ενός κονιάματος για τη χρήση τους σε ένα έργο είναι η αντοχή τους σε θλίψη.

3.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Η διαδικασία για τον έλεγχο της αντοχής των κονιαμάτων σε θλίψη είναι ακριβώς η ίδια, όπως για τον έλεγχο της αντοχής σε κάμψη των κονιαμάτων, με τη διαφορά ότι αλλάζει ο υποδοχέας δειγμάτων της πρέσας ώστε να δέχεται κυβικά δοκίμια για δοκιμή σε θλίψη.

Ο προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη γίνεται επίσης, βάσει του προτύπου EN1015-Part 11, σύμφωνα με το οποίο τα δύο θραυσμένα μέρη του δοκιμίου, που έχει υποστεί αστοχία λόγω κάμψης, υποβάλλονται σε δοκιμή θλίψης. Η τοποθέτησή τους γίνεται κατά το μήκος τους, στο κέντρο των πλακών της συσκευής θλίψης, με τρόπο ώστε το άκρο του πρίσματος να προεξέχει περίπου 10 mm από τα άκρα των πλακών. Το όλο σύστημα μεταφοράς του φορτίου, έχει την ικανότητα να ολισθαίνει κατακόρυφα, χωρίς σημαντική τριβή έτσι ώστε οι πλάκες να διατηρούν την ίδια οριζόντια προβολή κατά τη διάρκεια της δοκιμής.

Η στιγμιαία τάση στο δοκίμιο υπολογίζεται από τη σχέση (Αγιουτάντης, 2002):

$$R_c = \frac{F_c}{A}$$

όπου:

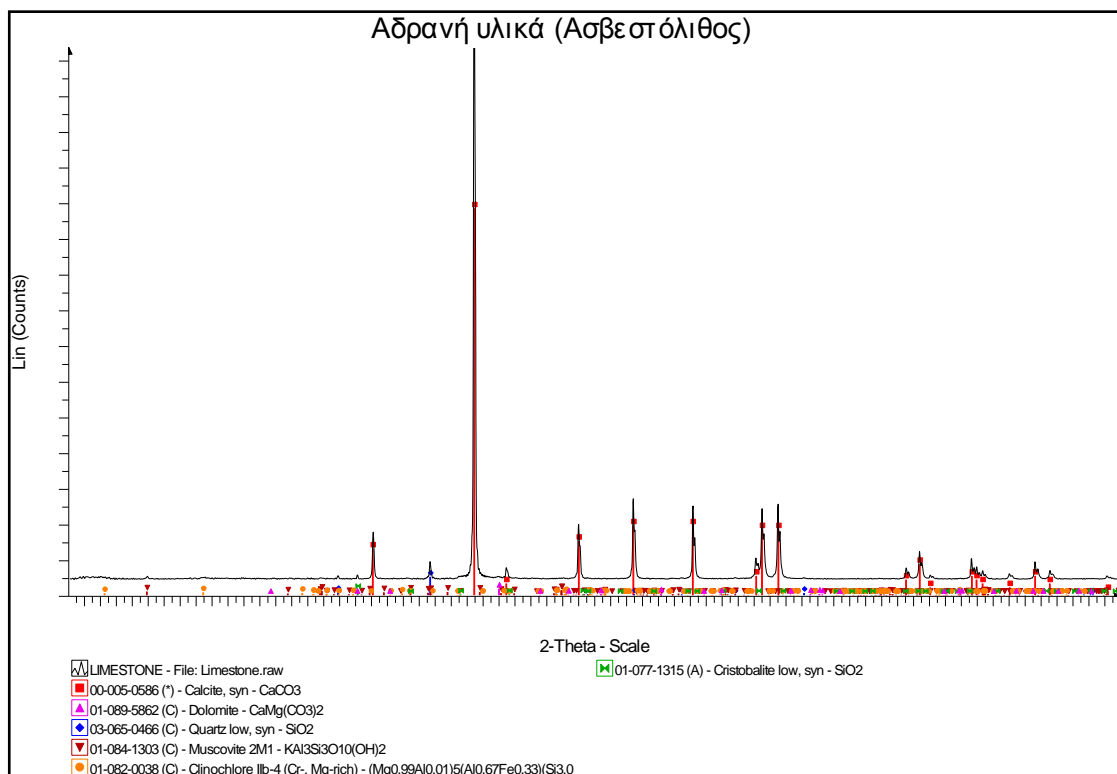
- F_c , το μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης (N)
- A , η επιφάνεια στην οποία ασκείται το φορτίο (mm²).

Από το διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης προκύπτει η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (MPa), ως μέγιστη τιμή του διαγράμματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

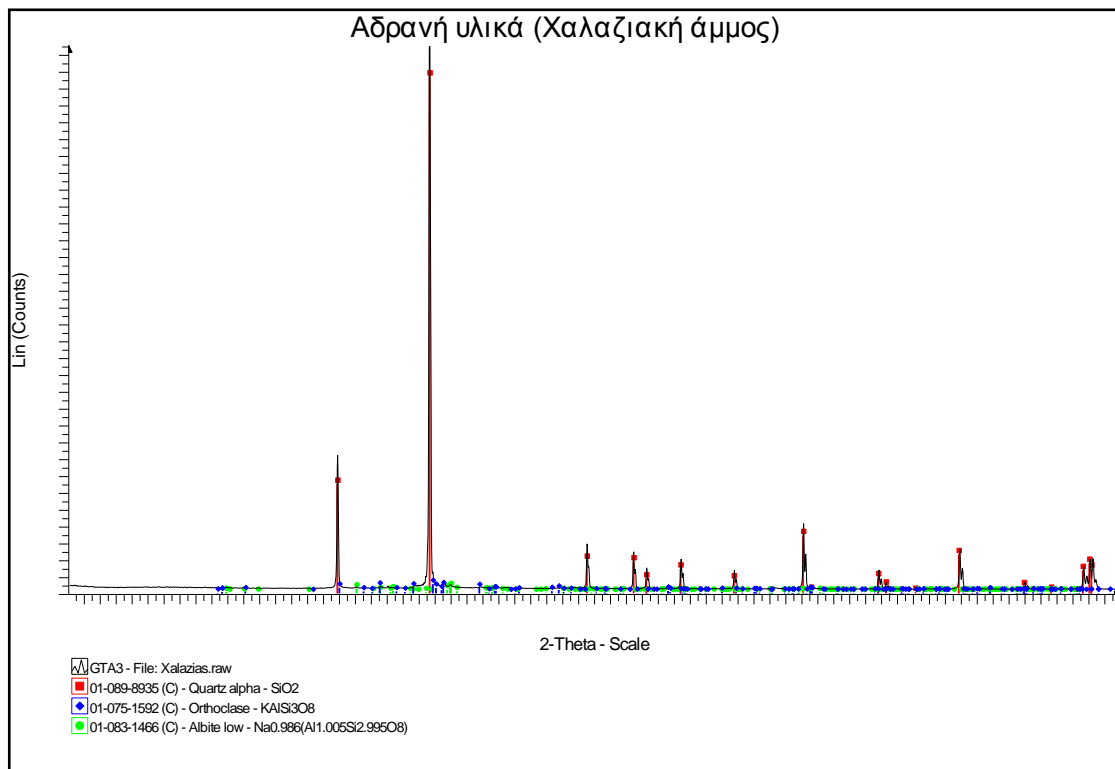
4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Στην Εικόνα 4.1, παρουσιάζεται το ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του ασβεστολιθικού αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή των κονιαμάτων. Οι ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν ήταν: ασβεσίτης, δολομίτης, χαλαζίας, μοσχοβίτης, χλωρίτης και χριστοβαλίτης. Η ημιποσοτική εκτίμηση που έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα EVA Diffract Plus, έδειξε ότι τα ποσοστά των φάσεων αυτών στο δείγμα που εξετάστηκε ήταν: Ασβεσίτης (CaCO_3) 94%, Χαλαζίας (SiO_2) 2%, Μοσχοβίτης 1%, Δολομίτης 1 %, Χλωρίτης 1%, Χριστοβαλίτης 1%.



Εικόνα 4.1. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος ασβεστολιθικής λατομικής άμμου.

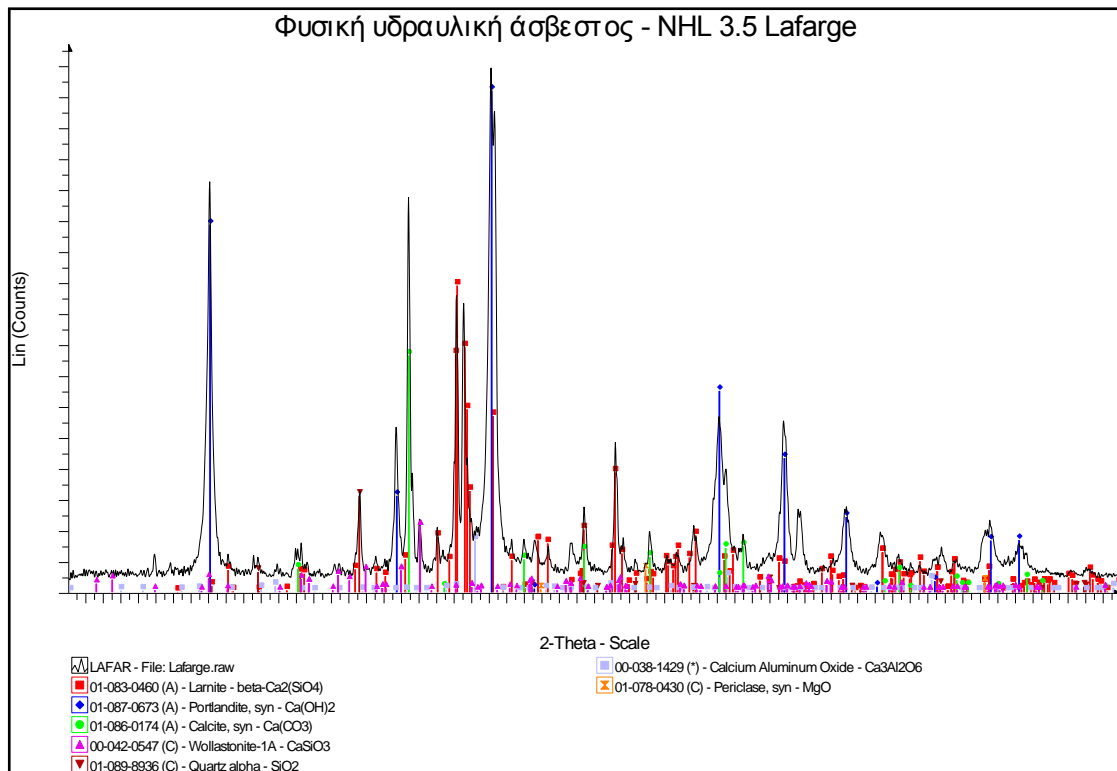
Στην εικόνα 4.2, παρουσιάζεται το ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του χαλαζιακού αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή των κονιαμάτων. Οι ορυκτολογικές φάσεις που παρατηρήθηκαν είναι κυρίως χαλαζίας και ανιχνεύτηκαν μικρές ποσότητες καλιούχων αστρίων και αλβίτη (πλαγιόκλαστο). Η ημιποσοτική εκτίμηση που έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό πρόγραμμα EVA Diffract Plus, έδειξε ότι τα ποσοστά των φάσεων αυτών στο δείγμα που εξετάστηκε ήταν: Χαλαζίας (SiO_2) 98% και λοιπές ορυκτές φάσεις 2%.



Εικόνα 4.2. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος χαλαζιακής άμμου.

Στην Εικόνα 4.3, παρουσιάζεται το ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) της φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL 3.5) που χρησιμοποιήθηκε στην παρασκευή των κονιαμάτων. Η κύρια υδραυλική φάση του δείγματος είναι ο λαρνίτης ($\beta\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$) σε ποσοστό 32%. Επίσης περιέχει σημαντικές ποσότητες υδροξειδίου του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (πορτλανδίτης) σε ποσοστό (41%) το οποίο αποτελεί την αερική φάση της κόνιας. Τέλος οι υπόλοιπες ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν ήταν: αργλικό τριασβέστιο (C_3A) σε ποσοστό 2%, βολαστονίτης (CaSiO_3) σε ποσοστό 3%,

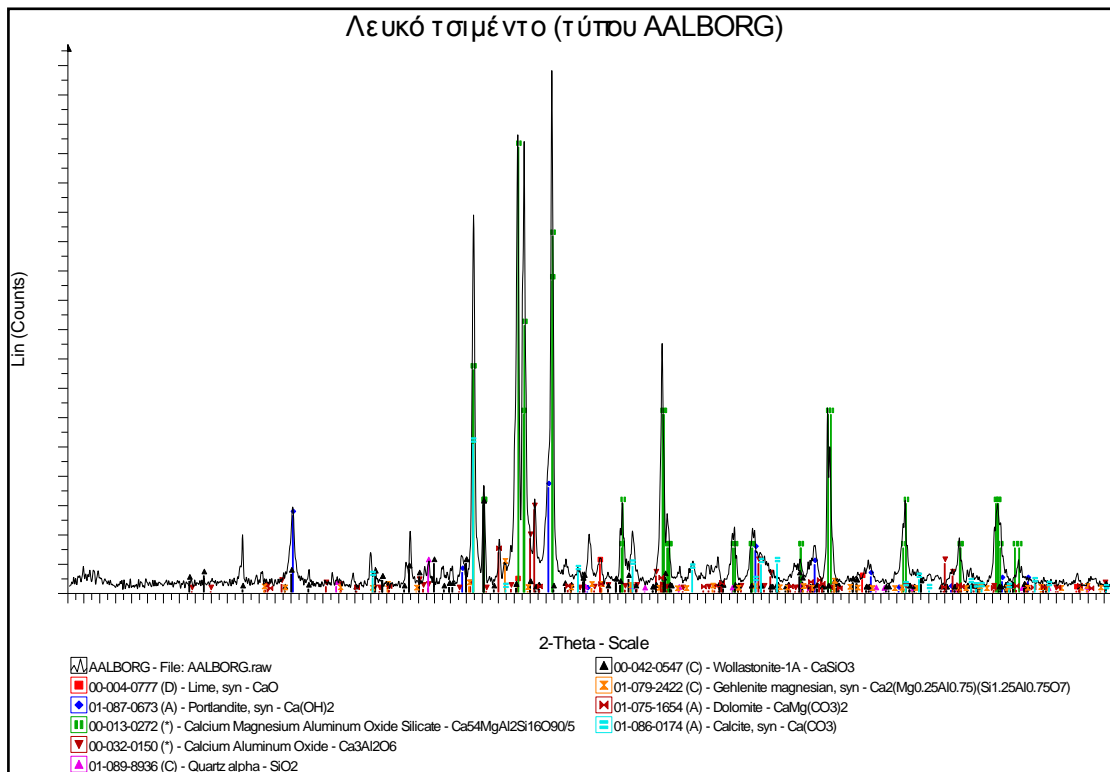
ασβεστίτης (CaCO_3) σε ποσοστό 18%, χαλαζίας (SiO_2) σε ποσοστό 3% και περίκλαστο (MgO) σε ποσοστό 1%.



Εικόνα 4.3. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) του αρχικού δείγματος της φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

Στο λευκό τσιμέντο AALBORG η κύρια υδραυλική φάση είναι το πυριτικό τριασβεστόιο (C_3S) σε ποσοστό 45%. Επίσης ανιχνεύτηκαν ποσότητες πορτλανδίτη 15% αλλά και μικροποσότητες οξειδίου του ασβεστίου (CaO) 5%, γεγονός το οποίο υποδηλώνει πως η μετατροπή του τελευταίου δεν είναι πλήρης.

Στην συγκεκριμένη κονία το ποσοστό του αργλικού τριασβεστίου (C_3A ίσο με 5%) είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό που ανιχνεύτηκε στη φυσική υδραυλική άσβεστο, γεγονός το οποίο ήταν αναμενόμενο. Οι υπόλοιπες ορυκτολογικές φάσεις που ανιχνεύτηκαν είναι ασβεστίτης 12%, δολομίτης, χαλαζίας, βολαστονίτης και γκελενίτης σε συνολικό αθροιστικό ποσοστό 18%.



Εικόνα 4.4. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (XRD) του αρχικού δείγματος τσιμέντου Aalborg.

4.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ

Επελέγησαν τρεις χαρακτηριστικοί δομικοί λίθοι που αποτελούν δομικά υλικά του ενετικού φρουρίου «Κούλες», για τη μελέτη συμβατότητας με πρότυπο επισκευαστικό κονίαμα που κρίθηκε καταλληλότερο βάσει των εργαστηριακών δοκιμών ελέγχου της μηχανικής αντοχής των διαφορετικών συνθέσεων κονιαμάτων. Οι δομικοί λίθοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι (Καραμπάτσου, 2012):

- Ασβεστόλιθοι με ενδοκλάστες, τεμαχίδια δηλαδή ενδογενετικής προέλευσης μέσα σε μικριτική μάζα. Οι ενδοκλάστες προέρχονται από την ίδια λεκάνη, είναι ξαναδουλεμένα τεμαχίδια ανθρακικής σύστασης με ποικίλη στρογγυλότητα. Συναντούμε πολύ γωνιώδη τεμάχη σε λιμναίες και υπερπαλλιροϊκές αποθέσεις ενώ σε ρηγά νερά καλά στρογγυλεμένα τεμάχη. Τα δείγματα αυτά χαρακτηρίζονται γενικά σαν μικριτικοί λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι.

- Βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι, οι οποίοι συνίστανται από βιοκλάστες μέσα σε μακροσπαριτική μάζα.

Στη συνέχεια παραθέτονται εικόνες δοκιμών των τριών δομικών λίθων που προήλθαν από δειγματοληψία που έγινε στα πλαίσια Μεταπτυχιακής εργασίας που εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Πετρολογίας και αναλυτική περιγραφή αυτών που περιλαμβάνει μακροσκοπική παρατήρηση, στοιχεία που αφορούν τα φυσικά και χημικά τους χαρακτηριστικά και την ορυκτολογική σύσταση τόσο των λίθων, όσο και του στερεού αδιάλυτου υπολείμματός τους (Καραμπάτσου, 2012).

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : 6

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΣΤΟ ΦΡΟΥΡΕΙΟ: Ισόγειο – εσωτερικός τοίχος

ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : Λίθος

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΛΙΘΟΥ

ΕΙΔΟΣ ΛΙΘΟΥ : μικριτικός λατυποπαγής ασβεστόλιθος

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ : διάμετρος κόκκων έως 2mm

ΧΡΩΜΑ : καστανό ανοικτό έως καστανό σκούρο

ΔΙΑΒΡΩΣΗ : καλή κατάσταση – συμπαγής υφή



ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	13.93
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	1.23

ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ (%)	73.82
ΣΤΕΡΕΟ ΑΔ/ΤΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΣΕ ΗCl (%)	24
ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΥΡΩΣΗΣ (%)	33.48

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΛΙΘΟΥ

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ
ΑΔ/ΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΗCl**

1. ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ CaCO_3	1. ΧΑΛΑΖΙΑΣ SiO_2
2. ΧΑΛΑΖΙΑΣ SiO_2	2. ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΑ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΑ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	3. ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ $\text{KAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
4. ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ $\text{KAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	4. ΤΑΛΚΗΣ
5. ΤΑΛΚΗΣ	

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : 9

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ : Ισόγειο – εξωτερικός τοίχος

ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : Λίθος – ίχνη κονιάματος

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΛΙΘΟΥ

ΕΙΔΟΣ ΛΙΘΟΥ : μικριτικός λατυποπαγής ασβεστόλιθος

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ : διάμετρος κόκκων έως 1mm

ΧΡΩΜΑ : καστανό τεφρό ανοικτό

ΔΙΑΒΡΩΣΗ : καλή κατάσταση – συμπαγής υφή. Κονίαμα στην κάτω επιφάνεια του λίθου



ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	16.92
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	1.17

ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ (%)	74.66
ΣΤΕΡΕΟ ΑΔ/ΤΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΣΕ ΗCl (%)	24
ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΥΡΩΣΗΣ (%)	34.47

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΛΙΘΟΥ

**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ
ΑΔ/ΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΗCl**

1. ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ CaCO_3	1. ΧΑΛΑΖΙΑΣ SiO_2
2. ΧΑΛΑΖΙΑΣ SiO_2	2. ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΑ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΑ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	3. ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ $\text{KAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
4. ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ $\text{KAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	4. Κ-ΟΥΧΟΣ ΑΣΤΡΙΟΣ (K,Na) AlSi_3O_8
5. Κ-ΟΥΧΟΣ ΑΣΤΡΙΟΣ (K,Na) AlSi_3O_8	

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : 18

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ : Δώμα – εσωτερικός τοίχος

ΕΙΔΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ : Λίθος

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΛΙΘΟΥ

ΕΙΔΟΣ ΛΙΘΟΥ : βιοκλαστικός ασβεστόλιθος

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ : μέγεθος λατύπων έως 3cm

ΧΡΩΜΑ : λευκό με υποκάστανη χροιά

ΔΙΑΒΡΩΣΗ : καλή κατάσταση – συμπαγής υφή



ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΟΡΩΔΕΣ (%)	8.82
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	0.81

ΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ (%)	98.87
ΣΤΕΡΕΟ ΑΔ/ΤΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΣΕ ΗCl (%)	1.1
ΑΠΩΛΕΙΑ ΠΥΡΩΣΗΣ (%)	47.85

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΛΙΘΟΥ

1. ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ CaCO_3
2. ΑΛΙΤΗΣ NaCl

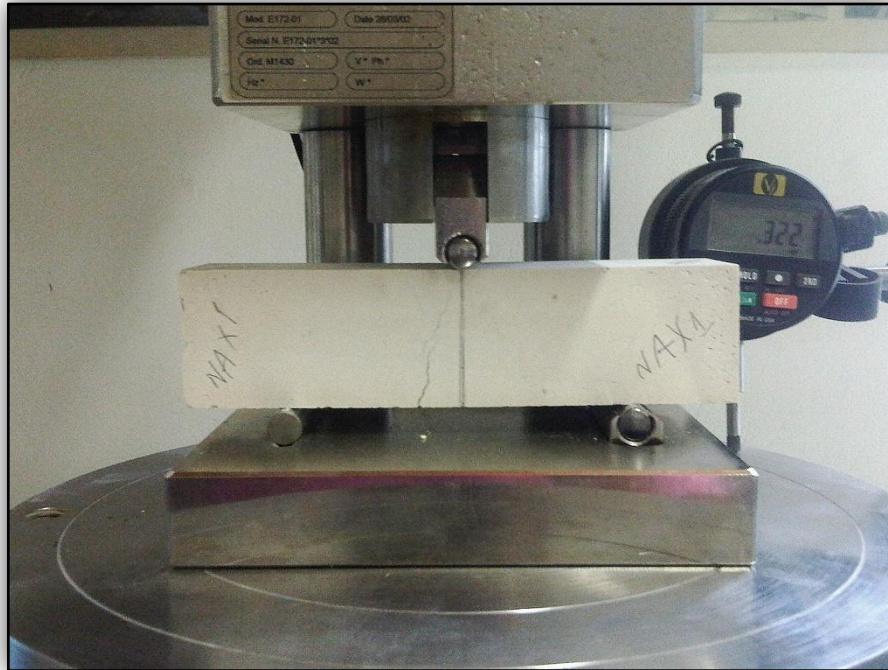
**ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ
ΑΔ/ΤΟΥ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΟΣ ΣΕ ΗCl**

1. ΧΑΛΑΖΙΑΣ SiO_2
2. ΠΛΑΓΙΟΚΛΑΣΤΑ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
3. ΜΑΡΜΑΡΥΓΙΕΣ $\text{KAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
4. ΧΛΩΡΙΤΗΣ $(\text{Fe,Mg})_3\text{Fe}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ

4.3.1 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κατασκευάστηκαν συνολικά δεκαοχτώ ράβδοι διαστάσεων 16x4x4 cm όπου για κάθε μια από τις 6 διαφορετικές συνταγές σπάστηκαν 3 ράβδοι.



Εικόνα 4.5. Αστοχία δοκιμίου κατά την μελέτη αντοχής σε κάμψη

Στη συνέχεια παραθέτονται οι πίνακες με τις τιμές αντοχών σε δοκιμή κάμψης για κάθε μία από τις 6 συνταγές. Ο πρώτος πίνακας (πίνακας 4.1) αναφέρεται στις συνταγές για τις οποίες χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους, αδρανή υλικά χαλαζιακής σύστασης. Ο πίνακας χωρίζεται σε τρία μέρη όπου το καθένα αναφέρεται σε συνταγή με διαφορετικό ποσοστό τσιμέντου/φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

Πίνακας 4.1. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Κάμψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής σύστασης.

ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.5		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.10	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)
KX1	1.767	KX51	2.315	KX101	2.371
KX2	1.542	KX52	2.315	KX102	3.172
KX3	1.385	KX53	2.757	KX103	2.850
M.O	1.564	M.O	2.462	M.O	2.798

Όπως παρατηρείται και από τον πίνακα 4.1, στις δοκιμές αντοχής σε κάμψη των κονιαμάτων για τα οποία χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά ως αδρανές χαλαζιακή άμμος, με την προσθήκη ποσοστού τσιμέντου Aalborg, παρατηρείται και αύξηση της αντοχής των κονιαμάτων

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτονται τα αποτελέσματα των τιμών αντοχής σε κάμψη των συνταγών που ως αδρανές υλικό χρησιμοποιήθηκε ποσοστό ασβεστολιθικής και χαλαζιακής σύστασης.

Πίνακας 4.2. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Κάμψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής & Ασβεστολιθικής σύστασης.

ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Α.Χ		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Α.Χ.5		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Α.Χ.10	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)
KAX1	2.799	KAX51	2.231	KAX101	3.002
KAX2	2.134	KAX52	2.088	KAX102	2.380
KAX3	2.264	KAX53	3.202	KAX103	3.419
M.O	2.399	M.O	2.507	M.O	2.934

Αντίστοιχα στον πίνακα 4.2, παρατηρείται ότι αυξήθηκε η αντοχή του κονιάματος συγκριτικά με τις προηγούμενες συνταγές λόγω της παρουσίας ασβεστολιθικού

αδρανούς, καθώς επίσης και πάλι φαίνεται η αύξηση της αντοχής του κονιάματος με την σταδιακή προσθήκη τσιμέντου AALBORG.

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η αντοχή σε κάμψη των κονιαμάτων, δεν αποτελεί βασικό κριτήριο για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων μας. Παρ' όλα αυτά όμως είναι σημαντικός και ο έλεγχος της ιδιότητας αυτής για την μελέτη της συμπεριφοράς του κονιάματος κατά την προσθήκη τσιμέντου.

4.3.2 ANTOXH SE ΘΛΙΨΗ

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, κόπηκαν συνολικά σαράντα οχτώ δοκίμια διαστάσεων 4x4x4 cm, οχτώ για κάθε διαφορετική συνταγή, εκ των οποίων τα τριάντα, πέντε δηλαδή από κάθε συνταγή, σπάστηκαν κατά τη διάρκεια δοκιμής της αντοχής τους σε θλίψη.



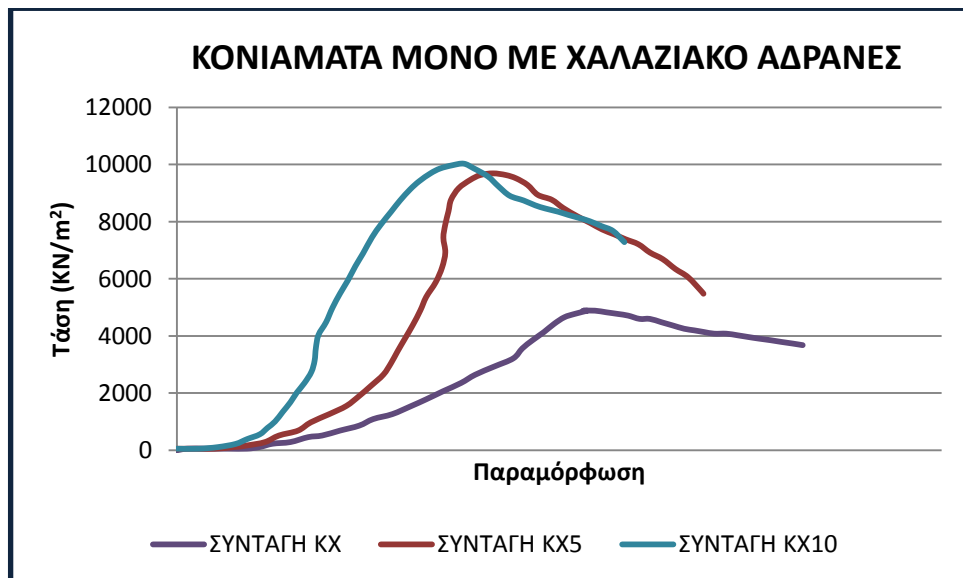
Εικόνα 4.6. Αστοχία δοκίμιου κονιάματος κατά τη δοκιμή της αντοχής του σε μονοαξονική θλίψη.

Στον ακόλουθο πίνακα παραθέτονται τα αποτελέσματα των δοκιμών αντοχής σε θλίψη, των κονιαμάτων που ως αδρανές χρησιμοποιήθηκε υλικό χαλαζιακής σύστασης.

Ο πίνακας των αποτελεσμάτων της δοκιμής σε μονοαξονική θλίψη χωρίζεται και πάλι σε τρία μέρη όπου το καθένα αναφέρεται σε συνταγή με διαφορετικό ποσοστό τσιμέντου/φυσικής υδραυλικής ασβέστου.

Πίνακας 4.3. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Θλίψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής σύστασης.

ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.5		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Χ.10	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)
ΚΧα	4.570	ΚΧ5α	9.273	ΚΧ10α	10.760
ΚΧβ	4.565	ΚΧ5β	10.345	ΚΧ10β	10.028
ΚΧγ	5.394	ΚΧ5γ	9.695	ΚΧ10γ	9.581
ΚΧδ	4.888	ΚΧ5δ	9.146	ΚΧ10δ	10.531
ΚΧε	5.749	ΚΧ5ε	9.773	ΚΧ10ε	10.572
ΜΟ	5.033	ΜΟ	9.646	ΜΟ	10.294



Εικόνα 4.7. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με Αδρανή Υλικά Χαλαζιακής Σύστασης

Όπως παρατηρείται και από τον Πίνακα 4.3, η προσθήκη 5% τσιμέντου για τα κονιάματα που παρασκευάστηκαν αποκλειστικά με χαλαζιακό αδρανές, έφερε

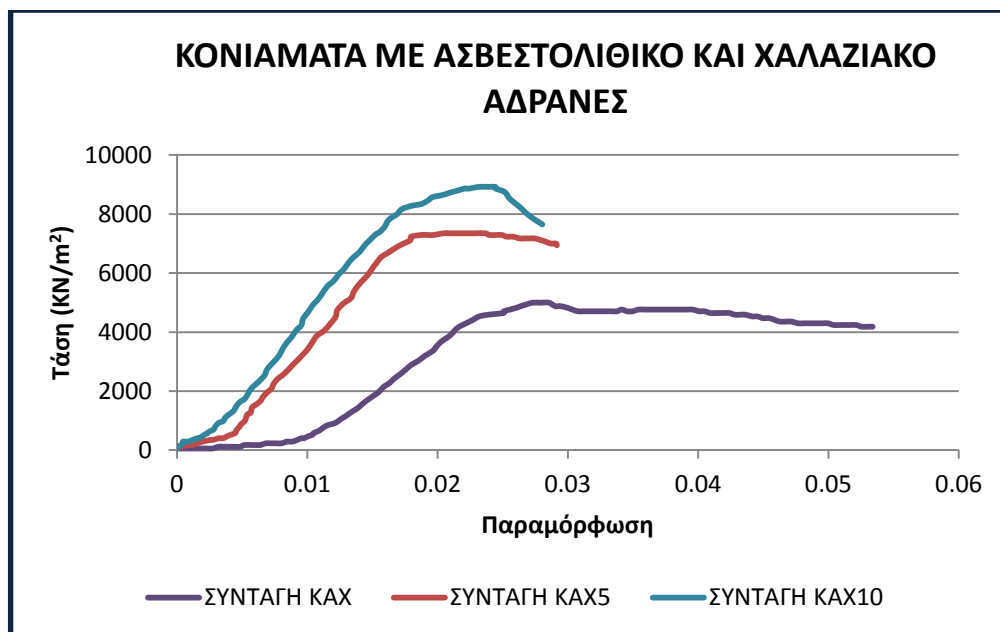
σημαντική αύξηση της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, ενώ με την προσθήκη 5% επιπλέον τσιμέντο Aalborg, η διαφορά στην αύξηση ήταν ελάχιστη.

Στο παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 4.3), οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι τιμές που αντιστοιχούν στις μετρήσεις του δοκιμίου του οποίου η αντοχή είχε τη μικρότερη απόκλιση από τον μέσο όρο, ούτως ώστε το διάγραμμα να είναι όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικό.

Στη συνέχεια ακολουθεί πίνακας με τις τιμές των αντοχών σε δοκιμή θλίψης, των συνταγών οι οποίες ως αδρανές υλικό περιείχαν ποσοστό ασβεστολιθικής και χαλαζιακής σύστασης.

Πίνακας 4.4. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Θλίψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής & Ασβεστολιθικής σύστασης.

ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Α.Χ		ΣΥΝΤΑΓΗ Κ.Α.Χ.5		Κ.Α.Χ.10	
ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)	ΔΟΚΙΜΙΟ	ΤΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ (MPa)
ΚΑΧα	5.000	ΚΑΧ5α	7.974	ΚΑΧ10α	8.923
ΚΑΧα	5.006	ΚΑΧ5β	7.424	ΚΑΧ10β	8.884
ΚΑΧγ	4.994	ΚΑΧ5γ	8.167	ΚΑΧ10γ	10.150
ΚΑΧδ	5.082	ΚΑΧ5δ	7.155	ΚΑΧ10δ	9.856
ΚΑΧε	4.785	ΚΑΧ5ε	7.343	ΚΑΧ10ε	8.717
ΜΟ	4.973	ΜΟ	7.613	ΜΟ	9.306



Εικόνα 4.8. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με Αδρανή Χαλαζιακής/Ασβεστολιθικής Σύστασης

Στον Πίνακα 4.4 παρατηρείται ότι με την σταδιακή αύξηση του τσιμέντου AALBORG στα κονιάματα, είχαμε και σταδιακή αύξηση της αντοχής των κονιαμάτων. Σε σχέση με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.3, παρατηρείται ότι με τη χρήση ασβεστολιθικού αδρανούς, οι μέσες τιμές των αντοχών σε μονοαξονική θλίψη μειώνονται.

Γενικά και στις 6 διαφορετικές συνταγές η προσθήκη τσιμέντου AALBORG έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του κονιάματος, γεγονός το οποίο θα μας βοηθήσει στην επιλογή της καταλληλότερης συνταγής για χρήση της στον έλεγχο συμβατότητας.

4.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ

Όπως αναφέρθηκε, για την επιλογή της καταλληλότερης συνταγής η οποία θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της συμβατότητας του κονιάματος με τους δομικούς λίθους του Ενετικού φρουρίου Κούλε στο Ηράκλειο σημαντικό ρόλο παίζει η αντοχή των κονιαμάτων. Στόχος είναι η παρασκευή ενός κονιάματος συμβατού με τους δομικούς λίθους και ανθεκτικού στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Κριτήριο στην επιλογή της βέλτιστης σύνθεσης είναι και η πλαστιμότητα του υλικού.

Με τον όρο πλαστιμότητα ορίζεται η ικανότητά κάποιου υλικού να παραμορφώνεται πέραν του ορίου διαρροής του (Γιαννόπουλος, 2003).

Η πλαστιμότητα απεικονίζεται στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης ανάλογα με το πώς συμπεριφέρεται η καμπύλη μετά το σημείο αστοχίας. Αν η τάση μειωθεί απότομα τότε πρόκειται για ψαθυρό υλικό, δηλαδή απότομη αστοχία με μικρή πλαστιμότητα, ενώ αν μετά το σημείο αστοχίας η τάση μειώνεται ομαλά στο διάγραμμα τότε πρόκειται για πλάστιμο υλικό, όπου πρακτικά παρουσιάζει μια προειδοποίηση της επικείμενης αστοχίας όπως για παράδειγμα, με την παρουσία ρωγμής.

Ακόμα, επειδή η χρήση του κονιάματος θα είναι για λόγους επέμβασης σε ιστορικό κτίριο, οι μέθοδοι συντήρησης και τα υλικά που επιλέγονται θα πρέπει να είναι συμβατά και να πληρούν ορισμένους όρους (βλέπε κεφάλαιο 1.8):

Για την καλύτερη σύγκριση των αντοχών των κονιαμάτων ακολουθεί πίνακας με την μέση τιμή των αντοχών των κονιαμάτων.

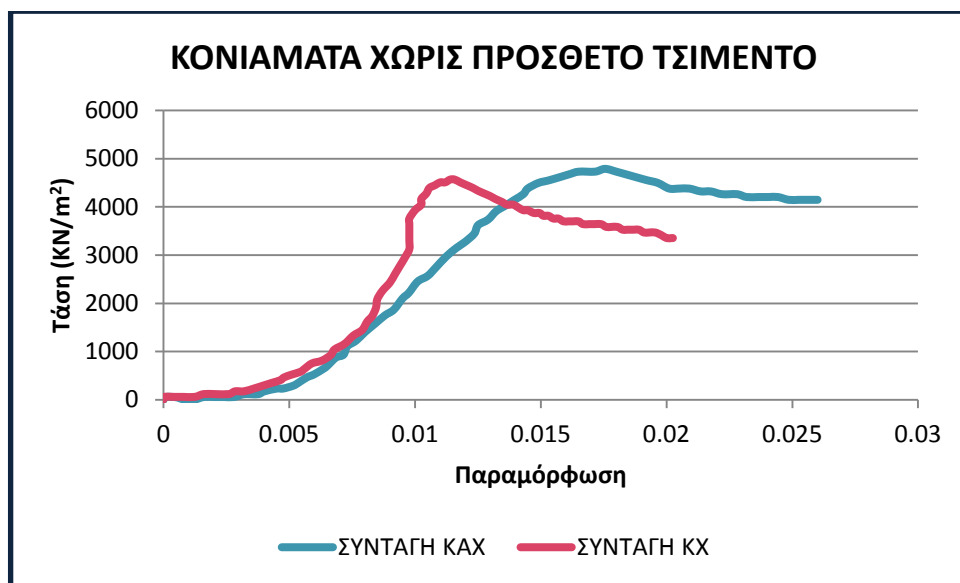
Πίνακας 4.5. Μέση τιμή αντοχής των δοκιμίων.

	ΣΥΝΤΑΓΗ	ΑΝΤΟΧΗ		ΣΥΝΤΑΓΗ	ΑΝΤΟΧΗ
ΧΑΛΛΑΖ & ΑΣΒΕΣΤ	ΧΩΡΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	4.973 MPa	ΜΟΝΟ ΧΑΛΛΑΖ	ΧΩΡΙΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟ	5.033 MPa
	5% AALBORG	7.613 MPa		5% AALBORG	9.646 MPa
	10% AALBORG	9.306 MPa		10% AALBORG	10.294 MPa

Επίσης για τον έλεγχο της πλαστιμότητας, ακολουθούν τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης, ομαδοποιημένα κατά τις ίδιες περιεκτικότητες σε φυσική υδραυλική άσβεστο και τσιμέντο AALBORG, αλλά με διαφορετικής σύστασης αδρανή υλικά. Για την δημιουργία όσο το δυνατόν πιο αντιπροσωπευτικού διαγράμματος, οι τιμές που

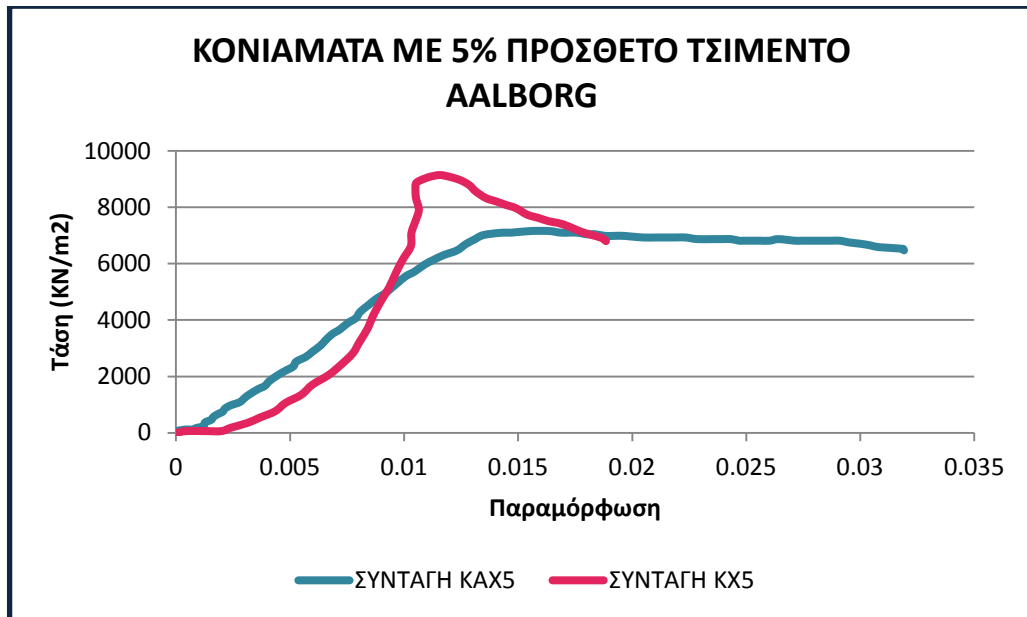
χρησιμοποιηθήκαν είναι, όπως και προηγουμένως, οι τιμές που αντιστοιχούν στις μετρήσεις του δοκιμίου του οποίου η αντοχή είχε τη μικρότερη απόκλιση από τον μέσο όρο.

Στο παρακάτω διάγραμμα, απεικονίζονται οι τιμές τάσης-παραμόρφωσης των συνταγών που είχαν ως κονία τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3,5.



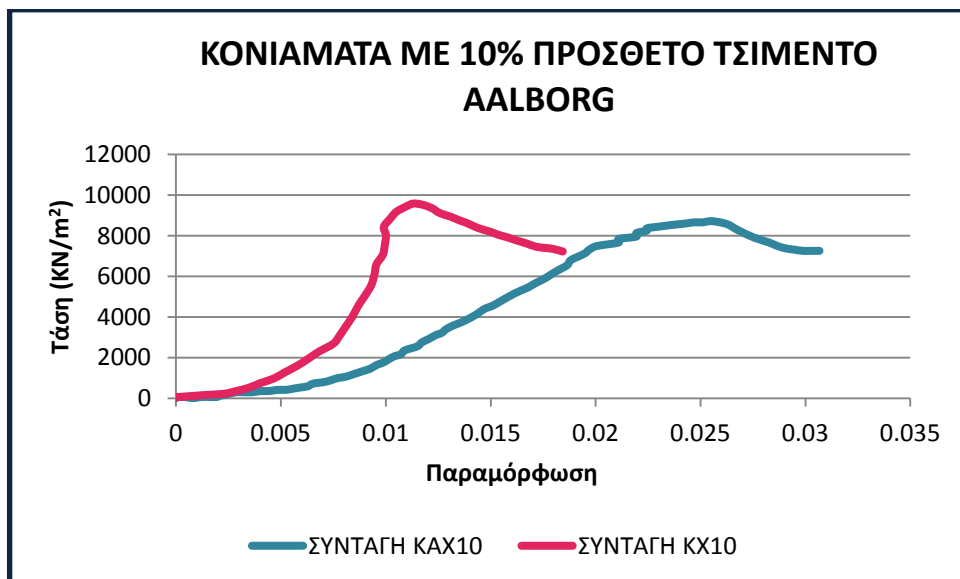
Εικόνα 4.9. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων Χωρίς Πρόσθετο τσιμέντο AALBORG

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές τάσης-παραμόρφωσης των συνταγών που είχαν ως κονία τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3,5 σε ποσοστό 95% και το τσιμέντο AALBORG σε ποσοστό 5%.



Εικόνα 4.10. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με 5% πρόσθετο τσιμέντο AALBORG

Και τέλος, στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζονται οι τιμές τάσης-παραμόρφωσης των συνταγών που είχαν ως κονία τη φυσική υδραυλική άσβεστο NHL 3,5 σε ποσοστό 90% και το τσιμέντο AALBORG σε ποσοστό 10%.



Εικόνα 4.11. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με 10% πρόσθετο τσιμέντο AALBORG

Όπως παρατηρείται από τα παραπάνω διαγράμματα (Εικόνες 4.5, 4.6, 4.7), τα κονιάματα που παρουσίασαν την μεγαλύτερη αντοχή ήταν αυτά που περιείχαν 5% και 10% τσιμέντο. Η διαφορά στην αντοχή τους ήταν πολύ μικρή διότι στα κονιάματα, τόσο μικρή αλλαγή στην ποσότητα του τσιμέντου, δεν επιφέρει πολύ μεγάλες διαφορές.

Οι συνταγές χωρίς καθόλου τσιμέντο AALBORG ενώ έχουν υψηλή πλαστιμότητα όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα (Εικόνα 4.5), παρουσίασαν πολύ χαμηλές τιμές αντοχής και στη συνταγή με χαλαζιακό αδρανές (Συνταγή ΚΧ), και στη συνταγή με χαλαζιακό και ασβεστολιθικό αδρανές (Συνταγή ΚΑΧ).

Ακόμα στις συνταγές με ποσοστό τσιμέντου AALBORG 5% και 10% και αδρανές χαλαζιακής σύστασης (Συνταγή ΚΧ5, Συνταγή ΚΑΧ5), οι τιμές αντοχής των κονιαμάτων είναι αρκετά υψηλές (Πίνακας 4.5), πράγμα που δεν είναι επιθυμητό στις επεμβάσεις συντήρησης διότι υπάρχει περίπτωση τα κονιάματα να επιφέρουν βλάβες στο ήδη υπάρχον κονίαμα ή στους δομικούς λίθους του προς συντήρηση μνημείου.

Επίσης τα κονιάματα που περιέχουν μόνο χαλαζιακής σύστασης αδρανή φαίνεται να μην παρουσιάζουν μεγάλη πλαστιμότητα σε σχέση με τα κονιάματα που έχουν και ποσοστό ασβεστολιθικής σύστασης αδρανή(Εικόνες 4.5, 4.6, 4.7), οπότε τα δεύτερα είναι και προτιμότερα.

Τα αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη των κονιαμάτων που ως αδρανή είχαν υλικά ασβεστολιθικής και χαλαζιακής σύστασης, με ποσοστά τσιμέντου AALBORG 5% και 10%, δεν παρουσίασαν όπως φαίνεται και παραπάνω (Πίνακας 4.5) σημαντικές διαφορές. Συγκρίνοντας λοιπόν και την πλαστιμότητά τους (Εικόνα 4.6) βλέπουμε πως την υψηλότερη πλαστιμότητα παρουσιάζει η συνταγή με 5% τσιμέντο AALBORG (συνταγή ΚΑΧ5) η οποία και χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των στρογγυλεμένων δειγμάτων για τον έλεγχο της συμβατότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ «ΚΟΥΛΕΣ»

5.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ

Για την σύνθεση των δοκιμών ελέγχου της συμβατότητας χρησιμοποιήθηκε το κονίαμα 'ΚΑΧ5', το οποίο κρίθηκε καταλληλότερο ύστερα από τον έλεγχο αντοχής του και αφού μελετήθηκαν τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης όλων των κονιαμάτων που κατασκευάστηκαν για το σκοπό αυτό.

Για την παρασκευή του κονιάματος, σαν αδρανές χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθικής σύστασης άμμος με ένα ποσοστό χαλαζιακής άμμου πολύ υψηλής καθαρότητας και συγκεκριμένης κοκκομετρικής ταξινόμησης (ISO 679 Silica Sand) ενώ ως κύρια υδραυλική άσβεστος, χρησιμοποιήθηκε μια φυσική υδραυλική άσβεστος τύπου NHL 3.5 της εταιρίας Lafarge, 5% της οποίας αντικαταστάθηκε από το λευκό τσιμέντο Aalborg Δανίας. Η αναλογία κονία/αδρανούς ήταν 1/3.

Η διαδικασία παρασκευής των κονιαμάτων παίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση των ιδιοτήτων τους. Η καλή ανάμειξη των πρώτων υλών και η σύσταση των πρώτων υλών (αδρανές / κονία / νερό / τσιμέντο) αποτελούν κάποιους από τους παράγοντες που συνεισφέρουν στο αποτέλεσμα αυτό.

Μετά την ανάμειξη των υλικών και την προσθήκη της απαραίτητης ποσότητας νερού, το υλικό ήταν έτοιμο για χρήση. Αρχικά, μικρή ποσότητα του μείγματος τοποθετήθηκε στο χέρι μας και σε αυτή την ποσότητα εμβαπτίστηκε θραύσμα από τον δομικό λίθο του φρουρίου «Κούλε». Στη συνέχεια προστέθηκε επιπλέον ποσότητα μείγματος ώστε το θραύσμα του λίθου να επικαλυφτεί περιμετρικά με κονίαμα. Η διαδικασία έγινε για τρία διαφορετικά κομμάτια λίθου και τρία διαφορετικά είδη λίθου. Επομένως παρασκευάστηκαν συνολικά εννέα δοκίμια ελέγχου της συμβατότητας χρησιμοποιώντας σε όλα το ίδιο κονίαμα. Τα δοκίμια, τοποθετήθηκαν σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο συντήρησης όπου και παρέμειναν για 28 ημέρες. Η θερμοκρασία στο θάλαμο συντήρησης είναι γύρω στους 20-22°C και η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη του 90% (περίπου 95-98%).



Εικόνα 5.1. Δοκίμια ελέγχου της συμβατότητας από το επιλεγμένο κονίαμα και τους διαφορετικούς δομικούς λίθους.

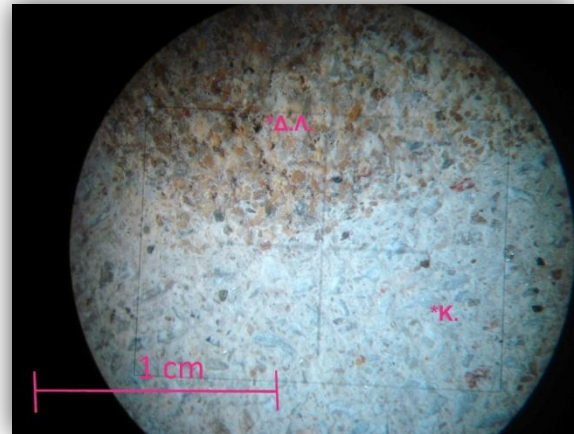
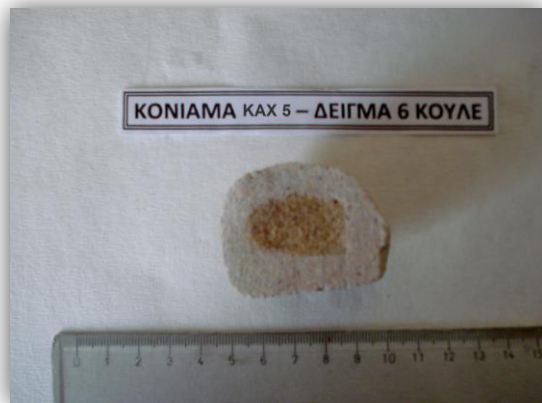
Μετά το πέρας των 28 ημερών, τα δοκίμια κόπηκαν εγκάρσια ώστε η τομή τους να φανερώσει τυχόν αστοχίες κατά την συνύπαρξη του δομικού λίθου με το κονίαμα.



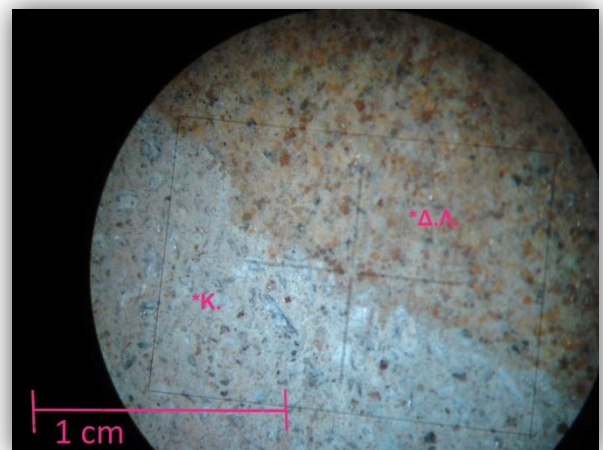
Εικόνα 5.2. Μελέτη δοκιμίου ελέγχου της συμβατότητας στο στερεοσκόπιο.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΔΟΜΙΚΟΥΣ ΛΙΘΟΥΣ ΤΟΥ ΦΡΟΥΡΙΟΥ «ΚΟΥΛΕ»

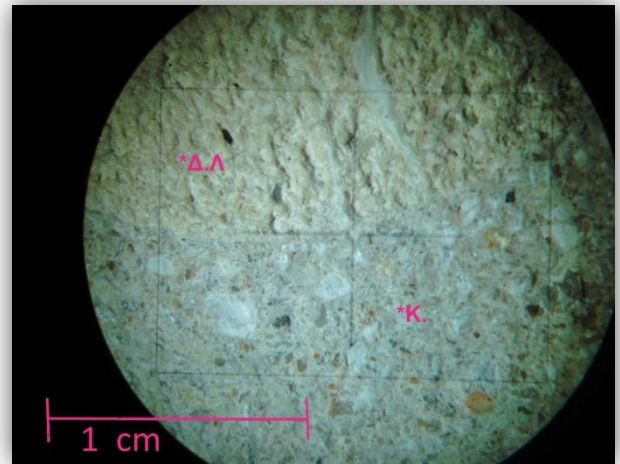
Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζονται τα δείγματα όπως φωτογραφήθηκαν μακροσκοπικά και ύστερα από την παρατήρησή τους στο στερεοσκόπιο.



Εικόνα 5.3. Κονίαμα ΚΑΧ5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα μικριτικού λατυποπαγή ασβεστολίθου. Αριστερα: μακροσκοπικά, Δεξιά : φωτογραφία της επαφής στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)

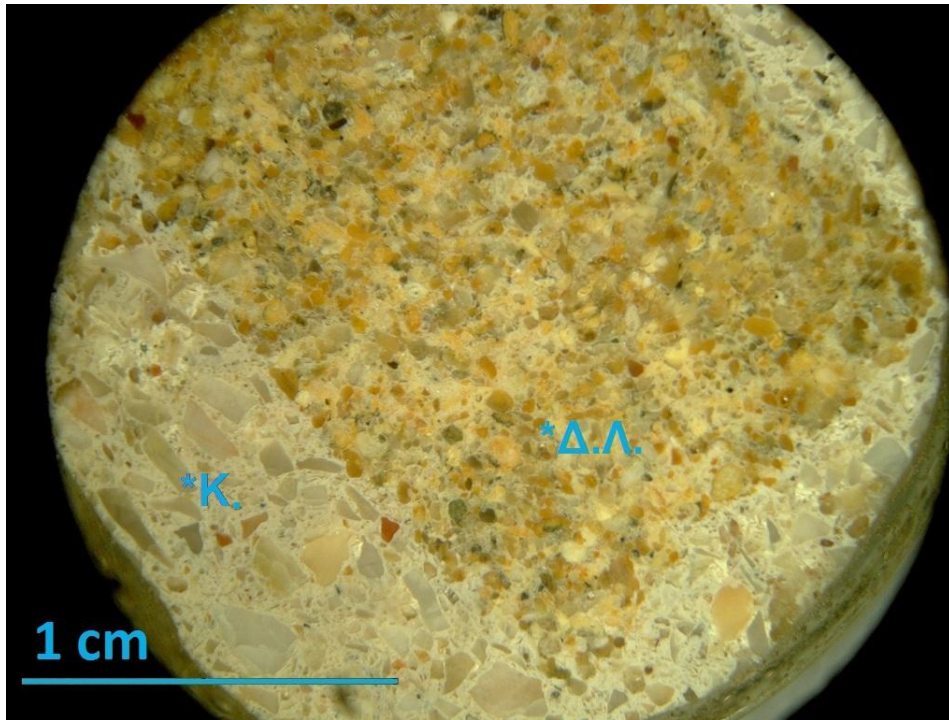


Εικόνα 5.4. Κονίαμα ΚΑΧ5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα μικριτικού λατυποπαγή ασβεστολίθου. Αριστερα: μακροσκοπικά, Δεξιά : φωτογραφία της επαφής στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)

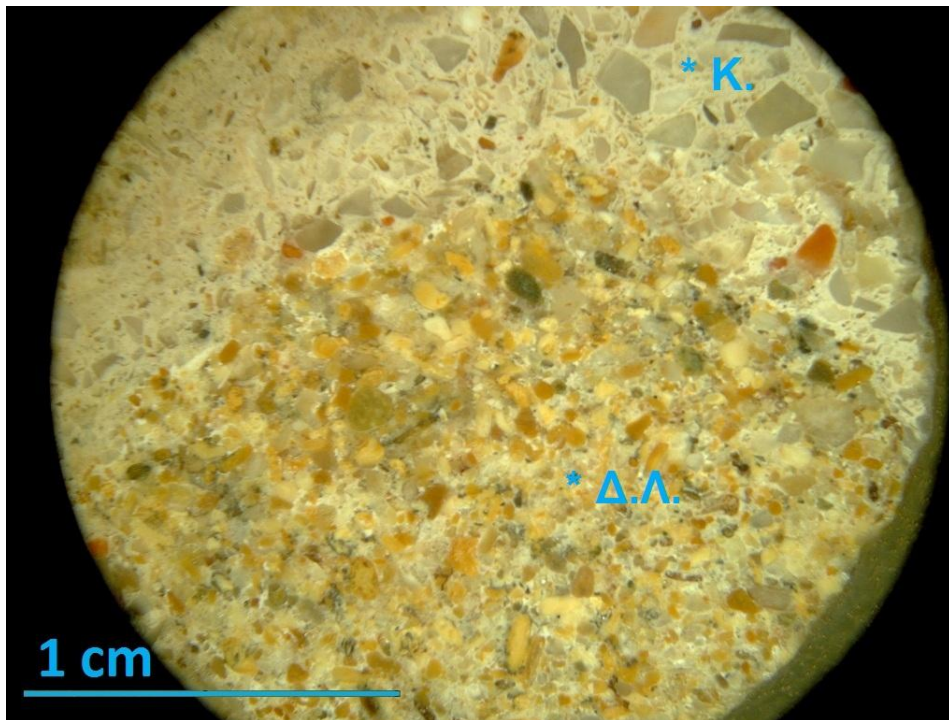


Εικόνα 5.5. Κονίαμα ΚΑΧ5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα βιοκλαστικού ασβεστολίθου. Αριστερα: μακροσκοπικά, Δεξιά : φωτογραφία της επαφής στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)

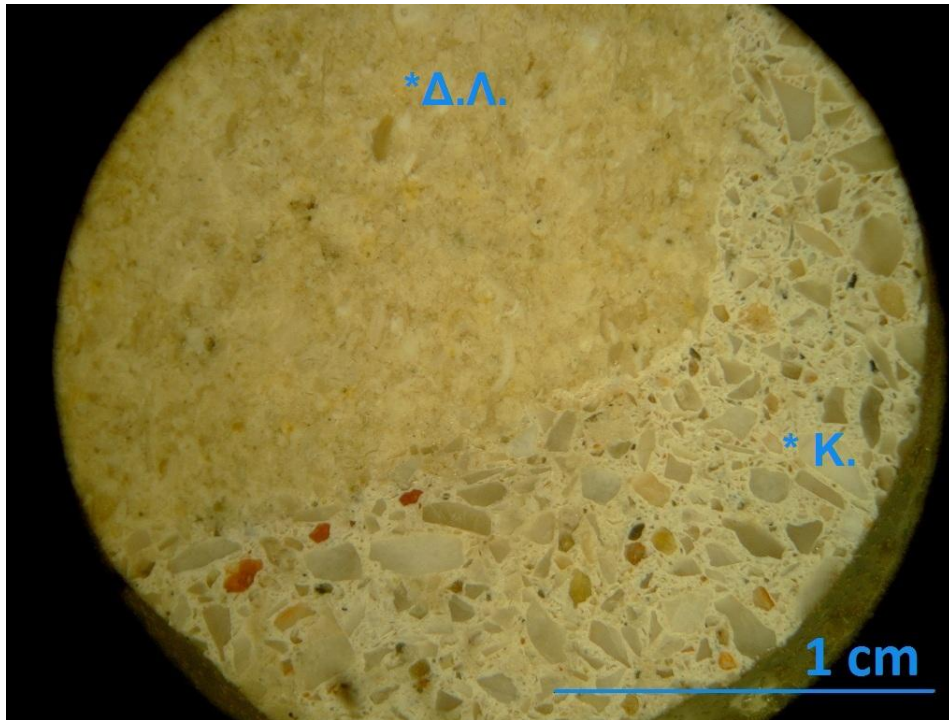
Στις παραπάνω εικόνες (Εικόνα 5.3, 5.4), παρ' όλο που δεν ικανοποιούνται πλήρως οι αισθητικές απαιτήσεις, καθόσον παρατηρείται έντονη χρωματική διαφορά ανάμεσα στο κονίαμα και τον δομικό λίθο, το κονίαμα δείχνει να έχει καλή σύμφυση με τον δομικό λίθο. Στην Εικόνα 5.5 στην οποία αλλάζει το είδος του δομικού λίθου δεν παρατηρείται έντονη χρωματική διαφορά, δηλαδή επισκευαστικό κονίαμα και δομικός λίθος έχουν παρόμοιο χρώμα. Και εδώ η σύμφυση φαίνεται να έχει επιτευχθεί σε ικανοποιητικό βαθμό παρ' όλα αυτά πραγματοποιήθηκε πιο λεπτομερής έλεγχος της συνάφειας με την παρασκευή λεπτών και στυλπνών τομών, τα αποτελέσματα της μελέτης των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.



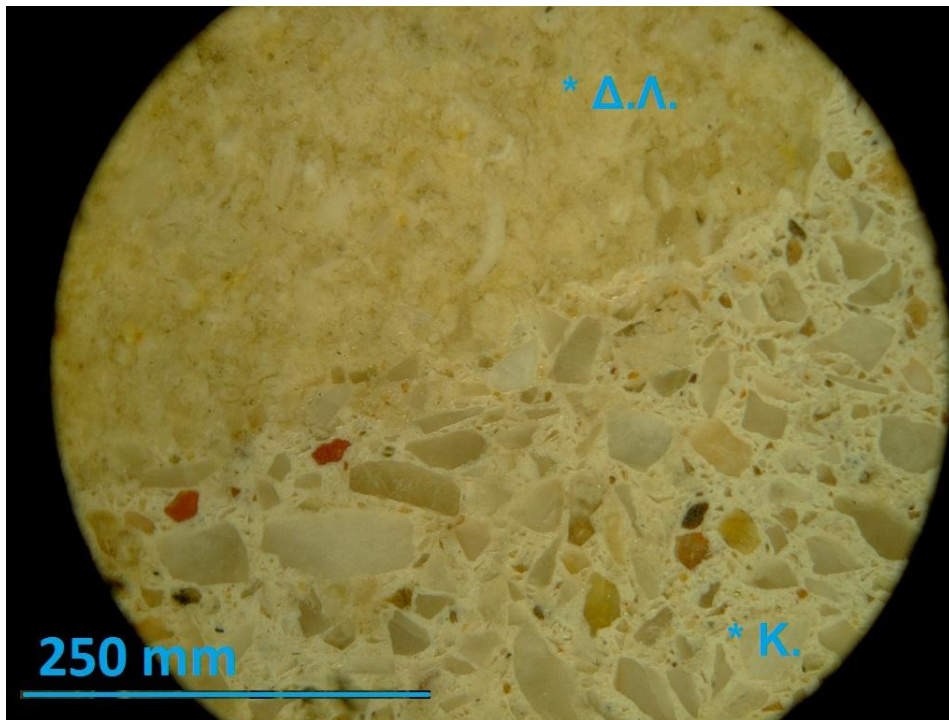
Εικόνα 5.6 Στυλνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



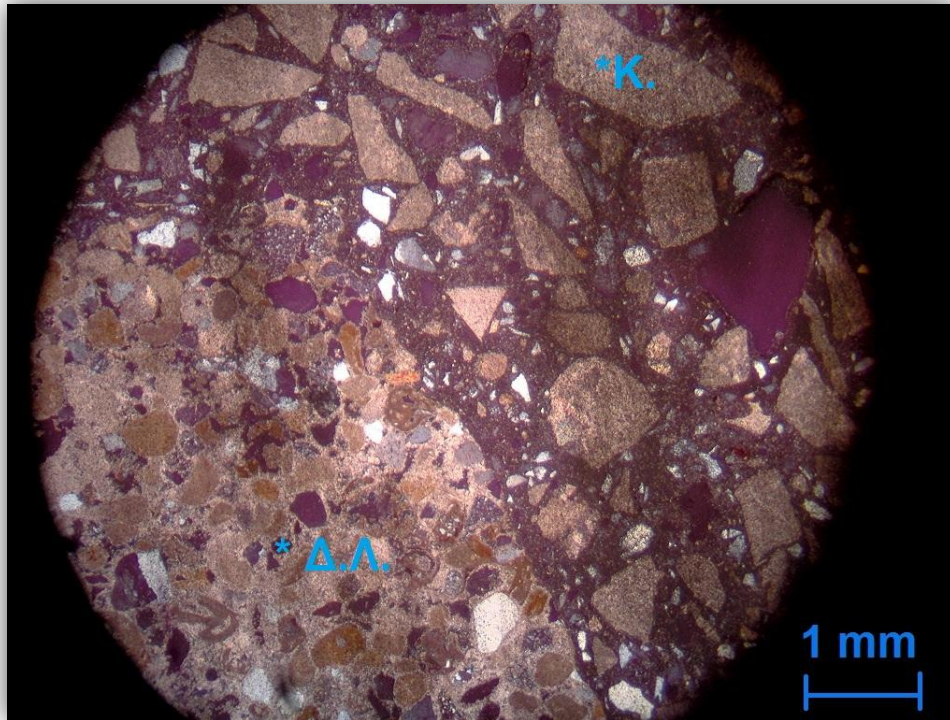
Εικόνα 5.7 Στυλνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 9) στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



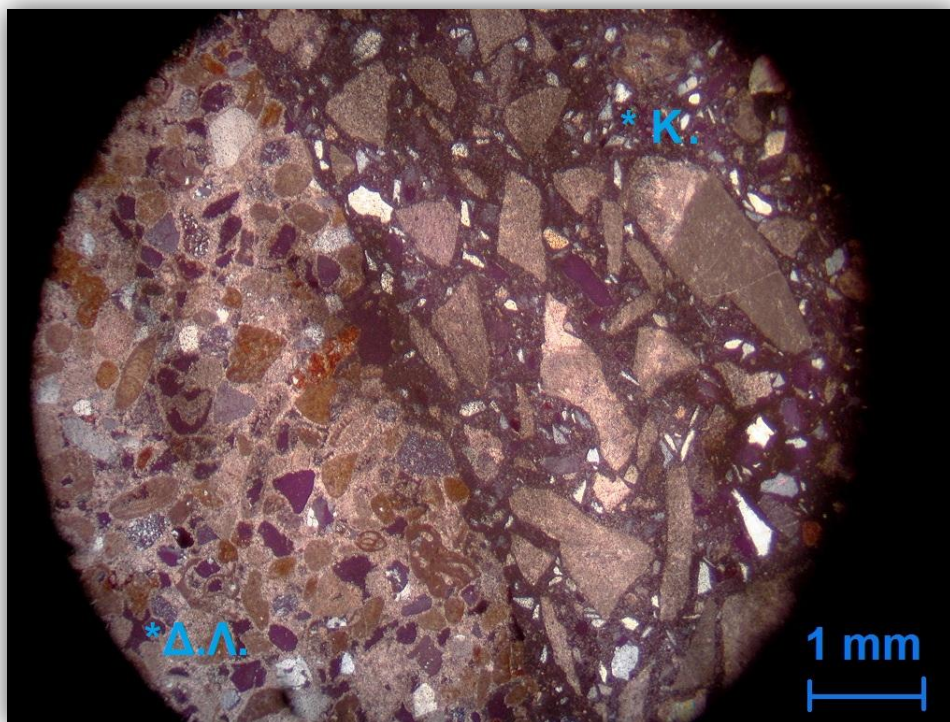
Εικόνα 5.8 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο στερεοσκόπιο. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



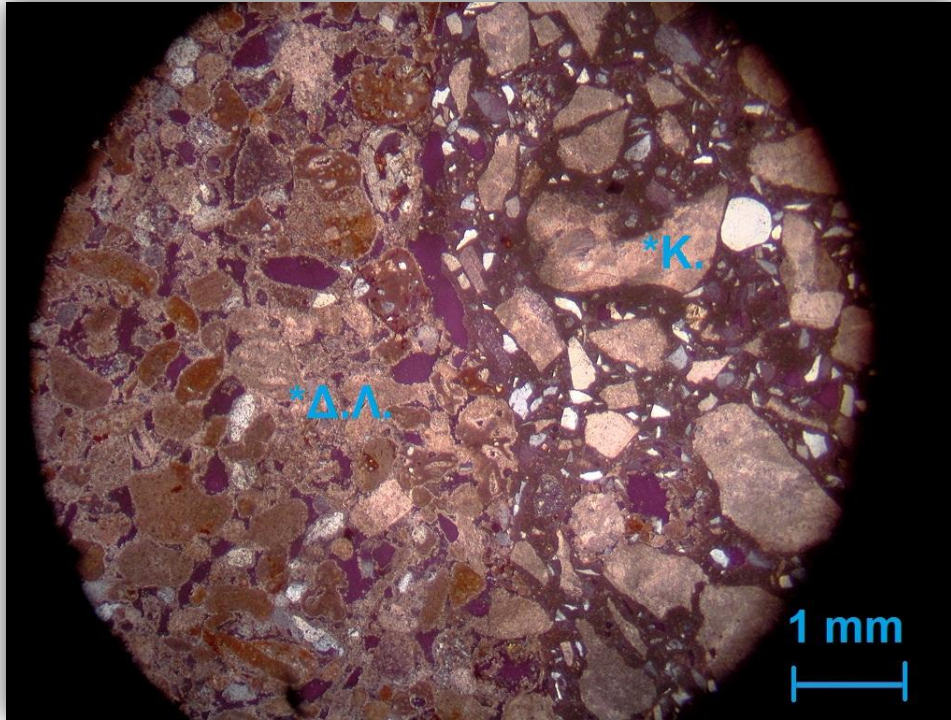
Εικόνα 5.9 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο στερεοσκόπιο σε μεγέθυνση. (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



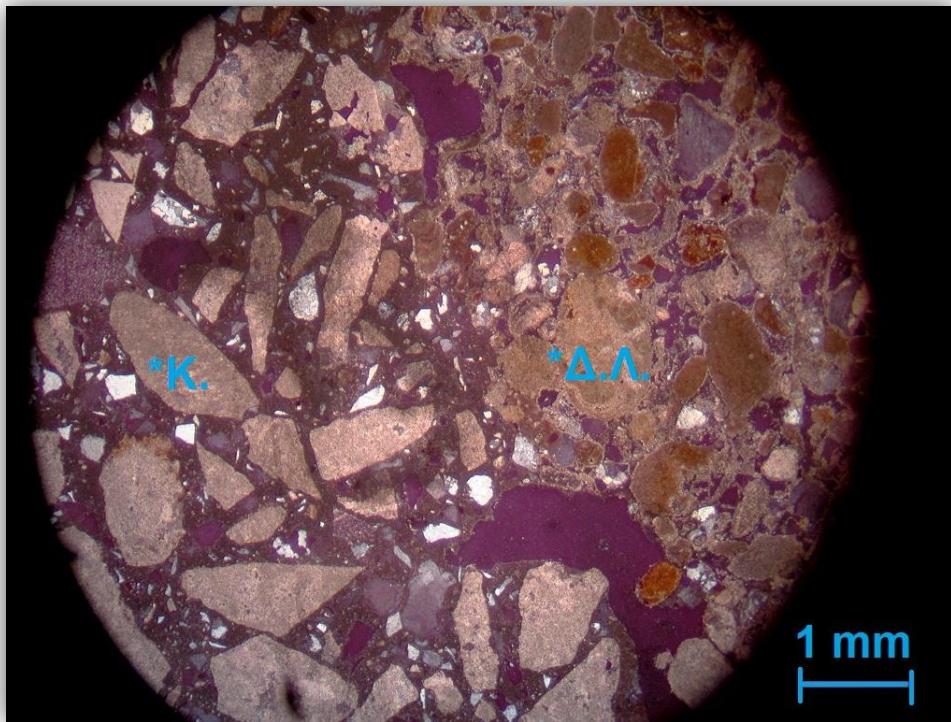
Εικόνα 5.10 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



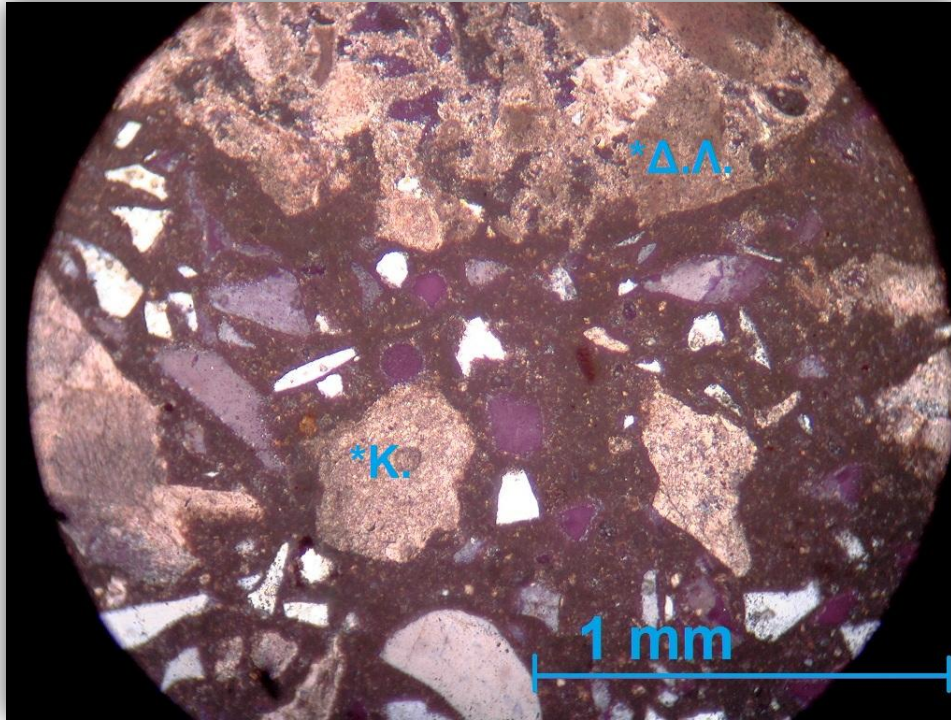
Εικόνα 5.11 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



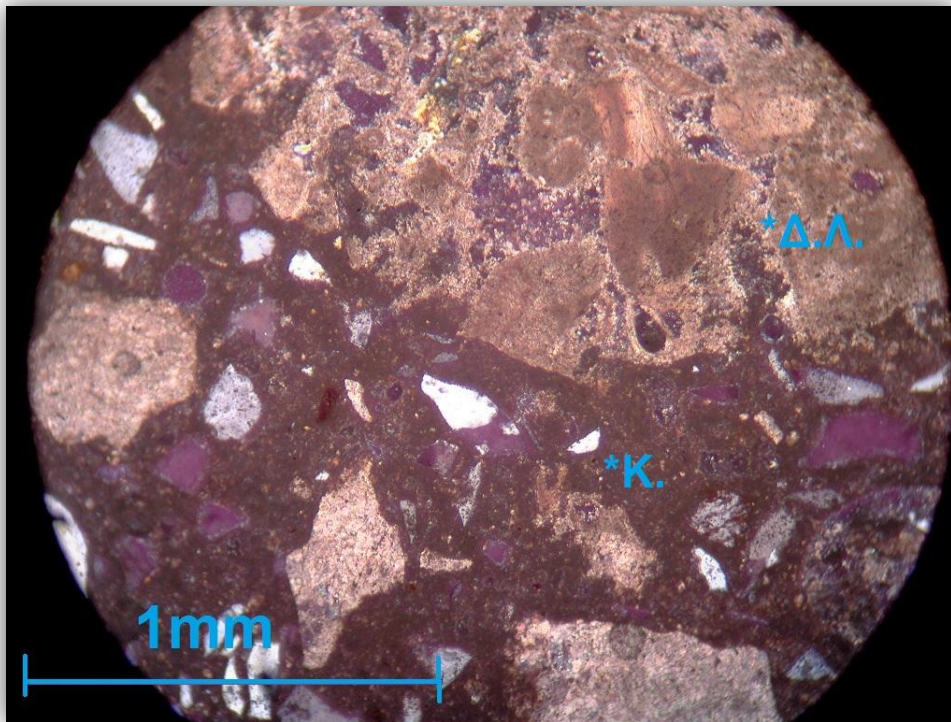
Εικόνα 5.12 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (λίθος Νο 9) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός λίθος.)



Εικόνα 5.13 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (λίθος Νο 9) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός λίθος.)



Εικόνα 5.14 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (λίθος Νο 18) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)



Εικόνα 5.15 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (λίθος Νο 18) στο μικροσκόπιο (Κ = Κονίαμα, Δ.Λ. = Δομικός Λίθος.)

Όπως παρατηρείται και από τις παραπάνω εικόνες, η καλύτερη συμβατότητα επιτεύχθηκε στην επαφή του κονιάματος με τον βιοκλαστικό ασβεστόλιθο. Κατά την επαφή του κονιάματος με τους μικριτικούς ασβεστόλιθους (δομικοί λίθοι Νο6 και Νο9) παρατηρείται ότι η σύνδεση δεν είναι η επιθυμητή διότι παρουσιάζονται μικρά κενά κατά την επαφή λίθου – κονιάματος (Εικόνες 5.12, 5.13). Αντίθετα στην επαφή του κονιάματος με τον βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (δομικό λίθο Νο18) δεν παρατηρούνται ούτε κενά, ούτε έγκυλα(Εικόνες 5.14, 5.15) γεγονός που οφείλεται στην υψηλή τιμή του πορώδους που παρουσιάζει ο βιοκλαστικός ασβεστόλιθος. Παρ' όλα αυτά, τα κενά φαίνονται μόνο κατά την μικροσκοπική παρατήρηση των λεπτών τομών γεγονός το οποίο πιθανώς να οφείλεται στη λείανση των τομών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική έγινε μια πρώτη προσπάθεια ελέγχου της συμβατότητας συνθετικών κονιαμάτων με τους δομικούς λίθους του ενετικού φρουρίου «Κούλες» στο Ηράκλειο. Τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν βάσει όλων των επιμέρους εργαστηριακών αναλύσεων είναι τα εξής :

- ❖ Οι πρώτες μελέτες ως προς την παρασκευή τριμερών συνθέσεων επισκευαστικών κονιαμάτων με φυσική υδραυλική άσβεστο, τσιμέντο Aalborg, αδρανή έδειξαν ότι είναι συμβατά με τους δομικούς λίθους του φρουρίου «Κούλες».
- ❖ Η επιλογή του ποσοστού προσθήκης λευκού τσιμέντου Aalborg στη σύνθεση είναι σημαντική και πρέπει να μελετάται προηγουμένως.
- ❖ Η πειραματική διαδικασία απέδειξε πως η αύξηση του ποσοστού προσθήκης τσιμέντου κατά 5%, στην περίπτωση κονιάματος με αδρανές υλικό ασβεστολιθικής και χαλαζιακής προέλευσης, οδηγεί σε αύξηση της αντοχής του κονιάματος σε μονοαξονική θλίψη κατά 22%.
- ❖ Σε κονιάματα όπου τα αδρανή υλικά είναι αποκλειστικά χαλαζιακά παρατηρήθηκε ότι η αύξηση του ποσοστού Aalborg επιφέρει μείωση της παραμόρφωσης.
- ❖ Οι αντοχές των κονιαμάτων σε κάμψη με χαλαζιακό και ασβεστολιθικό αδρανές είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις αντοχές των κονιαμάτων που έχουν ως αδρανές αποκλειστικά χαλαζιακή άμμο.
- ❖ Όπως προέκυψε από τον έλεγχο των στιλπνών και λεπτών τομών στο μικροσκόπιο έχει επιτευχθεί καλή έως εξαιρετική συμβατότητα στα δοκίμια βιοκλαστικού ασβεστολίθου δεδομένου ότι στις διεπιφάνειες κονιάματος-δομικού λίθου δεν παρουσιάζονται αστοχίες όπως κενά, έγκυλα κλπ. Άρα προτείνεται η σύνθεση με 70% ασβεστολιθικό και 30% χαλαζιακό αδρανές, 95% κονία NHL 3.5 και 5% τσιμέντο AALBORG. Η επιλογή βασίζεται και σε οικονομικούς λόγους διότι όσο λιγότερο τσιμέντο χρησιμοποιηθεί τόσο χαμηλότερο θα είναι και το κόστος της εργασίας.

ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- ❖ Μελέτη της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των κυβικών δοκιμίων των κονιαμάτων μετά το πέρας του ενός χρόνου.
- ❖ Επιπλέον μελέτη της συμβατότητας των κονιαμάτων αυτών με τους δομικούς λίθους του ενετικού φρουρίου «Κούλες» με τη χρήση και άλλων αναλυτικών τεχνικών όπως για παράδειγμα ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM) .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Αγιουτάντης Ζ., (2002): «Στοιχεία Γεωμηχανικής, Μηχανική των Πετρωμάτων» Εκδόσεις Ίων.

Αποστολάκη Χ., (2011): «Σύνθεση και έλεγχος συμβατότητας υδραυλικών κονιαμάτων με δομικά υλικά κατασκευής ιστορικών κτιρίων και μνημείων» Διδακτορική Διατριβή, Χανιά

Βιάζης Γ., (2003): «Τεχνολογία Δομικών Υλικών», Αθήνα.

Γαλετάκης Μ., (1991): «Βασικές αρχές φασματοσκοπίας ακτίνων-Χ, φθορισμού και πρακτική των μετρήσεων» Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Γερογιάννης Γ., (2003): «Μελέτη και Αξιολόγηση πρώτων υλών και κονιαμάτων ως προς την καταλληλότητά τους για επεμβάσεις συντήρησης και αναστήλωσης» Διπλωματική Εργασία, Χανιά.

Γιαννόπουλος Π.Ι., (2003): Πλαστιμότητα κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα» Ε.Μ.Π., Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα.

Δάβη ΕΛ., (1991): «Πετρολογία» έκδοση Β', Αθήνα.

ΕΛΟΤ 748, Προσδιορισμός της πυκνότητας των φυσικών λίθων. Φαινόμενη πυκνότητα, απόλυτη πυκνότητα, βαθμός πυκνότητας, ολικό πορώδες. DIN 52101 - Testing of natural stones. Determination of density, bulk density, true density, density grade, true porosity.

EN 459-1:2001. Δομική άσβεστος – Μέρος 1: Ορισμοί, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης.

EN 459-2:2002. Δομική άσβεστος – Μέρος 2: Μέθοδοι δοκιμής.

EN 459-3:2001. Δομική άσβεστος – Μέρος 3: Εκτίμηση της συμμόρφωσης.

Ζαχαροπούλου, Γ., (2004). Παραγωγή ασβέστου υψηλής δραστηριότητας κατάλληλης για αποκαταστάσεις μνημείων και ιστορικών κτιρίων, Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Θεοδωρίδης, Χ.Δ., (2006). Συμβατά Υλικά και Μέθοδοι Συντήρησης και Αποκατάστασης Ιστορικών Κτιρίων. 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, Βιβλίο Εισηγήσεων, Τόμος Α', Αλεξανδρούπολη.

Καραμπάτσου Γ., (2012): «Διερεύνηση των ορυκτολογικών και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των δομικών υλικών του ενετικού φρουρίου Κούλε του Ηρακλείου» Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χανιά

Κορωναίος, Α.Μ. & Πουλάκος, Γ.Ι., (2006). Τεχνικά Υλικά, Τόμος 1, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Κωστάκης Γ., (2005): «Γενική Ορυκτολογία» Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Κωστάκης Γ., (1998): «Φυσικές ιδιότητες των ορυκτών» Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

Λεγάκης Α., (1954): «Δομικά Υλικά» Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα.

Μαρκόπουλος, Θ. & Περδικάσης, Β., (2003). Ειδικά κονιάματα - σκυροδέματα με «φυσικό τσιμέντο». 14^ο Συνέδριο Σκυροδέματος. Βιβλίο Εισηγήσεων Τόμος Β', 67-77.

Μαρκόπουλος, Θ., Τριανταφύλλου, Γ. & Μαυριγιαννάκης. Σ., (2006): «Σύνθεση κονιαμάτων υδραυλικής ασβέστου που παρήχθησαν από ασβεστολιθικές ύλες της Κρήτης και έλεγχος της μηχανικής τους συμπεριφοράς» 15^ο Συνέδριο Σκυροδέματος.

Πιπλικάκη, Π., (2009). Παραγωγή σύνθετων τσιμέντων Πόρτλαντ. Μελέτη φυσικοχημικών ιδιοτήτων και ανθεκτικότητας των παραγόμενων κονιαμάτων και σκυροδεμάτων. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π.

Σκουλικίδης Θ.Ν., (2000): «Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων» Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης.

Τάσιος, Θ.Π. & Αλιζάκη, Κ., (1993). Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος, Εκδόσεις Φοίβος.

Τριανταφύλλου, Γ., (2003). Επίδραση του μεγέθους των κρυστάλλων και του πορώδους ανθρακικών πετρωμάτων στις ιδιότητες της παραγόμενης ασβέστου, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τριανταφύλλου Γ., (2012): «Αξιολόγηση νεογενών ασβεστολιθικών πετρωμάτων Κρήτης για τη διερεύνηση δυνατότητας παραγωγής φυσικών υδραυλικών κονιών» Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Πομόνη-Παπαϊωάννου Φ., (2005): Σημειώσεις ανθρακικής ιζηματογένεσης

Χρηστάκης Γ.Ι., (2004): «Ιστορικά Οχυρωματικά μνημεία της Κρήτης (330-1898πΧ)» Εκδόσεις Κρητικά Γράμματα

ΞΕΝΗ

Ashurst, J., (1997): «The Technology and Use of Hydraulic Lime» The Building Conservation Directory, London.

Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and materials, Introduction-Laboratory Handbook-Vol. 199, ICCROM, Rome, Italy.

EN 1015-1. EN1015 – Methods of test for mortar for masonry. Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis).

EN 1015-18. Methods of test for mortars for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortars.

EN 1015-11. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortars.

Hecker R. Amy, (1997): «Mortars and Renderings» Institute of Advanced Architectural Studies, York England.

IUPAC, Manual of symbols and terminology, Appendix 2, Pt. I, Colloid and Surface Chemistry, Pure applied chemistry, 31, 587, 1972.

Lanas, J., Alvarez, J.I., (2003). Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behavior.

Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1867-1876.

Mertens, G. and Elsen, J., (2006). Calcareous hydraulic binders from a historical perspective. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.

Rota, R. & Doria, R., (1986). Mortars for restoration: basic requirements and quality control. Materiaux et Constructions, Vol. 19, No 114, pp. 448-455.

Stefanidou M., Papayianni I., (2005): «The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars» Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

Toumbakari, E.E., Gement, V., Tassios, P.T., (2000). Metrology for the design of injection grouts for the consolidation of ancient masonry, Proceedings of the international RILEM Workshop Historic Mortars: Characteristics and Tests, RILEM Publications S.A.R.L., pp. 395-405.

Wendehorst R., (1975-Hannover): «Δομικά Υλικά» Μετάφραση από τα γερμανικά, Εκδόσεις Μ. Γκιούρδας (1981-Αθήνα).

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES

<http://www.aalborgwhite.com>

<http://www.explorecrete.com/Heraklion/GR17-Heraklion-koules.html>

<http://www.ysma.gr>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.2 Λευκό τσιμέντο AALBORG.....	11
Εικόνα 1.3 Ονοματολογία βάση σχήματος των αδρανών	19
Εικόνα 2.1 Το Φρούριο «Κούλες» συλλογή της Δ.Β. της Μπολόνια	31
Εικόνα 2.2 Το Φρούριο «Κούλες» και το λιμάνι του Ηρακλείου	34
Εικόνα 2.3 Το άγαλμα του φτερωτού λέοντα	35
Εικόνα 2.4. Εξωτερικό Φρουρίου «Κούλες»	38
Εικόνα 3.1. Μετατροπή φυσικού φωτός σε πολωμένο φως.....	41
Εικόνα 3.2. Αδρανή και Κόσκινα.....	44
Εικόνα 3.3. Χαλαζιακή άμμος κλάσμα 2- 3 mm.....	45
Εικόνα 3.4. Χαλαζιακή άμμος κλάσμα 1 - 2 mm	46
Εικόνα 3.5. Κοκκομετρική καμπύλη	50
Εικόνα 3.6. Επιμέρους κλάσματα	50
Εικόνα 3.7. Δοκίμια κονιάματος Κ.Χ.	52
Εικόνα 3.8. Συσκευή Δοκιμής Εξάπλωσης	54
Εικόνα 3.9. Πρέσα WYKEHAM	55
Εικόνα 4.1. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος ασβεστολιθικής λατομικής άμμου.....	58
Εικόνα 4.2. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος χαλαζιακής άμμου.	59
Εικόνα 4.3. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος της φυσικής υδραυλικής ασβέστου.....	60
Εικόνα 4.4. Ακτινοδιάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ (XRD) του αρχικού δείγματος τσιμέντου Aalborg.....	61
Εικόνα 4.5. Αστοχία δοκιμίου κατά την μελέτη αντοχής σε κάμψη.....	66
Εικόνα 4.6. Αστοχία δοκιμίου κονιάματος κατά τη δοκιμή της αντοχής του σε μονοαξονική θλίψη.....	68
Εικόνα 4.7. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με Αδρανή Υλικά Χαλαζιακής Σύστασης.....	69

Εικόνα 4.8. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με Αδρανή Χαλαζιακής/Ασβεστολιθικής Σύστασης.....	71
Εικόνα 4.9. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων Χωρίς Πρόσθετο τσιμέντο AALBORG.....	74
Εικόνα 4.10. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με 5% πρόσθετο τσιμέντο AALBORG	74
Εικόνα 4.11. Διάγραμμα Τάσης-Παραμόρφωσης Κονιαμάτων με 10% πρόσθετο τσιμέντο AALBORG.....	75
Εικόνα 5.1. Δοκίμια ελέγχου της συμβατότητας από το επιλεγμένο κονίαμα και τους διαφορετικούς δομικούς λίθους.....	78
Εικόνα 5.2. Μελέτη δοκιμίου ελέγχου της συμβατότητας στο στερεοσκόπιο.....	78
Εικόνα 5.3. Κονίαμα KAX5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα μικριτικού λατυποπαγή ασβεστολίθου.....	79
Εικόνα 5.4. Κονίαμα KAX5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα μικριτικού λατυποπαγή ασβεστολίθου.....	79
Εικόνα 5.5. Κονίαμα KAX5 όπου στον πυρήνα του έχει τοποθετηθεί δείγμα βιοκλαστικού ασβεστολίθου.....	80
Εικόνα 5.6 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο στερεοσκόπιο.....	81
Εικόνα 5.7 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 9) στο στερεοσκόπιο.....	81
Εικόνα 5.8 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο στερεοσκόπιο.....	82
Εικόνα 5.9 Στιλπνή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο στερεοσκόπιο σε μεγέθυνση.....	82
Εικόνα 5.10 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο μικροσκόπιο (2.5x).....	83
Εικόνα 5.11 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 6) στο μικροσκόπιο (2.5x).....	83
Εικόνα 5.12 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 9) στο μικροσκόπιο (2.5x).....	84
Εικόνα 5.13 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με μικριτικό λατυποπαγή ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 9) στο μικροσκόπιο (2.5x).....	84
Εικόνα 5.14 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο μικροσκόπιο (2.5x).....	85

Εικόνα 5.15 Λεπτή τομή επαφής επισκευαστικού κονιάματος με βιοκλαστικό ασβεστόλιθο (Λίθος Νο 18) στο μικροσκόπιο (10x).....85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Δείκτης υδραυλικότητας και διαφορετικοί τύποι ασβέστου (Holes & Wingate, 1997).....	3
Πίνακας 1.2 Τύποι δομικής ασβέστου κατά το πρότυπο EN 459-1:2001.....	5
Πίνακας 1.3 Χημικές απαιτήσεις ποιοτήτων ασβέστου κατά EN 459-1:2001.....	6
Πίνακας 1.4. Σύγκριση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων τσιμέντου τύπου Aalborg με της απαιτήσεις του προτύπου EN 197-1.....	14
Πίνακας 4.1. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Κάμψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής σύστασης.....	67
Πίνακας 4.2. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Κάμψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής & Ασβεστολιθικής σύστασης.....	67
Πίνακας 4.3. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Θλίψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής σύστασης.....	69
Πίνακας 4.4. Τιμές Αντοχής σε δοκιμή Θλίψης για τις συνταγές με αδρανές υλικό Χαλαζιακής & Ασβεστολιθικής σύστασης.....	70
Πίνακας 4.5. Μέση τιμή αντοχής των δοκιμίων.....	73