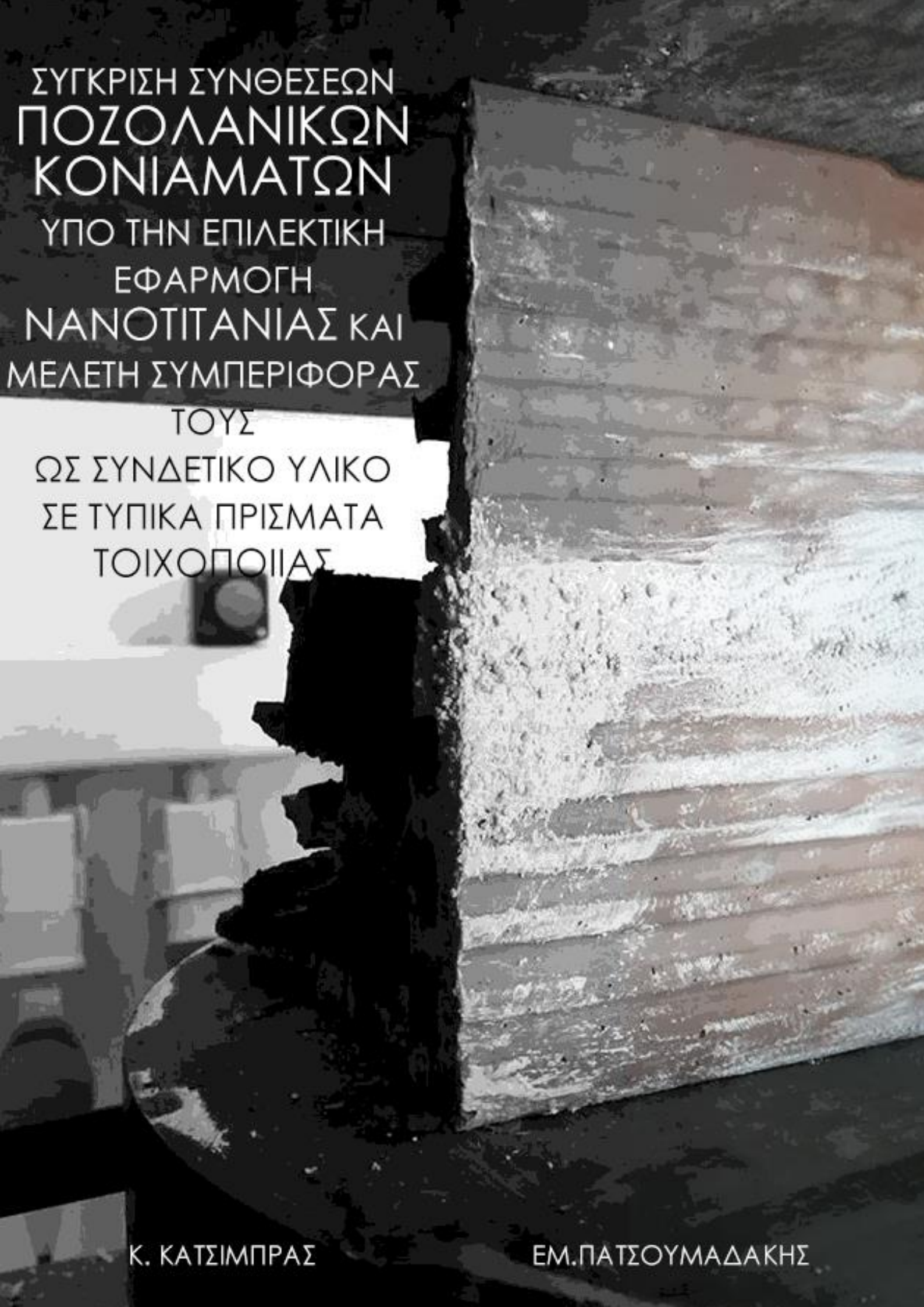
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΩΝ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΥΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΝΑΝΟΤΙΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥΣ ΩΣ ΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΕ ΤΥΠΙΚΑ ΠΡΙΣΜΑΤΑ ΤΟΙΧΟΠΟΙΙΑΣ



Κ. ΚΑΤΣΙΜΠΡΑΣ

ΕΜ.ΠΑΤΣΟΥΜΑΔΑΚΗΣ

Πολυτεχνείο Κρήτης

Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών

Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς

και Σύγχρονης Δόμησης

Ερευνητική Εργασία

‘’Σύγκριση συνθέσεων ποζολανικών κονιαμάτων υπό την επιλεκτική εφαρμογή νανο-τιτανίας και μελέτη συμπεριφοράς τους ως συνδετικό υλικό σε τυπικά πρίσματα τοιχοποιίας’’

Κατσίμπρας Κωνσταντίνος – Πατσουμαδάκης Εμμανουήλ

Επιβλέπουσα: Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη

Χανιά, Μάιος 2018

Ευχαριστίες

Για την εκπόνηση αυτής της ερευνητικής εργασίας, αρχικά θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης κα **Νόνη Μαραβελάκη**, για την επίβλεψη και καθοδήγησή της καθ' όλη τη πορεία εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, χάρη στο μάθημά της *''Φθορά & Συντήρηση Δομικών Υλικών Μνημείων & Αρχιτεκτονικών Επιφανειών''* προσεγγίσαμε για πρώτη φορά το συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο.

Επίσης, ευχαριστούμε την κα. **Καλή Καπετανάκη**, μέλος του εργαστηρίου *''Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης'',* για την πολύτιμη βοήθειά της στην διεκπεραίωση των πειραματικών διαδικασιών.

Ευχαριστούμε τον κ. **Στέλιο Μαυριγιαννάκη**, υπεύθυνο του εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για τη διεξαγωγή της διαδικασίας θραύσης των δοκιμίων μας, καθώς και τον κ. **Βαγγέλη Λιαράκο**, μεταδιδακτορικό ερευνητή του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την διεξαγωγή των δοκιμών θραύσης των μπλοκ και πρισμάτων τοιχοποιίας μας.

Επιπλέον, ευχαριστούμε όλα τα μέλη του εργαστηρίου *''Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης''* για την υποστήριξη και άψογη συνεργασία σε όλη την πορεία της εργασία μας.

Τέλος, ευχαριστούμε θερμά τον Κοσμήτορα της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. **Κωνσταντίνο Προβιδάκη** για την συνεισφορά του στο πειραματικό σκέλος της εργασίας μας και την κα. **Μαρία Σταυρουλάκη**, επίκουρο καθηγήτρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών για την υποστήριξή της στην διόρθωση της εργασίας

Περίληψη

Η παρούσα ερευνητική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Πολιτιστικής Κληρονομιάς & Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, υπό την επιστημονική επιμέλεια της Αναπληρώτριας Καθηγήτριας της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών κα. Ν.Π. Μαραβελάκη. Στόχος της αποτελεί, η σύνθεση ποζολανικών ασβεστοκονιαμάτων με ή χωρίς την χρήση πρόσθετων νανο-υλικών και η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά τις μηχανικές τους ιδιότητες, τη σύστασή τους και τη συμπεριφορά τους σε συνθήκες υγρασίας.

Αρχικά, πραγματοποιείται σύντομη ιστορική αναδρομή πάνω στη χρήση ασβεστοκονιαμάτων από την προϊστορική εποχή έως σήμερα, ενώ έπειτα γίνεται αναφορά στο τι είναι κονίαμα, σε ποιες κατηγορίες χωρίζεται και ποια είναι τα συνθετικά του μέρη. Εν συνεχεία, παρατίθενται ορισμένα παραδείγματα επεμβάσεων σε ιστορικά μνημεία με τη χρήση ασβεστοκονιαμάτων. Στο πειραματικό σκέλος της εργασίας, αφού πρώτα γίνεται μια αναφορά στα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, παρουσιάζεται η διαδικασία σύνθεσης των κονιαμάτων και έπειτα οι πειραματικές μελέτες πάνω σε αυτά (έλεγχος μηχανικών αντοχών, τριχοειδής αναρρίχηση, υπέρηχοι, τεχνητή γήρανση με τη χρήση αλάτων). Μετά την καταγραφή των αποτελεσμάτων, γίνεται σε δεύτερο στάδιο η ερμηνεία αυτών και διαπιστώνεται ότι όλες οι συνθέσεις των κονιαμάτων είχαν ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές. Συγκρίνοντας τις συνθέσεις, συμπεραίνεται ότι η εφαρμογή νανοτιτανίας ως πρόσθετο δεν αυξάνει τις μηχανικές αντοχές των κονιαμάτων. Η σύνθεση που διαθέτει τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και παρουσιάζει εξαιρετική συμπεριφορά στο πείραμα της τεχνητής γήρανσης με τη χρήση αλάτων, διατηρώντας τα δοκίμια αναλλοίωτα, είναι αυτή του ΜΥΝ (υδραυλική άσβεστος, μετακαολίνης, νταμαρίσια άμμος).

Επιπλέον, μελετάται και η συμπεριφορά των κονιαμάτων ως αρμός σε συστήματα τοιχοποιίας κεραμικών τούβλων και τσιμεντότουβλων. Τα συστήματα έχουν ικανοποιητική συμπεριφορά, ενώ και τα κονιάματα μέσα σε αυτά παρουσιάζουν καλή συγγένεια με τα τοιχοσώματα συγκρατώντας τα αποτελεσματικά. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται προσεγγιστική σύγκριση κόστους σύνθεσης των ποζολανικών κονιαμάτων με ένα τυπικό τσιμεντοκονίαμα.

Τέλος με βάση την έρευνα που πραγματοποιήθηκε κρίνεται ότι το κονίαμα ΜΥΝ αποτελεί εξαιρετική λύση στον τομέα των υλικών για τη χρήση του τόσο σε επεμβάσεις αποκαταστάσεων σε υφιστάμενα κελύφη, όσο και σε μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες……..……σελ 4

Περίληψη……..……σελ 5

_Θεωρητικό μέρος

1. Ιστορικά στοιχεία……σελ 3

2. Σύνθεση κονιάματος……..σελ 4

2.1 Κονιάματα στα κτίρια……σελ 15

2.2 Κονίες……σελ 16

2.3 Αδρανή……σελ 19

2.4 Νερό……..σελ 21

2.5 Πρόσθετα……..σελ 22

2.6 Νανο-υλικά……σελ 22

3. Παραδείγματα αποκαταστάσεων

3.1 Παράδειγμα 1 - Μνημεία στο Βέλγιο……σελ 23

3.1.1 Απαιτήσεις επίδοσης κονιαμάτων……..σελ 24

3.1.2 Αξιολόγηση της συμβατότητας……..σελ 25

3.2 Παράδειγμα 2 - Βίλα Σενεγκιάνα – Ροδωπού……..σελ 25

3.2.1 Ανάλυση πρωτότυπων κονιαμάτων……σελ 26

3.2.2 Σχεδιασμός επισκευαστικού κονιάματος……..σελ 26

3.2.3 Εφαρμογή του κονιάματος στην κατοικία……..σελ 27

4. Ασύμβατα υλικά……σελ 28

4.1 Παράδειγμα 3 - Μουσείο Κισάμου……..σελ 29

4.1.1 Μακροπορώδη επιχρίσματα……σελ 31

4.1.2 Εφαρμογή στους θόλους……σελ 31

4.1.3 Εσωτερικοί τοίχοι……σελ 31

4.1.4 Εξωτερικοί τοίχοι……σελ 32

_Πειραματικό μέρος

5. Εισαγωγή……σελ 35

6. Κονίες……σελ 35

6.1 Άσβεστος……σελ 35

6.2 Υδράσβεστος……σελ 36

6.3 Υδραυλική άσβεστος……σελ 36

6.4 Καολίνης – Μετακαολίνης……σελ 37

6.5 Νανοτιτανία……σελ 37

7. Αδρανή

7.1 Νταμαρίσια άμμος……σελ 38

7.2 Διαδικασία κοκκομετρίας……σελ 38

8. Σύνθεση κονιαμάτων

8.1 Εισαγωγή……σελ 39

8.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

8.2.1 Τριχοειδής αναρρίχηση……σελ 40

8.2.2 Υπέρηχοι……σελ 41

8.2.3 Έλεγχος μηχανικών αντοχών……σελ 43

8.2.4 Διαλυτά άλατα στα κονιάματα……σελ 44

8.2.4.1 Τεχνητή γήρανση με διαλυτά άλατα……σελ 46

8.3 Διαδικασία χύτευσης……..σελ 48

8.3.1 Κονιάματα με νανοτιτανία……σελ 51

8.4 Αποτελέσματα

8.4.1 Τριχοειδής αναρρίχηση……σελ 52

8.4.2 Υπέρηχοι……σελ 54

8.4.3 Έλεγχος μηχανικών αντοχών……σελ 56

8.4.3.1 Ωρίμανση 28 ημερών……σελ 56

8.4.3.2 Ωρίμανση 3 μηνών……σελ 59

8.4.3.3 Συγκριτικοί πίνακες……σελ 61

8.4.4 Τεχνητή γήρανση με διαλυτά άλατα……σελ 63

_Το κονίαμα ως αρμός

9. Το κονίαμα ως συνδετικό υλικό σε μπλοκ πλίνθων

9.1 Εισαγωγή……σελ 73

9.2 Πειραματική διαδικασία……σελ 73

9.2.1 Α’ φάση……σελ 73

9.2.2 Β’ φάση……σελ 74

9.3 Αποτελέσματα……σελ 76

10. Το κονίαμα ως συνδετικό υλικό σε πρίσματα τοιχοποιίας

10.1 Εισαγωγή……σελ 77

10.2 Πειραματική διαδικασία……σελ 78

10.3 Αποτελέσματα……σελ 79

11. Σύγκριση τσιμεντοκονιαμάτων και ασβεστοκονιαμάτων

Σχέση κόστους-καταλληλότητας εφαρμογής……σελ 80

12. Συμπεράσματα……σελ 82

13. Βιβλιογραφία……σελ 84

14. Πηγές εικόνων……..σελ 85

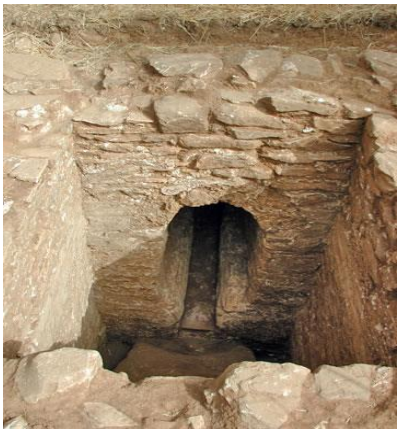
_Θεωρητικό Μέρος

1. Ιστορικά στοιχεία

Μέσα από αναφορές αλλά και διάφορα ευρήματα που διασώζονται μέχρι τις μέρες μας, η χρήση των σύνθετων υλικών ως υλικά δόμησης εκδηλώνεται από την αρχαιότητα. Η τεχνολογία της παραγωγής παραδοσιακών κονιαμάτων αποτέλεσε ένα σημαντικό στοιχείο για την ανάπτυξη αρχαίων πολιτισμών λόγω της τεχνητής "τσιμεντοειδούς" τους σύστασης και της ικανότητας τους να πήζουν και να σκληραίνουν αποκτώντας αξιόλογες ιδιότητες.

Τα ασβεστοκονιάματα που παραδοσιακά αποτελούνται από αερική ή υδραυλική άσβεστο (συνδετικό υλικό), αδρανή (π.χ. λεπτόκοκκη άμμο) και νερό, χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά για περισσότερα από 12.000 χρόνια. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνταν πρόσθετα, με σκοπό την ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων. Τα πρόσθετα αυτά ήταν συνήθως οργανικά φυτικής και ζωικής προέλευσης, όπως για παράδειγμα το άχυρο, ρίζες φυτών, και τρίχες ζώων. Επίσης, άλλα υλικά οργανικής προέλευσης όπως αυγά και αίμα ήταν δυνατόν να βελτιώσουν την πλαστικότητα του μίγματος.

Εικόνα 1 – Αρχαίο Λαύριο



Εικόνα 2 – Ρωμαϊκό υδραγωγείο

Όπως είναι γνωστό, το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε ως συνδετική ύλη για την παραγωγή κονιαμάτων είναι η λάσπη (πηλός), με την πρώτη χρήση της να χρονολογείται στην 8η χιλιετία π.Χ. στη Μεσοποταμία και τη Βαβυλωνία. Στην Ελλάδα πρωτοεμφανίζεται στην 6η χιλιετία π.Χ. και τους Νεολιθικούς οικισμούς στο Διμήνι και στο Σέσκλο. Στην αρχαία Αίγυπτο η λάσπη χρησιμοποιήθηκε για πολλούς αιώνες στα κονιάματα αρμών για την ένωση των τούβλων. [4]

Ασφαλτικές κονίες εμφανίζονται από το 3.000 π.Χ. στη Μεσοποταμία ως κονιάματα αρμών, ενώ η διαδικασία όπτησης του ασβεστόλιθου στην περιοχή χρονολογείται γύρω στο 2.450 π.Χ. Στην περίοδο του Ναβουχοδονόσορα στη Βαβυλώνα, οι άσφαλτοι αντικαθίστανται από κονιάματα υδράσβεστου, στα οποία προστίθενται πηλός, στάχτες, άσφαλτος κ.ά.. Η περίοδος κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά άσβεστος στα κονιάματα δεν έχει προσδιοριστεί ακόμη, με έρευνες ωστόσο να κάνουν λόγο για εμφάνιση πρίν το 2.450 π.Χ., αφού τότε χρονολογείται μία ασβεστοκάμινος που ανακαλύφθηκε σε Ναό των Σουμέριων στην περιοχή του σημερινού Ιράκ. Η εισαγωγή της επαναστατικής αυτής ανακάλυψης, κατά την οποία τα ασβεστολιθικά πετρώματα θερμαίνονταν σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, κονιοποιούνταν και αναμιγνύονταν με νερό, είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή των πρώτων ασβεστοκονιαμάτων, που ήταν σκληρότερα και πιο ανθεκτικά στην υγρασία από τον πηλό. Η καθιέρωση της ασβέστου στην αρχαία Ελλάδα εμφανίζεται παράλληλα με εκείνη των ποζολανών, κατά την Αρχαϊκή- Κλασσική Εποχή. Η αξιοποίηση του υλικού αυτού ξεκίνησε από περιοχές που μπορούσε να βρεθεί φυσική ποζολάνη (κοντά σε ηφαίστεια), με την εφαρμογή του ως πρόσθετο σε ασβεστοκονιάματα, αφού παρατηρήθηκε η βελτίωση της υδραυλικότητας τους. Η θηραϊκή γη αποτελούσε το πλέον διαδεδομένο ποζολανικό υλικό στην αρχαία Ελλάδα. Μελέτες κατά την πάροδο του χρόνου έδειξαν την ύπαρξη ποζολανικών κονιαμάτων στην περιοχή της Δήλου, της Θήρας, της Ρόδου και του Λαυρίου.

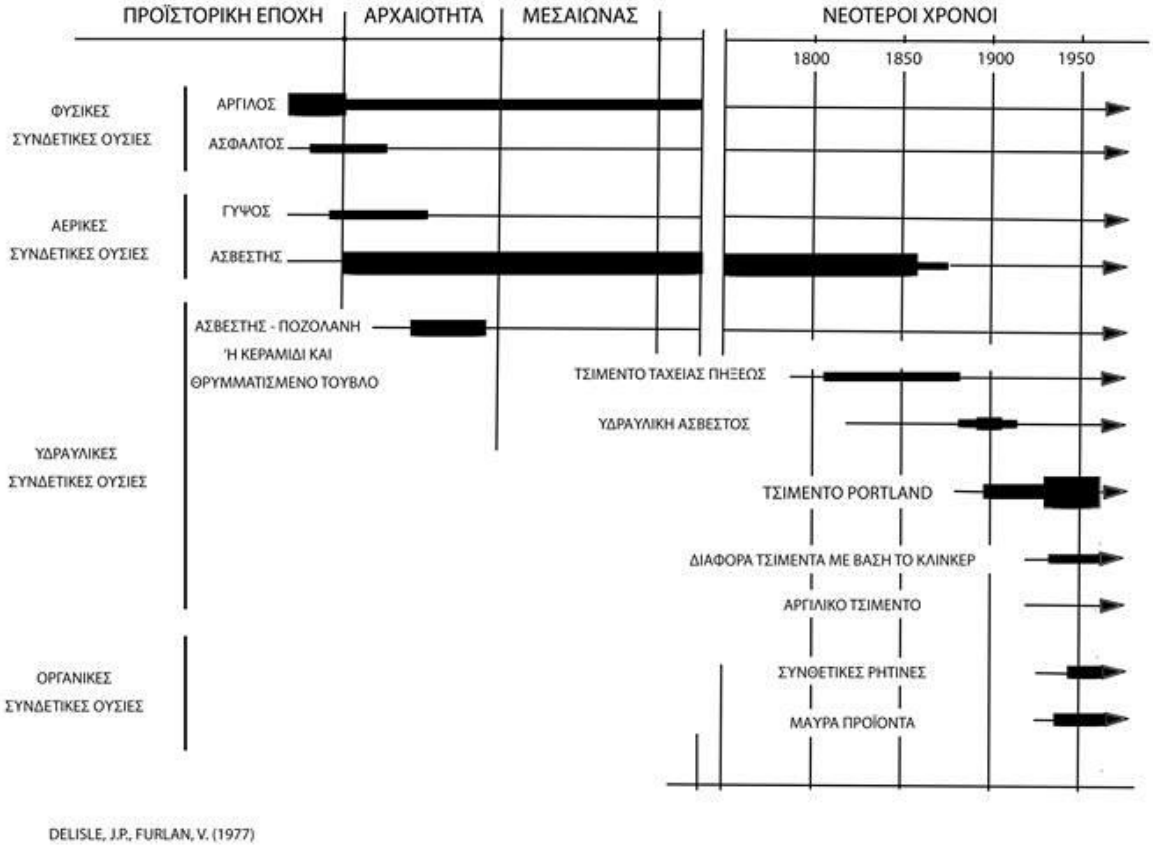
Στην ρωμαϊκή Αυτοκρατορία (2ος- 3ος αι. π.Χ.) στις κατασκευές χρησιμοποιούνταν κυρίως κονιάματα από υδραυλική άσβεστο και ποζολάνη. Οι Ρωμαίοι βρήκαν κοντά στον Βεζούβιο την δική τους πηγή ποζολάνης, την επονομαζόμενη “Pulvis Puteolanus”. Την ίδια εποχή χρησιμοποιήθηκαν κεραμάλευρο (σκόνη κεραμικού) και θραύσματα κεραμικού ως βελτιωτικό της υδραυλικότητας και όχι μόνο, καθώς υλικά όπως αυτά διέθεταν μεγάλο εύρος εφαρμογών. Η σκόνη χρησιμοποιούταν κυρίως σε επιχρίσματα και κονιάματα υποστρώματος σε δάπεδα (στα ανώτερα στρώματα), ενώ τα θραύσματα χρησιμοποιούνταν κυρίως σε τοίχους, αψίδες και θεμέλια που βρίσκονταν σε περιβάλλον με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Οι Ρωμαίοι διέδωσαν την αξιοποίηση των υλικών αυτών στην υπόλοιπη Ευρώπη, την Βόρεια Αφρική και τη Δυτική Ασία. Κατά τον Βιτρούβιο – ο οποίος ήταν ο πρώτος που προσπάθησε να κατηγοριοποιήσει τις χρήσεις και τους τρόπους κατασκευής των κονιαμάτων- το κονίαμα για οικοδομικές χρήσεις αποτελούταν από άσβεστο και άμμο σε αναλογία 1:3 ή από άσβεστο, άμμο και θραύσματα κεραμικού σε αναλογία

Στη Βυζαντινή περίοδο η χρήση των κεραμικών προϊόντων επεκτάθηκε. Τα κονιάματα της περιόδου παρουσίαζαν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο νερό και είχαν μία χαρακτηριστική κοκκινωπή χροιά. Κατά την περίοδο του Μεσαίωνα τα κονιάματα ήταν κυρίως ασβεστιτικά και συνήθως περιελάμβαναν φυσικά αδρανή και σπασμένα κεραμίδια, καθώς και σε ορισμένες περιπτώσεις ποζολάνη. [5]

Μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα πτυχή της ιστορίας της χρήσης των ασβεστοκονιαμάτων αφορά στην προσθήκη διαφόρων πρόσθετων υλικών με το πέρας του χρόνου, με σκοπό τη μεταβολή των ιδιοτήτων τους. Αυτές θα μπορούσαν να είναι σε κάποιες περιπτώσεις η επιτάχυνση ή η επιβράδυνση της σκλήρυνσης του μείγματος (μείωση ή επέκταση του εργάσιμου χρόνου) ή η βελτίωση της αντοχής και της ανθεκτικότητας, καθώς και άλλων δεικτών φυσικής και μηχανικής συμπεριφοράς.

Μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα, ο αερικός ασβέστης ήταν το πλέον διαδεδομένο συνδετικό υλικό στην οικοδομική βιομηχανία. Ο συνεχής όμως πειραματισμός για την ενίσχυση της υδραυλικότητας της κονίας, οδήγησε σε μια σταδιακή αντικατάσταση του αερικού από τον υδραυλικό ασβέστη. Από τον Smeaton ανακαλύφθηκαν το 1756 οι υδραυλικές ιδιότητες των προϊόντων που προκύπτουν από την πύρωση ασβεστόλιθων με την παρουσία αργιλικών, ενώ ο Vicat απέδειξε το 1812 ότι η υδραυλικότητα των κονιών ήταν αποτέλεσμα της ταυτόχρονης καύσης ασβεστόλιθου και αργίλου. Μέχρι και τις αρχές του 20ού αιώνα στις κατασκευές χρησιμοποιούνταν διάφορα ήδη κονιαμάτων , ανάλογα με τον τόπο και το είδος του κτιρίου. Τα σπίτια κατασκευάζονταν κατά κύριο λόγο από κονίαμα με βάση την άσβεστο ή πηλό ή συνδυασμό των δύο, ενώ σε κτίρια υψίστης σημασίας τα κονιάματα ήταν καλύτερης ποιότητας με βάση την άσβεστο και περιέχοντας ποζολάνη.

Στο τέλος του 20ού αι. επικρατεί στις κατασκευές ως βασικό δομικό υλικό το τσιμέντο Portland, αποτελούμενο από ασβεστοπυριτικές ενώσεις, κονιοποιημένα αδρανή και νερό. Το Portland είναι μία πολύ ισχυρή κονία και διατηρεί μέχρι και σήμερα την πρωτοκαθεδρία των κονιαμάτων στην οικοδομική βιομηχανία. [4]



Εικόνα 3 – Χρονολογικός πίνακας χρήσης κονιαμάτων

2. Σύνθεση κονιάματος

Κονίαμα ονομάζεται γενικά κάθε μίγμα ενός ή περισσοτέρων συνδετικών υλικών, δηλαδή κονίας (ασβέστης, τσιμέντο, κ.λ.π.), με αδρανή υλικά όπως η άμμος (διαμέτρου συνήθως μέχρι 4 mm), νερό και σε ορισμένες περιπτώσεις πρόσθετα υλικά. Με βάση τη χρήση τους, τα κονιάματα διακρίνονται σε αυτά των φερόντων δομικών στοιχείων, όπως λιθοδομές και σε αυτά των μη φερόντων δομικών στοιχείων, όπως για παράδειγμα κονιάματα επιχρισμάτων. Βάσει των ιδιοτήτων των κονιών στις οποίες βασίζονται, χωρίζονται κυρίως σε αερικά και υδραυλικά. Αντίστοιχα, βάσει της ποσότητας της χρησιμοποιούμενης κονίας διακρίνονται σε κανονικά, ισχνά και παχιά. Τα κανονικά περιέχουν όση κονία απαιτείται για να πληρωθούν τα κενά της άμμου, τα ισχνά περιέχουν μικρότερη από την κανονική ποσότητα κονίας , με αποτέλεσμα να οδηγεί σε μικρότερες αντοχές και οι επιφάνειες να τρίβονται σχετικά εύκολα και τα παχιά που είναι πλούσια σε κονία με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από σημαντική συστολή λόγω ξήρανσης που προκαλεί ρωγμές στις επιφάνειες. [2]

_2.1 Κονιάματα στα κτίρια

Κονιάματα Τοιχοποιίας ή Συγκόλλησης:
Αποτελούν τα συγκολλητικά στοιχεία μεταξύ των δομικών υλικών στην τοιχοποιία, τα οποία είναι απαραίτητο να γεμίζουν τους αρμούς μεταξύ των λίθων και να δημιουργούν μία σύνδεση ικανή για αντοχές σε εξωτερικές δυνάμεις καθώς επίσης και να προστατεύουν τους αρμούς των λίθων από τις καιρικές επιδράσεις, αποτελώντας ταυτόχρονα στεγανωτικό υλικό.

Εικόνα 4 – Κονίαμα τοιχοποιίας

Κονιάματα Υποστρωμάτων - Δαπέδων:
Τα δομικά στοιχεία τα οποία τοποθετούνται πάνω σε μία δομική υπόβαση ή πάνω σε ένα διαχωριστικό ή μονωτικό στρώμα. Χρησιμοποιούνται ως κονιάματα πλήρωσης, δηλαδή κονιάματα τελικής στρώσης, καθώς επίσης και ως ενδιάμεσα. Επίσης συναντώνται σε ψηφιδωτά και σε τοιχογραφίες.

Εικόνα 5 – Κονίαμα δαπέδου

Κονιάματα Επιχρισμάτων:

Αποτελούν στρώση νωπού κονιάματος που χρησιμοποιείται σε τοίχους, ταβάνια και οροφές, με τη μορφή του επιστρώματος επιφανειών, σαν προστατευτικά στρώματα από διαβρωτικούς παράγοντες όπως η βροχή και η υγρασία και σαν κονιάματα διακοσμητικού χαρακτήρα. Οι ιδιότητές τους αποκτώνται αφού στερεοποιηθούν πάνω στα δομικά στοιχεία στα οποία χρησιμοποιούνται και τα χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από τον τύπο της κονίας ή των κονιών, από τις αναλογίες καθώς και το πάχος των στρώσεων. Οι ιδιότητές τους διαμορφώνονται και επηρεάζονται από το είδος των αδρανών και τα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία τους. [1]

Εικόνα 6 – Κονίαμα επιχρίσματος

_2.2 Κονίες

Οι κονίες είναι στερεά με τη μορφή σκόνης ή ρευστά, τα οποία όταν αναμιχθούν με ένα υγρό, συνήθως το νερό, μεταβάλλονται σε εύπλαστο πολτό. Ο πολτός αυτός αποκτά την οριστική μορφή και την τελική αντοχή του με την πάροδο του χρόνου, αφού περάσει διαδοχικά από το στάδιο της πήξης και το στάδιο της σκλήρυνσης και αποτελεί το συνδετικό υλικό των κονιαμάτων. Όσο λεπτότερη είναι η σκόνη, τόσο καλύτερα αντιδρά με το νερό και εμφανίζει ταχύτερα τις ιδιότητές της. Οι ιδιότητες αυτές και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των κονιαμάτων εξαρτώνται από τη φύση των αδρανών και του συνδετικού υλικού. Κατά την αρχική πήξη ο πολτός χάνει το μεγαλύτερο μέρος της πλαστικότητας του και το μεγαλύτερο μέρος από τις συγκολλητικές του ιδιότητες, ενώ κατά την τελική πήξη αρχίζει να εμφανίζει μηχανική αντοχή. [14]

Οι βασικές πρώτες ύλες των κονιών, με εξαίρεση τον γύψο, είναι ασβεστολιθικά, αργιλικά και πυριτικά πετρώματα, οι ηφαίστειες γαίες και οι σκωρίες υψικαμίνων, καθώς επίσης και οι ιπτάμενες τέφρες των καμινάδων. Τα βασικά συστατικά των κονιών είναι η άσβεστος (CaO), το οξείδιο του μαγνησίου (MgO), τα τριοξείδια του

αργιλίου και του σιδήρου (Al_2O_3, Fe_2O_3) και η πυριτία (SiO_2). Τα παραπάνω συστατικά των κονιών αντιδρούν με το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας ή μόνο με το νερό και στην συνέχεια πήζουν και σκληρύνονται. Η ποικιλία των κονιών και των κονιαμάτων είναι μεγάλη, εξαρτώμενη κυρίως από τις επιτόπιες συνθήκες κάθε χώρας. [1]

Οι κονίες, ανάλογα με τη συμπεριφορά τους προς το νερό μετά την σκλήρυνση, διαχωρίζονται σε αερικές και υδραυλικές. Αερικές ονομάζονται οι κονίες που πήζουν και σκληραίνουν με την επίδραση του ατμοσφαιρικού αέρα. Είναι υδατοδιαλυτές, δηλαδή διαλύονται στο νερό ή σε περιβάλλον με αυξημένα ποσοστά υγρασίας. Αντιπροσωπευτικός τύπος είναι η άσβεστος. Χρησιμοποιούνται σε επιφανειακές κατασκευές, ενώ μέσα σε υγρό περιβάλλον δεν αντέχουν ακόμα και αυτές οι αερικές κονίες που έχουν ήδη σκληρυνθεί. Υδραυλικές ονομάζονται οι κονίες που πήζουν και σκληραίνουν τόσο στον αέρα, όσο και με την επίδραση του νερού. Οι υδραυλικές κονίες είναι πιο ανθεκτικές στην παρουσία υγρασίας. Η ιδιότητα που έχουν οι κονίες αυτές να στερεοποιούνται μέσα στο νερό, καλείται υδραυλικότητα και οφείλεται στην ειδική χημική σύστασή τους. Αντιπροσωπευτικοί τύποι είναι η τραχεία γύψος, η υδραυλική άσβεστος, οι ασφαλτοκονίες και οι τεχνητές κονίες Portland.

Τέλος, ανάλογα με την προέλευση τους, οι κονίες διακρίνονται σε φυσικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται αυτούσιες όπως συναντώνται στη φύση (πηλός, ποζολανικές κονίες) και σε τεχνητές, οι οποίες παρασκευάζονται βιομηχανικά με τη χρήση φυσικοχημικών μεθόδων. (τσιμέντο, άσβεστος, γύψος). [5]

Ποζολάνες

Η ονομασία ποζολάνη προήλθε από την περιοχή Pozzuoli της Ιταλίας , όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες και το χρησιμοποιούσαν στα κονιάματά τους. Πλέον, ποζολάνες ονομάζονται οι λεπτότατες κονίες πυριτικής ή αργιλοπυριτικής σύστασης (χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή υδραυλικότητα), οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία των υδραυλικών κονιών γιατί όταν αντιδρούν με το $Ca(OH)_2$ δίνουν ενώσεις με αυξημένες υδραυλικές ιδιότητες. Κατά την ποζολανική αντίδραση (ενυδάτωση) αντιδρούν χημικά, με αργό σχετικά ρυθμό, με το υδροξείδιο του ασβεστίου σχηματίζοντας ένυδρες ασβεστοπυριτικές ενώσεις. Οι ποζολάνες διακρίνονται σε φυσικές και σε τεχνητές ανάλογα με την προέλευσή τους.

1) Οι **φυσικές ποζολάνες** είναι κυρίως ηφαιστιογενείς, όπως η ελληνική θηραϊκή γη, η ιταλική pozzolana (η οποία έδωσε το όνομα της σ' αυτή την κατηγορία των κονιών), η γερμανική trass, κ.ά.

2) Οι **τεχνητές ποζολάνες** παρασκευάζονται από αργίλους και σχιστόλιθους με θερμική κατεργασία, δηλαδή πύρωση σε θερμοκρασίες μεταξύ 770 ÷ 900 oC. Τεχνητές ποζολάνες είναι επίσης και οι σκουριές από υψικάμινους, όπως και η ιπτάμενη τέφρα, η οποία είναι η σκόνη που παράγεται από την καύση λιθανθράκων και λιγνιτών σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Εικόνα 7 – Θηραϊκή γη

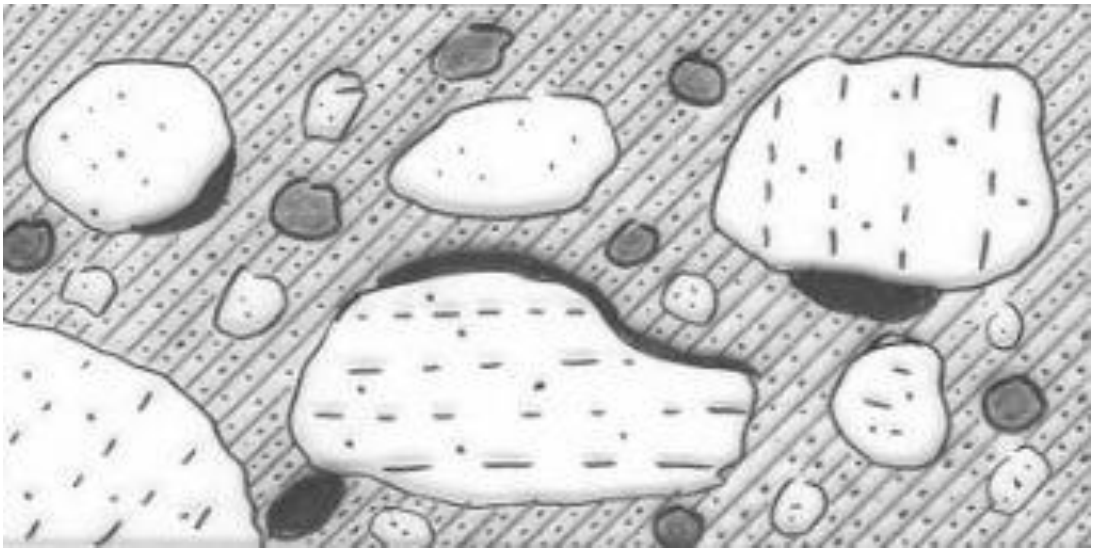
Εικόνα 8 – Ποζολάνες

Η ποζολανικότητα της θηραϊκής γης, όπως και όλων των ποζολανών, είναι βασικά η ικανότητά τους να δεσμεύουν την άσβεστο (Ca(OH)2) που χρησιμοποιείται για την σύνθεση των παραδοσιακών κονιαμάτων, αλλά και αποβάλλεται κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής των κονιαμάτων και του τσιμέντου, αφού με την δέσμευση και μετέπειτα ενυδάτωση της ασβέστου από την ποζολάνη προκύπτουν χημικές ενώσεις που προσδίδουν μεγάλη αντοχή. Η ικανότητα δέσμευσης είναι μεγαλύτερη, όσο περισσότερο λεπτοαλεσμένη είναι η ποζολάνη. [5]

_2.3 Αδρανή

Τα αδρανή υλικά αποτελούν το κυριότερο μέρος της μάζας του μείγματος των κονιαμάτων. Καθορίζουν κυρίως το βάρος, το μέτρο ελαστικότητας και τη μεταβολή όγκου του κονιάματος, ενώ επίσης είναι υπεύθυνα για την παραλαβή φορτίων και την ανάπτυξη των αντοχών των σύνθετων υλικών. [5]

Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, διακρίνονται σε άμμο, γαρμπίλι και σκύρα. Το αδρανές υλικό, το οποίο περιλαμβάνει κόκκους όλων των μεγεθών ονομάζεται αμμοχάλικο. Επίσης διαχωρίζονται ανάλογα με την προέλευση τους σε φυσικά, τεχνητά και ανακυκλωμένα, με τα τελευταία να προκύπτουν από την θραύση δομικών υλικών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε παλαιότερες κατασκευές. Τέλος, με βάση το σχήμα τους, διακρίνονται σε στρογγυλά, κυβοειδή, γωνιώδη, πλακοειδή και επιμήκη. Η γνώση των βασικών χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων των αδρανών (π.χ. Πυκνότητα, υγρασία, καθαρότητα, μηχανικές ιδιότητες, διαβάθμιση,μορφη) είναι απαραίτητα για την ορθή επιλογή τους κατά την σύνθεση του κονιάματος. [3]

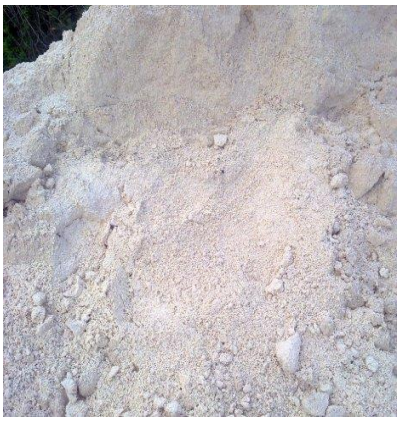


Εικόνα 9 – Τομή κονιάματος

α. Άμμος

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους, d, ικανοποιεί τη σχέση 0 ≤ d < 8 mm και συμβολίζονται με (0/8).

Το τμήμα των αδρανών, το οποίο αποτελείται από τους πιο λεπτούς κόκκους του υλικού και διέρχεται από το αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο Νο 200, που έχει διάμετρο 0,75 mm, ονομάζεται παιπάλη, ενώ το τμήμα των αδρανών, που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση 4 ≤ d < 8 mm και συμβολίζονται με (4/8), ονομάζεται ρυζάκι.



Εικόνα 10 - Άμμος

β. Γαρμπίλι

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση 8 ≤ d <16 mm και συμβολίζονται με (8/16).

γ. Σκύρα

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση 16 ≤ d <64 mm και συμβολίζονται με (16/64). [14]

Εικόνα 11 - Γαρμπίλι

Εικόνα 12 - Σκύρα

_2.4 Νερό

Μετά την κονία και τα αδρανή, το νερό αποτελεί το τρίτο πιο σημαντικό συστατικό των κονιαμάτων. Το νερό και η κονία είναι τα δύο ενεργά συστατικά του κονιάματος. Λαμβάνει μέρος σε μία σειρά χημικών αντιδράσεων που οδηγούν, μέσω της δημιουργίας ένυδρων κρυστάλλων, στην πήξη και την σκλήρυνση του μίγματος. Στις περισσότερες των περιπτώσεων δεν δίνεται ιδιαίτερη σημασία στο νερό που εισάγεται στα κονιάματα, εντούτοις η ποιότητα του μπορεί να επηρεάσει άμεσα τις παραπάνω διαδικασίες. Το νερό που δύναται να χρησιμοποιείται δεν πρέπει να περιέχει αιωρούμενα ή διαλυμένα στερεά (πχ. άλατα), αφού αυτά μπορούν να αποτελέσουν καθοριστικό αρνητικό παράγοντα για την ανθεκτικότητα των τελικών προϊόντων.

Το νερό επιδρά ποικιλοτρόπως στα κονιάματα. Ένα μέρος του, που χρησιμοποιείται για την παρασκευή του κονιάματος, καταναλώνεται για την πραγματοποίηση απαραίτητων χημικών αντιδράσεων, που λαμβάνουν χώρα κατά την πήξη της κονίας, δηλαδή για τον σχηματισμό ένυδρων χημικών ενώσεων. Το υπόλοιπο μέρος αυτού, χρησιμεύει για την διαβροχή των κόκκων των αδρανών και την αύξηση της πλαστικότητας του κονιάματος. Μία μικρή ποσότητα νερού δημιουργεί κονίαμα στεγανό και δύσκολο στο να κατεργαστεί, έχοντας ωστόσο αυξημένη μηχανική αντοχή και στεγανότητα. Σε περιπτώσεις που η ποσότητα του νερού δεν είναι επαρκής, ένα μέρος της κονίας παραμένει ανενεργό, με αποτέλεσμα να υπάρχει μόνο μερική σύνδεση των αδρανών. Μία μεγάλη ποσότητα νερού από την άλλη, το κάνει πλαστικό ως υδαρές και εύκολο στο να κατεργαστεί, αλλά συγχρόνως, ελαττώνει την αντοχή του και την στεγανότητά του. Σε περιπτώσεις που η ποσότητα του νερού είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη, έχουμε ως αποτέλεσμα να μην απορροφάται από την κονία και τα αδρανή, αλλά να μένει ελεύθερη μέσα στην μάζα του υλικού. Το αρνητικό σε αυτή την περίπτωση είναι ότι μετά την εξάτμιση του νερού δημιουργούνται πόροι και κοιλότητες μειώνοντας τη συνεκτικότητα και τις αντοχές του κονιάματος. Επομένως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ποσότητα του νερού που θα χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. [4]

_2.5 Πρόσθετα

Τα πρόσθετα συστατικά είναι τα λεπτομερώς διαμερισμένα συνήθως ανόργανα υλικά που χρησιμοποιούνται στο κονίαμα στοχεύοντας να βελτιώσουν κάποιες από τις ιδιότητες του. Διακρίνονται στα σχεδόν αδρανή πρόσθετα (τύπου Ι, όπου συγκαταλέγονται τα φίλλερ αδρανών και τα χρώματα) και τα πρόσθετα με ποζολανικές ή λανθάνουσες υδραυλικές ιδιότητες (τύπου ΙΙ, όπως οι ιπτάμενες τέφρες, η πυριτική παιπάλη, οι τεχνητές ποζολάνες, η νανοπυριτία και η νανοτιτανία).

_2.6 Νανο-υλικά

Ένας απλός και αποτελεσματικός τρόπος αναβάθμισης των κονιών (αύξησης της δραστικότητας) αποτελούσε για αιώνες η άλεσή τους με σκοπό την αύξηση της ειδικής επιφάνειας της κονίας. Δηλαδή, οι λεπτόκοκκες δομικές κονίες αναπτύσσουν γρηγορότερα υψηλότερες αντοχές και αυτό οφείλεται στις δράσεις της μικροδομής. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη σκέψη πως η αξιοποίηση των νανοσωματιδίων μπορεί να συμβάλει στην ισχυροποίηση της μικροδομής με διάφορους μηχανισμούς, ώστε να οδηγήσει σε πλεονεκτήματα στις μακροσκοπικές ιδιότητες των υλικών. Οι κύριες και επιζητούμενες ιδιότητες είναι η μηχανική αντοχή, η πυκνότητα της δομής, το πορώδες, η καλή πρόσφυση (όταν απαιτείται) και η ανθεκτικότητα σε διάφορους διαβρωτικούς παράγοντες.

Βασικό καινοτόμο στοιχείο των υλικών αυτών αποτελεί η υψηλή ειδική επιφάνειά τους σε σχέση με τον όγκο τους, λόγω των νανο-διαστάσεων των κόκκων τους. Αυτό παρέχει τη δυνατότητα να αντιδράσουν χημικά σε μεγαλύτερο βαθμό. Στη νανο-κλίμακα η βαρύτητα είναι αμελητέα, οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις γίνονται κυρίαρχες, οι κβαντικές επιρροές και οι αναλογίες των ατόμων στην επιφάνεια αυξάνουν. [9 16]

3. Παραδείγματα αποκαταστάσεων

_3.1 Παράδειγμα 1 – Μνημεία στο Βέλγιο

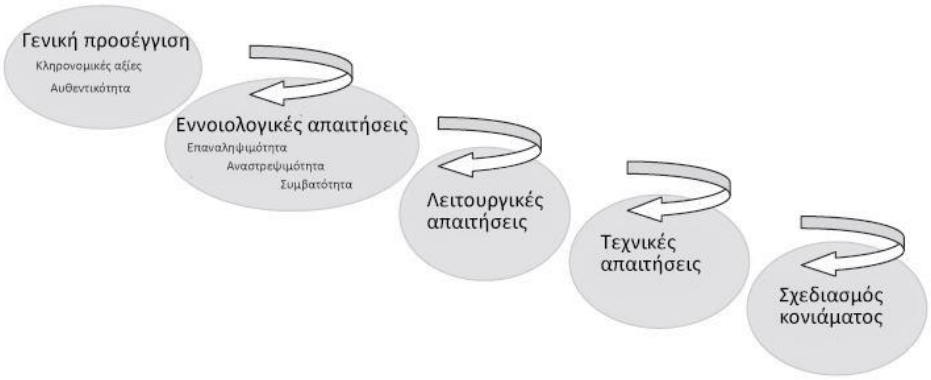
Τα επισκευαστικά κονιάματα που χρησιμοποιούνται σε αποκαταστάσεις είναι συμβατά σε μεγάλο βαθμό με τα ιστορικά υλικά όσων αφορά τις φυσικές, μηχανικές και χημικές τους ιδιότητες έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η αντοχή των τοιχοποιιών σε μακροπρόθεσμη βάση. Τα κριτήρια συμβατότητας καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των αρχικών/πρωτότυπων υλικών αλλά η ποιότητα και η απόδοση των επισκευαστικών κονιαμάτων μετά την εφαρμογή τους δεν αξιολογείται γενικώς. Από αυτή την οπτική, ιστορικά και επισκευαστικά κονιάματα από τρία διαφορετικά μνημεία αναλύθηκαν ως προς τα χημικά, ορυκτολογικά και φυσικά τους χαρακτηριστικά.

Μια έρευνα πραγματοποιήθηκε για την περιγραφή της γενικής μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε και την εύρεση των προδιαγραφών επίδοσης που αντιμετωπίστηκαν.

1) Σε όλες τις περιπτώσεις, εκτελείται μια επισταμένη επιθεώρηση των ιστορικών κονιαμάτων από δείγματα που συλλέχθηκαν. Η διαδικασία είναι η εξής: Οπτικός, χημικός, ορυκτολογικός, φυσικός, μηχανικός χαρακτηρισμός

2) Ακολούθως, προτείνεται μια συνταγή επισκευαστικού κονιάματος, που ορίζεται απ’ τους τεχνικούς προσδιορισμούς του υπεύθυνου μηχανικού και έπειτα εφαρμόζεται στην πράξη.

3) Μετά την εφαρμογή του, λαμβάνονται εκ νέου δείγματα και αξιολογείται η συμβατότητά του με τα πρωτότυπα υλικά.



Εικόνα 13 – Μεθοδολογία σχεδιασμού επισκευαστικών κονιαμάτων

Απαιτήσεις επίδοσης των επισκευαστικών κονιαμάτων

Για την επιλογή του κατάλληλου κονιάματος, λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράμετροι όπως αυθεντικότητα, αναστρεψιμότητα, συμβατότητα, επαναληψιμότητα, λειτουργία, τεχνολογία και αντοχή. Το πώς θα ληφθούν υπόψη καθορίζεται απ' τον υπεύθυνο μηχανικό και παίζει πολύ σημαντικό ρόλο το τελικό αποτέλεσμα.

Η έρευνα ασχολείται με τρία μνημεία στο Βέλγιο, το Ναό της Παναγίας στο Τόνγκερεν, το Κάστρο στο Λάνακεν, και τη Μονή του Χέρκενροντ στο Κούριγκεν. Πρόκειται για τρία πολύ σημαντικά μνημεία, όπου η έρευνα δίνει ιδιαίτερη έμφαση στις πτυχές συμβατότητας των επισκευαστικών κονιαμάτων με τις πρωτότυπες κατασκευές. Για αυτό το σκοπό, ακολουθήθηκαν οι προαναφερθείσες διαδικασίες.

Εικόνα 14 – Ναός Παναγίας,Τόγκερεν

Εικόνα 15 – Μονή στο Κούρινγκεν

Εικόνα 16 – Κάστρο στο Λάνακεν

Αξιολόγηση της συμβατότητας

Ο σχεδιασμός ενός επισκευαστικού κονιάματος ξεκίνησε απ' τον χαρακτηρισμό των πρωτότυπων κονιαμάτων. Σ' αυτή τη βάση, η σύσταση ενός τέτοιου κονιάματος προτάθηκε εντός του πλαισίου των καθορισμένων τεχνικών προδιαγραφών. Ωστόσο, αυτή σε πολλές περιπτώσεις τροποποιήθηκε για διάφορους λόγους και το τελικό κονίαμα είχε σημαντικές διαφορές στη σύνθεσή του. Η ερώτηση που προκύπτει αφορά τη συμβατότητα του κονιάματος. Είναι συμβατά από τη στιγμή που η σύνθεση του είναι διαφορετική απ' το πρωτότυπο? Προκαλείται ζημιά στο πρωτότυπο από τη χρήση του νέου κονιάματος? (Ως συμβατότητα ορίζεται η χρήση υλικών που δεν έχουν αρνητικές συνέπειες στα αυθεντικά υλικά). Αυτό δεν καθίσταται σαφές, καθώς οι επιδράσεις της διαφοράς στη χημική σύνθεση σε μηχανικό και φυσικό επίπεδο δεν μελετώνται στην έρευνα. [7]

_3.2 Παράδειγμα 2 – Βίλα Σενεγκιάνα - Ροδωπού

Σε αρκετές τοιχοποιίες στην Κρήτη, μέρη των πρωτότυπων κονιαμάτων τα οποία έχουν υποστεί φθορές από την επίδραση των φυσικών καιρικών φαινομένων χρειάζονται αντικατάσταση. Σε αρκετές επεμβάσεις αποκατάστασης έχουν χρησιμοποιηθεί πολυμερή υλικά και τσιμέντο, τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την επιτάχυνση της φθοράς λόγω του ότι επιβλαβή υλικά προκάλεσαν ζημιές στις υπάρχουσες λιθοδομές. Επιπλέον, τα πολυμερή υλικά είναι ασύμβατα με αυτά των παραδοσιακών τοιχοποιιών, έτσι παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Γι' αυτό το λόγο, η έρευνα επικεντρώνεται στη σύνθεση επισκευαστικών κονιαμάτων με φυσικοχημική συμβατότητα με τα αρχικά.

Εικόνα 17 – Βόρεια όψη

Εικόνα 18 – Δυτική όψη

Σ’ αυτή την περίπτωση, παρουσιάζεται ο χαρακτηρισμός των κονιαμάτων μιας ενετικής κατοικίας στα Χανιά και η σύνθεση νέων για την αποκατάστασή της. Η συγκεκριμένη κατοικία βρίσκεται στα Ρωδοπού, στην ενδοχώρα του νομού Χανίων και είναι ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα της ενετικής αρχιτεκτονικής σε αγροτικές περιοχές. Οικοδομήθηκε τον 15ο αιώνα και οι περισσότερες παρεμβάσεις πραγματοποιήθηκαν τον 20ο αιώνα, όταν οι γηγενείς κάτοικοι διατηρώντας αρκετά απ’ τα πιο σημαντικά στοιχεία της την μετέτρεψαν σε αγροικία.

Οι βασικοί λόγοι επιδείνωσης της κατάστασης της κατοικίας μέχρι στιγμής είναι η κρυσταλλοποίηση αλάτων, η τριχοειδής αναρρίχηση νερού και αλάτων και προηγούμενες επεμβάσεις κατά τον 20ο αιώνα. Η χρήση τσιμεντοκονιαμάτων προκάλεσε σημαντικές φθορές στις τοιχοποιίες. Τα πιο κοινά μοτίβα αποσύνθεσης είναι τα κενά και η απώλεια συνθετικού κονιάματος. Οι εργασίες συντήρησης, εκτός των άλλων απαιτούν επανασχηματισμό της τοιχοποιίας και συμπλήρωση των μεγάλων κενών.

_3.2.1 Ανάλυση πρωτότυπων κονιαμάτων

Με μία μακροσκοπική εξέταση των δειγμάτων ανιχνεύθηκαν τρεις τύποι κονιαμάτων που διαφέρουν στη σύσταση, στην υφή και στο χρώμα. Ο πρώτος αποτελείται από υδράσβεστο, άργιλο και άμμο, ο δεύτερος υδράσβεστο, θρυμματισμένο τούβλο και άμμο και ο τρίτος υδράσβεστο και άμμο. Ο τελευταίος χαρακτηρίστηκε από μεγάλη σκληρότητα και δύσκολα αποσυντέθηκε.

_3.2.2 Σχεδιασμός επισκευαστικού κονιάματος

Οι βασικές κατευθύνσεις για το σχεδιασμό ενός κονιάματος προϋποθέτουν την ύπαρξη ενός δυνατού κονιάματος για την αντικατάσταση τόσο των παλιών προβληματικών όσων και των τσιμεντοκονιαμάτων που έχουν εφαρμοστεί σε νεότερες φάσεις.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι μαγνησιακή άσβεστος δεν παράγεται στη Ελλάδα όπως επίσης και τις απαιτήσεις για ενίσχυση της αντοχής, το συνδετικό υλικό πρέπει να είναι είτε υδραυλική άσβεστος είτε υδράσβεστος με κάποια ποζολάνη. Η δεύτερη επιλογή απορρίφθηκε λόγω του ότι οι λειτουργικές και μηχανικές ιδιότητες, για μεγάλο χρονικό διάστημα βασίζονται στις καιρικές συνθήκες, στην ποιότητα της ποζολάνης και σε περιβαλλοντικές διακυμάνσεις.

Από την άλλη μεριά, αρκετές μελέτες έχουν αφιερωθεί στην εκτίμηση και αξιολόγηση κονιαμάτων με υδραυλική άσβεστο. Σήμερα, τέτοια κονιάματα αξιολογούνται σε εργαστηριακά πειράματα και εφαρμόζονται σε αποκαταστάσεις ιστορικών τοιχοποιιών. Σ' αυτή την έρευνα, τόσο η εργαστηριακή όσο και η επί τόπου έδωσαν ενθαρρυντικά αποτελέσματα για τη χρήση υδραυλικής άσβεστου σε εργασίες αποκατάστασης. Επίσης, σαν κονία είχε ικανοποιητική συμπεριφορά σε αρκετές επεμβάσεις της Εφορείας αρχαιοτήτων Χανίων.

Τα υλικά που εν τέλει χρησιμοποιήθηκαν για τα επισκευαστικά κονιάματα εμπεριέχουν υδραυλική άσβεστο με προσθήκη ποζολανών σαν κονία και πυριτική άμμο και θρυμματισμένο τούβλο για αδρανή.

Διαφορετικά μείγματα συντέθηκαν και ελέγχθηκαν ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη λειτουργικότητα. Καλά αποτελέσματα παρουσίασε η πρόσμιξη υδραυλικής άσβεστου και πυριτικής άμμου σε αναλογία 6:14 κατά βάρος, όπως επίσης η ίδια πρόσμιξη με προσθήκη θρυμματισμένο τούβλο με αναλογία 6:14:1 κατά βάρος. Η αναλογία νερού/κονίας ήταν 0,54 και 0,66 αντίστοιχα. Σύμφωνα με άλλα πειράματα, αυτή η ποσότητα νερού ήταν αναγκαία για την επίτευξη καλής συνοχής και λειτουργικότητας.

_3.2.3 Εφαρμογή του κονιάματος στην κατοικία

Η εργαστηριακή μελέτη κατέδειξε ότι το προτεινόμενο κονίαμα υδραυλικής ασβέστου μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά. Μετά από τρία χρόνια, δεν παρατηρήθηκε κάποια φθορά και το κονίαμα έμοιαζε να λειτουργεί καλά στην κατασκευή. Να σημειωθεί πως παρόλο που η στέγη δεν είχε επισκευαστεί και ακολούθως η βροχή εισερχόταν στην κατασκευή δεν παρατηρήθηκαν ζημιές.

Εδώ μπορεί να ειπωθεί ότι η χημική, φυσική και κατασκευαστική συμβατότητα μεταξύ πρωτότυπου και επισκευαστικού κονιάματος επετεύχθη. [8]

4. Ασύμβατα υλικά

Η χρήση τσιμέντου ως συνδετικού υλικού σε τοιχοποιίες, αν και εκτεταμένη στο παρελθόν, σήμερα αναγνωρίζεται ότι προκαλεί έντονα προβλήματα φθοράς, κυρίως λόγω ασυμβατότητας με τα παραδοσιακά δομικά υλικά.

- Τα κονιάματα τσιμέντου παρουσιάζουν σχετικά μεγάλες τιμές θλιπτικής αντοχής και μέτρου ελαστικότητας καθιστώντας τα πολύ δυνατά και άκαμπτα σ σχέση με τα παραδοσιακά κονιάματα στις ιστορικές τοιχοποιίες.
- Η χρήση του τσιμέντου ως υλικό αποκατάστασης διαταράσσει την μηχανική συμπεριφορά, στατική και δυναμική, της τοιχοποιίας, με κίνδυνο εμφάνισης διαφορικών φορτίσεων σε τμήματα δομής και επακόλουθη αστοχία τους.
- Τα κονιάματα τσιμέντου παρουσιάζουν γενικότερα μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής, σχεδόν διπλάσιο της πέτρας, με αποτέλεσμα, σε κύκλους θέρμανσης- ψύξης, να ασκούνται μηχανικές τάσεις στα αυθεντικά υλικά που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία(ρηγμάτωση).
- Σε εφαρμογές αποκατάστασης ιστορικών τοιχοποιιών, η μικρή τιμή πορώδους και η σχετικά πυκνή δομή των τσιμεντιτικών κονιαμάτων δυσκολεύει την ''αναπνοή'' της τοιχοποιίας, δηλαδή την μεταφορά της υγρασίας στους κύκλους ύγρανσης και ξήρανσης.
- Τα τσιμεντιτικά κονιάματα είναι φορέας διαλυτών αλάτων. Ο εκλεκτικός προσανατολισμός των διαλυτών αλάτων στα γειτονικά ιστορικά υλικά και η κρυστάλλωση τους κατά τη φάση της εξάτμισης οδηγούν σε άσκηση πιέσεων κρυστάλλωσης. [17]

_4.1 Παράδειγμα μουσείου Κισάμου

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω μια επέμβαση αποκατάστασης πρέπει να περιλαμβάνει μία εμπεριστατωμένη μελέτη για τον σαφή χαρακτηρισμό των υφιστάμενων υλικών, τη διάγνωση των προβλημάτων και των φθορών και εν συνεχεία τη σύνθεση νέων συμβατών επισκευαστικών κονιαμάτων με τα υπάρχοντα. Ωστόσο, αυτή η μεθοδολογία, σε αρκετές περιπτώσεις κατά το παρελθόν δεν εφαρμόζεται με αποτέλεσμα οι επεμβάσεις αποκατάστασης να μην εκπληρώνουν το στόχο τους ενώ παράλληλα έχουν αρνητικές συνέπειες για το ίδιο το κέλυφος.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η αναστήλωση του μουσείου Κισάμου υπό την εποπτεία του Υπουργείου Πολιτισμού. Πρόκειται για διώροφο λίθινο κτίριο του δεύτερου μισού του 16^{ου} αιώνα, με μεταγενέστερες επισκευές κατά την τουρκοκρατία.

Εικόνα 19 – Πρόσοψη μουσείου Κισάμου

Στις επεμβάσεις συντήρησης που πραγματοποιήθηκαν εφαρμόστηκαν ως εξωτερικά επιχρίσματα κονιάματα με λευκό τσιμέντο Δανίας και χαλαζιακή άμμος ενώ εσωτερικά πάλι επιχρίσματα λευκού τσιμέντου με λεπτόκοκκη άμμο (πατητή τσιμεντοκονία). Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν ενέματα με λευκό τσιμέντο με χαμηλή περιεκτικότητα θειικών και θηραϊκή γη.

Παρατηρώντας το μουσείο εξωτερικά, υπάρχουν εμφανή μέτωπα υγρασίας και πιο συγκεκριμένα στον πεζόδρομο μια ζώνη έντονης υγρασίας και βλάστησης που οφείλεται στην κλίση του πεζόδρομου. Εσωτερικά, υφίστανται έντονη υγρασία τόσο σε θόλους όσο και σε τοίχους όπου έχει γίνει αποκόλληση της βαφής τους.

Εικόνα 20 – Εξωτερική υγρασία

Εικόνα 21 – Εξωτερική υγρασία

Εικόνα 22 – Αποκόλληση βαφής

Εικόνα 23 – Αποκόλληση βαφής

Έτσι λοιπόν, για την διόρθωση των παραπάνω φθορών πραγματοποιήθηκε εκ νέου επέμβαση αποκατάστασης. Στα σημεία των θόλων του ισογείου με μεγάλη ποσότητα αλάτων εφαρμόστηκαν επιθέματα από σηπιόλιθο και απιονισμένο νερό.

_4.1.1 Μακροπορώδη επιχρίσματα

Σαν επίχρισμα χρησιμοποιήθηκε το Albaria SP2, που είναι ένα αφυγραντικό σύστημα διαπνέοντος επιχρίσματος τεσσάρων στρωμάτων. Παρουσιάζει αντοχή στην τεχνητή γήρανση με άλατα θειικού νατρίου. Έχει μεγάλο ποσοστό πόρων με ακτίνα από 1 έως 10μm. Με αυτό ελαχιστοποιείται η εμφάνιση κρυσταλλικών αλάτων στην επιφάνεια του σοβά. Η πρώτη ύλη του κονιάματος είναι η φυσική υδραυλική άσβεστος και ανθρακική άμμος με κοκκομετρία 0 έως 3mm. Τα στρώματα εφαρμογής στους προσβεβλημένους από υγρασία τοίχους είναι τα εξής:

1) Πρώτο χέρι σταθεροποιητικού σοβά μεταξύ υποστρώματος και επιχρίσματος.
2) Δεύτερο στρώμα από μακροπορώδη σοβά που απομακρύνει τη μέγιστη υγρασία και ταυτόχρονα εναποθέτει στο εσωτερικό του τα επικίνδυνα άλατα.
3) Τρίτο στρώμα από υδατοαπωθητικό και υψηλής διαπνοής σοβά.
4) Χρωματισμένο επίχρισμα υψηλής διαπνοής κατά της υγρασίας.

_4.1.2 Εφαρμογή στους θόλους

Μετά την αφαλάτωση των λίθινων θόλων ακολούθησε η εφαρμογή του δεύτερου και του τέταρτου στρώματος τα οποία παρουσίασαν την καλύτερη εργασιμότητα και συνάφεια με το υπόστρωμα.

_4.1.3 Εσωτερικοί τοίχοι

Οι εσωτερικοί τοίχοι, τόσο στο ισόγειο όσο και στον όροφο, είχαν επιχρισθεί με πατητή τσιμεντοκονία, η οποία δεν μπορούσε να απομακρυνθεί εύκολα. Επιχειρήθηκε πιλοτική εφαρμογή του τελευταίου στρώματος του επιχρίσματος Albaria SP2-4, πάχους 2mm, στο ισόγειο και στον όροφο. Η εφαρμογή κατέδειξε ικανοποιητική σύμφυση με το υπόστρωμα.

Η ήδη υπάρχουσα συμπαγής τσιμεντοκονία με την εξαιρετικά λεία επιφάνεια όμως, δεν επιτρέπει την δημιουργία οπών και τραχείας επιφάνειας σε μεγάλη έκταση με χειροκίνητα εργαλεία, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή σύμφυση υποστρώματος-επιχρίσματος. Η αδυναμία να επιτευχθεί η επιθυμητή συνοχή με το υπόστρωμα οδήγησαν στην απόρριψη εφαρμογής του τέταρτου στρώματος του επιχρίσματος.

Εφαρμόστηκε διαπνέον χρώμα και αστάρι με βάση σταθεροποιημένο πυριτικό κάλιο (Silikatforg και Silikatbinder). Το χρώμα είναι υδατοαπωθητικό, επιτρέπει την εξάτμιση της υγρασίας, προστατεύει από την μούχλα και δημιουργεί δεσμό με το υπόστρωμα με αποτέλεσμα την καλύτερη σύμφυση.

Εικόνα 24 – Εσωτερική άποψη, θόλοι

Εικόνα 25 – Εσωτερικό επίχρισμα

_4.1.4 Εξωτερικοί τοίχοι

Οι εξωτερικοί περιμετρικοί τοίχοι του μνημείου δεν είχαν επιχρισθεί. Ως εκ τούτου, τα συνδετικά κονιάματα αποκατάστασης του μνημείου καθώς και τμήματα των δομικών στοιχείων του παρουσίασαν μεγάλη διάβρωση και έχρηζαν απομάκρυνσης. Εφαρμόστηκε υδροβολή χαμηλής πίεσης για την απομάκρυνση των σαθρών τμημάτων. Η πλήρωση των κενών στην εξωτερική δομή του κτιρίου έγινε με την εφαρμογή του πρώτο στρώματος (ALB SP2-1). Ακολουθεί το επίχρισμα Albaria intonaco, που είναι ένας έτοιμος σοβάς φυσικής υδραυλικής ασβέστου, επιλεγμένων άμμων ανθρακικής σύστασης (0<d<3mm) και μη τοξικών ορυκτών ινών. Η τελική στρώση της τοιχοποιίας έγινε με την Albaria stabilitura, που είναι ένα έτοιμο κονίαμα υδρασβέστου άσπρου χρώματος, χωρίς τσιμέντο, υδρόφοβο και υψηλής διαπνοής, ενδεδειγμένο για τελική στρώση εσωτερικών και εξωτερικών επιχρισμάτων. Το τελικό αυτό επίχρισμα αναμείχθηκε με φυσική ώχρα και αποτέλεσε το τελικό στρώμα εφαρμογής στο μουσείο.

Εικόνα 26 – Πρόσοψη μουσείου μετά την επέμβαση

Εικόνα 27 – Βόρεια όψη

Εικόνα 28 – Δυτική όψη

Συμπερασματικά, οι επεμβάσεις νεότερης συντήρησης που επιλέχθηκαν στηρίζονται στη μείωση της υδατοαποροφητικότητας των δομικών υλικών και στην αύξηση της διαπερατότητας σε υδρατμούς. Αυτό ικανοποιείται με εφαρμογή διαπνέοντων επιχρισμάτων και χρωμάτων. Αντιμετωπίστηκαν τα προβλήματα των προηγούμενων επεμβάσεων και απεδόθη η λειτουργικότητα του κτιρίου. 15

_Πειραματικό Μέρος

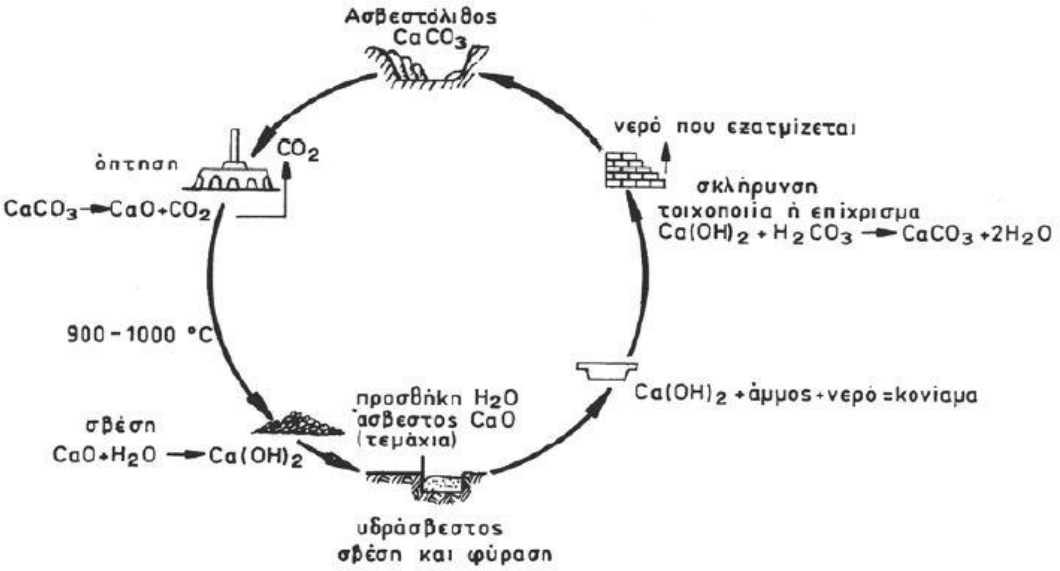
5. Εισαγωγή

Στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης πραγματοποιήθηκαν χυτεύσεις κονιαμάτων τεσσάρων ειδών. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή των εργαστηριακών πειραμάτων είναι υδράσβεστος, υδραυλική άσβεστος, μετακαολίνης, νανοτιτανία και νταμαρίσια άμμος. Για λόγους ευκολότερης αναφοράς στη συνέχεια της εργασίας, η σύνθεση με υδράσβεστο-μετακαολίνη θα αναφέρεται ως ποζολανική, ενώ η σύνθεση με υδραυλική άσβεστο-μετακαολίνη ως υδραυλική.

6. Κονίες

_6.1 Άσβεστος

Άσβεστος ονομάζεταιτο οξείδιο του ασβεστίου (CaO),χρώματος λευκού, το οποίο προέρχεται από τη διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO3 → CaO + CO2) στους 900 oC περίπου. Το CaCO3 είναι το κύριο συστατικό των ασβεστολίθων, οι οποίοι περιέχουν και ξένες προσμίξεις, όπως για παράδειγμα MgO, SiO2, κ.α. Η όπτηση του ασβεστολίθου γίνεται στις ασβεστοκαμίνους. Η απώλεια του CO2 στην παραπάνω αντίδραση, έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός μεγάλου δικτύου τριχοειδών πόρων, καθιστώντας τη μάζα σπογγώδη. [1]



Εικόνα 29 – Κύκλος της ασβέστου

Η άσβεστος έχει χημική συγγένεια με το νερό και λόγω του μεγάλου πορώδους μπορεί να προσλαμβάνει νερό με έκλυση μεγάλης ποσότητας θερμότητας κατά την αντίδραση $CaO + H2O \rightarrow Ca(OH)2$. Το αποτέλεσμα της αντίδρασης ονομάζεται υδράσβεστος. Η αντίδραση της ενυδάτωσης ονομάζεται σβέση και η ταχύτητα της σβέσης καθορίζει και τη δραστικότητα της ασβέστου. Είναι αξιοσημείωτο ότι με την αύξηση της ταχύτητας σβέσης βελτιώνεται η ποιότητα της, μέσω της αύξησης της πλαστικότητας, έχοντας ως αποτέλεσμα την εύκολη και σωστή κατεργασία των ασβεστοκονιαμάτων. [2]

_6.2 Υδράσβεστος

Η υδράσβεστος, όπως προαναφέρθηκε, αποτελεί προϊόν της ελεγχόμενης ενυδάτωσης του ασβέστη σε κατάλληλους αντιδραστήρες. Χρησιμοποιείται σαν κύριο συστατικό σε κονιάματα τοιχοποιίας για αιώνες για την παρασκευή επιχρισμάτων, ενεμάτων και κονιαμάτων αρμολόγησης.

_6.3 Υδραυλική άσβεστος

Η υδραυλική άσβεστος παρασκευάζεται με όπτηση ασβεστολιθικών πετρωμάτων (1000-1200oC) με αυξημένη περιεκτικότητα σε οξείδια του αργιλίου και του πυριτίου. Η περιεκτικότητα σε άργιλο είναι 10-15%. Το προϊόν σβήνεται (ξηρή σβέση) και διατίθεται στην αγορά υπό την μορφή σκόνης ανοιχτού χρώματος. Λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε ελεύθερη άσβεστο, η υδραυλική άσβεστος σπάνια χρησιμοποιείται αυτούσια για υδραυλικά κονιάματα, αλλα συνήθως αναμιγνύεται με ποζολάνες, με το $SiO2$ αυτών να δεσμεύει την ελεύθερη άσβεστο. Κατά κύριο λόγο αποτελεί προϊόν με περιορισμένες χρήσεις. Συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή κονιαμάτων επισκευής/ ενίσχυσης κατασκευών μνημειακού χαρακτήρα (για ενέματα, επιστρώσεις, αρμοόγημα, επιχρίσματα).

Πήξη και σκλήρυνση της υδραυλικής ασβέστου

Η πήξη οφείλεται κυρίως στους υδραυλικούς συντελεστές της κονίας. Όμως στην πήξη και τη σκλήρυνση συμβάλλει και η μικρή ποσότητα CaO που σχηματίζεται κατά την όπτηση, το οποίο αφού ενυδατωθεί και μετατραπεί σε υδράσβεστο,

Cα(OH)2, αντιδρά με το CO2 της ατμόσφαιρας και οδηγεί στο σχηματισμό CαCO3 και στη στερεοποίησή του, δηλαδή στη λίθωση της υδρασβέστου.

Εφαρμογές της υδραυλικής ασβέστου

Η υδραυλική άσβεστος μαζί με άμμο δίνει κονιάματα, τα οποία έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τα κονιάματα της αερικής ασβέστου, υστερούν όμως ως προς τις αντοχές των τσιμεντοκονιαμάτων, επειδή περιέχουν σημαντικό ποσοστό ελεύθερης ασβέστου. Σε ορισμένα επισκευαστικά κονιάματα επιβάλλεται η χρήση υδραυλικής ασβέστου, κονιάματα της οποίας συνδυάζονται φυσικοχημικά και μηχανικά καλύτερα με δομικά στοιχεία. [14]

_6.4 Καολίνης – Μετακαολίνης

Ο καολίνης είναι άργιλος , ο οποίος έχει σχηματιστεί από υδροθερμικές κυρίως μεταβολές σε αστριούχα πετρώματα (γρανίτες, τραχείτες, κ.α.) και περιέχει, λόγω ου σχηματισμού του, τις λιγότερες προσμίξεις από όλους τους αργίλους. Η ανάμειξη του καολίνη με άσβεστο και νερό δημιουργεί νέα σύνθετα ένυδρα άλατα.

Ο μετακαολίνης προέρχεται από θερμική επεξεργασία καολίνη και παρουσιάζει έντονες ποζολανικές ιδιότητες, ενώ με ανάμειξη σε κονιάματα δίνει μεγάλες φυσικομηχανικές αντοχές, μεγάλη ανθεκτικότητα και επιτρέπει την σκλήρυνση του κονιάματος εντός του νερού (Chiaverini, 2004). [18]

_6.5 Νανοτιτανία

Είναι ένα υδρόφιλο υλικό που αποτελείται από διοξείδιο του τιτανίου σε συγκέντρωση μεγαλύτερη του 99,5%, με εξαιρετική διασπορά και μικρή ειδική επιφάνεια που ανέρχεται σε 50±15 m2/g. Η περιεκτικότητα του σε Al2O3 είναι μικρότερη του 0,3%, σε SiO2 μικρότερη του 0,2% και σε Fe2O3 μικρότερη του 0,01%. Το μέσο μέγεθος των σωματιδίων είναι 21 nm. [5]

7. Αδρανή

_7.1 Νταμαρίσια άμμος

Όσον αφορά το αδρανές, χρησιμοποιήθηκε νταμαρίσια άμμος. Έπειτα από τη διαδικασία της κοσκινίσματος σχηματίστηκαν οι κοκκομετρικές καμπύλες.

_7.2 Διαδικασία κοκκομετρίας

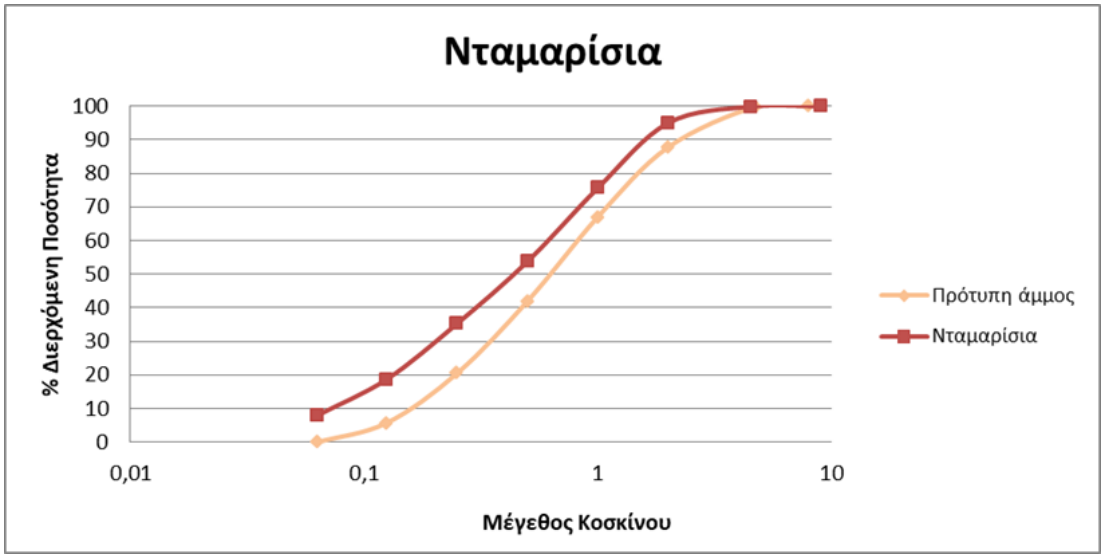
Στο εργαστήριο στις 19/10/17 πραγματοποιήθηκε κοκκομετρία της νταμαρίσιας άμμου που χρησιμοποιήθηκε στις χυτεύσεις των εργαστηρίων.

Αρχικά λαμβάνεται αντιπροσωπευτικό δείγμα άμμου 200 γραμμαρίων. Στη συνέχεια τοποθετούνται τα κόσκινα το ένα πάνω στο άλλο κατά αύξουσα σειρά από κάτω προς τα πάνω όσον αφορά τη διάμετρο των κοσκίνων.

Τοποθετείται η άμμος στα κόσκινα και ξεκινάει η διαδικασία κοσκινίσματος. Ανακατεύεται σε κάθε κόσκινο η άμμος μέχρι να μείνει το δείγμα το οποίο δεν διαπερνά το πλέγμα του κοσκίνου. Μετά, συλλέγεται το δείγμα, τοποθετείται σε σακουλάκι και έπειτα ζυγίζεται. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα κόσκινα. Στο τέλος, υπολογίζεται το συνολικό βάρος όλων των δειγμάτων και η απώλεια σε σχέση με το αρχικό βάρος του δείγματος.

Εικόνα 30 – Κοκκομετρία άμμου

Εικόνα 31 – Διαδικασία κοκκομετρίας



Σχήμα 1 – Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου

Από την κοκκομετρική ανάλυση παρατηρείται ότι η άμμος που χρησιμοποιήθηκε προσεγγίζει αρκετά την πρότυπη άμμο, ωστόσο γίνεται αντιληπτό ότι περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό μικρόκοκων αδρανών. Το στοιχείο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη για χρήση περισσότερου νερού.

8. Σύνθεση κονιαμάτων

_8.1 Εισαγωγή

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν χυτεύσεις κονιαμάτων τεσσάρων ειδών, σε μήτρες κυβικής μορφής με ακμή 5cm. ‘Επειτα αποθηκεύτηκαν σε θάλαμο συντήρησης σε θερμοκρασία 20° C.

Σκοπός αυτής της πειραματικής διαδικασίας είναι η διερεύνηση των μηχανικών ιδιοτήτων των κονιαμάτων και η πραγματοποίηση εργαστηριακών αναλύσεων όπως η τριχοειδής αναρρίχηση, η εφαρμογή υπερήχων και η τεχνητή γήρανση με άλατα θειικού νατρίου στα δοκίμια.

_8.2 Εργαστηριακές αναλύσεις

_8.2.1 Τριχοειδής αναρρίχηση

Η τριχοειδής αναρρίχηση αποτελεί μέθοδο εκτίμησης του ρυθμού με τον οποίο ανέρχεται η υγρασία απ' το ενεργό πορώδες στο εσωτερικό των δομικών υλικών. Με τον τρόπο αυτό το νερό απορροφάται από τα πορώδη υλικά μέσω των τριχοειδών και αποτελεί τον κυριότερο μηχανισμό μεταφοράς υγρασίας και αλάτων.

Ως ενεργό πορώδες των δομικών υλικών, χαρακτηρίζονται οι πόροι που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν την διέλευση του νερού.

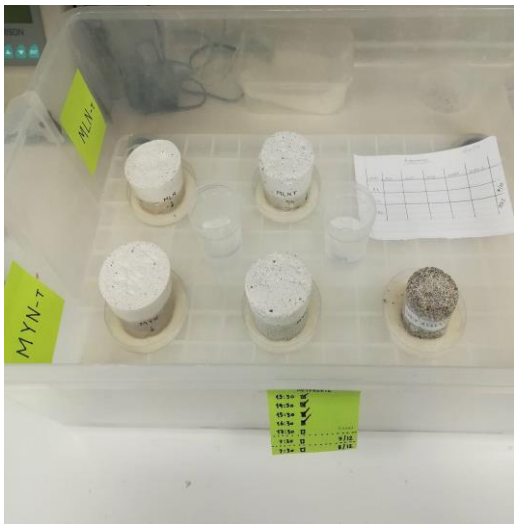
Παράγοντες που επηρεάζουν την διαδικασία:

- **Πορώδες**. Όσο μεγαλύτερο πορώδες διαθέτει ένα υλικό, τόσο μεγαλύτερη η απορροφητικότητα του.

- **Μορφολογία πόρων**. Οι κάθε μεγέθους ευθύγραμμοι πόροι που επικοινωνούν μεταξύ τους επιτρέπουν εύκολα την είσοδο νερού. Αντιθέτως οι πόροι με δαιδαλώδη διάταξη καθώς και οι κλειστοί εμποδίζουν την κυκλοφορία του νερού στο εσωτερικό των υποστρωμάτων. [4]

Διαδικασία

Αρχικά τα δοκίμια τοποθετούνται σε φούρνο στους 60ο C για δύο ημέρες ,για την απομάκρυνση της υγρασίας. Μετά το πέρας των δύο ημερών τα δοκίμια τοποθετούνται σε ξηραντήρα ώστε να αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος (25ο C). Παράλληλα στη βάση ενός ειδικά διαμορφωμένου δοχείου τοποθετούνται κατάλληλες στρώσεις διηθητικού χαρτιού, εμποτισμένες με απιονισμένο νερό.



Εικόνα 32 – Διαδικασία τριχοειδούς αναρρίχησης

Ακολουθεί η τοποθέτηση των δοκιμίων πάνω στα εμποτισμένα με νερό στρώματα χαρτιού και ανά συγκεκριμένα τακτά χρονικά διαστήματα τα δοκίμια βγαίνουν από το δοχείο και ζυγίζονται αφού πρώτα σκουπιστεί ελαφρά βάση τους σε ένα στεγνό πανί.

- Ο χρόνος εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας είναι 48 ώρες.
- Μετά το πέρας των πειραμάτων λαμβάνονται οι καμπύλες της ποσότητας του προσροφημένου νερού ανά επιφάνεια προς τον χρόνο.

_8.2.2 Υπέρηχοι

Η μέθοδος υπερηχητικής ταχύτητας παλμού χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής και της ποιότητάς του, βάσει της σχέσης μεταξύ πυκνότητας και ελαστικότητας. Χρησιμοποιώντας αυτή την μέθοδο υπερήχων, με τη χρήση του οργάνου TICO καθορίζεται έμμεσα το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας κονιάματος γνωστής πυκνότητας (δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, Ecd) , το οποίο συσχετίζεται με την αντοχή. Ο εξοπλισμός της δοκιμής περιλαμβάνει βασικά ένα πομπό σε επαφή με το δοκίμιο και έναν δέκτη επίσης σε επαφή με το δοκίμιο αλλά σε ορισμένη απόσταση από τον πομπό. Ο χρόνος που απαιτείται για την διάδοση της ταλάντωσης από τον πομπό στον δέκτη μετράται ηλεκτρονικά και με γνωστή την απόσταση πομπού- δέκτη υπολογίζεται η ταχύτητα των υπερήχων. [2]

Χρήση οργάνου υπερήχων:

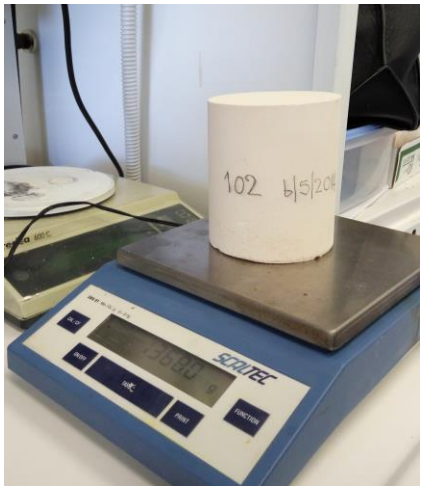
- Μέτρηση βάθους ρωγμών.
- Ανίχνευση περιοχών με κοιλότητες και κενά στο εσωτερικό του κονιάματος.
- Εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του κονιάματος.

Διαδικασία

Αρχικά πραγματοποιήθηκε καταμέτρηση των ακριβών διαστάσεων και του βάρους του εκάστοτε δοκιμίου με τη χρήση ηλεκτρονικού παχύμετρου και ηλεκτρονικού ζυγού αντίστοιχα.

Η διαδικασία συνεχίστηκε προετοιμάζοντας κατάλληλα το όργανο TICO.

Η μέθοδος μέτρησης ταχύτητας των υπερήχων πραγματοποιείται με απευθείας μετάδοση με σκοπό την μέγιστη δυνατή ακρίβεια της μεθόδου, επομένως τα κύματα που λαμβάνονται είναι μόνο διαμήκη.



Εικόνα 33 – Ζύγισμα δοκιμίων

Εικόνα 34 – Διαδικασία υπερήχων

Με την εκκίνηση της καταμέτρησης, τοποθετείται κάθε δοκίμιο μεμονωμένα ανάμεσα στους δύο πομπούς και δίνεται η αντίστοιχη μετρική πληροφορία- τιμή ύψους, του κάθε δοκιμίου. Η σωστή εφαρμογή των πομπών στις επιφάνειες των δοκιμίων αποτελεί βασική προϋπόθεση λήψης έγκυρων αποτελεσμάτων.

Για κάθε δοκίμιο ελήφθησαν τέσσερις μετρήσεις, οι οποίες συγκεντρώθηκαν οργανωμένα σε πίνακα υπολογιστικού φύλλου ''excel'', μαζί με το όνομα του δείγματος, τη μάζα, την απόσταση (ύψος), τον χρόνο και την ταχύτητα των υπερήχων.

Υπολογισμός πυκνότητας και δυναμικού μέτρου ελαστικότητας κονιάματος

- Μέσω των ληφθεισών τιμών της ταχύτητας των υπερήχων (u) , υπολογίζεται η πυκνότητα (ρ) για κάθε ένα από τα δοκίμια.

- Σε έναν ογκομετρικό κύλινδρο, ικανοποιητικά μεγάλο για να χωράει το δοκίμιο, τοποθετήθηκε ενδεικτική ποσότητα απιονισμένου νερού, και στην συνέχεια μέσα σε αυτόν- προσεκτικά- το δοκίμιο. Η διαφορά της τελευταίας στάθμης του νερού στον κύλινδρο σε σχέση με την αρχική, προσδιορίζει την τιμή του όγκου του κάθε δοκιμίου.

- Η πυκνότητα ρ, ορίζεται από τη σχέση: ρ= m / V

- Μετά το πέρας της διαδικασίας, κάθε δοκίμιο αφέθηκε να στεγνώσει.

- Τέλος, υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας Ε -το οποίο ορίζεται από τη σχέση: [E= u2 *ρ].

_8.2.3 Έλεγχος μηχανικών αντοχών κονιαμάτων

Για τον έλεγχο των μηχανικών αντοχών σε θραύση, τα κονιάματα χυτεύθηκαν όπως αναφέρθηκε προηγουμένως σε ειδικά διαμορφωμένες μήτρες 5x5x5cm, σύμφωνα με τις προτυποποιημένες διαδικασίες. Τα δοκίμια παρέμειναν σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (RH 95±5%, T 20±2 oC) μέχρι ότου αποτιμηθούν οι μηχανικές αντοχές τους μετά από 28 μέρες και 3 μήνες αντίστοιχα σε άκαμπτο Πλαίσιο φόρτισης (160 τόννους σε θλίψη και εφελκυσμό) του οίκου MTS.

Εικόνα 35 – Μηχανή θραύσης δοκιμίων

_8.2.4 Διαλυτά Άλατα στα κονιάματα

Στις μέρες μας, το επιστημονικό ενδιαφέρον πάνω στο φαινόμενο της φθοράς των οικοδομικών υλικών και συγκεκριμένα σε αυτό της διάβρωσης από άλατα, είναι ιδιαιτέρως αυξημένο. Κατά την πάροδο του χρόνου και μέσω των περιβαλλοντικών επιρροών που ασκούνται στα κονιάματα παρατηρείται μία σειρά τροποποιήσεων. Για την ακρίβεια, πραγματοποιούνται αντιδράσεις μεταξύ των αλάτων και της ήδη υπάρχουσας υγρασίας που εμπεριέχεται στα πετρώματα, με αποτέλεσμα την εμφάνιση διάβρωσης. Αυτός ο τύπος διάβρωσης μπορεί να αποδειχθεί καταστροφικός και είναι ευρέως αναγνωρισμένος ως ένας από τους πρωτογενείς παράγοντες που συνεπιτέλεσαν στην αλλοίωση της Ιστορικής Αρχιτεκτονικής, των κατασκευών σε αρχαιολογικούς χώρους, αλλά και σε αρχαιολογικά αντικείμενα.

Η κατανόηση του προβλήματος και η εύρεση μεθόδων αντιμετώπισης των καταστροφών που έχουν προκληθεί από άλατα, λαμβάνουν υψίστης προσοχής και είναι μεγάλης σημασίας για την εξασφάλιση του υλικού της πολιτιστικής κληρονομιάς. Παράλληλα ωστόσο, το φαινόμενο αυτό είναι κάτι το οποίο επηρεάζει και την σύγχρονη αρχιτεκτονική, καθώς εμφανίζονται φθορές και σε κτιριακές κατασκευές των τελευταίων ετών.

Αδιαμφισβήτητα, η διάβρωση που προκαλείται από άλατα είναι μία διαδικασία που επιφέρει μεγάλες οικονομικές και πολιτιστικές συνέπειες. Επί της ουσίας, ως προς το πρακτικό κομμάτι της διαδικασίας, τα άλατα προκαλούν βλάβες στα πορώδη υλικά μέσω της παραγωγής και της καταπόνησης από την κρυσταλλοποίηση των αλάτων στους πόρους.

Τα άλατα είναι δυνατόν να βλάψουν πετρώματα και άλλα οικοδομικά υλικά μέσα από ένα φάσμα μηχανισμών. Σε πολλές περιπτώσεις η ανάπτυξη κρυσταλλικών αλάτων εντός των πόρων του κονιάματος, δημιουργεί τάσεις επαρκείς ώστε να ξεπεραστεί η εφελκυστική αντοχή του. Τα άλατα μεταφέρονται άλλοτε από ανέμους που πνέουν σε παραθαλάσσιες περιοχές, μεταφέρονται στην τοιχοποιία και ύστερα εισέρχονται στο εσωτερικό της, άλλοτε μέσω της ανερχόμενης υγρασίας από το έδαφος και άλλοτε από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Εικόνα 36 – Νεώρια Χανίων, φθορές από άλατα

Εικόνα 37 – Εξάνθηση από άλατα

Το φαινόμενο της κρυστάλλωσης των αλάτων αποτελεί συνήθως χαρακτηριστικό στις επιφάνειες των κτιρίων. Οι φθορές εμφανίζονται είτε με την μορφή *εξανθήσεων*, είτε με την μορφή *κρυπτο-εξανθήσεων*. Στην πρώτη περίπτωση, η ανάπτυξη και η απόθεση των κρυστάλλων πραγματοποιείται στην επιφάνεια του υλικού. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός απορρόφησης του διαλύματος άλατος από την επιφάνεια του υλικού, υπερβαίνει τον ρυθμό εξάτμισης. Στην δεύτερη περίπτωση, η ανάπτυξη των κρυστάλλων δημιουργείται στο εσωτερικό των πόρων του υλικού. Η εξέλιξη αυτή του φαινομένου, σε αντίθεση με την προηγούμενη περίπτωση, καθίσταται δυνατή όταν ο ρυθμός μεταφοράς του διαλύματος στην επιφάνεια είναι μικρότερος από τον ρυθμό εξάτμισης. Η δεύτερη περίπτωση θεωρείται πιο επικίνδυνη, καθώς δημιουργεί εσωτερικές δυνάμεις και οδηγεί σε ανάπτυξη πίεσης στα εσωτερικά τοιχώματα των πόρων του υλικού, κάτι το οποίο δρα ανάλογα με το είδος του άλατος, καθώς και το μέγεθος και την κατανομή των πόρων σε αυτό.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι τα επιβλαβή διαλυτά άλατα χωρίζονται σε δύο τύπους, τα *θειικά* και τα *χλωριούχα*. Τα *θειικά* άλατα προέρχονται από υπόγεια νερά, θαλασσινό νερό και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Επίσης είναι λιγότερο διαλυτά και ευκίνητα, συγκριτικά με άλλους τύπους αλάτων και κατά συνέπεια μετακινούνται μέσα στους πόρους των υλικών κατά την αρχική φάση του σχηματισμού τους. Τα *χλωριούχα* άλατα προέρχονται από το υπέδαφος μέσω της αναρριχόμενης υγρασίας και από τα θαλάσσια αερολύματα με τη βοήθεια του ανέμου. Θεωρούνται εξαιρετικά επικίνδυνα, εξαιτίας της υψηλής διαλυτότητας, ευκινησίας και υγροσκοπικότητας που παρουσιάζουν. Με την τελευταία ιδιότητα να διευκολύνει την απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα και την συγκράτησή της στο εσωτερικό του υλικού. [4]

_8.2.4.1 Τεχνητή γήρανση με διαλυτά άλατα

Κατά την πειραματική αυτή διαδικασία ελέγχθηκε η αντοχή των τεσσάρων διαφορετικών συνθετικά τύπων κονιάματος, σε άλατα θειικού νατρίου. Για κάθε μία από τις τέσσερις συνθέσεις (MLN / MLNT / MYN / MYNT) επιλέχθηκαν τρία δοκίμια κυλινδροειδούς γεωμετρίας, ωστόσο διαφορετικού μεγέθους μεταξύ τους, προκειμένου το δείγμα να είναι αντιπροσωπευτικό. Επιλέχθηκαν άλατα θειικού νατρίου καθώς η παρουσία υψηλών επιπέδων SO2 στον αέρα προωθεί τον σχηματισμό διαφόρων μορφών θειικού ασβεστίου. Σύνηθες κατά την χρήση αυτών των αλάτων αποτελεί η εμφάνιση του φαινομένου της εξάνθησης, με τις ενδείξεις ωστόσο να εξαφανίζονται και να επανεμφανίζονται ανάλογα με την απουσία ή την παρουσία υγρασίας. Μέσω της κρυστάλλωσης των αλάτων στο εσωτερικό των πόρων του υλικού, δημιουργούνται πιέσεις που επιφέρουν ρηγματώσεις στην δομή του υλικού, με αποτέλεσμα την σταδιακή αποδυνάμωση του και τελικά την οριστική του καταστροφή.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθή διεξαγωγή αλλά και η διευκόλυνση για συστηματική παρακολούθηση του πειράματος, η διαδικασία της τεχνητής γήρανσης με τη χρήση αλάτων, έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης. Κατά τη μελέτη αυτή τα δοκίμια ήρθαν σε επαφή με το διάλυμα άλατος, με τη διεξαγωγή της διαδικασίας της τριχοειδούς αναρρίχησης μέσω διηθητικού χαρτιού, στο οποίο προσθέτονταν διάλυμα ανά τακτά χρονικά διαστήματα, προκειμένου να διατηρηθεί η υγρασία του. Η διαδικασία αποτελείται από 15 κύκλους , όπου για κάθε κύκλο ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Βήμα 1ο: Αρχικά πραγματοποιείται η προετοιμασία, η οποία περιλαμβάνει την ζύγιση των δοκιμίων, αφού πρώτα έχει εξασφαλιστεί ότι βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Βήμα 2ο: Στην συνέχεια, τα δοκίμια τοποθετούνται στα ειδικά δισκία με το διηθητικό χαρτί και φωτογραφίζονται σε ίδιες συνθήκες κάθε φορά προκειμένου να παρακολουθείται η εξελικτική πορεία της επίδρασης των αλάτων στη δομή τους.

Βήμα 3ο:Αμέσως μετά ακολουθεί η σύνθεση του διαλύματος θειικού νατρίου. Η ποσότητα επί τοις εκατό του άλατος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί σε

αντιστοιχία με 100gr νερού, είναι 14%. Άρα το διάλυμα για κάθε 100 gr υγρασίας πρέπει να περιέχει 14 gr άλατος. Το νερό που χρησιμοποιείται είναι απιονισμένο.

Βήμα 4ο: Αφού δημιουργηθεί το διάλυμα, με τη χρήση πιπέτας εμποτίζεται το διηθητικό χαρτί του κάθε δισκίου, αρχίζοντας έτσι τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης των δοκιμίων. Η διαδικασία αυτή διαρκεί 2 ώρες, χρήζει τακτικής παρακολούθησης προκειμένου να εξασφαλίζεται η επαρκής υγρασία του χαρτιού στα δισκία.

Βήμα 5ο: Μετά το πέρας των 2 ωρών, τα δείγματα τοποθετούνται σε ξηραντήρα για 10 ώρες στους 100° C. Ενώ τέλος, καθαρίζονται τα σκεύη και προετοιμάζεται ο χώρος για την επόμενη διεξαγωγή.

Εικόνα 38 – Διαδικασία τεχνητής γήρανσης

_8.3 Διαδικασία χύτευσης

Αρχικά, συγκεντρώνονται και ζυγίζονται όλα τα υλικά ώστε να βρεθεί η αναλογία όγκου-μάζας και να υπολογιστούν οι ποσότητες που θα χρησιμοποιηθούν με βάση τις προαναφερθείσες αναλογίες.

Στη συνέχεια, τοποθετούνται όλα τα υλικά εν ξηρώ σ' έναν κουβά και ανακατεύονται ελαφρώς ώστε το μείγμα να γίνει ομογενοποιημένο. Γεμίζεται ένας ογκομετρικός κύλινδρος με νερό 500ml και σταδιακά ρίχνεται στο μείγμα όπου ανακατεύονται τα υλικά, έως ότου αποκτήσει την κατάλληλη σύσταση.

Εικόνα 39 – Υλικά εν ξηρώ

Εικόνα 40 – Διαδικασία χύτευσης

Το μείγμα, έπειτα τοποθετείται στην τράπεζα εξάπλωσης και ύστερα από 15 δευτερόλεπτα, ελέγχεται εάν το μείγμα έχει την απαιτούμενη πήξη. Εάν δεν είναι η κατάλληλη τότε χρησιμοποιείται επιπλέον νερό και γίνεται εκ νέου δοκιμή στην τράπεζα εξάπλωσης για 25 δευτερόλεπτα, όπως έγινε στην συγκεκριμένη περίπτωση. Έπειτα, μετρούνται δύο ενδεικτικές διάμετροι του δείγματος πάνω στην τράπεζα εξάπλωσης με τη χρήση ηλεκτρονικού παχύμετρου. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται δύο φορές.

Εικόνα 41 – Τράπεζα εξάπλωσης

Εικόνα 42 – Έλεγχος συνεκτικότητας

Έπειτα πραγματοποιείται δοκιμή μέτρου εξάπλωσης. Η δοκιμή αυτή περιλαμβάνει τη χρήση μεταλλικού κώνου που γεμίζεται με το κονίαμα σε δύο στρώσεις, κάθε μία από τις οποίες συμπυκνώνεται με ελαφρά χτυπήματα. Το καλούπι με το κονίαμα βρίσκεται πάνω σε κυκλική βάση, την τράπεζα εξάπλωσης, που έχει την δυνατότητα να πέφτει ελεγχόμενα από συγκεκριμένο ύψος, μεταδίδοντας την κρούση στη μάζα του κονιάματος.

Αρχικά επιπεδώνεται η πάνω επιφάνεια του κονιάματος και μετά από 30 sec ο κώνος αφαιρείται αργά, οπότε το κονίαμα εξαπλώνεται. Κατόπιν η τράπεζα ανυψώνεται και αφήνεται να πέσει ελεύθερα 25 φορές (με κάθε κύκλο να διαρκεί περίπου 4 sec), έτσι ώστε το κονίαμα να εξαπλωθεί περαιτέρω. Παίρνονται τιμές δύο διαμέτρων και η διαδικασία πραγματοποιείται δύο φορές για κάθε σύνθεση. Η μέση τιμή των διαμέτρων της μάζας του κονιάματος, όπως αυτή διαμορφώνεται τελικά, ονομάζεται μέτρο εξάπλωσης. Για την μέτρηση των διαμέτρων χρησιμοποιείται ηλεκτρονικό παχύμετρο. Σημειώνεται ωστόσο ότι η επιφάνεια της μάζας του κονιάματος πρέπει να είναι ομοιόμορφη και συνεκτική, αλλιώς η δοκιμή εξάπλωσης θεωρείται ακατάλληλη για την δεδομένη σύνθεση.

Η εργασιμότητα του κονιάματος εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι το ποσοστό του νερού, το ποσοστό και η λεπτότητα των κονιών, η μορφή, η διαβάθμιση και το ποσοστό των αδρανών, ο χρόνος, η θερμοκρασία, κ.τ.λ.

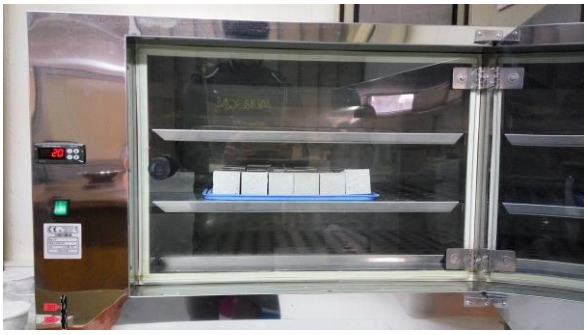
Στη συνέχεια, το κονίαμα τοποθετείται στις ειδικές μήτρες, οι οποίες έχουν επικαλυφθεί με μία μικρή ποσότητα λαδιού ώστε κατά την αφαίρεση του δοκιμίου αυτό να αποκολληθεί ομαλά. Για να γεμίσουν πλήρως οι μήτρες και να συγκροτηθεί σωστά το δοκίμιο, γεμίζονται μέχρι τη μέση, τοποθετούνται στην τράπεζα δόνησης, έπειτα γεμίζονται πλήρως και επανατοποθετούνται στην τράπεζα δόνησης.

Εικόνα 43 – Χύτευση στις μήτρες

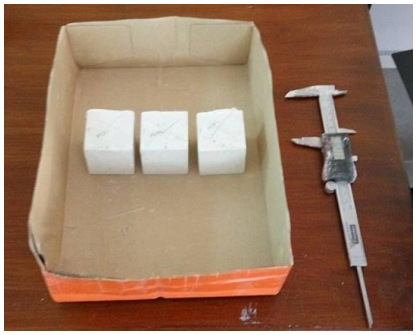
Για τη διατήρηση των απαιτούμενων συνθηκών υγρασίας, τοποθετείται πάνω στις μήτρες βρεγμένο βαμβάκι, το οποίο αντικαθίσταται από νέο μετά από δύο μέρες.

Τέλος, υπολογίζεται η χρησιμοποιηθείσα ποσότητα νερού.

Μετά το πέρας τριών ημερών, τα δοκίμια αφαιρούνται από τις μήτρες και τοποθετούνται σε ειδικό θάλαμο συντήρησης ώστε να παραμείνουν σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (RH 95±5%, T 20±2 oC) μέχρι ότου αποτιμηθούν οι μηχανικές αντοχές τους μετά από 28 μέρες και 3 μήνες αντίστοιχα.



Εικόνα 44 – Θάλαμος συντήρησης

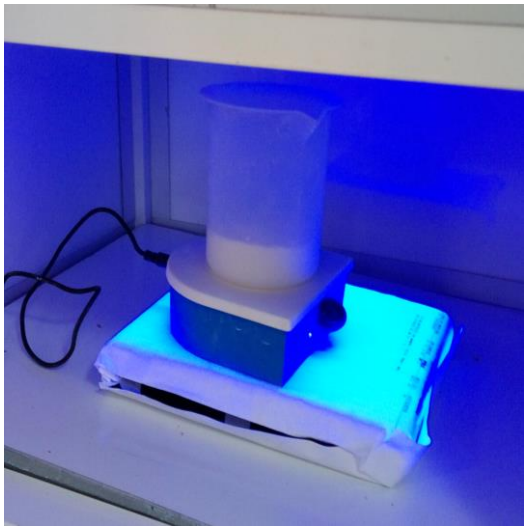


Εικόνα 45 – Κυβικά δοκίμια

_8.3.1 Κονιάματα με Νανοτιτανία

Στις περιπτώσεις χύτευσης κονιαμάτων με νανοτιτανία, η διαδικασία περιλαμβάνει την ενεργοποίησή της και την τοποθέτησή της στον κουβά με τα υπόλοιπα υλικά.

Για την ενεργοποίησή της, αρχικά ζυγίζεται η ποσότητα (6% επί της κονίας) σε ογκομετρικό κύλινδρο και αναδεύεται με νερό μέχρι να αποκτήσει την απαιτούμενη σύσταση. Στην συνέχεια το δοχείο τοποθετείται πάνω σε μαγνητικό αναδευτήρα και μέσα σε θάλαμο ενεργοποίησης με ακτίνες UV για 15 λεπτά.



Εικόνα 46 – Ενεργοποίηση νανο-τιτανίας

Πίνακας 1 – Ποσότητες υλικών, αναλογίες, συνεκτικότητα

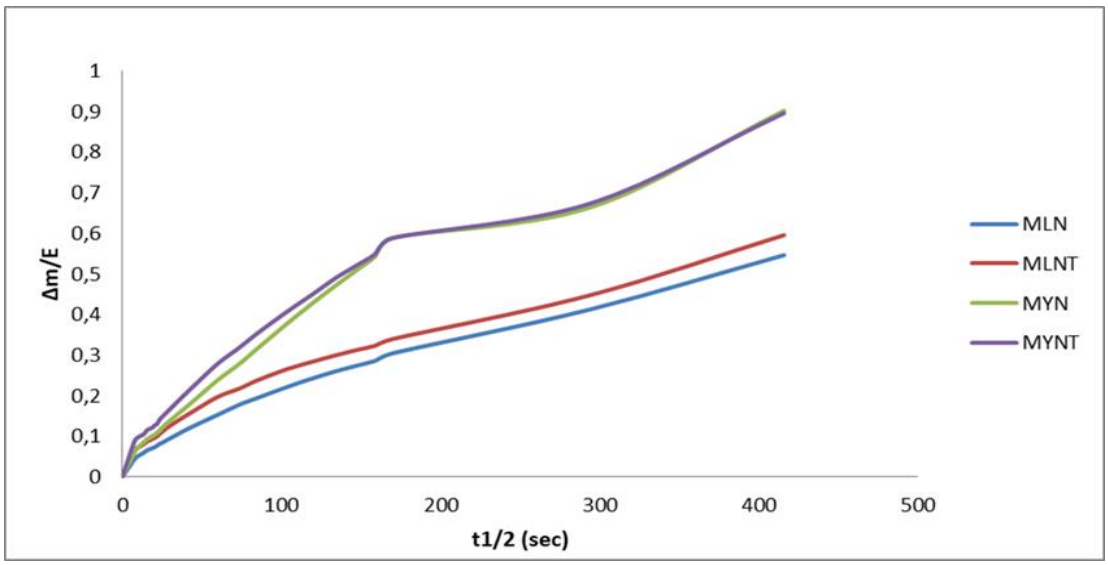
Τύπος	Ημερομηνία Χύτευσης	Ημερομηνία Θραύσης	Κονίες (gr)			TiO_2 (gr)	Αδρανή (gr)	Κονία/ Αδρανή	Νερό (mL)	Νερό/ Κονία	Συνεκτικότητα (mm)	Συνεκτικότητα (mm)
			Y	L	M		N					
MLN	02.10.17	30.10.17		180	120	-	900	0,33	360	1,2	134,91	121,85
MLNT	05.10.17	02.11.17		180	120	18	900	0,33	400	1,25	130,255	132,51
MYN	02.10.17	30.10.17	240		60	-	900	0,33	345	1,15	143,34	148,98
MYNT	09.10.17	06.11.17	240		60	18	900	0,33	350	1,1	147,15	134,76
MLN	12.10.17	12.01.18		180	120	-	900	0,33	350	1,16	132,11	129,21
MLNT	16.10.17	16.01.18		180	120	18	900	0,33	380	1,19	133,375	132,33
MYN	12.10.17	12.01.18	240		60	-	900	0,33	360	1,2	149,015	145,395
MYNT	16.10.17	16.01.18	240		60	18	900	0,33	350	1,1	163,165	168,765

Πίνακας 2 – Υλικά κονιαμάτων

Y	Υδραυλική άσβεστος	**N**	Νταμαρίσια άμμος
L	Υδράσβεστος	**T**	Νανοτιτανία
M	Μετακαολίνης		

_8.4 Αποτελέσματα

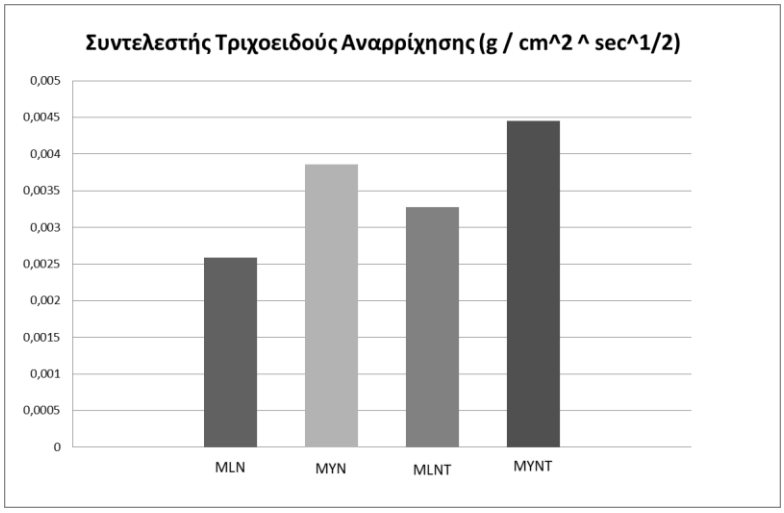
_8.4.1 Τριχοειδής αναρρίχηση



Σχήμα 2 – Καμπύλη τριχοειδούς αναρρίχησης

Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ότι οι συνθέσεις με υδραυλική άσβεστο και μετακαολίνη παρουσιάζουν μεγαλύτερη απορροφητικότητα νερού από αυτά με υδράσβεστο και μετακαολίνη. Η χρήση νανοτιτανίας φαίνεται ότι δεν επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα.

Γενικά, όλες οι συνθέσεις, οι οποίες δεν έχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ τους εμφανίζουν ικανοποιητική συμπεριφορά σε αυτόν τον τομέα.

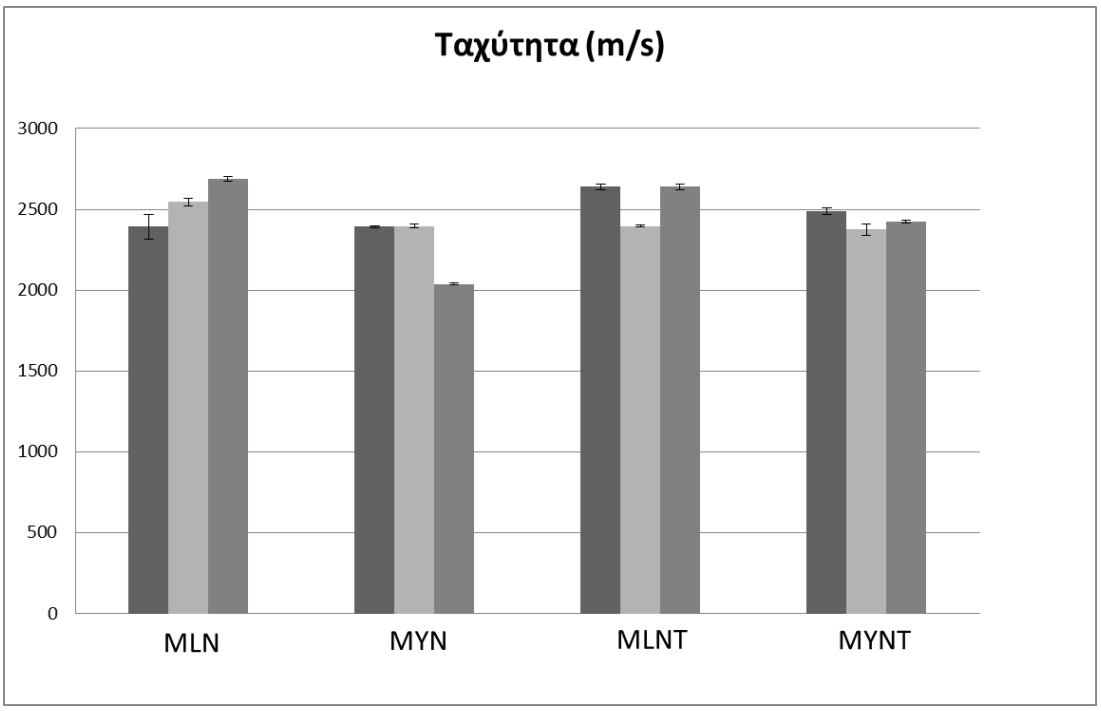


Σχήμα 3 – Τιμές συντελεστών τριχοειδούς αναρρίχησης

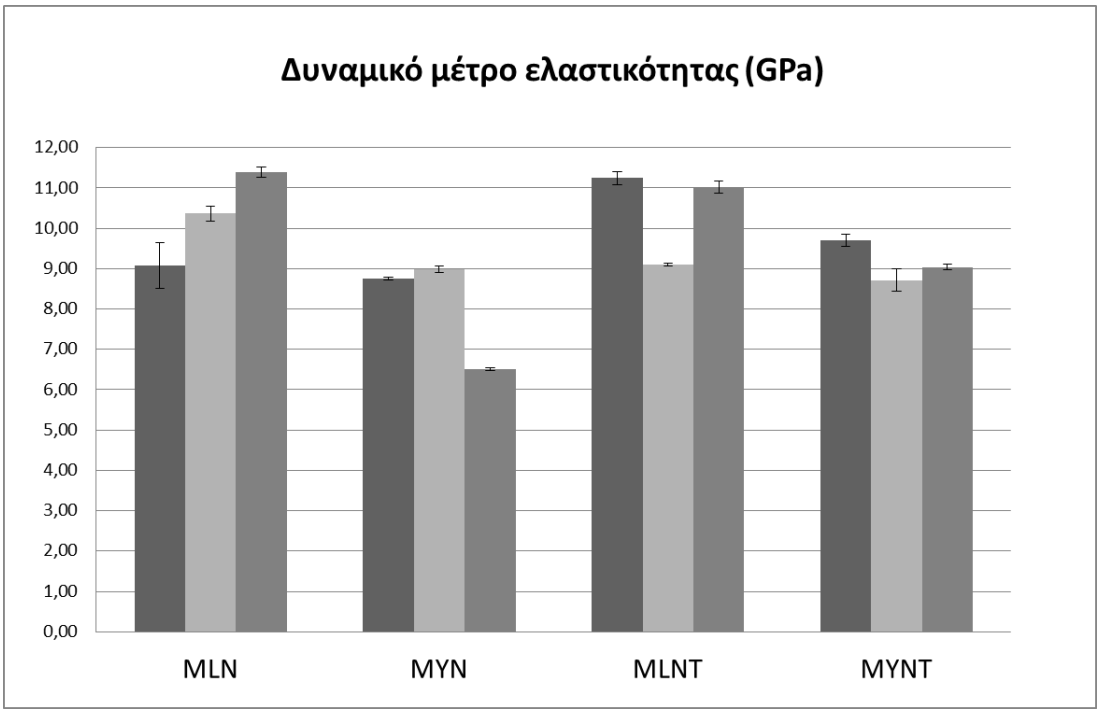
Πίνακας 3 – Συγκεντρωτικός πίνακας τριχοειδούς αναρίχησης

Χρόνος	$t^{1/2}$ (sec)	Βάρος (gr)				Δm/E			
		MLN	MLNT	MYN	MYNT	MLN	MLNT	MYN	MYNT
0 min	0	215,85	270,43	282,92	268	0	0	0	0
1 min	7,75	217,09	272,24	284,66	270,49	0,043878273	0,064048125	0,061571125	0,088110403
2 min	10,95	217,37	272,54	285,08	270,82	0,05378627	0,074663836	0,076433121	0,099787686
3 min	13,42	217,52	272,7	285,31	270,96	0,059094126	0,080325548	0,084571833	0,104741684
4 min	15,49	217,69	272,89	285,55	271,24	0,065109696	0,087048832	0,093064402	0,114649682
5 min	17,32	217,78	272,98	285,66	271,35	0,068294409	0,090233546	0,096956829	0,118542109
6 min	18,97	217,85	273,07	285,78	271,43	0,070771408	0,093418259	0,101203114	0,121372965
7 min	20,49	217,93	273,16	285,87	271,6	0,073602265	0,096602972	0,104387827	0,127388535
8 min	21,91	218,02	273,25	286	271,69	0,076786978	0,099787686	0,108987969	0,130573248
9 min	23,24	218,14	273,4	286,13	271,96	0,081033263	0,105095541	0,11358811	0,140127389
10 min	24,49	218,19	273,51	286,29	272,11	0,082802548	0,108987969	0,119249823	0,145435244
15 min	30	218,53	273,99	286,84	272,72	0,094833687	0,125973107	0,13871196	0,167020524
30 min	42,43	219,26	274,85	287,99	274,07	0,120665251	0,156404812	0,17940552	0,214791224
1 h	60	220,17	276	289,66	275,88	0,152866242	0,197098372	0,238499646	0,278839349
1 h 30 min	73,48	220,87	276,57	290,78	276,99	0,177636235	0,217268224	0,278131635	0,318117481
2 h	84,85	221,34	277,15	291,85	277,99	0,194267516	0,237791932	0,315994338	0,353503185
3 h	103,92	222,12	277,94	293,62	279,53	0,221868365	0,265746638	0,378627035	0,407997169
4 h	120	222,72	278,46	295,05	280,74	0,243099788	0,284147205	0,429228592	0,450813871
5 h	134,16	223,2	278,89	296,24	281,85	0,260084926	0,299363057	0,47133758	0,490092003
6 h	146,97	223,58	279,25	297,29	282,7	0,273531493	0,312101911	0,508492569	0,520169851
7 h	158,75	223,92	279,55	298,25	283,49	0,285562633	0,322717622	0,542462845	0,548124558
8 h	169,71	224,45	280,02	299,56	284,61	0,304317056	0,339348903	0,588818117	0,587756546
24 h	293,94	227,5	283,07	301,67	287,02	0,412243454	0,447275301	0,663481953	0,673036093
48 h	415,69	231,28	287,25	308,40	293,31	0,546001415	0,595187544	0,901627742	0,895612173
Συντελεστής Τριχοειδούς Αναρρίχησης (g / cm^2 ^ sec^1/2)		0,0025892	0,0032755	0,0038564	0,0044548				
							Εμβαδόν επιφάνειας (σε cm2)		28,26
Εμβαδόν επιφάνειας (σε cm2)		28,26							

_8.4.2 Υπέρηχοι



Σχήμα 4 – Τιμές ταχυτήτων υπερήχων στα δοκίμια



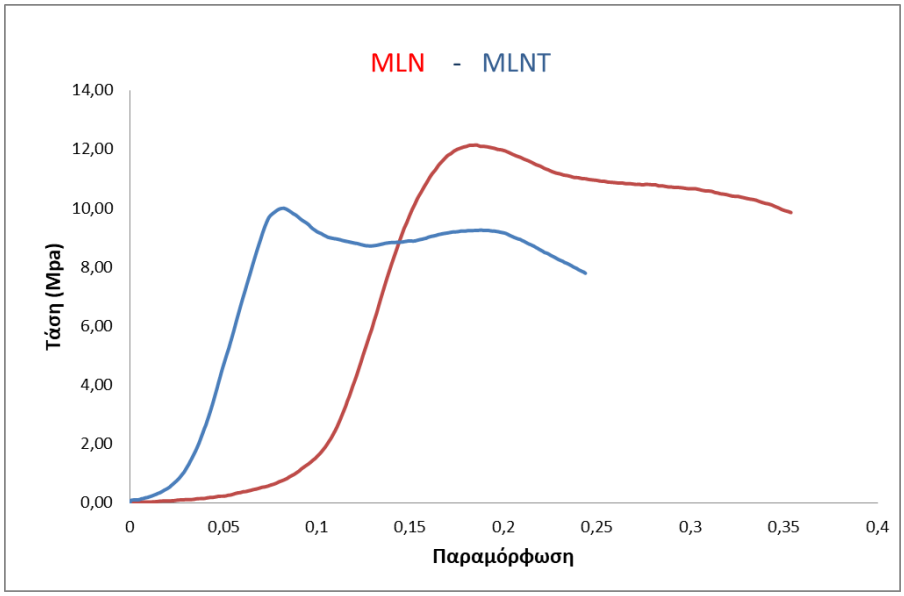
Σχήμα 5 – Τιμές δυναμικών μέτρων ελαστικότητας δοκιμίων

Πίνακας 4 – Συγκεντρωτικός πίνακας υπερήχων

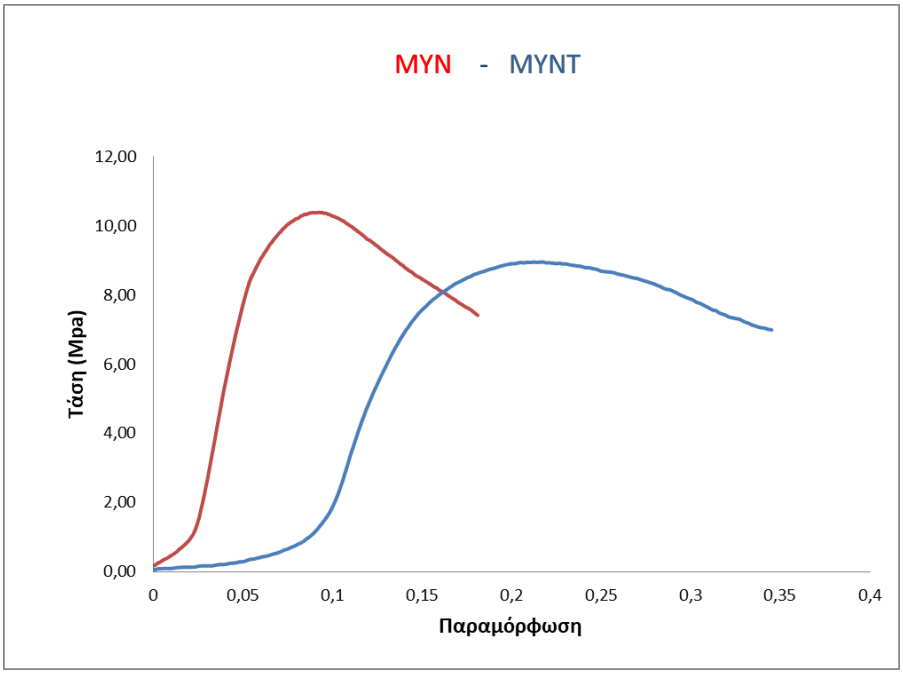
	Δείγμα	**Μάζα** (gr)	**Ύψος** (cm)	**Χρόνος** (μs)	**Ταχύτητα** (m/s)	**Όγκος** (cm^3)	**Πυκνότητα (ρ)**	**Μ.Ο** (μs)	**Μ.Ο** (m/s)	**Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας**			stdev (μs)	stdev (m/s)	stdev (Gpa)
	-	m	h	t	u	x*y*z	p=m/V ((10^3 kg/(m^3)	-	-	**Τιμές**	**σε Gpa**	**Μ.Ο (Gpa)**	-	-	
MLN	**1**	212,339	5	23,7	2280	134,0288095	1,584278789	22,575	2392,5	8235714,859	8,235714859	9,075184583	0,75	75	0,559646482
				22,2	2430					9355007,824	9,355007824				
				22,2	2430					9355007,824	9,355007824				
				22,2	2430					9355007,824	9,355007824				
	2	208,409	5	21,5	2510	130,2527515	1,600035297	21,225	2545	10080382,38	10,08038238	10,36414864	0,189296945	23,80476143	0,193063935
				21,2	2550					10404229,52	10,40422952				
				21,1	2560					10485991,32	10,48599132				
				21,1	2560					10485991,32	10,48599132				
	3	209,675	5	20,2	2670	133,1648417	1,574552242	20,075	2690	11224825,47	11,22482547	11,39385366	0,095742711	14,14213562	0,119576747
				20,1	2690					11393617,48	11,39361748				
				20	2700					11478485,84	11,47848584				
				20	2700					11478485,84	11,47848584				
MYN	**1**	208,23	5	22,6	2390	136,0826118	1,530173453	22,575	2392,5	8740503,781	8,740503781	8,758827608	0,05	5	0,036647654
				22,6	2390					8740503,781	8,740503781				
				22,6	2390					8740503,781	8,740503781				
				22,5	2400					8813799,09	8,81379909				
	2	204,4	5	22,6	2390	130,7378906	1,563433517	22,525	2397,5	8930488,591	8,930488591	8,986733112	0,095742711	9,574271078	0,071836368
				22,6	2390					8930488,591	8,930488591				
				22,5	2400					9005377,057	9,005377057				
				22,4	2410					9080578,209	9,080578209				
	3	207,517	5	26,6	2030	132,4215775	1,56709355	26,525	2037,5	6457835,811	6,457835811	6,505671342	0,05	5	0,031890354
				26,5	2040					6521616,519	6,521616519				
				26,5	2040					6521616,519	6,521616519				
				26,5	2040					6521616,519	6,521616519				
MLNT	**1**	206,451	5	20,6	2620	127,9329051	1,613744328	20,45	2640	11077386,57	11,07738657	11,24755591	0,129099445	18,25741858	0,155563865
				20,5	2630					11162108,14	11,16210814				
				20,4	2650					11332519,55	11,33251955				
				20,3	2660					11418209,37	11,41820937				
	2	207,379	5	22,6	2390	131,0452371	1,58249933	22,525	2397,5	9039394,424	9,039394424	9,096245713	0,05	5	0,037900859
				22,5	2400					9115196,142	9,115196142				
				22,5	2400					9115196,142	9,115196142				
				22,5	2400					9115196,142	9,115196142				
	3	208,199	5	20,6	2620	131,6174229	1,581849845	20,45	2640	10858450,08	10,85845008	11,02525614	0,129099445	18,25741858	0,152489258
				20,5	2630					10941497,19	10,94149719				
				20,4	2650					11108540,54	11,10854054				
				20,3	2660					11192536,76	11,19253676				
MYNT	**1**	203,626	5	22	2460	129,9260159	1,56724578	21,725	2487,5	9484344,559	9,484344559	9,69799934	0,189296945	18,92969449	0,147130208
				21,7	2490					9717080,558	9,717080558				
				21,6	2500					9795286,122	9,795286122				
				21,6	2500					9795286,122	9,795286122				
	2	204,324	5	23,3	2320	132,2390345	1,5451111	22,75	2375	8316405,984	8,316405984	8,716976037	0,36968455	36,96845502	0,269316145
				22,6	2390					8825829,114	8,825829114				
				22,6	2390					8825829,114	8,825829114				
				22,5	2400					8899839,936	8,899839936				
	3	203,247	5	22,4	2410	132,1771213	1,537686689	22,25	2425	8931038,055	8,931038055	9,042674109	0,1	10	0,074424036
				22,2	2430					9079886,127	9,079886127				
				22,2	2430					9079886,127	9,079886127				
				22,2	2430					9079886,127	9,079886127				

_8.4.3 Έλεγχος μηχανικών αντοχών

_8.4.3.1 Ωρίμανση 28 ημερών

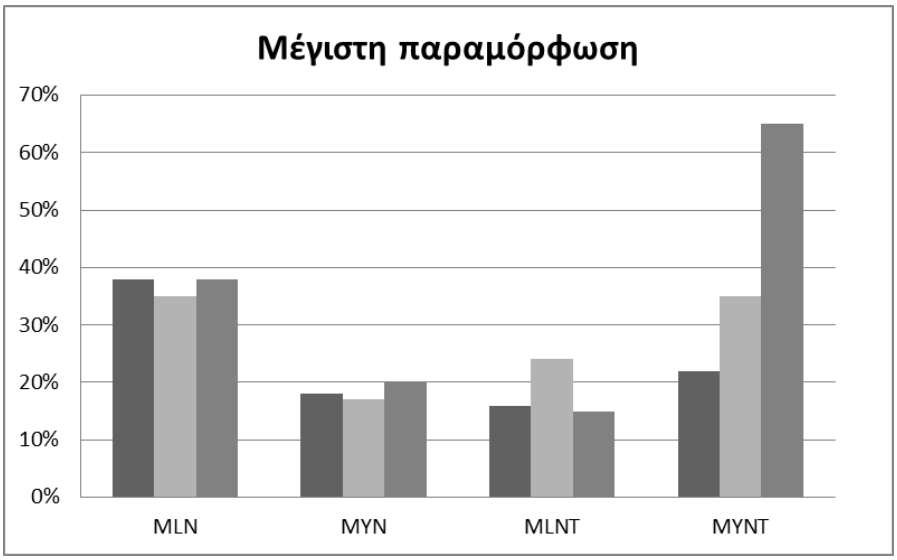


Σχήμα 6 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MLN-MLNT

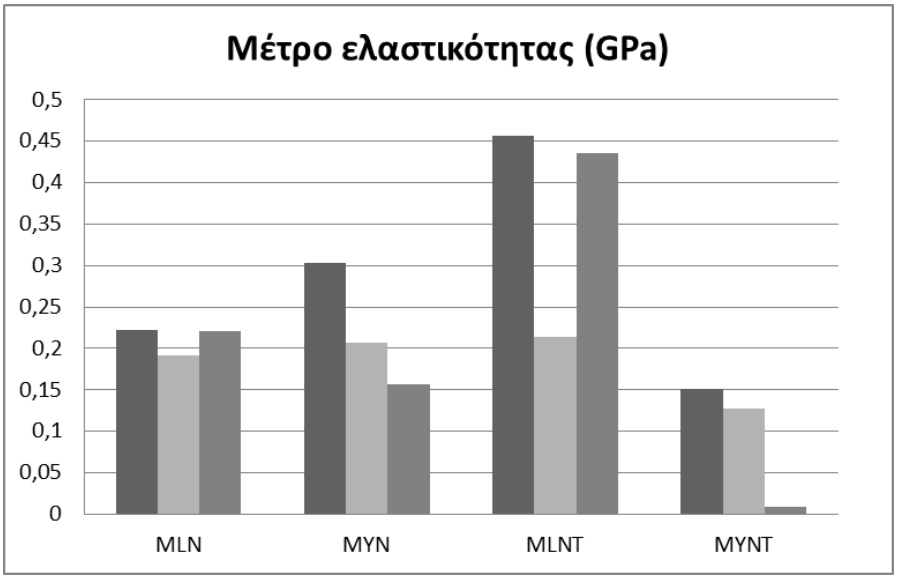


Σχήμα 7 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MYN-MYNT

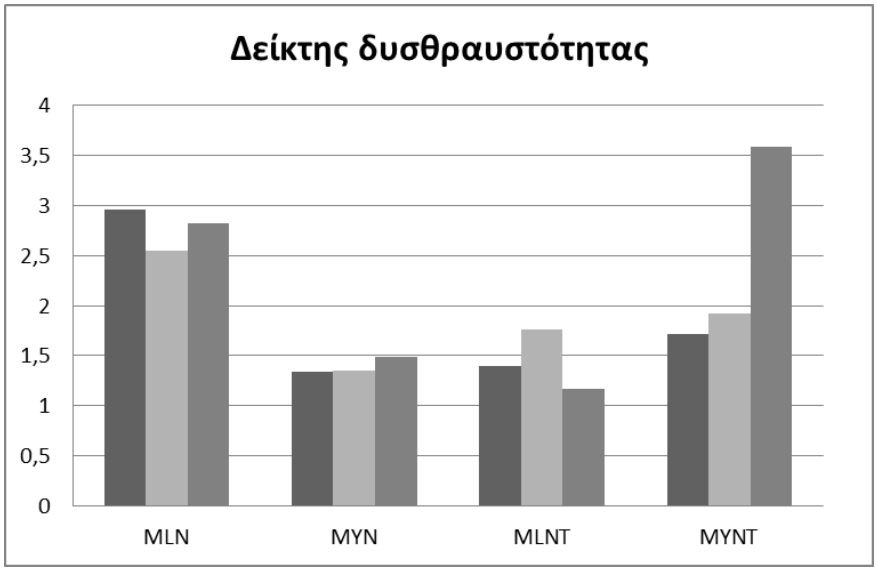
Αναλύοντας τα διαγράμματα Τάσης-Παραμόρφωσης, παρατηρείται ότι στα δοκίμια ωρίμανσης 28 ημερών, μέγιστη αντοχή παρουσιάζει η σύνθεση κονιάματος μετακαολίνη-υδράσβεστου με τιμή 12,11 MPa ενώ παράλληλα εμφανίζει και σχετικά μεγάλη παραμόρφωση (38%). Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις η χρήση νανο-τιτανίας μειώνει τις μηχανικές αντοχές σε θραύση.



Σχήμα 8 – Τιμές μέγιστων παραμορφώσεων



Σχήμα 9 – Τιμές μέτρων ελαστικότητας



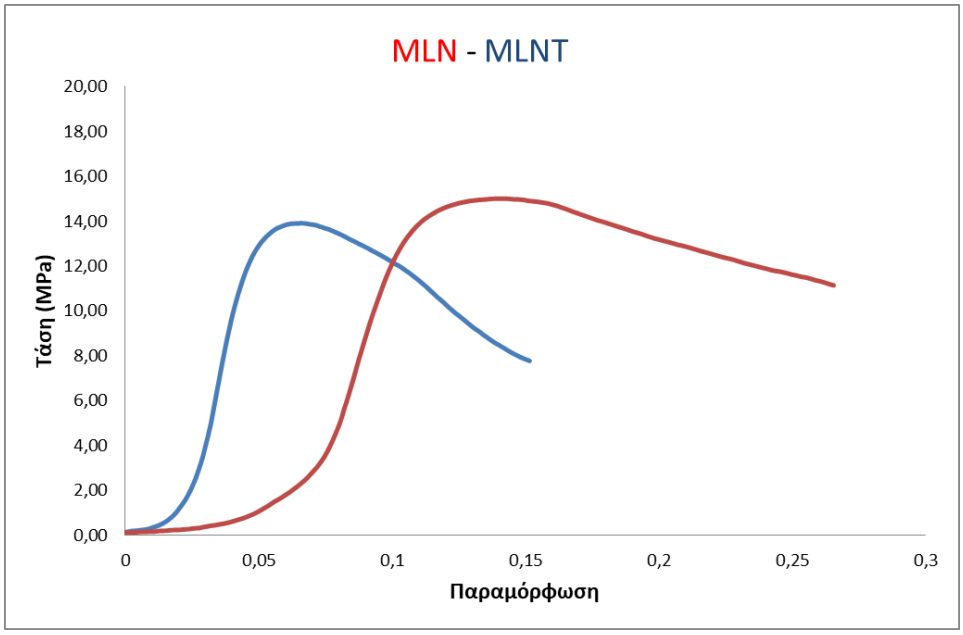
Σχήμα 10 – Τιμές δεικτών δυσθραυστότητας

Επιπλέον, στο παραπάνω γράφημα δίνεται ο δείκτης δυσθραυστότητας ο οποίος υπολογίστηκε από το εμβαδόν των καμπυλών τάσης παραμόρφωσης. Η δυσθραυστότητα ισοδυναμεί με το έργο που απαιτείται για να σπάει ένα υλικό. Συνεπώς ένα υλικό με μεγάλο εμβαδόν της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης θραύεται πιο δύσκολα, δηλαδή μπορεί να απορροφήσει μεγαλύτερη ενέργεια από καταπονήσεις πριν θραυστεί.

Πίνακας 5 – Συγκεντρωτικός πίνακας μηχανικών αποτελεσμάτων

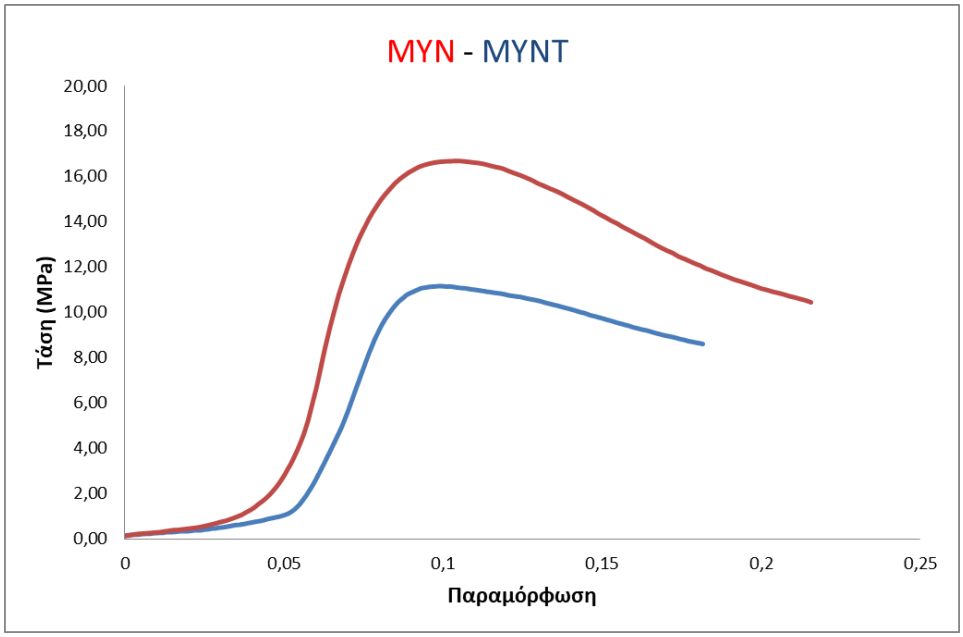
		ΑΝΤΟΧΗ (Mpa)	ΜΟ	STDEV	max ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ	STDEV	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (Gpa)	STDEV	ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΥΣ/ΤΑΣ	STDEV
MLN	1	11,6577	**12,11**	0,35090107	38%	0,01414214	0,22175	0,014023	2,960971173	0,171011
	2	12,14648785			35%		0,19123		2,54830114	
	3	12,51439029			38%		0,22014		2,816916773	
MLNT	1	10,75170736	**10,77**	0,63185738	16%	0,04027682	0,45625	0,109396	1,396328514	0,247991
	2	10,00158541			24%		0,21428		1,766299717	
	3	11,54907322			15%		0,43497		1,164073636	
MYN	1	10,38902443	**10,45**	0,09947916	18%	0,01247219	0,30254	0,060647	1,335888921	0,067976
	2	10,36992687			17%		0,20624		1,345633042	
	3	10,5898537			20%		0,15643		1,484711822	
MYNT	1	9,369512233	**8,06**	1,56530133	22%	0,18006172	0,15144	0,062194	1,711389602	0,836361
	2	8,95543906			35%		0,12784		1,921325059	
	3	5,861390267			65%		0,0092984		3,581206337	

_8.4.3.3 Ωρίμανση 3 μηνών



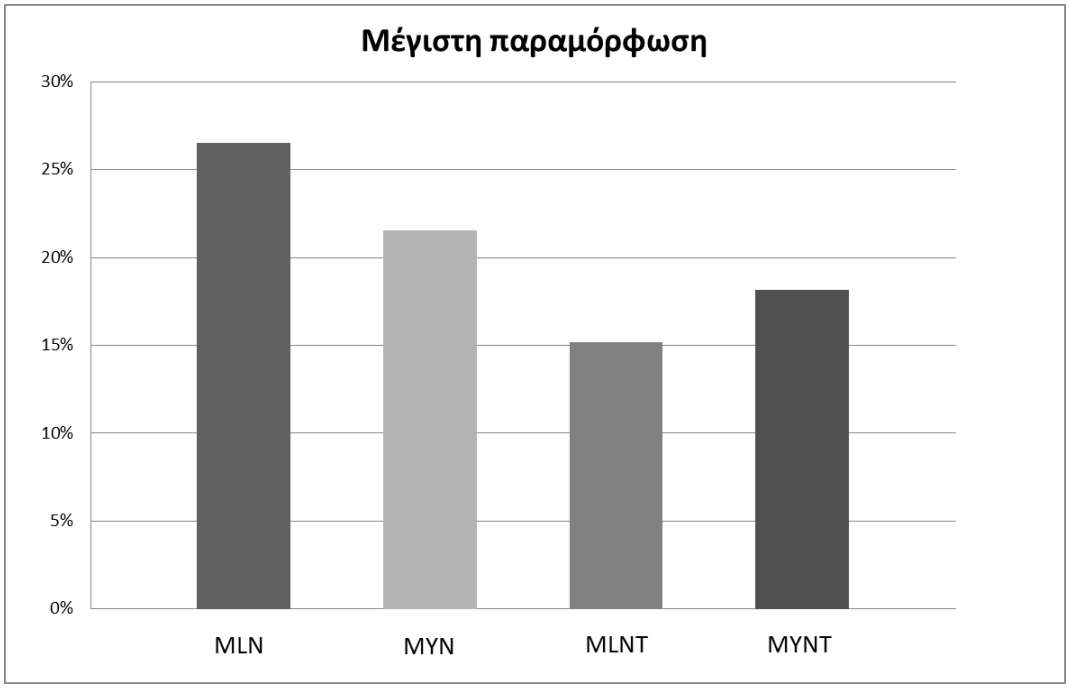
Σχήμα 11 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MLN-MLNT

V



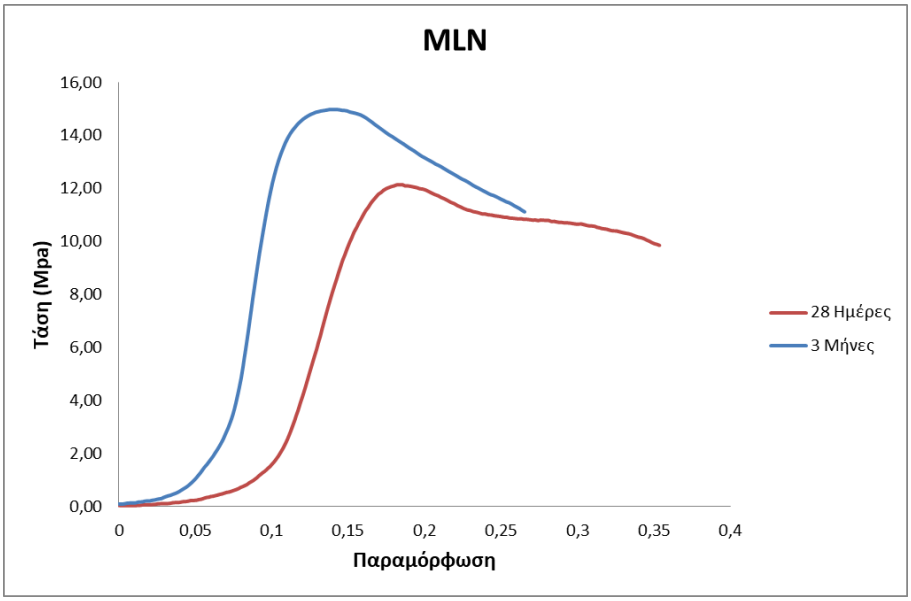
Σχήμα 12 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MYN-MYNT

Αναλύοντας τα διαγράμματα Τάσης-Παραμόρφωσης, παρατηρείται ότι στα δοκίμια ωρίμανσης 3 μηνών, μέγιστη αντοχή παρουσιάζει η σύνθεση κονιάματος μετακαολίνη-υδραυλικής ασβέστου με τιμή 16,69 MPa. Επίσης, όπως και στα δοκίμια ωρίμανσης 28 ημερών, η χρήση νανο-τιτανίας μειώνει τις μηχανικές αντοχές σε θραύση.

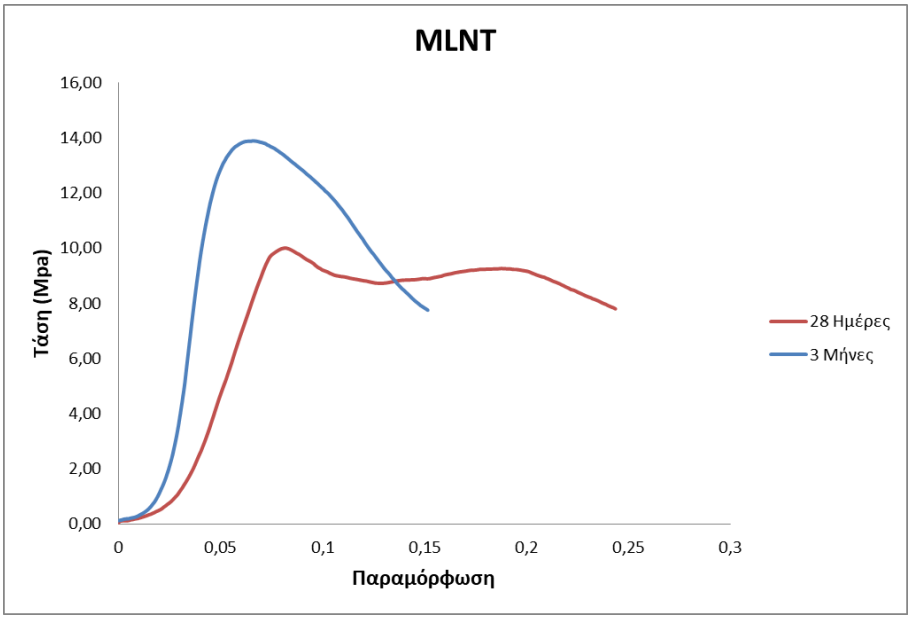


Σχήμα 13 – Τιμές μέγιστων παραμορφώσεων δοκιμίων

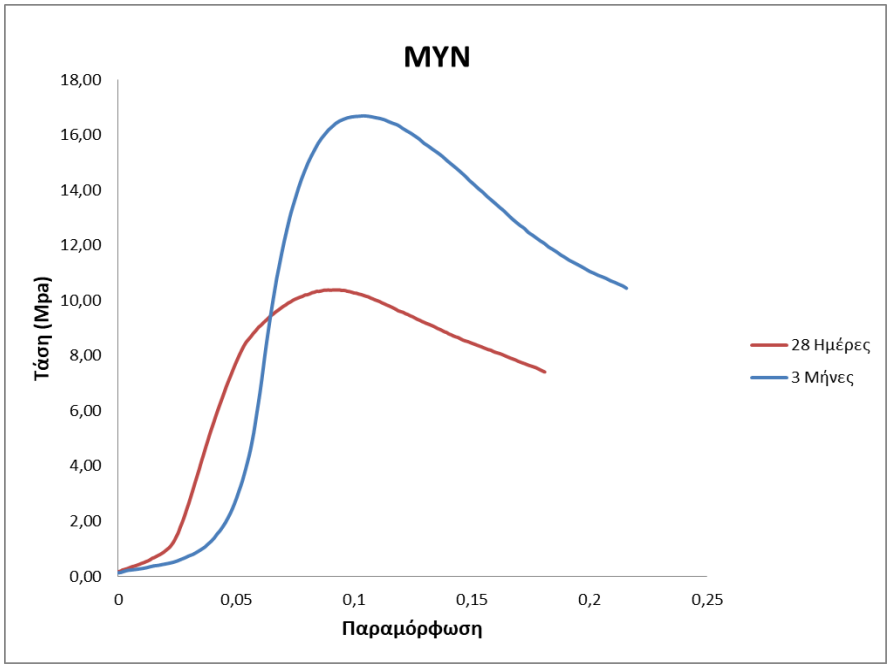
_8.4.3.3 Συγκριτικοί πίνακες 28 ημερών - 3 μηνών



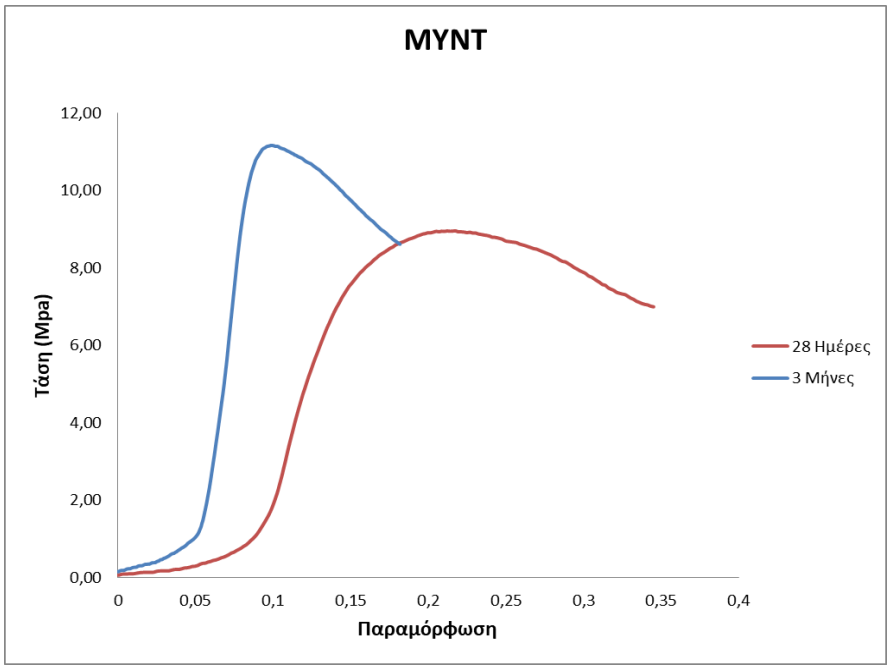
Σχήμα 14 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MLN



Σχήμα 15 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MLNT



Σχήμα 16 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MYN



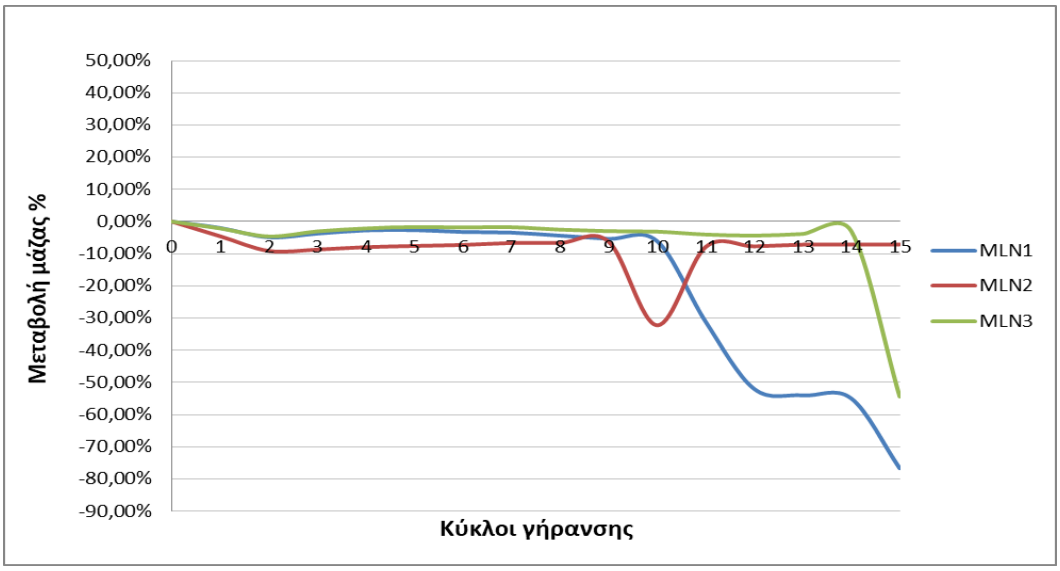
Σχήμα 17 – Καμπύλη Τάσης-Παραμόρφωσης MYNT

Από τα παραπάνω συγκριτικά διαγράμματα παρατηρούμε ότι στους 3 μήνες ωρίμανσης επιτυγχάνονται μεγαλύτερες τιμές μηχανικών αντοχών σε θραύση. Επιπλέον, σε όλες τις περιπτώσεις εκτός από τη σύνθεση MYN, τα δοκίμια ωρίμανσης 3 μηνών εμφανίζουν αισθητά μικρότερα ποσοστά μέγιστης παραμόρφωσης.

_8.4.4 Τεχνητή γήρανση με διαλυτά άλατα

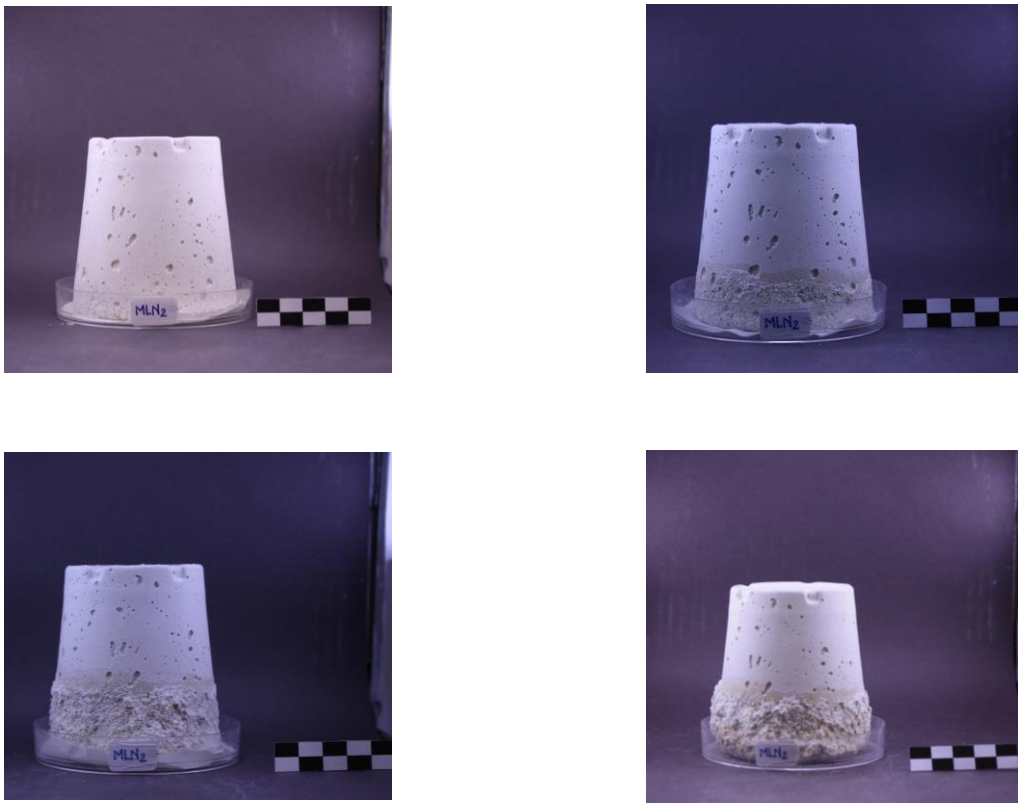
Παρακάτω παρατίθενται οι πίνακες μεταβολής μάζας των δοκιμίων και ενδεικτικές φωτογραφίες των κονιαμάτων κατά την εξέλιξη της τεχνητής γήρανσης, όπου γίνεται εμφανής η επιρροή των αλάτων στα δοκίμια.

Κονίαμα MLN

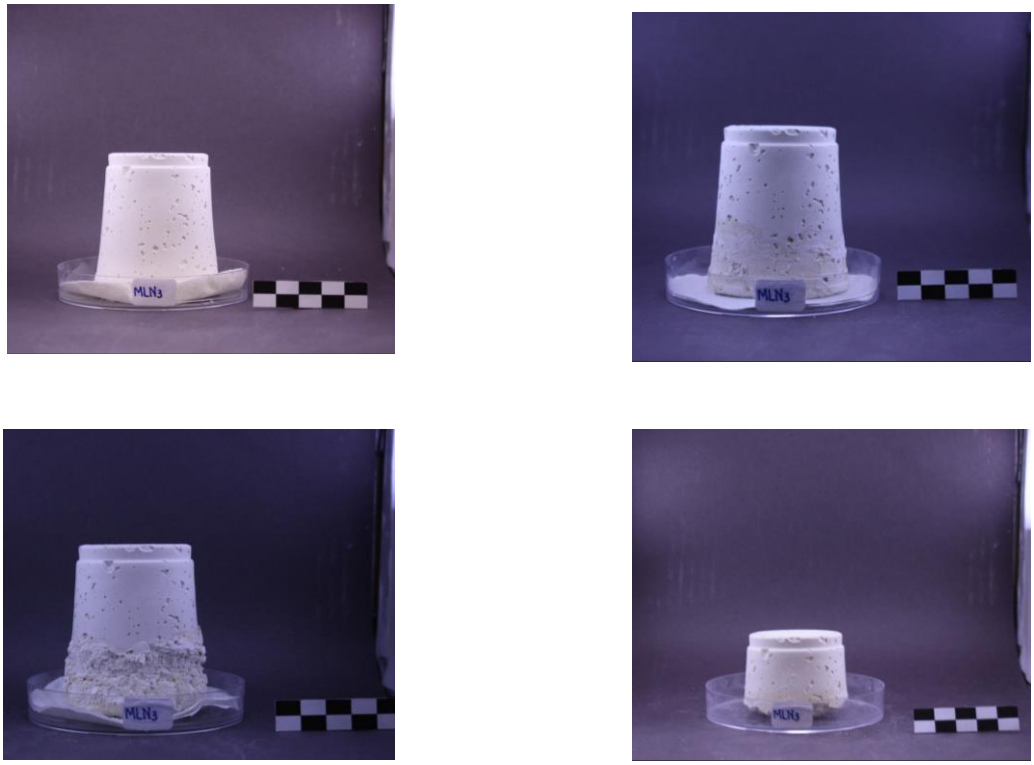


Σχήμα 18 – Καμπύλη μεταβολής μάζας MLN

Σχήμα 19 – MLN1 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

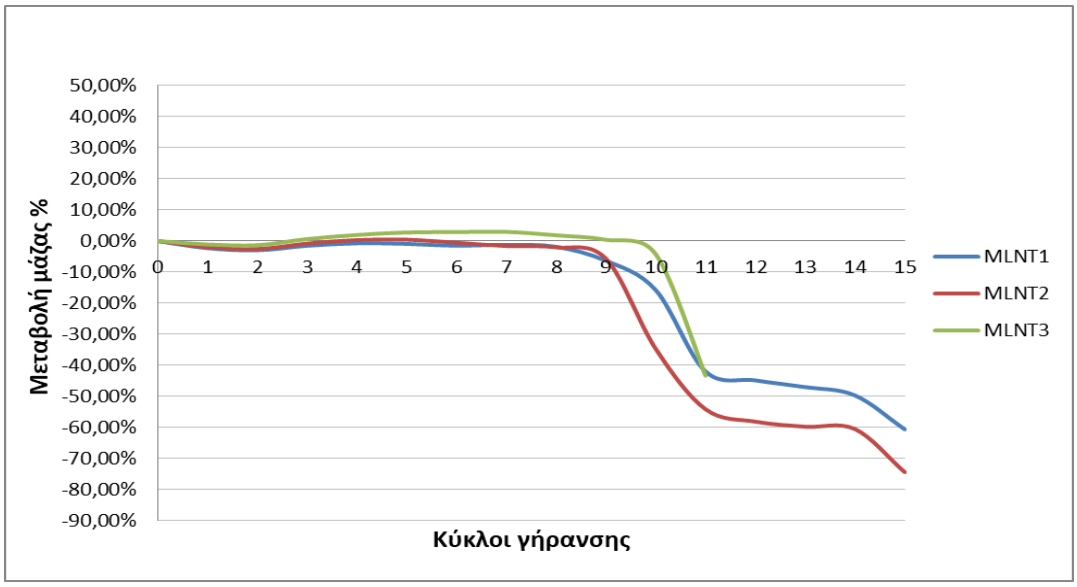


Σχήμα 20 – MLN2 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

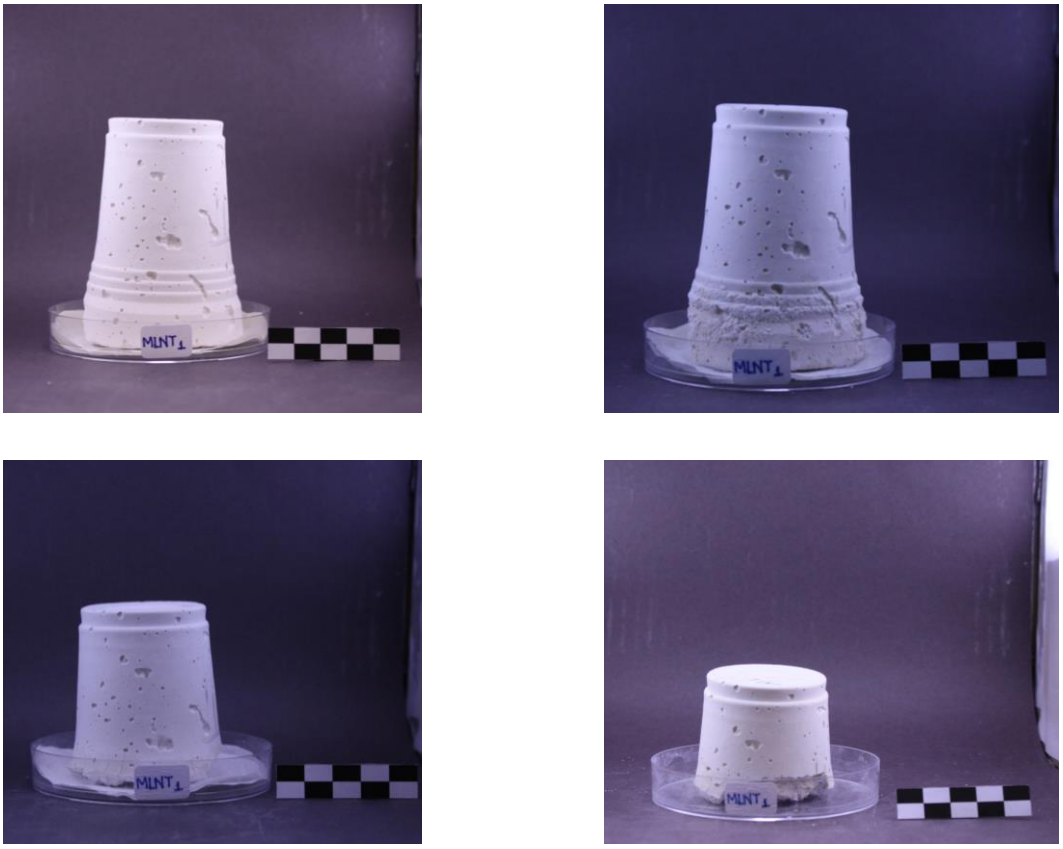


Σχήμα 21 – MLN3 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

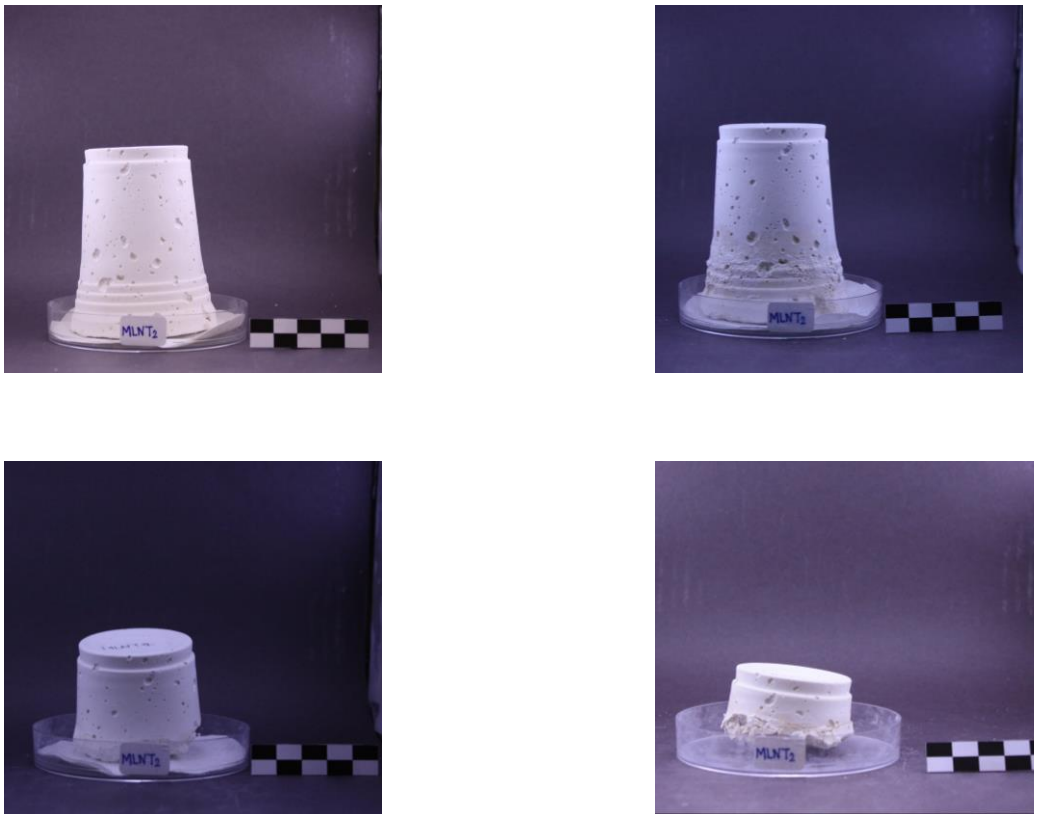
Κονίαμα MLNT



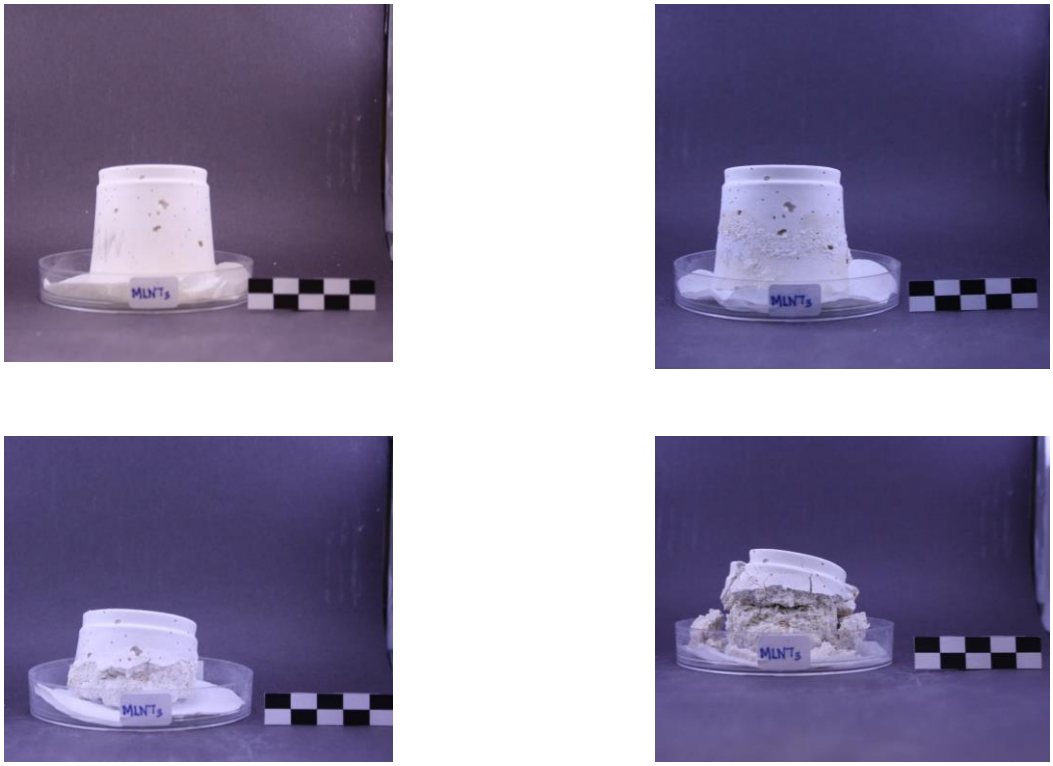
Σχήμα 22 – Καμπύλη μεταβολής μάζας MLNT



Σχήμα 23 – MLNT1 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

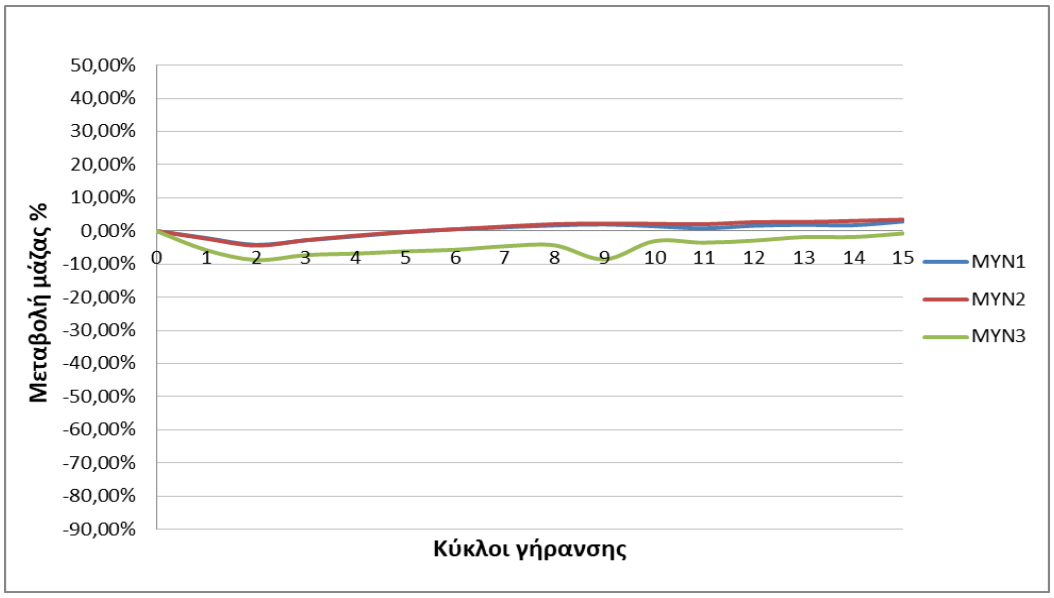


Σχήμα 24 – MLNT2 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος



Σχήμα 25 – MLNT3 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

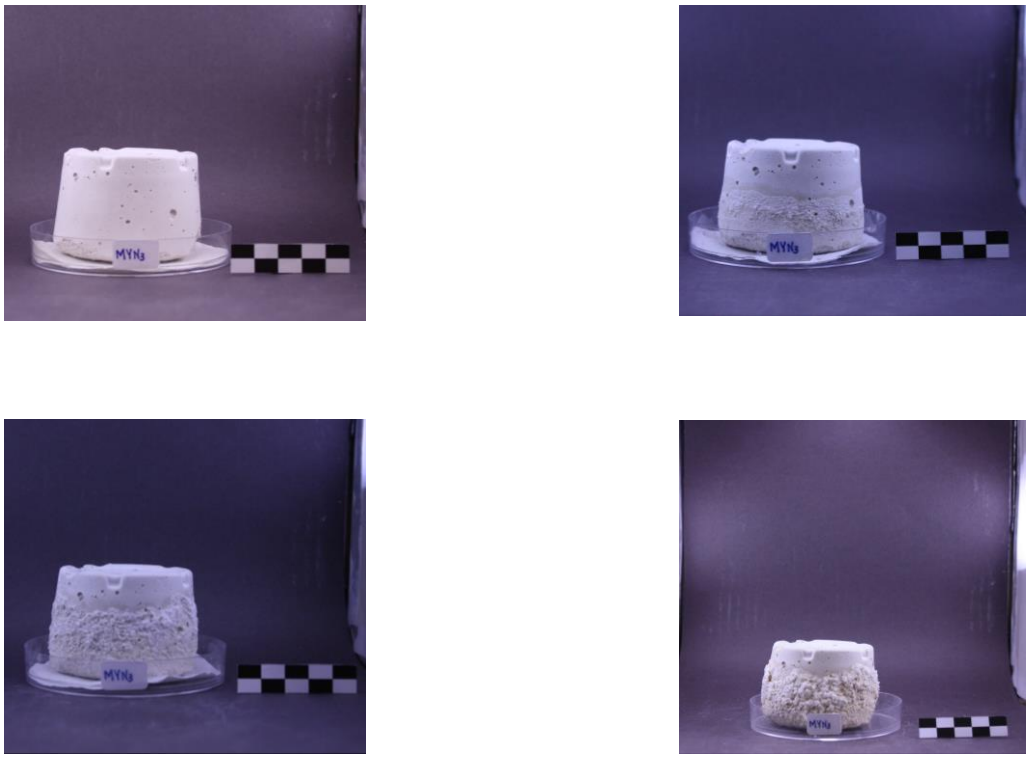
Κονίαμα ΜΥΝ



Σχήμα 26 – Καμπύλη μεταβολής μάζας ΜΥΝ

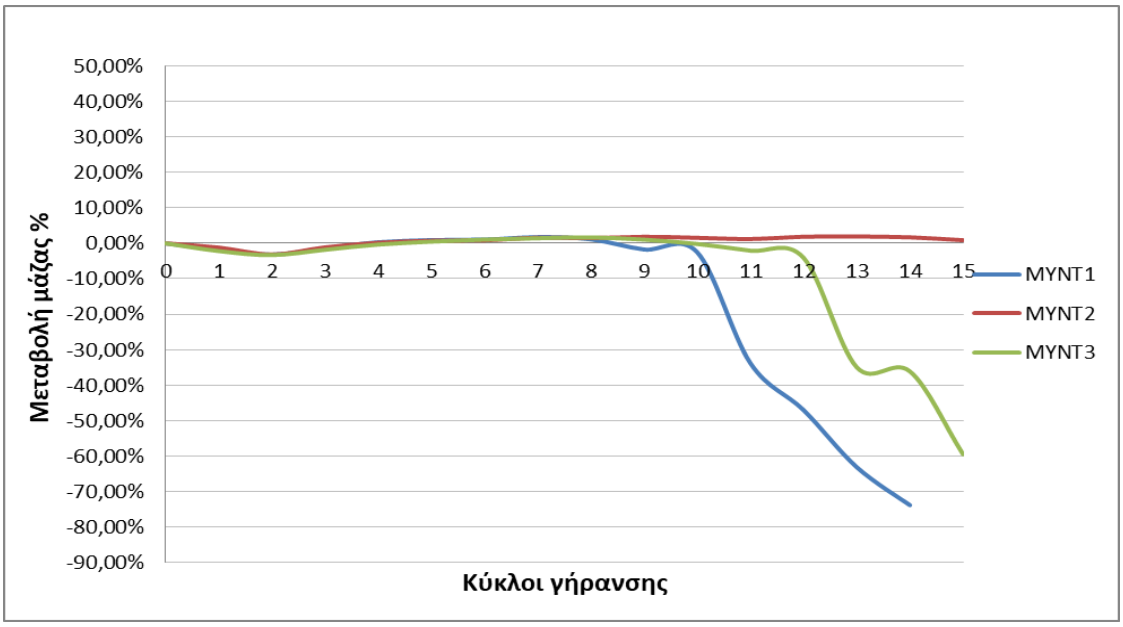
Σχήμα 27 – ΜΥΝ1 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

Σχήμα 28 – MYN2 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος



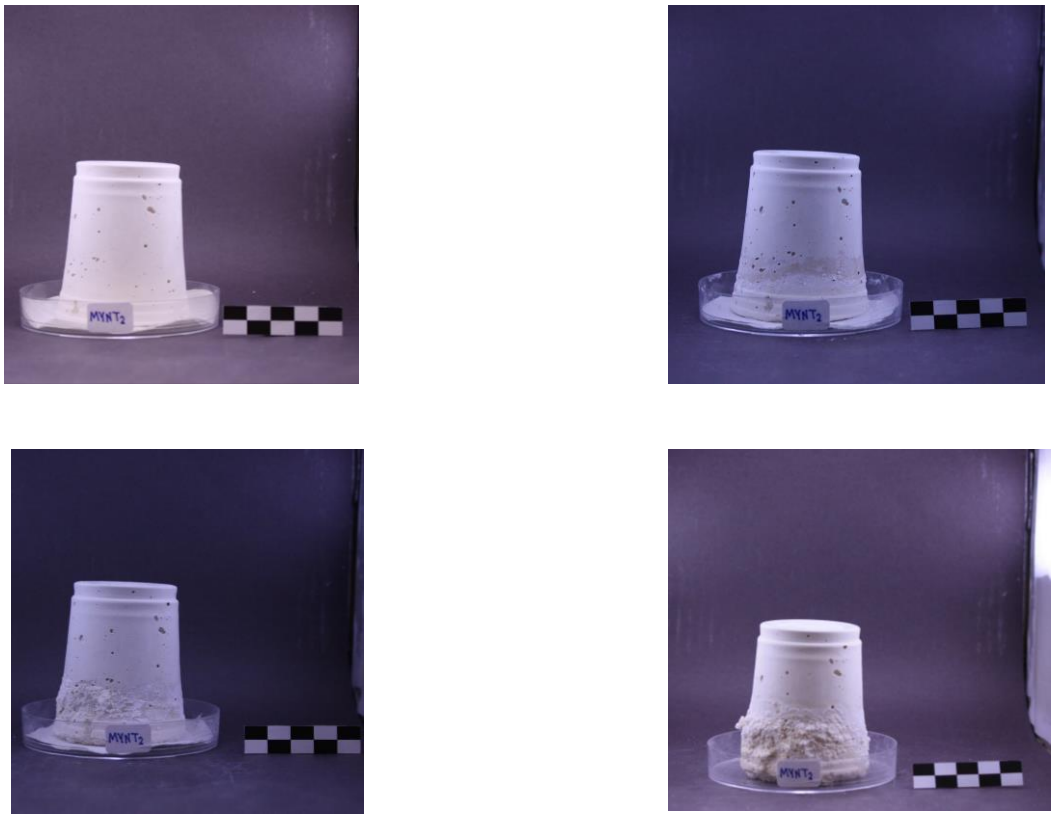
Σχήμα 29 – MYN3 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

Κονίαμα MYNT



Σχήμα 30 – Καμπύλη μεταβολής μάζας MYNT

Σχήμα 31 – MYNT1 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος



Σχήμα 32 – MYNT2 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

Σχήμα 33 – MYNT3 1ος, 6ος, 12ος, 15ος κύκλος

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα της τεχνητής γήρανσης είναι εμφανές ότι η σύνθεση ΜΥΝ έχει πάρα πολύ καλή συμπεριφορά στη επίδραση των διαλυτών αλάτων. Παρουσιάζει ελάχιστα ποσοστά απώλειας μάζας και στα 3 δοκίμια ενώ επιπλέον με μία μακροσκοπική μελέτη δεν υπάρχουν σημαντικές φθορές στη σύστασή τους. Γι' αυτό το λόγο, το συγκεκριμένο κονίαμα προτείνεται για εφαρμογή σε μνημειακές επεμβάσεις όπου η επιρροή αλάτων είναι έκδηλη.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η χρήση νανο-τιτανίας δεν επιδρά θετικά στο συγκεκριμένο τομέα.

_Το Κονίαμα ως Αρμός

9. Το κονίαμα ως συνδετικό υλικό σε μπλοκ πλίνθων

_9.1 Εισαγωγή

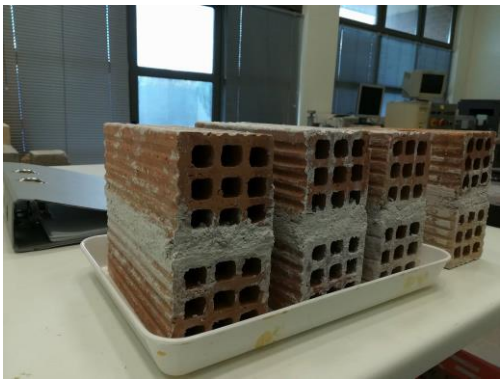
Στόχος της πειραματικής διαδικασίας που διεξήχθη, είναι η κατανόηση της συμπεριφοράς των δύο τύπων υδραυλικών κονιαμάτων, τόσο ως προς την εργασιμότητά τους, όσο και ως προς την λειτουργία τους ως συνδετικό υλικό ανάμεσα σε πλίνθους (αρμός).
Οι συνθέσεις υδραυλικών κονιαμάτων που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι προαναφερθείσες, με βάση την υδράσβεστο (ποζολανικό) και την υδραυλική άσβεστο (υδραυλικό), χωρίς τη χρήση νανο-τιτανίας.
Ο τύπος πλίνθου που χρησιμοποιήθηκε είναι τούβλο εννέα οπών, ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου σχήματος, με διαστάσεις 8cm x 9cm x 19cm.

_9.2 Πειραματική διαδικασία

Το πείραμα περιλαμβάνει την διαμόρφωση μπλοκ τούβλων με το εκάστοτε κονίαμα σε αρμό. Κάθε μπλοκ αποτελείται από δύο τούβλα το ένα πάνω στο άλλο. Η διαδικασία έλαβε χώρα στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς του Πολυτεχνείου Κρήτης και διαχωρίστηκε σε δύο φάσεις.

_9.2.1 Α' φάση

Κατά την διεξαγωγή της πρώτης φάσης δημιουργήθηκαν τέσσερα συνθετικά μπλοκ. Τα δύο περιελάμβαναν τον τύπο κονιάματος με βάση την υδράσβεστο (MLN) και τα άλλα δύο αυτόν της υδραυλικής ασβέστου (MYN). Στην συνέχεια τα δύο τυπολογικά είδη μπλοκ που ορίστηκαν χωρίστηκαν εκ νέου ως προς την μορφολογία τους, με την διαφοροποίηση του αρμού σε πάχη 1cm και 1.5 cm αντίστοιχα. Σκοπός είναι να κριθούν οι συνθέσεις σε αρμό και να χαρακτηριστούν ως προς ενδεχόμενα πάχη.

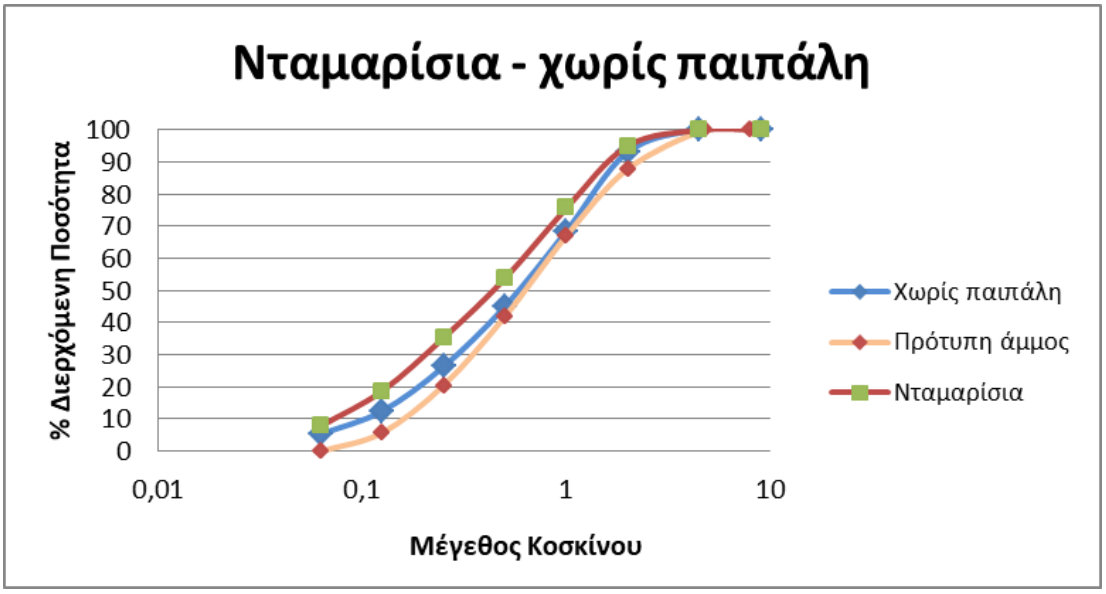


Εικόνα 47 – Μπλοκ τούβλων

Εικόνα 48 – Πορεία κατασκευής

_9.2.2 Β' φάση

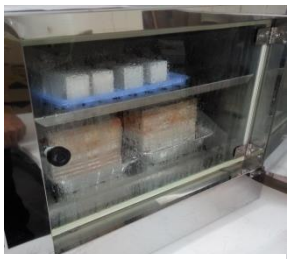
Κατά την διεξαγωγή της δεύτερης φάσης δημιουργήθηκαν δύο συνθετικά μπλοκ. Ένα με την συνθετική τυπολογία της υδρασβέστου (MLN) και ένα με αυτή της υδραυλικής ασβέστου (MYN). Στην φάση αυτή επιλέχθηκε ο αρμός να έχει πάχος 1cm, καθώς στην Α' φάση διαπιστώθηκε ότι το σύστημα αρμού 1 cm παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες έναντι αυτού του 1.5 cm. Η διαφοροποίηση αφορά τη σύνθεση των κονιαμάτων. Συγκεκριμένα διατηρούνται όλα τα υλικά ως έχουν πέραν της νταμαρίσιας άμμου, η υποβλήθηκε σε διαδικασία αφαίρεσης της παιπάλης πριν την αρχική σύνθεση των κονιαμάτων. Σκοπός είναι να μελετηθεί η, ενδεχομένως, διαφορετική συμπεριφορά των κονιαμάτων των μπλοκ, μέσω της τροποποίησης των επιπέδων υγρασίας της νταμαρίσιας άμμου.



Σχήμα 34 – Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου χωρίς παιπάλη

Από την κοκκομετρική καμπύλη παρατηρείται ότι η νέα άμμος είναι ελαφρώς πιο χοντρόκκοκη, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις.

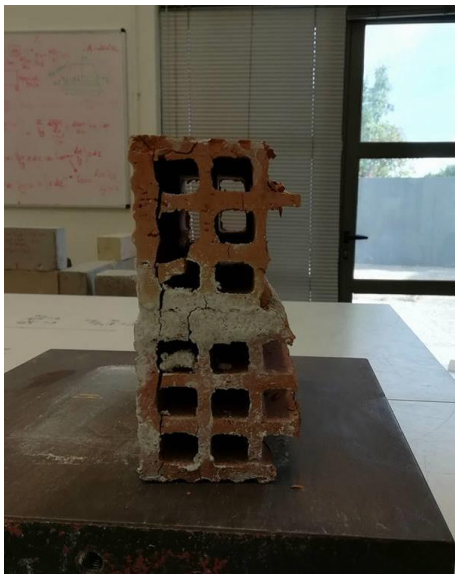
Αμέσως μετά την κατασκευή, τα μπλοκ περέμειναν σε συνθήκες δωματίου για 3 ημέρες , προκειμένου να στερεοποιηθεί το κονίαμα. Μετά το πέρας των ημερών αυτών, τα μπλοκ φυλάχθηκαν σε ειδικό θάλαμο συντήρησης και έμειναν σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (RH 95±5%, T 20±2 oC) για 28 μέρες, ώστε να αποτιμηθούν οι μηχανικές αντοχές τους.



Εικόνα 49 – Θάλαμος συντήρησης

Μετά το πέρας των 28 ημερών τα μπλοκ τοποθετήθηκαν στην μηχανή θραύσης για να σπάσουν και να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις. Κατά τη διαδικασία της θραύσης των μπλοκ, γενική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι και στα τέσσερα συστήματα ο τύπος αστοχίας είναι εφελκυστικός και σε επίπεδο κάθετο στον άξονα του τοιχοσώματος (τούβλα). Η γραμμή αστοχίας περνά από τα τούβλα, κάτι το οποίο μας βοηθά να συμπεράνουμε ότι τα κονιάματα αναπτύσσουν υψηλές αντοχές. Αξίζει να σημειωθεί ότι παρατηρήθηκε υψηλός βαθμός συγγένειας μεταξύ των τούβλων και της κονιόπαστας.

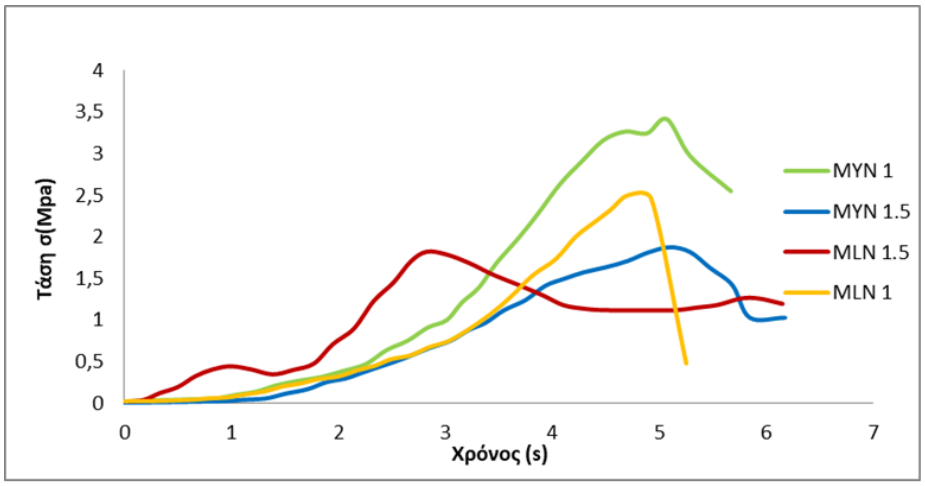
Εικόνα 50 – Μηχανή θραύσης



Εικόνα 51 – Ενδεικτική αστοχία

Εικόνα 52 – Αποτέλεσμα θραύσης

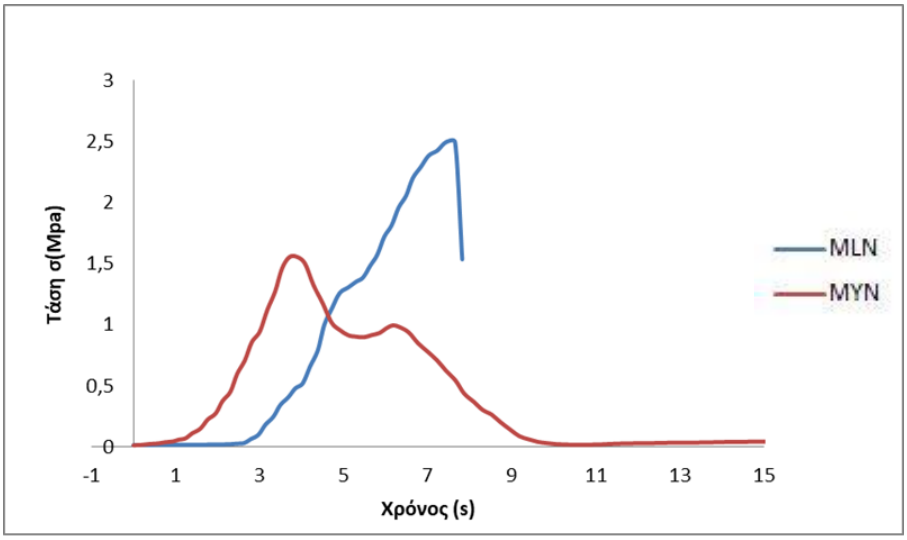
_9.3 Αποτελέσματα



Σχήμα 35 – Καμπύλη Τάσης-Χρόνου, α' φάση

Πίνακας 6 – Τιμές μέγιστων αντοχών, α' φάση

	MLN 1	MLN 1.5	MYN 1	MYN 1.5
Μέγιστη αντοχή (Mpa)	2,495987	1,818048	3,410912	1,871419



Σχήμα 36 – Καμπύλη Τάσης-Χρόνου, β' φάση

Πίνακας 7 - Τιμές μέγιστων αντοχών, β' φάση

	MLN	MYN
Μέγιστη αντοχή (Mpa)	2,493349	1,558734

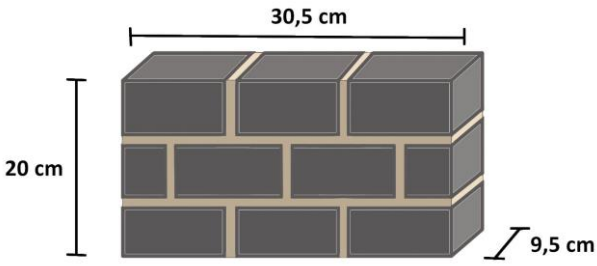
Αναλύοντας τα αποτελέσματα της θραύσης των δοκιμίων, παρατηρείται ότι τα δοκίμια με αρμό 1cm παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή συγκριτικά με αυτά του 1,5cm, με μέγιστη τιμή 3,41 MPa της σύνθεσης MYN. Επιπλέον, οι συνθέσεις MLN και MYN του 1,5cm εμφανίζουν κοντινές τιμές αντοχής.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα της α' και β' φάσης ως προς τη σύνθεση, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική διαφοροποίηση στις μέγιστες αντοχές, ωστόσο στη σύνθεση MLN η χρήση νταμαρίσιας άμμου χωρίς παιπάλη, δίνει καλύτερα μηχανικά αποτελέσματα.

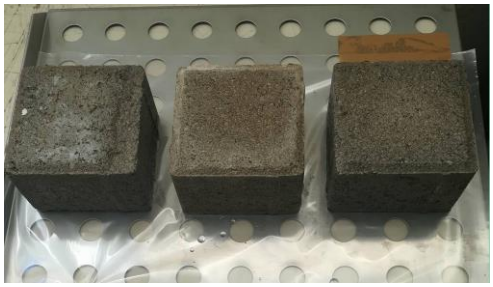
Το κονίαμα ως συνδετικό υλικό σε πρίσματα τοιχοποιίας

_10.1 Εισαγωγή

Το τελικό πειραματικό στάδιο της ερευνητικής εργασίας, περιλαμβάνει την εφαρμογή ορισμένων συνθετικών τύπων κονιάματος ως συνδετικό υλικό σε τυπικά πρίσματα τοιχοποιίας, υπό την μορφή αρμού. Οι συνθέσεις που επιλέχθηκαν για αυτή την διαδικασία είναι οι MLN και MYN. Ως τοιχόσωμα, χρησιμοποιήθηκαν τσιμεντότουβλα διαστάσεων (9,5cm x 9,5cm x 6cm), ενώ η κατασκευή είχε πάχος αρμού 1 cm και συνολικές διαστάσεις (30,5cm x 9,5cm x 20cm) Επίσης υπολογίστηκε η μηχανική αντοχή σε θλίψη η οποία είναι 36,74 MPa.



Εικόνα 53 – Τυπολογία πρίσματος τοιχοποιίας



Εικόνα 54 – Τσιμεντότουβλα τοιχοποιίας

_10.2 Πειραματική διαδικασία

1ο Βήμα: Αρχικά δημιουργήθηκε η σύνθεση του κονιάματος. (βλ Σύνθεση κονιάματος, σελ)

2ο Βήμα: Στην συνέχεια κρίθηκε αναγκαία η ενυδάτωση των τσιμεντότουβλων, βουτώντας τα σε μία λεκάνη με νερό, προκειμένου να εφαρμοστεί σωστά η κονιόπαστα πάνω σε αυτά.
3ο Βήμα: Ακολούθησε η εφαρμογή του υλικού, δημιουργώντας αρμούς με αυτό μεταξύ των τούβλων, εώς ότου κατασκευαστεί όλο το σύστημα τοιχοποιίας.

Η διαδικασία επαναλήφθηκε με τον ίδιο τρόπο και για τον δεύτερο τύπο κονιάματος.

Εικόνα 55 – Διαδικασία σύνθεσης

Εικόνα 56 – Πρίσματα τοιχοποιίας

Αμέσως μετά την κατασκευή τους, τα μπλοκ αφέθηκαν σε συνθήκες περιβάλλοντος για 3ημέρες και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στον ειδικό θάλαμο ωρίμανσης για άλλες 28 ημέρες, σε κατάλληλες συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας (RH 95±5%, T 20±2 oC).

Μετά το πέρας των 28 ημερών τα μπλοκ τοιχοποιίας τοποθετήθηκαν στην μηχανή θραύσης για να σπάσουν και να ληφθούν οι απαραίτητες μετρήσεις. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε φορά φόρτισης κάθετη στη διάστρωση της τοιχοποιίας.

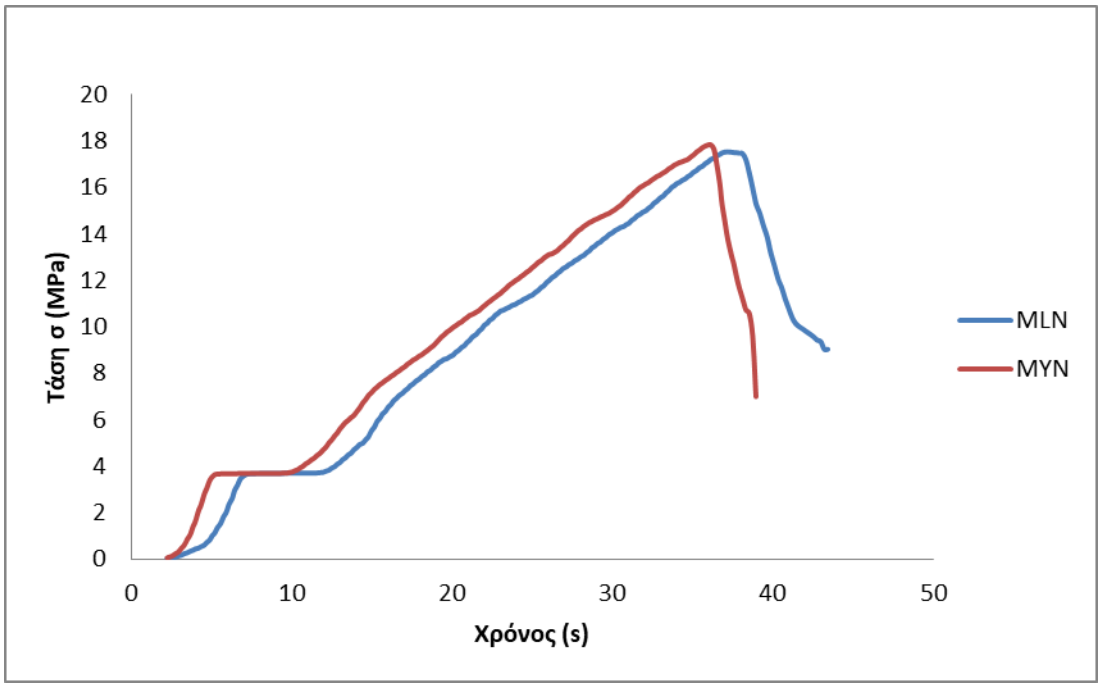
_10.3 Αποτελέσματα

Κατά τη διαδικασία της θραύσης των μπλοκ, γενική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι και στα δύο συστήματα ο τύπος αστοχίας είναι εφελκυστικός και σε επίπεδο κάθετο στον άξονα του τοιχοσώματος (τσιμεντότουβλα). Η γραμμή αστοχίας ξεκινά και περνά από το τοιχόσωμα, ενώ το κονίαμα κατά κύριο λόγο παραμένει άθικτο, δείχνοντας να μην αποκολλείται από τα τμήματα του τοιχοσώματος. Ο τύπος αστοχίας είναι αναμενόμενος, καθώς λόγω του είδους φόρτισης (θλιπτική), η τάση μεταβιβάζεται στο τοιχόσωμα, μιας και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας που ασκείται η φόρτιση. Στην δεδομένη περίπτωση, παρατηρείται ότι υπάρχει συνάφεια μεταξύ κονιόπαστας και τοιχοσώματος, με το ίδιο το σύστημα να παρουσιάζει υψηλή διατμητική αντοχή. Αυτό γίνεται αντιληπτό στα σημεία που υπάρχει οριζόντιος αρμός στο σύστημα τοιχοποιίας, καθώς είναι εκεί που το κονίαμα λειτουργεί ως διατμητικό υλικό, κάτι που θα το παρομοίαζε κανείς με την κόλλα, μιας και το κονίαμα στα σημεία αυτά δεν αστοχεί, αλλά ούτε και αποκολλείται συγκρατώντας τα δύο λιθοσώματα, όπως προαναφέρθηκε.

Εικόνα 57 – Αποτέλεσμα θραύσης

Εικόνα 58 – Μηχανή θραύσης

Θεωρώντας ότι το φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια φόρτισης του τοιχοσώματος, με συνολικό εμβαδό 289,75 cm^2, ενδεικτικά η μέγιστη τάση που δέχονται οι αρμοί σε κάθε περίπτωση είναι **σ=1,15016 MPa** για τη σύνθεση MLN και **σ=1,16983 MPa** για τη σύνθεση MYN.



Σχήμα 37 – Καμπύλη Τάσης-Χρόνου

Πίνακας 8 – Τιμές μέγιστων αντοχών

	MLN	MYN
Μέγιστη αντοχή (Mpa)	17,546270	17,843120

11. Σύγκριση τσιμεντοκονιαμάτων και ασβεστοκονιαμάτων

Πέρα από εργαστηριακές μελέτες και αναλύσεις αποτελεσμάτων είναι χρήσιμο να γίνει μια διερεύνηση του κοστολογίου για τη σύνθεση ενός κονιάματος και να εξεταστεί σε ποιες περιπτώσεις ενδείκνυται η χρήση τέτοιων κονιαμάτων στην πράξη.

Για τον λόγο αυτό γίνεται σύγκριση του υδραυλικού ασβεστοκονιάματος MLN με κονίαμα που αποτελείται από τσιμέντο, υδραυλική άσβεστο και άμμο, με αναλογίες 1, 0,25, 3 αντίστοιχα κατ' όγκο.

Το κονίαμα MLN σύμφωνα με τον πίνακα α παρουσιάζει μέγιστη αντοχή θραύσης 12,11 MPa ενώ το εξεταζόμενο τσιμεντοκονίαμα σύμφωνα με τις ευρωπαϊκές προδιαγραφές κατασκευής τοιχοποιιών έχει μέγιστη αντοχή 15 MPa. Συνεπώς πρόκειται για δύο συνθέσεις με παρεμφερείς αντοχές.

Για την εύρεση της αναλογίας τιμής μεταξύ των δύο κονιαμάτων, υπολογίζεται ενδεικτική ποσότητα κονίας, ίση με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στη διαδικασία σύνθεσης παραπάνω, δηλαδή 300gr κονίας. Η ποσότητα της άμμου είναι ίδια και στις 2 περιπτώσεις.

Η κονία της σύνθεσης MYN (υδραυλική άσβεστος- μετακαολίνης), σύμφωνα με τιμές της αγοράς, κοστολογείται περίπου 0,20€ ενώ αυτή του τσιμεντοκονιάματος (τσιμέντο- υδραυλική άσβεστος) κοστολογείται στα 0,09€.

Παρατηρείται λοιπόν ότι, ο λόγος τιμής τσιμεντοκονιάματος προς ασβεστοκονιάματος είναι 0,45. Άρα, η χρήση του πρώτου είναι σαφώς πιο οικονομική.

Έτσι λοιπόν, για μια συμβατική κατασκευή, π.χ. τοιχοποιία σε καινούργια κατοικία από σκυρόδεμα, όπου δεν εγείρονται ζητήματα συμβατότητας και το κόστος παίζει βασικό ρόλο, η χρήση τσιμεντοκονιάματος είναι σαφώς πιο συμφέρουσα από τη στιγμή που και τα δύο πληρούν τις απαιτούμενες μηχανικές προδιαγραφές.

Απ' την άλλη μεριά, σε περιπτώσεις επεμβάσεων και αποκαταστάσεων σε μνημεία και ιστορικές κατασκευές, όπου τα ζητήματα συμβατότητας και διατήρησης των στοιχείων τους διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο, η χρήση υδραυλικών ασβεστοκονιαμάτων είναι επιβεβλημένη, ασχέτως του υψηλού κόστους τους, αφού είναι συμβατά με τις υφιστάμενα υλικά και δεν προκαλούν φθορές όπως τα τσιμεντοκονιάματα.

12. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, κρίνεται σκόπιμη η διεξαγωγή ορισμένων βασικών συμπερασμάτων. Ήδη η Ιστορία μας δείχνει πως, από την αρχαιότητα τα ποζολανικά κονιάματα έπαιξαν πρωταγωνιστικό ρόλο στην ανάπτυξη της Αρχιτεκτονικής, καθώς επίσης και σε αρκετές περιπτώσεις αποτέλεσαν τον πρώτο λίθο στην ανοικοδόμηση ολόκληρων πολιτισμών. Από τα αρχαία χρόνια μέχρι και σήμερα η τεχνολογία παραγωγής κονιαμάτων έχει γνωρίσει σημαντική πρόοδο, μέσα από την έρευνα και την σύνθεση νέων κονιαμάτων με πρωτοποριακές μεθόδους, επιτυγχάνοντας έτσι συνεχώς βελτιωμένες ιδιότητες.

Μέσα από παραδείγματα επεμβάσεων σε μνημεία κατά το παρελθόν, είναι επιβεβλημένη η εμπεριστατωμένη μελέτη τόσο της υφιστάμενης κατάστασης, όσο και της διαδικασίας της επέμβασης, με το κριτήριο της συμβατότητας να είναι το κυρίαρχο. Ακολουθώντας την προβλεπόμενη μεθοδολογία, αποφεύγεται η χρήση ασύμβατων υλικών, καθώς και η πρόκληση φθορών στο εκάστοτε κέλυφος.

Όσον αφορά τη σύνθεση επισκευαστικών κονιαμάτων αποκατάστασης, απαιτείται προσοχή στην επιλογή των συμβατών πρώτων υλών. Οι διαφορές στην ποιότητα και τα χαρακτηριστικά τους, είτε πρόκειται για κονίες, είτε για αδρανή αλλά και πρόσθετα, παίζουν καθοριστικό ρόλο στον σχηματισμό των ιδιοτήτων της τελικής σύνθεσης. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή αντοχή και ανθεκτικότητα ως προς τις περιβαλλοντικές συνθήκες στη σύνθεση, ίδιες με αυτές που προκάλεσαν τις φθορές στο υφιστάμενο κέλυφος, πρέπει τα υλικά να είναι τα κατάλληλα. Οι σωστές πρώτες ύλες καθορίζουν τα επίπεδα συνάφειας και συμβατότητας με τα υφιστάμενα. Η παραπλήσια μηχανική συμπεριφορά εξασφαλίζει τη συνεκτικότητα μεταξύ αυτών και η παραπλήσια φύση των υλικών αντίστοιχα (π.χ. πορώδες, περιεκτικότητα σε άλατα κ.ά.) αποτρέπει ποικίλες παρενέργειες που ενδεχομένως να λειτουργήσουν επιβαρυντικά για τα παλαιά κονιάματα και τις τοιχοποιίες.

Κατά το πειραματικό σκέλος της εργασίας τα επισκευαστικά κονιάματα που συντέθηκαν παρουσίασαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζουν καλή συμπεριφορά, όσον αφορά την απορρόφηση νερού μέσα από το πείραμα της τριχοειδούς αναρρίχησης, με τη χρήση νανοτιτανίας να μην επηρεάζει ουσιαστικά τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια, οι ποζολανικές και οι υδραυλικές συνθέσεις έχουν παρεμφερείς μηχανικές ιδιότητες. Στις 28 ημέρες το κονίαμα με μετακαολίνη και υδράσβεστο(MLN) παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη αντοχή απ' το κονίαμα με μετακαολίνη και υδραυλική άσβεστο MYN, ωστόσο με το πέρας 3 μηνών η σύνθεση MYN αυξάνει σημαντικά την αντοχή του σε σχέση με τη σύνθεση

MLN. Σαν γενική παρατήρηση η χρήση νανοτιτανίας στην περιεκτικότητα που χρησιμοποιήθηκε δηλαδή 6% επί της κονίας δίνει μειωμένες τιμές μηχανικών αντοχών και ανεπαρκή ανθεκτικότητα στα άλατα.

Μέσα από την πειραματική διαδικασία της τεχνητής γήρανσης λήφθηκαν σημαντικές πληροφορίες για την συμπεριφορά των κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα η σύνθεση με μετακαολίνη και υδραυλική άσβεστο (MYN) εμφάνισε εξαιρετική συμπεριφορά στις επιδράσεις των αλάτων, διατηρώντας κατά κύριο λόγο την αρχική του σύσταση έχοντας ελάχιστη απώλεια υλικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η νανοτιτανία αποτέλεσε επιταχυντικό παράγοντα για τις φθορές των αλάτων στο εκάστοτε κονίαμα.

Τέλος, από την δοκιμή των συνθέσεων ως αρμός σε μπλοκ τοιχοποιίας, παρατηρείται ότι και οι δύο τύποι κονιαμάτων έχουν ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές μέσα στο σύστημα, αλλά και καλή συγγένεια με το τοιχόσωμα.

Με βάση τα παραπάνω, το κονίαμα με μετακαολίνη και υδραυλική άσβεστο (MYN) κρίνεται πλήρως κατάλληλο και προτείνεται σε περιπτώσεις αποκατάστασης τόσο ως επίχρισμα, όσο κι ως συνδετικό υλικό σε τοιχοποιίες σε παράκτιες περιοχές.

13. Βιβλιογραφία

1. Reinhard Wendehorst, Δομικά Υλικά, 2η έκδοση μετάφραση της 21ης αναθεωρημένης γερμανικής έκδοσης, εκδόσεις Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 2003
2. Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, 10η έκδοση, Πάτρα, 2013
3. Ν. Λίτινας, "Κονιάματα," 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 2008.
4. Αναστασία Ξενίδη, "Χαρακτηρισμός και συντήρηση κονιαμάτων: εφαρμογή στο Φιρκά Χανίων", Διπλωματική Εργασία, Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάς, 2017
5. Λουκάς Κυριάκου, Βελτιστοποίηση ασβεστοκονιαμάτων με χρήση νανοπροσθέτων, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνική Σχολή, Πανεπιστήμιο Κύπρου, 2014
6. Α. Κορωναίος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 3, Αθήνα: Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2005
7. Luc Schueremans, Ozlem Cizer, Elke Janssens, Gerty Serre, Koenraad Van Balen, 2011, *Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice,* pp 4338-4350
8. P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios, V. Kilikoglou, 2004, *Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete,* pp 1577-1586
9. N. Maravelaki, C. Kapridaki, E. Lionakis, A. Verganelaki, M. Theodoridou and I. Ioannou, "Improvement of properties of hydraulic mortars with addition of nano-titania," in 3rd Historic Mortars Conference, Glasgow, Scotland, 2013
10. A. Moropoulou, P. Maravelaki-Kalaitzaki, M. Borboudakis, A. Bakolas, P. Michailidis and M. Chronopoulos, Historic mortars technologies in Crete and guidelines for compatible restoration mortars, G. Biscontin, A. Moropoulou, M. Erdik and J. Delgado Rodrigues, Eds., Athens: PACT, Revenue du groupe europeen d' etudes pou les techniques physiques, chemiches, biologiques et mathematiques appliqués a l' archeologie, Compatible Materials for the

Protection of European Cultural Heritage (55), Technical Chamber of Greece, 1998..

11. Eleni Aggelakopoulou, Asterios Bakolas, Antonia Moropoulou, 2011, *Properties of lime–metakolin mortars for the restoration of historic masonries*, pp 15-19
12. A. Bakolas, E. Aggelakopoulou, A. Moropoulou and S. Anagnostopoulou, "Evaluation of pozzolanic activity and physicomechanical characteristics in metakaolin-lime pastes," Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 84, pp. 157-163, 2006
13. A. Moropoulou, G. Biscontin and A. Bakolas, "Historic mortars in the Mediterranean monuments," in Proceedings of the 4th International Symposium of the Conservation of Monuments in the Mediterranean, Rhodes, Greece, 1997
14. Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη, διάλεξη *Κονιάματα*, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
15. Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη, διάλεξη *Μουσείο Κισάμου: διορθώνοντας τις επεμβάσεις συντήρησης,* Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης
16. https://ikee.lib.auth.gr/record/285433/files/GRI-2016-17703.pdf
17. http://library.tee.gr/digital/m2278/m2278_moropoulou.pdf
18. http://library.tee.gr/digital/m2173/m2173_theodoridis.pdf

14. Πηγές εικόνων

Εικόνα 1 : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lavrion499.JPG

Εικόνα 2: http://www.hydriaproject.info/gr/greece-naxos-ancient-flerion-aqueduct/waterworks6/

Εικόνα 3: Διάλεξη *Κονιάματα,* Ν. Π. Μαραβελάκη

Εικόνα 4: www.kourasanit.com/gr/products/jointing-and-grouts

Εικόνα 5: http://www.patiti.gr/index.php

Εικόνα 6: Διάλεξη *Μουσείο Κισάμου: διορθώνοντας τις επεμβάσεις συντήρησης,* Ν. Π. Μαραβελάκη

Εικόνα 7: http://www.orykta.gr/oryktes-protes-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/62-pozolanes

Εικόνα 8: http://www.orykta.gr/oryktes-protes-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/62-pozolanes

Εικόνα 9: Διάλεξη Κονιάματα, Ν. Π. Μαραβελάκη

Εικόνα 10: https://www.betolit.gr/el

Εικόνα 11: http://oikodomika-ulika.gr/proionta/adrani/

Εικόνα 12: http://tsakonas.com.gr/aggregates.html

Εικόνες 13- 16: Luc Schueremans, Ozlem Cizer, Elke Janssens, Gerty Serre, Koenraad Van Balen, 2011, Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice, pp 4338-4350

Εικόνες 17, 18: Αλέξανδρος Παντελεμίδης, Εργασία στο μάθημα Επεμβάσεις σε Υφιστάμενα Κελύφη, Πολυτεχνείο Κρήτης

Εικόνες 19-28: Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη, διάλεξη Μουσείο Κισάμου: διορθώνοντας τις επεμβάσεις συντήρησης, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης

Εικόνα 29: Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη, διάλεξη Κονιάματα, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης

Εικόνες 36-37 : Νόνη-Παγώνα Μαραβελάκη, διάλεξη Φθορές από νερό και άλατα, Χανιά, Πολυτεχνείο Κρήτης