

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ
ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΗΣ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑΣ
ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕ ΘΕΜΑ

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΛΙΘΩΝ

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΔΙΑΚΟΥΜΑΚΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ ΝΟΝΗ Π. ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ
ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΝΟΝΗ Π. ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΡΟΒΙΔΑΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΡΙΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ

ΜΑΡΙΑ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑΚΗ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΧΑΝΙΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022

Πρόλογος

Για την εκπόνηση της ερευνητικής μου εργασίας, καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα μου, Καθηγήτρια της Σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης, κα. Νόνη Π.Μαραβελάκη για την καθοδήγηση της καθ' όλη την πορεία της εκπόνησης της εργασίας, την επίβλεψη της σε όλα τα στάδια, την ώθηση της, εξαρχής της ιδέας, την υποστήριξη της και τις ευκαιρίες που μου έδινε να πειραματιστώ κατά την διαδικασία της εργασίας, σε ένα πλαίσιο διερεύνησης γνώσεων και δεξιοτήτων.

Ευχαριστώ επίσης την κα. Καλή Καπετανάκη, μέλος του εργαστηρίου «Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης» για την βοήθεια της στην ανάλυση και επεξήγηση πειραματικών διαδικασιών και στην συνεχή παρακολούθηση της εργασίας μου σε όλα τα στάδια της.

Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης κ. Δημήτρη Πατέλη, που μέσα από τις διαλέξεις των μαθημάτων του και την μελέτη βιβλίων και σημειώσεων του, με βοήθησε να αναστοχαστώ και να προβληματιστώ, θωρώντας διαδικασίες “γνώριμες”, ως κοινωνικά και οικονομικά κατασκευάσματα και δίνοντας μου ώθηση να πειραματιστώ γενικότερα, αλλά και πάνω στην συγκεκριμένη εργασία.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στον Καθηγητή της σχολής Αρχιτεκτόνων Μηχανικών του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Κλήμη Ασλανίδη που μοιράστηκα μαζί του προβληματισμούς μου (πριν ακόμα την έναρξη της εργασίας), για την υποστήριξη του και τις ιδέες του, οι οποίες και υλοποιήθηκαν.

Επιπλέον ευχαριστώ τον κ. Στυλιανό Μαυριγιαννάκη, υπεύθυνο του εργαστηρίου Μηχανικής Πετρωμάτων του Πολυτεχνείου Κρήτης, για την άψογη συνεργασία, κατά την διαδικασία θραύσης των δοκιμίων, για τον έλεγχο μηχανικών αντοχών των κονιαμάτων, την επεξήγηση αποτελεσμάτων, την περιήγηση στον χώρο των δοκιμών και την παρουσίαση της χρήσης των μηχανημάτων.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Περίληψη	8
Abstract	10
Πίνακες	12
Σχήματα	13
Εικόνες	13
1. Εισαγωγή	16
1.1 Αντικείμενο της έρευνας	16
1.2 Αφορμή	16
1.3 Σκοπιμότητα	17
1.4 Μεθοδολογία	17
2. Θεωρητικό Μέρος Γενικό Πλαίσιο	18
2.1 Βασικές εργασίες πετρωμάτων	18
2.1.1 Εξορυκτική διαδικασία	18
2.1.2 Εργασίες μορφοποίησης πετρωμάτων	18
2.2 Συνοπτική περιγραφή διαδικασίας της επεξεργασίας πετρωμάτων	19
3. Θεωρητικό Μέρος Ειδικό Πλαίσιο	21
3.1 Εισαγωγή	21
3.2 Αναλυτική διαδικασία κοπής και επεξεργασίας πετρωμάτων	21
3.2.1 Πρώτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας	22
3.2.2 Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας πέτρας	22
3.2.3 Τρίτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας	23
3.2.4 Τέταρτο (προαιρετικό) στάδιο επεξεργασίας πέτρας	24
3.3 Παρατηρήσεις _ Συμπεράσματα	25
3.3.1 Γενική παρατήρηση υφιστάμενης κατάστασης	25
3.3.2 Συμπεράσματα έπειτα από την παρατήρηση των σταδίων επεξεργασίας πετρωμάτων	26
3.3.3 Υποθετικά σενάρια	26
4. Εργαστηριακό Μέρος I Εργαστηριακοί έλεγχοι κονιαμάτων Δοκιμή για χρήση επιχρίσματος	26
4.1 Εισαγωγή	26
4.2 Χαρακτηριστικά πετρωμάτων (έρευνας)	27

4.2.1 Πετρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή του απόβλητου υλικού -----	27
4.2.2 Ιζηματογενή πετρώματα -----	27
4.2.3 Χαρακτηριστικά ασβεστόλιθων -----	27
4.3 Διαχωρισμός νερού και απόβλητου υλικού -----	28
4.4 Ανάλυση _ Φασματοσκοπία -----	30
4.5 Σύνθεση κονιαμάτων -----	32
4.5.1 Εισαγωγή -----	32
4.5.2 Κονίες -----	34
4.5.3 Αδρανή -----	36
4.5.4 Κονιάματα -----	37
4.5.5 Δοκιμές - Σύνθεση κονιαμάτων αναλυτικά -----	37
4.5.6 Συμπεράσματα _ Αποτελέσματα -----	53
4.5.7 Χυτεύσεις επιλεχθέντων κονιαμάτων σε μήτρες -----	53
4.5.8 Συντήρηση δοκιμών -----	59
4.5.9 Έλεγχος μηχανικών αντοχών -----	60
4.5.10 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών επιλεχθέντων κονιαμάτων -----	71
4.6 Συμπεράσματα Πειραματική ενότητα I -----	72
5.Εργαστηριακό Μέρος II Δοκιμή κατασκευής πλίνθου -----	76
5.1 Εισαγωγή -----	76
5.2 Κατασκευή ξύλινου καλουπιού για κατασκευή πλίνθου -----	76
5.3 Σύνθεση #17 -----	79
5.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιάματος #17 -----	79
5.3.2 Σύνθεση #17 Αναλογία κατά βάρος -----	82
5.3.3 Χύτευση και ξεκαλούπωμα κονιάματος #17 -----	83
5.4 Σύνθεση #18 -----	85
5.4.1 Κατασκευή μήτρας για χύτευση κονιάματος #18 -----	85
5.4.2 Σύνθεση #18 Αναλογία κατά βάρος -----	86
5.4.3 Χύτευση υλικού σύνθεσης #18 -----	86
5.4.4 Δοκίμια σύνθεσης #18 -----	87
5.4.5 Αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων κονιάματος #18 -----	88
5.4.6 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών κονιαμάτων #17 και #18 -----	89

5.5 Συμπεράσματα Πειραματική ενότητα II	90
6. Εργαστηριακό Μέρος III Δοκιμή κατασκευή πλακιδίων	90
6.1 Εισαγωγή	90
6.2 Σύνθεση #19	90
6.2.1 Σύνθεση#19 Αναλογία κατά βάρος	91
6.2.2 Κατασκευή μήτρας για χύτευση κονιάματος #19	91
6.2.3 Χύτευση υλικού σύνθεσης #19	92
6.2.4 Δοκίμια σύνθεσης #19	92
6.2.5 Πλακίδια σύνθεσης #19	93
6.2.6 Αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων κονιάματος #19	94
6.2.7 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών κονιάματος #19	95
6.3 Πυκνότητα, ανοικτό πορώδες και απορροφητικότητα επιλεχθέντων κονιαμάτων (3ης πειραματικής ενότητας) #9 και #19	96
6.3.1 Έννοιες - Ορισμοί	96
6.3.2 Κοπή πλακιδίων σύνθεσης#19	97
6.3.3 Διαδικασία για την μέτρηση ανοικτού πορώδους και υδατοαπορροφητικότητας για τα κονιάματα #9 και #19	98
6.3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων κονιαμάτων για χρήση κατασκευής πλακιδίων	99
6.3.5 Συμπεράσματα	101
7. Κατασκευή πλακιδίων και άλλων συνθέσεων	102
7.1 Εισαγωγή	102
7.2 Υλικά Αδρανή - Κονίες - Απόβλητο Υλικό - Κονίες χρωματισμού	102
7.3 Διαδικασία κατασκευής πλακιδίων	103
7.3.2 Κατασκευή λίθινων μορφών για δημιουργία μοτίβων, χρωμάτων και υφών στο πλακίδιο	104
7.3.3 Χύτευση κονιαμάτων – συντήρηση – Αφαίρεση καλουπιού	105
7.3.4 Πλακίδια Τελικό αποτέλεσμα	109
7.3.5 Παρατηρήσεις κατά την διαδικασία	111
7.3.6 Κόστος κατασκευής πλακιδίων	112
7.3.7 Χρόνος κατασκευής πλακιδίων	115
7.4 Δοκιμές κατασκευής συνθέσεων	116
8. Σύντομη ανασκόπηση - Συμπεράσματα	121
9. Προτάσεις – Προοπτικές	123

10. Βιβλιογραφία-----	125
11. Διαδικτυακές πηγές-----	126

Περίληψη

Οι βιοτεχνίες κοπής και επεξεργασίας πέτρας και μαρμάρου παράγουν μεγάλες ποσότητες αποβλήτων, ικανές να προκαλέσουν περιβαλλοντικά προβλήματα.

Στο πλαίσιο της παρούσας ερευνητικής εργασίας γίνεται διερεύνηση της αξιοποίησης και διαχείρισης του απόβλητου υλικού που προκύπτει κατά τη διαδικασία κοπής και επεξεργασίας της πέτρας. Η ανάλυση γίνεται υπό το πρίσμα της μορφοποίησης, συνδεσιμότητας και εφαρμογής του με άλλα υλικά, αδρανή και κονίες, προκειμένου η συνεργασία των παραπάνω να μπορέσει να δημιουργήσει προϊόν ικανό προς χρήση, με το λιγότερο δυνατό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

Στο πρώτο μέρος της εργασίας γίνεται αναφορά στον σύγχρονο τρόπο κοπής και επεξεργασίας λίθου και μαρμάρου, τη διαδικασία διαχωρισμού του προϊόντος, του νερού και των αποβλήτων διαφορετικής κοκκομετρικής διαβάθμισης. Εκτενέστερα εξετάζεται ο τύπος των αποβλήτων που αφορά στην επεξεργασία, ώστε να μπορέσει να αποτελέσει μέρος της σύνθεσης για τη δημιουργία κονιάματος νέας σύνθεσης ή τεχνητού λιθοσώματος.

Στην συνέχεια γίνεται μία αναφορά στην έννοια των κονιαμάτων και των συνθετικών μερών που επρόκειτο να χρησιμοποιηθούν στην συγκεκριμένη εργασία.

Η επόμενη ενότητα είναι η πειραματική που ξεκινάει από την στιγμή που το υλικό απόβλητο έχει μεταφερθεί στα εργαστήρια, για μελέτη, διαχωρισμό, εργαστηριακές αναλύσεις, με σκοπό τη διεξαγωγή αποτελεσμάτων. Αυτά θα μας οδηγήσουν στο συμπέρασμα, εάν το υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το αποτέλεσμα να καθιστά το νέο υλικό εφαρμόσιμο και λειτουργικό ως στοιχείο τοιχοποιίας κτίσματος (πλίνθο, κονίαμα, στοιχείο επικάλυψης τοίχου ή δαπέδου), που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να δώσει μορφή σε ένα κτήριο, επάνω ή μέσα σε αυτό.

Σύμφωνα με τις παραπάνω περιπτώσεις διαχωρίζεται το εργαστηριακό μέρος σε τρεις ενότητες.

Έλεγχος του αποβλήτου υλικού ως κονίαμα.

Έλεγχος του απόβλητου υλικού ως λιθόσωμα.

Έλεγχος του απόβλητου υλικού ως πλακίδιο.

Κατά τη δημιουργία κονιαμάτων διαφορετικών συνθέσεων στα πλαίσια του εργαστηριακού μέρους της εργασίας, χρησιμοποιήθηκαν αδρανή θραυστά, νταμαρίσια άμμο, ψηφίδα και γαρμπίλι αλλά και πυρίμαχα προϊόντα ανακύκλωσης όπως αλουμίνα διαφορετικών τύπων και κοκκομετρίας, συγκολλητικές κονίες τσιμέντο λευκό και μαύρο, άσβεστος, ποζολάνη, μετακαολίνη, γύψος, υδραυλική άσβεστος (NHL 3,5) και φυσικές ώχρες και πηλόχωμα για αισθητικό σκοπό. Από τις πρώτες συνθέσεις επιλέχθηκαν για μετέπειτα εργαστηριακούς ελέγχους, εκείνες που έδωσαν κατάλληλα αποτελέσματα σε ποσοστό συρρίκνωσης, εργασιμότητας και συνεκτικότητας υλικού. Στη συνέχεια σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν ειδικές ξύλινες μήτρες για την χύτευση των δειγμάτων προς μελέτη, ξεχωριστές για κάθε μία από τις τρεις πειραματικές ενότητες.

Οι μέθοδοι ελέγχου είναι η αντοχή σε θλίψη και κάμψη των κονιαμάτων, πορώδες, υδατοαπορροφητικότητα, και εφαρμογή υλικού επιφάνειας σε εξωτερικό περιβάλλον, για την παρακολούθηση της συμπεριφοράς του κονιάματος σε πραγματικές συνθήκες.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν σύμφωνα με τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν στις τρεις εργαστηριακές ενότητες είναι: Η ικανοποιητική σύσταση σύνθεσης κονιάματος που το καθιστά ικανό για χρήση αρμολογήματος ή επιχρίσματος (1η -εργαστηριακή ενότητα) και η καταλληλότητα χρήσης του για κατασκευή πλακιδίων εσωτερικού χώρου (για δάπεδο ή επένδυση κατακόρυφης επιφάνειας) και για κατασκευή συνθέσεων εσωτερικού χώρου (3η -εργαστηριακή ενότητα).

Η κατανόηση της έκτασης των προβλημάτων που δημιουργούνται από την μακροχρόνια χρήση βιομηχανικών προϊόντων και υλικών στο φυσικό περιβάλλον, το μεγάλο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, η προσπάθεια για μετάβαση γραμμικής οικονομίας σε μοντέλο κυκλικής οικονομίας, αποτέλεσαν κινητήριο μοχλό της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας, εστιάζοντας στην ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, χρήση αποβλήτων υλικών, χρήση (κατά το δυνατόν) υλικών με λιγότερη κατανάλωση ενέργειας κατά την επεξεργασία τους, που αποσκοπεί σε μία ακίνδυνη και πιο αρμονική σχέση ανάμεσα στον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Abstract

Valorization of waste material produced from natural stone cutting and processing

The stone and marble cutting and processing industries generate huge amounts of waste products, capable of causing environmental problems.

In the current research study, an investigation on the utilization and management of the waste products produced during the stone cutting and processing was carried out. The study intended to integrate the waste product into binders and aggregates, so assembling the above ingredients a functional material with low environmental impact will be produced.

The first part of the study is referred to the contemporary way of cutting and processing stone and marble, as well as the process of separating the water and waste of different grain size from the product. More specifically, the waste material was classified according to the grain size and the different clusters were integrated to the design of mortars and artificial stone. Reference samples with conventional aggregates were also used for comparison purposes.

The next chapter deals with experiments that study the waste material, in terms of grain size, composition, stability, to assess whether the waste material can be used as admixture in the mortar manufacture. This investigation also indicates eventual use of the final product as joint mortar, render, tiles for flooring and artificial art objects.

The laboratory part is divided into three sections: Characterization of the waste material to be used as (a) a mortar, (b) artificial stone and (c) as a tile.

In the framework of the experimental part of the current study, mortars of different raw materials and proportions were used in the mix design, such as quarry sand, fine crushed brick, gravel, and refractory alumina wastes of various grain size as aggregates; the binders comprise white and grey cement, lime, pozzolana, metakaolin, gypsum, hydraulic lime (NHL 3,5) natural ochre and clay soil were also added for aesthetic purposes. The mix designs, selected for further tests were those that gave adequate results in terms of shrinkage, workability and cohesion. Afterwards, special wooden molds for the casting of sample were specifically designed and manufactured for the needs of this experimental study.

The tested methods are the compressive strength and bending of the mortars, water accessible porosity, and water vapor permeability. A material application followed on surfaces in outdoor environment in order to monitor the behavior of the mortars in real conditions.

The most effective mix design of mortars contained waste from cutting stone and hydraulic binders and can be used in the plastering/rendering process as well as in the manufacture of tiles.

Πίνακες

Πίνακας 1: Αναλογία ξηρού απόβλητου και νερού προς το υγρό απόβλητο υλικό	30
Πίνακας 2: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #3	39
Πίνακας 3: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #4	40
Πίνακας 4: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #5	41
Πίνακας 5: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #6	42
Πίνακας 6: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #7	43
Πίνακας 7: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #8	44
Πίνακας 8: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #9	45
Πίνακας 9: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #10	46
Πίνακας 10: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #11	47
Πίνακας 11: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #12	48
Πίνακας 12: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #13	49
Πίνακας 13: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #14	50
Πίνακας 14: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #15	51
Πίνακας 15: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #16	52
Πίνακας 16: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #5	62
Πίνακας 17: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #5	62
Πίνακας 18: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #9	63
Πίνακας 19: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #9	64
Πίνακας 20: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #13	65
Πίνακας 21: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #13	65
Πίνακας 22: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #14	66
Πίνακας 23: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #14	67
Πίνακας 24: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #15	68
Πίνακας 25: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #15	68
Πίνακας 26: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #16	69
Πίνακας 27: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #16	70
Πίνακας 28: Ποσότητες και αναλογίες υλικών επιλεχθέντων κονιαμάτων	71
Πίνακας 29: Αναλογία κατ' όγκον υλικών κονιαμάτων κατά EN 998-2 ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6.2, Καραντώνη Φ., σελ.41	72
Πίνακας 30: Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών κονιάματος #17	79
Πίνακας 31: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #18	88
Πίνακας 32: Ποσότητες και αναλογίες υλικών, κονιαμάτων #17 και #18	89
Πίνακας 33: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #19	94
Πίνακας 34: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #19	94
Πίνακας 35: Ποσότητες και αναλογίες υλικών κονιάματος #19	95
Πίνακας 36: Πυκνότητα κονιάματος #9	99
Πίνακας 37: Πυκνότητα κονιάματος #19	100
Πίνακας 38: Ανοικτό πορώδες (%) κονιάματος #9	100
Πίνακας 39: Ανοικτό πορώδες (%) κονιάματος #19	100
Πίνακας 40: Υδατοαπορροφητικότητα (%) κονιάματος #9	101
Πίνακας 41: Υδατοαπορροφητικότητα (%) κονιάματος #19	101
Πίνακας 42: Ειδικό βάρος αδρανών και κονιών των κονιαμάτων #9 και #19	112

Πίνακας 43: Ποσότητες και τιμές αδρανών και κονιών των κονιαμάτων #9 και #19	113
Πίνακας 44: Ποσότητες αδρανών και κονιών πλακιδίου Α	114
Πίνακας 45: Ποσότητες αδρανών και κονιών πλακιδίου Β	114
Πίνακας 46: Χρόνος κατασκευής πλακιδίων	116

Σχήματα

Σχήμα 1: Διάγραμμα ανάλυσης απόβλητου υλικού	31
Σχήμα 2: Μετρήσεις διαμέτρου κυλινδρικού δοκιμίου	33
Σχήμα 3: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #5	63
Σχήμα 4: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #9	64
Σχήμα 5: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #13	66
Σχήμα 6: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #14	67
Σχήμα 7: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #15	69
Σχήμα 8: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #16	70
Σχήμα 9: Διάγραμμα διερχόμενης μάζας υλικού-κόσκινου	80
Σχήμα 10: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 και (μπλε) καμπύλη διαβάθμισης μίγματος αδρανών απόβλητου υλικού	80
Σχήμα 11: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #18	88
Σχήμα 12: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #19	94

Εικόνες

Εικόνα 1: Ωχρούλευκη “λάσπη” κατά την διαδικασία κοπής λίθων	20
Εικόνα 2: Μονάδα διαχωρισμού λάσπης - νερού και βιολογικού καθαρισμού	20
Εικόνα 3: Πάγκοι - Μεγάλοι πέτρινοι ογκόλιθοι (προϊόν εξόρυξης)	21
Εικόνα 4: Πρώτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας - Καθαρισμός φλοιών - διαχωρισμός υλικού σε επεξεργάσιμο ή μη	22
Εικόνα 5: Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας πέτρας	23
Εικόνα 6: Τρίτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας - Κοπή σε μικρότερες διαστάσεις	24
Εικόνα 7: Τέταρτο στάδιο επεξεργασίας - λείανση λίθινων πλακών	25
Εικόνα 8: Μεταφορά συλλεγμένου υλικού για εργαστηριακούς ελέγχους	27
Εικόνα 9: Συσκευή κλίβανου	29
Εικόνα 10: Συσκευή ζύγισης κονιαμάτων	29
Εικόνα 11: Συσκευή (ανάλυσης _ φασματοσκοπίας) FT - IR	31
Εικόνα 12: Κονιάματα (16 συνδυασμοί) έπειτα από τη σκλήρυνσή τους	32
Εικόνα 13: Μικρή κυλινδρική φόρμα χύτευσης κονιαμάτων	33
Εικόνα 14: Συσκευή μέτρησης διατομής	33
Εικόνα 15: Κονίαμα #1	38
Εικόνα 16: Κονίαμα #2	38
Εικόνα 17: Κονίαμα #3	39
Εικόνα 18: Κονίαμα #4	40
Εικόνα 19: Κονίαμα #5	41

Εικόνα 20: Κονίαμα #6 -----	42
Εικόνα 21: Κονίαμα #7 -----	43
Εικόνα 22: Κονίαμα #8 -----	44
Εικόνα 23: Κονίαμα #9 -----	45
Εικόνα 24: Κονίαμα #10 -----	46
Εικόνα 25: Κονίαμα #11 -----	47
Εικόνα 26: Κονίαμα #12 -----	48
Εικόνα 27: Κονίαμα #13 -----	49
Εικόνα 28: Κονίαμα #14 -----	50
Εικόνα 29: Κονίαμα #15 -----	51
Εικόνα 30: Κονίαμα #16 -----	52
Εικόνα 31: Μηχανή (σταθερή) ανάδευσης υλικών -----	54
Εικόνα 32: Μεταλλική μήτρα 3x 4x4x16 -----	54
Εικόνα 33: Δοχείο ανάδευσης -----	55
Εικόνα 34: Κονίαμα #5 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	56
Εικόνα 35: Κονίαμα #9 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	56
Εικόνα 36: Κονίαμα #13 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	57
Εικόνα 37: Κονίαμα #14 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	58
Εικόνα 38: Κονίαμα #15 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	58
Εικόνα 39: Κονίαμα #16 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη) -----	59
Εικόνα 40: Θάλαμος συντήρησης δοκιμών 20 °C -----	60
Εικόνα 41: Πρέσα θραύσης δοκιμών - Δοκίμιο σύνθεσης #18-----	61
Εικόνα 42: Εφαρμογή υλικού σε εξωτερική επιφάνεια πεσσού -----	73
Εικόνα 43: Κονίαμα, επτά μήνες μετά από την εφαρμογή του -----	74
Εικόνα 44: Εφαρμογή υλικού με προσθήκη ινών (νέο υλικό στα αριστερά) -----	75
Εικόνα 45: Σύγκριση υλικών (υλικό με ίνες στα αριστερά)-----	75
Εικόνα 46: Σχέδιο και Απεικόνιση καλουπιού κατασκευής πλίνθου -----	76
Εικόνα 47: Νέα ξύλινη μήτρα -----	77
Εικόνα 48: Διαδικασία κατασκευής ξύλινης μήτρας-----	78
Εικόνα 49: Κοσκίνισμα αδρανών, διαχωρισμός συγκρατούμενων - διερχόμενων -----	81
Εικόνα 50: Κοσκίνισμα αδρανών - ζύγιση συγκρατούμενων -----	81
Εικόνα 51: Διαδικασία ανάμειξης υλικών, για χύτευση σε ξύλινο καλούπι κατασκευής πλίνθων -----	82
Εικόνα 52: Ανάδευση υλικών σύνθεσης#17 -----	83
Εικόνα 53: Κονίαμα #17 σε ξύλινο καλούπι (πριν την πήξη) -----	83
Εικόνα 54: Κονίαμα #17 σε ξύλινο καλούπι (μετά την πήξη) -----	84
Εικόνα 55: Κονίαμα #17 - ξεκαλούπωμα-----	84
Εικόνα 56: Διαδικασία κατασκευής νέας ξύλινης μήτρας 10x10x10 -----	85
Εικόνα 57: Ανάδευση και Χύτευση κονιάματος #18 σε ξύλινη μήτρα 10x10x10- -----	86
Εικόνα 58: Δοκίμια 10x10x10 σύνθεσης #18-----	87
Εικόνα 59: Ξύλινο καλούπι 20x20x3 cm για κατασκευή πλακιδίων -----	91
Εικόνα 60: Χύτευση κονιάματος #19 σε καλούπια 20x20x3 cm και 4x4x16 cm - -----	92
Εικόνα 61: Δοκίμια 4x4x16 cm σύνθεσης #19 -----	92
Εικόνα 62: Πλακίδια 20x20x3 cm σύνθεσης #19-----	93
Εικόνα 63: Δοκίμια, πλακίδια και μήτρες μετά το ξεκαλούπωμα των συνθέσεων #18 και #19-----	96
Εικόνα 64: Κοπή πλακιδίου σε τρία μέρη για εμβάπτιση -----	98
Εικόνα 65: Εμβάπτιση δοκιμών κονιάματος #9 -----	98
Εικόνα 66: Εμβάπτιση δοκιμών κονιάματος #19 -----	99

Εικόνα 67: Υλικά κονιαμάτων για κατασκευή πλακιδίων -----	102
Εικόνα 68: Συλλογή απόβλητου υλικού -----	103
Εικόνα 69: Μήτρα κατασκευής πλακιδίων με προσθήκη λείας επιφάνειας -----	104
Εικόνα 70: Λίθινες φόρμες -----	104
Εικόνα 71: Λίθινη φόρμα μέσα σε ξύλινη μήτρα για κατασκευή πλακιδίων με διαφορετικά χρώματα και μοτίβα -----	105
Εικόνα 72: Χύτευση κονιάματος, έπειτα από αφαίρεση λίθινης φόρμας 2η τριάδα -----	105
Εικόνα 73: Διαβροχή - συντήρηση πλακιδίων 2η τριάδα -----	106
Εικόνα 74: Χύτευση 3ης τριάδας πλακιδίων -----	107
Εικόνα 75: Χύτευση 6ης τριάδας πλακιδίων -----	108
Εικόνα 76: Αφαίρεση πλακιδίων από ξύλινο καλούπι -----	108
Εικόνα 77: 1η τριάδα πλακιδίων (στο εργαστήριο κοπής και επεξεργασίας λίθων) -----	109
Εικόνα 78: 2η τριάδα πλακιδίων -----	109
Εικόνα 79: 3η τριάδα πλακιδίων -----	109
Εικόνα 80: 4η τριάδα πλακιδίων -----	110
Εικόνα 81: 5η τριάδα πλακιδίων -----	110
Εικόνα 82: 6η τριάδα πλακιδίων -----	110
Εικόνα 83: 7η τριάδα πλακιδίων -----	111
Εικόνα 84: Διαδικασία κατασκευής τριών συνθέσεων για χρήση φωτιστικού Συντήρηση 6ης τριάδας πλακιδίων Χύτευση 7ης τριάδας πλακιδίων -----	117
Εικόνα 85: Διαδικασία κατασκευής σύνθεσης για χρήση φωτιστικού I -----	118
Εικόνα 86: Φωτιστικό II (η βάση του αποτελείται από κονίαμα απόβλητου υλικού) -----	119
Εικόνα 87: Φωτιστικό III (με κονίαμα απόβλητου υλικού) -----	120

1.Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της έρευνας

Μέσα από την παρούσα εργασία επιχειρείται να διερευνηθεί η συνειδητή χρήση των αποβλήτων υλικών που αποσκοπεί να οδηγήσει στην παραγωγή νέας ύλης, ικανής να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις της χρήσης που καλείται να εξυπηρετήσει. Στη συγκεκριμένη διαδικασία, περιγράφονται ορθές και ξεκάθαρες πρακτικές επεξεργασίας αποβλήτων, με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση τους. Ως δείγμα μελέτης επιλέγεται η υγρή ωχρόλευκη σκόνη-παιπάλη, που παράγεται κατά την διαδικασία κοπής της πέτρας, κατά την εργασία για δημιουργία λίθου καθαρής επιφάνειας, με χρήση μεγάλων δίσκων κοπής παρουσία νερού. Έπειτα σύμφωνα με την έρευνα που πραγματοποιείται, κρίνεται αν το νέο υλικό που δημιουργήθηκε είναι κατάλληλο για χρήση, σύγκριση με αντίστοιχα γνώριμα δομικά υλικά από οικονομικής σκοπιάς, τρόπου της κατασκευής και ιδιαιτερότητες.

1.2 Αφορμή

Το ενδιαφέρον μου για την χρησιμοποίηση υλικού που σχετίζεται με την επεξεργασία της πέτρας, μετράει περίπου τριάντα χρόνια και ξεκίνησε από μίσος. Όντας γιος πατέρα «πετρά» και ακολουθώντας τον πιστά και συνειδητά, όσο μου επέτρεπε η οχτώ χρονών ηλικία μου, η βοήθεια μου περιοριζόταν στην καθαριότητα στο γιαπί και στο ξέπλυμα από αυτήν τη λεπτόκοκκη ενοχλητική σκόνη. Μεγαλώνοντας και λαξεύοντας την πέτρα με οποιονδήποτε τρόπο παραδοσιακά με εργαλεία ή έπειτα από την μετάβαση μας σε εκσυγχρονισμένου τύπου εργαστήριο με χρήση μηχανημάτων, η σκόνη συνέχιζε σταθερά να με συντροφεύει, έχοντας πάρει υγρή μορφή. Τώρα πια χρειαζόνταν να την συλλέξουμε και να την μεταφέρουμε προσεκτικά σε συγκεκριμένους χώρους, που κάθε φορά άλλαζαν. Αφού δεν μπορούσα να την ξεφορτωθώ, σκεφτόμουν ίσως ήθελε κάτι να πει.

Η επιλογή του μαθήματος της καθηγήτριας κ. Π. Μαραβελάκη, με τίτλο «Φθορά & Συντήρηση Δομικών Υλικών - Μνημείων & Αρχιτεκτονικών Επιφανειών», κατά το έτος 2021, με έκανε να προσεγγίσω και να εκτιμήσω τα φυσικά δομικά υλικά, να αναστοχαστώ, να αναρωτηθώ για τις σωστές και λάθος επιλογές και να τολμήσω να δοκιμάσω την χρήση της συγκεκριμένης ύλης, αποσκοπώντας την συμβατότητα της με άλλα υλικά και την χρήση της, ως μέρος ενός νέου συνδυαστικού υλικού ή λιθοσώματος.

Επιπλέον βασικό στοιχείο ώθησης για έρευνα που αφορά στο πεδίο βαθύτερης χρήσης φυσικών πόρων και διαδικασιών μικρότερου περιβαλλοντικού αποτυπώματος, αποτέλεσε ο Καθηγητής της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης κ. Δημήτρης Πατέλης, που μέσα από

τις διαλέξεις των μαθημάτων του, κατανόησα την ληστρική εκμετάλλευση της φύσης από τον άνθρωπο.

1.3 Σκοπιμότητα

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι η συλλογή, επεξεργασία και χρησιμοποίηση του απόβλητου υλικού που προκύπτει κατά την διαδικασία κοπής και επεξεργασίας της πέτρας, της ωχρόλευκης υγρής παιπάλης, ως μέρος υλικών για την δημιουργία συνδετικού υλικού ή τεχνητού λιθοσώματος. Στο πλαίσιο αυτό γίνεται μία αναφορά στις απαιτήσεις για την σωστή εφαρμογή, μορφοποίηση και συμβατότητα με άλλα υλικά, με στόχο την τήρηση προδιαγραφών, απαραίτητο συστατικό για την κατασκευή νέου υλικού.

1.4 Μεθοδολογία

Αρχικά πραγματοποιείται μία περιγραφή της διαδικασίας εξόρυξης, κοπής και επεξεργασίας πέτρας και μαρμάρου με σύγχρονα μέσα, με έμφαση στον διαχωρισμό των αποβλήτων προϊόντων και την συλλογή του υλικού προς μελέτη. Έπειτα γίνεται μία αναφορά στα συμβατά υλικά, καταστρώνοντας ένα σενάριο που θα μπορούσε να αποτελέσει την βάση για την αξιοποίηση του απόβλητου υλικού. Στην συνέχεια μεταβαίνουμε στο κυρίως θέμα που είναι το εργαστηριακό-πειραματικό σκέλος της εργασίας, που ξεκινά από την ανάλυση του απόβλητου υλικού αρχικά και προχωράει σε συνδυασμό υλικών, ανάλυση, ελέγχους αντοχής, απόρριψης μη συμβατών και διαλογή καλύτερων συμβατών νέων κονιαμάτων. Κατά την πρώτη πειραματική ενότητα εξετάστηκε η χρήση του κονιάματος ως επίχρισμα ή κονίαμα για αρμολόγημα. Στην διάρκεια της εργασίας, αποφασίσαμε να δοκιμάσουμε άλλο ένα σενάριο, με το σχεδιασμό νέας εργαστηριακής προσέγγισης, την κατασκευή καλουπιών, με στόχο την παραγωγή πλίνθων με κύριο συστατικό το εν λόγω απόβλητο υλικό. Τα συμπεράσματα του υλικού από τις δύο πρώτες δοκιμές και η τριβή μέσα από την διαδικασία με υλικά απόβλητα και ανακυκλωμένα μας παρότρυνε στον σχεδιασμό ακόμα ενός νέου σεναρίου, την κατασκευή πλακιδίων εσωτερικού χώρου, δαπέδων ή επικάλυψης κατακόρυφης επιφάνειας. Με το πέρας της έρευνας γίνεται μία εκτενής περιγραφή αποτίμησης, βάσει συμπερασμάτων από την συνολική πειραματική διαδικασία του απόβλητου υλικού και τρόποι νέας χρήσης.

2. Θεωρητικό Μέρος | Γενικό Πλαίσιο

2.1 Βασικές εργασίες πετρωμάτων

Οι βασικές εργασίες που συνιστούν την διαδικασία επεξεργασίας πέτρας και μαρμάρου είναι δύο.

2.1.1 Εξορυκτική διαδικασία

Αρχικά η εξορυκτική διαδικασία, η οποία είναι και η μεγαλύτερης κλίμακας εργασία. Τα φυσικά πετρώματα που χρησιμοποιούνται στα τεχνικά έργα προέρχονται από την εξόρυξη όγκων μεγάλου μεγέθους, από τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης σε επιλεγμένους κεκλιμένους χώρους (λατομεία, νταμάρια). Τα πετρώματα σχηματίζονται από ενώσεις διαφόρων ορυκτών με χαρακτηριστική ποικιλία. Η εκμετάλλευση ειδικά των κοιτασμάτων μαρμάρου, μπορεί να πραγματοποιηθεί και υπόγεια, στην Ελλάδα, όμως, σχεδόν το σύνολο των λατομείων είναι ανοικτά. Η εργασία στην αρχή γινόταν χειρωνακτικά, με ελαφρές εκρηκτικές ύλες ή με μεταλλικές σφήνες. Σήμερα χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα ανάλογα με το είδος του πετρώματος αλλά και την τεχνογνωσία στην περιοχή προέλευσης. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη διαδικασία εξόρυξης ανισότροπων στρωμάτων η οποία πρέπει να ακολουθεί τη διεύθυνση της μεγαλύτερης σχιστότητας. Από τη δεκαετία του 1980 χρησιμοποιείται κοπή με αλυσοπρίονα που φέρουν κεφαλές από ειδικά κράματα μετάλλων και βιομηχανικά διαμάντια ή συρματοκοπή με σύρματα ανοξειδωτου χάλυβα¹. Σήμερα για την εκμετάλλευση ενός λατομείου (σε μια γενική θεώρηση) υπάρχει πλήθος εναλλακτικών συνδυασμών μεθόδων, υλικών και εξοπλισμού που μπορεί να εφαρμοστούν².

2.1.2 Εργασίες μορφοποίησης πετρωμάτων

Η δεύτερη εργασία εκκινεί με την άφιξη των όγκων από τα λατομεία σε σχιστήρια, που κόβονται σε επιθυμητά μεγέθη και σχήματα, αφού καθαριστούν για να αποκτήσουν όσο το δυνατόν πιο ορθοκανονικό σχήμα (με μονόσυρμο, κόφτη)³.

¹ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζόλα, 2021, σελ.4-5

² Παπαγιάννη Ι, Οικονόμου Ν., Στεφανίδου Μ., Δομικά Υλικά Ι, Ανοιχτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ.25

³ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζόλα, 2021, σελ.3

Αφορά στη διαδικασία κοπής μικρότερων όγκων πέτρας ή μαρμάρου, καθορισμένων σχημάτων και διαστάσεων, επεξεργασία που περιλαμβάνει λείανση σε διάφορα επίπεδα, στίλβωση, καθώς και εργασίες που εξαρτώνται από τις απαιτήσεις του έργου που ταυτίζονται με την εξέλιξη της τεχνολογίας, με φυσικό επακόλουθο τον αυξημένο χρόνο της επεξεργασίας του υλικού και την ανάλογη παραγόμενη ποσότητα απόβλητων υλικών.

2.2 Συνοπτική περιγραφή διαδικασίας της επεξεργασίας πετρωμάτων

Η παρακάτω επεξεργασία αφορά στη λάξευση, δηλαδή τη διαδικασία καθαρισμού και επεξεργασίας των φυσικών πετρωμάτων, προκειμένου να γίνουν κατάλληλα για χρήση⁴.

Οι ακόλουθες εργασίες γίνονται σε κλειστό οργανωμένο χώρο με χρήση ειδικών μηχανημάτων, τα οποία είναι ορθογώνια τελάρα από χάλυβα (σε λιγοστές περιπτώσεις επικαλυπτόμενα με ξύλινες δοκούς), μετακινούμενα τα ίδια ή ο δίσκος κοπής σε ορισμένες περιπτώσεις, αναλόγως της χρήσης που εξυπηρετεί το κάθε ένα, ενώ και τα δύο μαζί, αποτελούν το σύγχρονο μέσο επεξεργασίας μαρμάρου και πέτρας. Η κοπή και επεξεργασία βασίζεται στην περιστροφή αδαμαντοφόρων δίσκων παρουσία νερού, οι οποίοι εν μέσω της τριβής σχηματοποιούν το υλικό, δίνοντας του το τελικό επιθυμητό αποτέλεσμα, αφαιρώντας ένα πολύ λεπτόκοκκο υλικό που μοιάζει σαν λάσπη λόγω της παρουσίας νερού (μουργκάνα). Κατά την κοπή όγκων σε πλάκες για χρήση πλακόστρωσης ή επένδυσης με το πάχος να κυμαίνεται από είκοσι έως σαράντα χιλιοστά, η παραγόμενη (στραγγισμένη) λάσπη μπορεί να ξεπερνά το 25% του αρχικού όγκου του πετρώματος. Σε όλα τα παραπάνω στάδια της δεύτερης ενότητας, της επεξεργασίας της πέτρας, αποτελεί κοινό στοιχείο, η παραγωγή μεγάλης ποσότητας υγρού απόβλητου υλικού.

⁴ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζόλα, 2021, σελ.5



Εικόνα 1: Ωχρολέυκη "λάσπη" κατά την διαδικασία κοπής λίθων

Στις περισσότερες σύγχρονες μονάδες κοπής και επεξεργασίας πέτρας και μαρμάρου, υπάρχουν εγκατεστημένα συστήματα καθαρισμού νερού.



Εικόνα 2: Μονάδα διαχωρισμού λάσπης - νερού και βιολογικού καθαρισμού

Η επεξεργασία και ο διαχωρισμός των υποπροϊόντων και αποβλήτων γίνεται υπό το πρίσμα της οικονομίας της διαδικασίας, ενώ το περιβαλλοντικό αποτύπωμα τις περισσότερες φορές, είναι δευτερευούσης σημασίας.

3. Θεωρητικό Μέρος | Ειδικό Πλαίσιο

3.1 Εισαγωγή

Στην περίπτωση της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας, θα καταγράψουμε λεπτομερώς την διαδικασία σε μονάδα κοπής και επεξεργασίας μαρμάρου και πέτρας, με έμφαση στην πέτρα και συγκεκριμένα σε τοπικά πετρώματα της ευρύτερης περιοχής του Ρεθύμνου.

Η δεύτερη ενότητα επεξεργασίας πετρωμάτων, ξεκινά την στιγμή που οι πάγκοι ή ξοφάρια (ανάλογα της κανονικότητας του σχήματος τους) έχουν μεταφερθεί σε ειδικά διαμορφωμένες μονάδες, με σκοπό την λεπτομερέστερη επεξεργασία τους, για την τελική μορφή και παράδοση τους.



Εικόνα 3: Πάγκοι - Μεγάλοι πέτρινοι ογκόλιθοι (προϊόν εξόρυξης)

3.2 Αναλυτική διαδικασία κοπής και επεξεργασίας πετρωμάτων

Η διαδικασία αρχίζει με την τοποθέτηση του αρχικού, μερικώς διαμορφωμένου μεγάλου όγκου, διαστάσεων (οι οποίες ποικίλουν ανάλογα με το κοίτασμα) που φτάνουν μέχρι και 3.00x1.80x1.80 μέτρα και την πρώτη διαμόρφωση, με απομάκρυνση του φυσικού φλοιού που τον περιβάλλει, με χρήση πάντα δίσκου κοπής κατακόρυφου και οριζόντιου, πολύ μεγάλων διαστάσεων, παρουσία νερού.

3.2.1 Πρώτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας

Στο πρώτο στάδιο της δεύτερης ενότητας, ουσιαστικά γίνεται το πρώτο ξεκαθάρισμα για να δοθεί η σκυτάλη, σε δεύτερο μηχάνημα ίδιας φιλοσοφίας μικρότερων διαστάσεων, αυτή τη φορά με περισσότερη ελευθερία κινήσεων, για την λεπτομερέστερη διαμόρφωση του υλικού ξεκινώντας να δείχνει τις προθέσεις του χρήστη, για την τελική διαμόρφωση του.



Εικόνα 4: Πρώτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας - Καθαρισμός φλοιών - διαχωρισμός υλικού σε επεξεργάσιμο ή μή

3.2.2 Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας πέτρας

Ανάλογα με τις διαστάσεις που απαιτούνται για το νέο λιθόσωμα μπορούμε να σταματήσουμε στο συγκεκριμένο στάδιο ή να προχωρήσουμε σε τρίτο μηχάνημα για την ακόμη λεπτομερέστερη και μικρότερη επιφάνεια ή για ένα αποτέλεσμα χρησιμοποιώντας δίσκους διαμόρφωσης διατομής που δουλεύουν ως καλούπι, για την τελική μορφή.



Εικόνα 5: Δεύτερο στάδιο επεξεργασίας πέτρας

3.2.3 Τρίτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας

Τρίτο στάδιο επεξεργασίας για κοπή πέτρας μικρότερων διαστάσεων, δυνατότητα χρήσης διαφορετικών δίσκων κοπής, για απόδοση διαφορετικού σχήματος ακμών του νέου λίθου.



Εικόνα 6: Τρίτο στάδιο επεξεργασίας πέτρας - Κοπή σε μικρότερες διαστάσεις

3.2.4 Τέταρτο (προαιρετικό) στάδιο επεξεργασίας πέτρας

Το λιθόσωμα, αν απαιτείται, περνάει σε μηχανή με ειδικές περιστρεφόμενες κεφαλές, οι οποίες φέρουν ειδικά διαμορφωμένες συνθετικές πέτρες, που τρίβουν κυκλικά την επιφάνεια της πέτρας και την καθαρίζουν από τα σημάδια των προηγούμενων δίσκων κοπής και την λειαίνουν.

Η λείανση είναι επιφανειακή κατεργασία της φαινόμενης πλευράς, που γίνεται σε πλάκες επενδύσεων δαπέδων ή τοίχων. Με λειαντικά μέσα, πέτρες λείανσης, αδαμαντοφόρα στοιχεία και διαδοχικά περάσματα με ή χωρίς νερό προκύπτει ομοιόμορφη απαλή επιφάνεια χωρίς κατοπτρισμούς⁵.

⁵ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζιόλα, 2021, σελ.8



Εικόνα 7: Τέταρτο στάδιο επεξεργασίας - λείανση λίθινων πλακών

3.3 Παρατηρήσεις _ Συμπεράσματα

3.3.1 Γενική παρατήρηση υφιστάμενης κατάστασης

Κατά την διαδικασία της επεξεργασίας πετρωμάτων σε όλα της τα στάδια, εξόρυξη ογκόλιθων, ορθογωνισμό τους, κοπή για παραγωγή λίθων ενδιάμεσων μεγεθών, κοπή για τεμάχια μικρότερων διαστάσεων, πρώτο έως και τελικό στάδιο λείανσης, αναπτύσσεται μεγάλο περιβαλλοντικό φορτίο.

Η ταχεία εκβιομηχάνιση, σε συνδυασμό με το επίπεδο τεχνολογίας στην οποία στηρίχτηκε, θεωρείται από τους βασικότερους παράγοντες που ευθύνονται για την επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Οι απαιτήσεις της βιομηχανίας για την παραγωγική διαδικασία γίνονται όλο και πιο ενεργοβόρες με αποτέλεσμα την έκλυση μεγάλων ποσοτήτων ρυπογόνων ουσιών⁶.

Εκπομπές αέριων ρύπων, σκόνη, απόβλητα κατασκευής και συντήρησης, απορρίμματα επεξεργασίας (ρετάλια), οπτική ρύπανση, ατμοσφαιρικό φορτίο και παιπάλη προϊόντος από την βιομηχανική επεξεργασία. Πολλές από αυτές

⁶ Πολύζος Σ., Διαχείριση φυσικών πόρων και βιώσιμη ανάπτυξη, Εκδ. Τζιόλα, Αθήνα, 2022, σελ.48

τις ουσίες είναι πολύ επιβαρυντικές για την υγεία του ανθρώπου, τις οποίες το φυσικό περιβάλλον δεν μπορεί να αποδομήσει⁷.

3.3.2 Συμπεράσματα έπειτα από την παρατήρηση των σταδίων επεξεργασίας πετρωμάτων

Η επισκόπηση της παρούσας εργασίας, γίνεται στο δεύτερο στάδιο επεξεργασίας πετρωμάτων, εκείνο που αφορά στον χώρο του εργαστηρίου, που κόβονται και επεξεργάζονται λίθοι, με επισκόπηση στην μελέτη του απόβλητου υλικού που παράγεται κατά την διαδικασία επεξεργασίας τους. Όλες οι φάσεις της συγκεκριμένης ενότητας, των εργασιών που διεξάγονται στην μονάδα, κατά την διαδικασία λάξευσης (με τον σύγχρονο τρόπο) του υλικού, πέτρας ή μαρμάρου, έχουν κοινό παρονομαστή, την παραγωγή σκόνης υγρής μορφής, ανεκμετάλλευτης και με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

3.3.3 Υποθετικά σενάρια

Στην παρούσα έρευνα επιλέγουμε να μελετήσουμε την χρήση της παραγόμενης παιπάλης, με μοχλό την περιβαλλοντική συνείδηση (και δευτερευόντως την οικονομία) μέσα από την εκμετάλλευση του αποβλήτου υλικού, χρησιμοποιώντας το ως μέρος σύνθεσης, για την κατασκευή αντικειμένου ή νέου κονιάματος.

4. Εργαστηριακό Μέρος I | Εργαστηριακοί έλεγχοι κονιαμάτων | Δοκιμή για χρήση επιχρίσματος

4.1 Εισαγωγή

Στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης του Πολυτεχνείου Κρήτης διενεργήθηκε η εργαστηριακή διαδικασία, η οποία ξεκίνησε την στιγμή που το υλικό απόβλητο σε υγρή μορφή, όπως είχε συλλεχθεί κατά την διαδικασία επεξεργασίας πετρωμάτων, φτάνει στο εργαστήριο σε διάφανους κλειστούς σάκους. Έχουν ληφθεί υλικά απόβλητα τριών διαφορετικών (χρονολογικά) φάσεων, παραγόμενα από διαφορετικά πετρώματα, περίπου ίδιων ιδιοτήτων.

⁷ Πολύζος Σ., Διαχείριση φυσικών πόρων και βιώσιμη ανάπτυξη, Εκδ. Τζιόλα, Αθήνα, 2022, σελ.48



Εικόνα 8: Μεταφορά συλλεγμένου υλικού για εργαστηριακούς ελέγχους

4.2 Χαρακτηριστικά πετρωμάτων (έρευνας)

4.2.1 Πετρώματα που χρησιμοποιήθηκαν για την συλλογή του απόβλητου υλικού

Τα υλικά που επεξεργάζονται στην βιοτεχνία που γινόταν η συλλογή υλικού απόβλητου, κατά την διάρκεια της εργασίας (αλλά και κατασκευές καλουπιών, ορισμένες από τις χυτεύσεις και κατασκευή πλακιδίων και αντικειμένων) είναι συνήθως πετρώματα της περιοχής του Ρεθύμνου, ένα είδους ασβεστόλιθου, γνωστός ως πωρόλιθος.

4.2.2 Ιζηματογενή πετρώματα

Οι ασβεστόλιθοι όπως και οι δολομίτες (ανθρακικά πετρώματα) ανήκουν στα ιζηματογενή πετρώματα όπως και οι ψαμμίτες. Χαλαζιακός ψαμμίτης στον οποίο κυριαρχούν κόκκοι χαλαζία με συνδετικό υλικό τον ασβεσίτη, ασβεστολιθικό ψαμμίτη που στο σύνολο τους οι κόκκοι αποτελούνται από ασβεσίτη ή ασβεστόλιθο. Στα ιζηματογενή πετρώματα ανήκουν η άργιλος και η μάργα. Τα ιζήματα και τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίζονται από υλικό που προκύπτει από την καταστροφή άλλων πετρωμάτων στην επιφάνεια της γης. Τα πετρώματα που καταστρέφονται μπορεί να είναι πυριγενή, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα. Τα βασικά στάδια του σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων είναι: Η αποσάθρωση, μεταφορά και απόθεση και τέλος η διαγένεση⁸.

4.2.3 Χαρακτηριστικά ασβεστόλιθων

Οι ασβεστόλιθοι αποτελούν τα πιο κοινά πετρώματα στην Ελλάδα. Τα περισσότερα ελληνικά βουνά αποτελούνται από ασβεστολιθικά πετρώματα,

⁸ Μαραβελάκη Π., Φθορά και συντήρηση δομικών υλικών μνημείων & αρχιτεκτονικών επιφανειών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2016, σελ.11

που υπήρξαν τα κυριότερα δομικά υλικά σε πολλές περιοχές της χώρας. Το βασικό συστατικό των ασβεστολιθικών πετρωμάτων είναι ο ασβεστίτης και οι συνηθέστερες προσμείξεις το ανθρακικό μαγνήσιο, τα οξείδια του πυριτίου και της αργίλου και τα οξείδια του σιδήρου⁹.

Οι ασβεστόλιθοι ανάλογα με την χρήση και το πορώδες τους χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) πορώδεις και β) συμπαγείς. Οι πορώδεις ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από μεγάλο πορώδες και εύκολη επεξεργασία για τη δημιουργία κανονικών, πρισματικών, πλακοειδών ή άλλων σχημάτων, απαραίτητων για την τοποθέτησή τους στο μνημείο. Δεν ενδείκνυνται για κατασκευές μέσα στο νερό λόγω του μεγάλου πορώδους τους. Αντίθετα, οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι έχουν μικρότερο πορώδες, είναι σκληρότεροι και άρα επεξεργάζονται πιο δύσκολα. Χρησιμοποιούνται επίσης και ως αδρανείς λίθοι στην κατασκευή τεχνικών έργων και κτιρίων¹⁰.

Ο μεγάλος (αρχικά) πέτρινος όγκος, παρατηρώντας λεπτομερώς την διαδικασία κοπής και επεξεργασίας του, από την άφιξη του στον χώρο της βιοτεχνίας, μέχρι την τελική επεξεργασία του, συμπεραίνουμε ότι έχει διαστρωματώσεις από έξω προς τα μέσα και συνεπώς μεταβάλλεται το χρώμα, η υφή, η σκληρότητα και το πορώδες του. Φυσικό επακόλουθο των παραπάνω χαρακτηριστικών είναι η διαφορετική του χρήση ανάλογα τις ιδιότητες του, για παράδειγμα σε εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο, επενδύσεις τοίχων ανάλογα τους χρωματισμούς του ή και πλακόστρωση δαπέδων.

4.3 Διαχωρισμός νερού και απόβλητου υλικού

Ξεκινώντας την διαδικασία αναζήτησης χαρακτηριστικών της υγρής σκόνης, ελέγχεται το βάρος του υλικού ως έχει, σε υγρή μορφή. Στην συνέχεια εισάγεται σε φούρνο – κλίβανο, για διάρκεια 48 έως 72 ωρών και θερμοκρασία 72 έως 80 °C.

⁹ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζιόλα, 2021, σελ.25

¹⁰ Μαραβελάκη Π., Φθορά και συντήρηση δομικών υλικών μνημείων & αρχιτεκτονικών επιφανειών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2016, σελ.12



Εικόνα 9: Συσκευή κλίβανου

Στην συνέχεια ζυγίζεται ξανά, για να βρεθεί η αναλογία κατά βάρος καθαρής σκόνης και νερού σε σχέση με το αρχικό υγρό παραγόμενο βιομηχανικά απόβλητο υλικό.



Εικόνα 10: Συσκευή ζύγισης κονιαμάτων

Πίνακας 1: Αναλογία ξηρού απόβλητου και νερού προς το υγρό απόβλητο υλικό

Υλικό	Υγρό απόβλητο	Ξηρό απόβλητο		Νερό	
	gr	gr	% του υγρού απόβλητου	gr	% του υγρού απόβλητου
Δείγμα_A	46,16	39,60	85,79%	6,56	14,21%
Δείγμα_B	51,67	42,97	83,16%	8,70	16,84%
Δείγμα_Γ	49,91	41,70	83,55%	8,21	16,85%

*Παρατηρείται ότι το ξηρό απόβλητο κυμαίνεται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 83% του υγρού αποβλήτου.

4.4 Ανάλυση _ Φασματοσκοπία

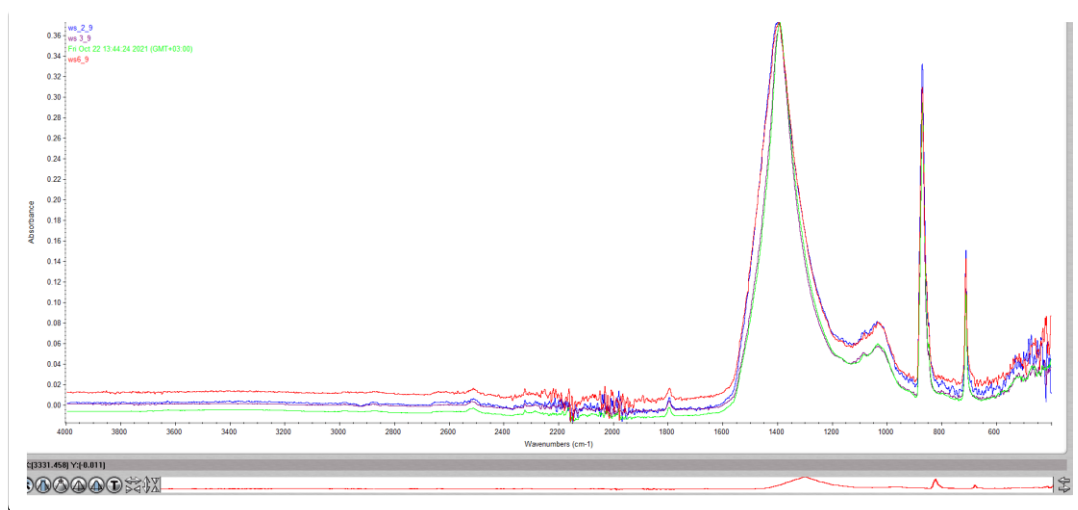
Στην πορεία επιλέγοντας ελάχιστη ποσότητα από το διαχωρισμένο ξηρό υλικό, το τοποθετούμε σε συσκευή για ανάλυση FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy).

Φασματοσκοπία είναι η μελέτη της αλληλεπίδρασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ύλη. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία περιλαμβάνει ένα μεγάλο φάσμα από ακτίνες πολύ υψηλής ενέργειας μέχρι και ραδιοκύματα πολύ χαμηλής συχνότητας. Η φύση της αλληλεπίδρασης εξαρτάται από τη συχνότητα ή την ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, αλλά και από τις ιδιότητες της ύλης. Η δομή του υλικού αναλύεται εξετάζοντας τους χημικούς δεσμούς και την σύνθεση, παίρνοντας ποσότητα μερικών χιλιοστογράμμων (mg) στον ελάχιστο χρόνο. Οι θέσεις των κορυφών δίνουν τους δεσμούς μεταξύ των στοιχείων στα μόρια των δειγμάτων, οι δε εντάσεις στις κορυφές δίνουν τις συγκεντρώσεις των μορίων σε ένα δείγμα¹¹.

¹¹ Κουτσουμπίδης Γ., Ανάλυση Φασματοσκοπίας και Φασματομετρίας FTIR και Εφαρμογή σε Μέτρηση Συγκέντρωσης Αέριων Εκπομπών σε Καυσαέρια από Scrubbers, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Δ.Π.Μ.Σ., «Συστήματα Αυτοματισμού», ΕΜΠ, 2018, σελ.10-12



Εικόνα 11: Συσκευή (ανάλυσης _ φασματοσκοπίας) FT - IR



Σχήμα 1: Διάγραμμα ανάλυσης απόβλητου υλικού

Κυρίαρχες κορυφές στους κυματαριθμούς 1400, 870, 712 cm^{-1} αποδίδονται στο ανθρακικό ασβέστιο. Μικρές απορροφήσεις στα 1100 cm^{-1} αφορούν αργιλοπυριτικές ενώσεις.

4.5 Σύνθεση κονιαμάτων

4.5.1 Εισαγωγή

Στο εργαστήριο κατά την εφαρμογή του πρώτου σεναρίου, δηλαδή σύνθεση νέου κονιάματος με προσθήκη απόβλητου υλικού πέτρας, πραγματοποιήθηκαν 16 (δεκαέξι) συνδυασμοί.

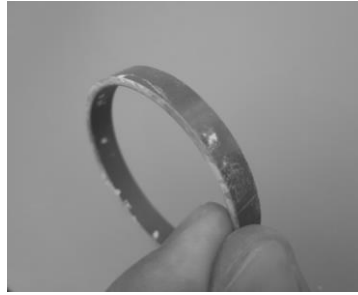
Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας ήταν η διερεύνηση της συνοχής και συνδεσιμότητας ή όχι των υλικών, ο χρόνος πήξης, βαθμός συρρίκνωσης και βαθμός πορώδους της κάθε σύνθεσης.

Η χύτευση των κονιαμάτων γίνεται αρχικά σε στρογγυλό δακτυλίδι διαμέτρου περίπου 45 χιλιοστών και ύψους 8 έως 10 χιλιοστών και σε κύπελλο διατομής περίπου 50 χιλιοστών και ύψος 40 χιλιοστών.

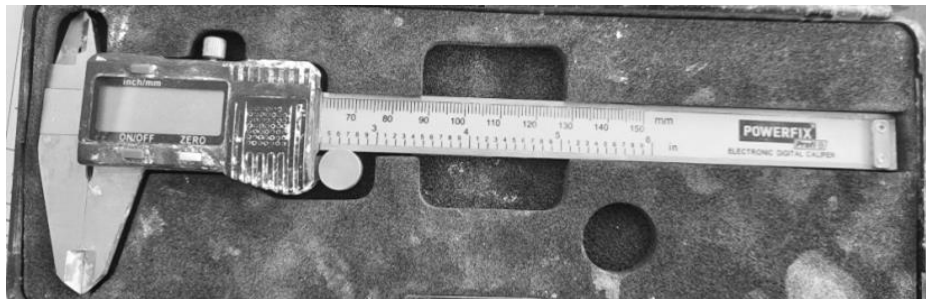


Εικόνα 12: Κονιάματα (16 συνδυασμοί) έπειτα από τη σκλήρυνσή τους

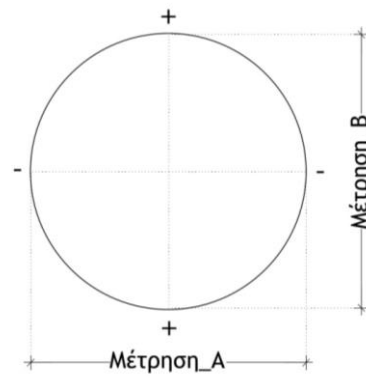
Έπειτα μετρούνται το δακτυλίδι που αποτελεί καλούπι και το υλικό σε δύο διευθύνσεις μετά την πήξη του, ώστε να υπολογιστεί η ακριβής συρρίκνωση του κάθε συνδυασμού.



Εικόνα 13: Μικρή κυλινδρική φόρμα χύτευσης κονιαμάτων



Εικόνα 14: Συσκευή μέτρησης διατομής



Σχήμα 2: Μετρήσεις διαμέτρου κυλινδρικού δοκιμίου

4.5.2 Κονίες

Κονίες είναι τα υλικά τα οποία όταν αναμειχθούν και υποστούν κατεργασία υπό ορισμένες αναλογίες με ένα ρευστό μέσο, συνήθως νερό, μεταβάλλονται σε εύπλαστο πολτό με συγκολλητικές ιδιότητες. Ο πολτός αυτός αποτελεί μετά την πήξη και σκλήρυνση το συνδετικό υλικό των κονιαμάτων για παράδειγμα τσιμεντοκονίαμα και άσβεστο-τσιμεντοκονίαμα. Με τον όρο πήξη εννοούμε το φαινόμενο κατά τη διάρκεια του οποίου ο πολτός μετατρέπεται από εύπλαστη μάζα σε υλικό με κάποια στερεότητα και μηχανική αντοχή. Με τον όρο σκλήρυνση εννοούμε το φαινόμενο που ακολουθεί χρονικά την πήξη και κατά τη διάρκεια του οποίου ο πολτός μεταβάλλεται σε στερεό σώμα αποκτώντας την τελική του αντοχή. Ανάλογα με την συμπεριφορά τους προς το νερό μετά την σκλήρυνση οι κονίες κατατάσσονται σε: α| Αερικές όπως ο άργιλος, ο πηλός, ο γύψος, η υδραυλική άσβεστος, οι οποίες πήζουν και σκληρύνονται στον ατμοσφαιρικό αέρα και σε β| Υδραυλικές όπως οι υδραυλική άσβεστος, ποζολανικές κονίες και τσιμέντο, οι οποίες οι οποίες μετά την σκλήρυνση τους συντηρούνται σε νερό οι σε περιοδικά υγραινόμενο περιβάλλον και άρα είναι αδιάλυτες στο νερό.

Ανάλογα με την προέλευσή τους οι κονίες διακρίνονται σε φυσικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται αυτούσιες όπως συναντώνται στη φύση, για παράδειγμα ο πηλός και οι ποζολάνες, καθώς και σε τεχνητές, οι οποίες παρασκευάζονται βιομηχανικά, όπως το τσιμέντο και η άσβεστος¹².

Οι παρακάτω κονίες αποτέλεσαν μέρος των πρώτων συνθέσεων, για παρατήρηση συμπεριφοράς τους, σε συνδυασμό με αδρανή και το υλικό απόβλητο.

Τσιμέντο (μαύρο) _ Ονομάζεται μία τεχνητή λεπτόκοκκη κονία, που προκύπτει από λεπτή άλεση του προϊόντος όπτησης μίγματος ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων, γνωστό διεθνώς ως Κλίνκερ. Μετά από ανάμιξη με νερό πήζει και σκληραίνει παρουσία αέρα και ύδατος. Η σκλήρυνσή του παρουσία νερού του εξασφαλίζει τις υδραυλικές ιδιότητες. Οι πρώτες ύλες για την παρασκευή του τσιμέντου, μετά από ξήρανση και καλή ανάμειξη, υποβάλλονται σε όπτηση στους 1400 °C, οπότε λαμβάνεται το κλίνκερ¹³.

¹² Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 47

¹³ Μαραβελάκη Π., Φθορά και συντήρηση δομικών υλικών μνημείων & αρχιτεκτονικών επιφανειών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2016, σελ.5

Τσιμέντο (λευκό) _ τα λευκά ή έγχρωμα τσιμέντα χρησιμοποιούνται όπου το επιβάλλουν απαιτήσεις αισθητικής για παράδειγμα ανεπίχριστα διακοσμητικά στοιχεία. Το λευκό τσιμέντο παρασκευάζεται από την άλεση κλίνκερ με μειωμένη περιεκτικότητα σε στοιχεία σιδήρου, σε μύλους ειδικών προδιαγραφών, με αποτέλεσμα να κοστίζει αρκετά παραπάνω από το κοινό¹⁴.

Άσβεστος (ή κεκαυμένη άσβεστος ή καυστική άσβεστος) ονομάζεται το οξείδιο του ασβεστίου, CaO (χρώματος λευκού), το οποίο προέρχεται από τη διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου στους 900 °C περίπου, με απαιτήσεις θερμότητας της τάξης των 880 Wh/Kg CaO. Το CaCO₃ είναι το κύριο συστατικό των ασβεστόλιθων, οι οποίοι περιέχουν και ξένες προσμίξεις. Η όπτηση του ασβεστόλιθου γίνεται σε υψικαμίνους¹⁵.

Υδραυλική Άσβεστος (NHL 3.5) _ Παρασκευάζεται από την όπτηση αργιλούχων ασβεστόλιθων σε καμίνια συνεχούς λειτουργίας και σε θερμοκρασία 1000-1200 °C. Το προϊόν σβήνεται (ξηρή σβέση) και διατίθεται στην αγορά σε μορφή σκόνης τεφρού ή καφέ ανοιχτού χρώματος¹⁶.

Ποζολάνη _ η ονομασία της προήλθε από την περιοχή Pozzuoli της Ιταλίας όπου οι Ρωμαίοι είχαν ανακαλύψει ότι το έδαφος παρουσίαζε υδραυλικές ιδιότητες και το χρησιμοποιούσαν στα κονιάματα τους (ρωμαϊκή κονία). Σήμερα ποζολάνες ονομάζονται οι λεπτότερες κόνιες πυριτικής συστάσεις με οξείδια του αργιλίου του σιδήρου του ασβεστίου και άλλα σε μικρότερη αναλογία. Ενώ χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρή υδραυλικότητα οι ποζολάνες ενυδατώνονται όπως και τα τσιμέντα όταν αναμιχθούν με κάποιο φυσικό διεγέρτη για παράδειγμα άσβεστος, γύψος, τσιμέντο. Χωρίζονται σε φυσικές ποζολάνες, όπως είναι για παράδειγμα η ηφαιστειογενής θηραϊκή γη, η μηλαϊκή γη και οι ιζηματογενείς γαίες διατομών, και σε τεχνητές ποζολάνες που προέρχονται από θερμική κατεργασία αργού υλικού που εμπεριέχει CaO και υδραυλικούς παράγοντες. Στις τεχνητές ποζολάνες συγκαταλέγονται η ιπτάμενη τέφρα, η οποία λαμβάνεται από τα φίλτρα των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, με καύσιμη ύλη το λιγνίτη, η σκωρία καμίνου και η πυριτική παιπάλη¹⁷.

¹⁴ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 141

¹⁵ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 48

¹⁶ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 51

¹⁷ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 52

Μετακαολίνη _ είναι ένα ποζολανικό υλικό, το οποίο παράγεται κατόπιν της θερμικής αποσύνθεσης του καολινίτη, η οποία συμβαίνει μεταξύ των 500 °C και των 950 °C (κατά άλλους 450-700 °C) όπου και καταστρέφεται η κρυσταλλική δομή του καολινίτη και απομακρύνονται τα OH, τα οποία συνδέονται ισχυρά στο κρυσταλλικό πλέγμα. Το πρωτογενές υλικό για την παραγωγή μετακαολίνη είναι ο καολίνης¹⁸.

Γύψος _ Όπως και η άσβεστος, η γύψος ανήκει στις παλαιότερες κονίες και έχει χρησιμοποιηθεί από την αρχαιότητα. Όλα τα είδη γύψου παρασκευάζονται με όπτηση σε διάφορες θερμοκρασίες πετρώματος γύψου (φυσική γύψος), που βρίσκεται στη φύση στη μορφή ένυδρου θεικού ασβεστίου ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) με διάφορες προσμίξεις. Η παγκόσμια ποσότητα εξόρυξης γύψου είναι της τάξης των πολλών δεκάδων τόνων ετησίως. Τα καλύτερα κοιτάσματα γύψου είναι στην περιοχή του Παρισιού, ενώ στη χώρα μας πλούσια κοιτάσματα βρίσκονται στη Δυτική Ελλάδα, στην Κρήτη και στα Δωδεκάνησα¹⁹.

4.5.3 Αδρανή

Αδρανή καλούνται τα κοκκώδη υλικά, τα οποία προκύπτουν από φυσική ή τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και μερικά τεχνητά υλικά (π.χ. σκωρίες υψικαμίνων). Η άμμος θεωρείται το πιο συνηθισμένο αδρανές υλικό των κονιαμάτων. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που: 1) να είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων, 2) να μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων, και 3) να μπορούν να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την συνδετική κονία. Το νερό που χρησιμοποιείται για τα κονιάματα, πρέπει να είναι απαλλαγμένο από επιβλαβείς προσμίξεις, όπως οργανικά και ανόργανα οξέα, λίπη και λάδια, διαλυτά σάκχαρα, αιωρούμενες ουσίες και υπερβολικά ποσά ευδιάλυτων αλάτων (κυρίως θειικών και χλωριούχων)²⁰.

¹⁸ Τεκίδης Σ.Κ., Ανθεκτικότητα κονιαμάτων γεωπολυμερών από μετακαολίνη και ασβεστολιθική άμμο, Δ.Π.Μ.Σ Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2013, σελ. 48

¹⁹ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 50

²⁰ Μαραβελάκη Π., Φθορά και συντήρηση δομικών υλικών μνημείων & αρχιτεκτονικών επιφανειών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2016, σελ.7

Τα παρακάτω αδρανή χρησιμοποιήθηκαν με διάφορους συνδυασμούς με κονίες και απόβλητο υλικό.

Γαρμπίλι

Νταμαρίσια Άμμος

Μαρμαρόσκονη

Αλουμίνα_1 (Λεπτόκοκκο | Χονδρόκοκκο)

Αλουμίνα_2 (Λεπτόκοκκο | Χονδρόκοκκο)

Περλίτης

4.5.4 Κονιάματα

Κονίαμα ονομάζεται γενικά κάθε μίγμα μίας ή περισσοτέρων κονιών με άμμο (διαμέτρου συνήθως μέχρι 4 mm) και νερού. Με βάση την χρήση τους, τα κονιάματα διακρίνονται σε κονιάματα φερόντων δομικών στοιχείων (π.χ. λιθοδομές, οπτοπλινθοδομές) και σε κονιάματα μη φερόντων δομικών στοιχείων (π.χ. κονιάματα επιχρισμάτων). Με βάση τις ιδιότητες των κονιών στις οποίες βασίζονται, χωρίζονται κυρίως σε αερικά και υδραυλικά, ενώ με βάση την ποσότητα της χρησιμοποιούμενης κονίας διακρίνονται σε κανονικά (που περιέχουν όση κονία απαιτείται για να πληρωθούν τα κενά της άμμου), ισχνά (στα οποία η χρήση μικρότερης από την κανονική ποσότητα κονίας οδηγεί σε μικρότερες αντοχές και έχει ως αποτέλεσμα επιφάνειες που τρίβονται σχετικά εύκολα) και παχιά (που είναι πλούσια σε κονία με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται από σημαντική συστολή λόγω ξήρανσης που προκαλεί ρωγμές στις επιφάνειες)²¹.

4.5.5 Δοκιμές - Σύνθεση κονιαμάτων αναλυτικά

Για διευκόλυνση, στην παρακάτω περιγραφή της διαδικασίας, το υλικό απόβλητο που παράγεται από την κοπή και επεξεργασία της πέτρας θα αναφέρεται ως sw (stone waste).

²¹ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ. 52

4.5.5.1 Σύνθεση #1

150 gr SW

150 gr Άμμος Νταμαρίσια

10 gr Νερό



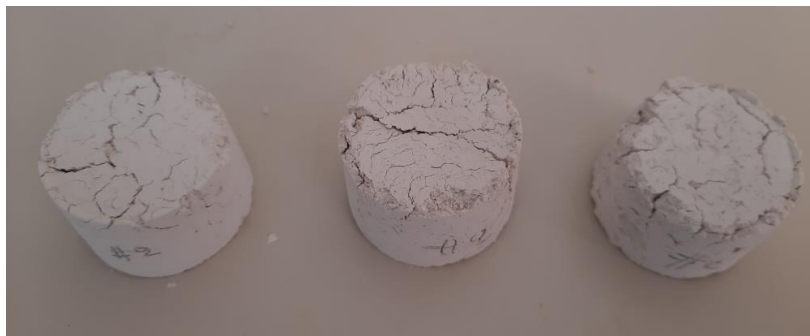
Εικόνα 15: Κονίαμα #1

Το κονίαμα#1 έχει ρηγματώσεις σε όλη την επιφάνεια του λόγω έλλειψης συνδετικής κονίας

4.5.5.2 Σύνθεση #2

150 gr SW

75 gr Άμμος Νταμαρίσια



Εικόνα 16: Κονίαμα #2

Το κονίαμα#2 έχει μεγάλες ρηγματώσεις στο σώμα και την επιφάνεια του λόγω έλλειψης συνδετικής κονίας και αδρανών μικρής διατομής (έως 4mm)

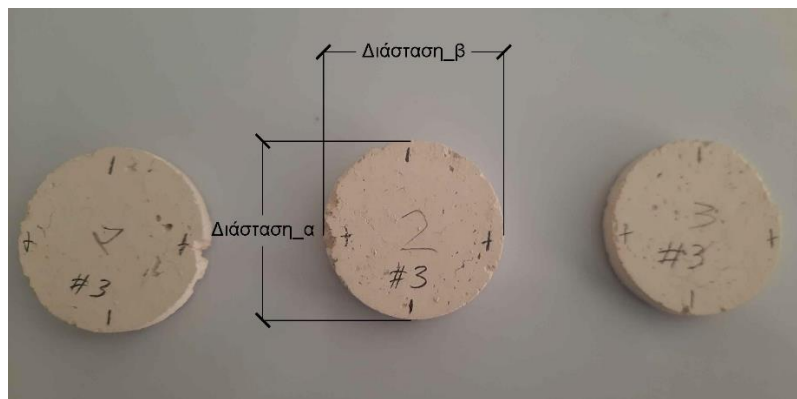
4.5.5.3 Σύνθεση #3

100gr SW

100 gr Άμμος Νταμαρίσια

50 gr Άσβεστος

40 gr νερό



Εικόνα 17: Κονίαμα #3

Πίνακας 2: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #3

Σύνθεση #3	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	45,83	45,24	44,68	45,14
	S2	45,83	45,54	45,21	
	S3	45,83	45,34	44,83	

Το ξεκαλούπωμα και η μέτρηση των διαστάσεων των διατομών των δειγμάτων έγινε μετά το πέρας 72 ωρών. Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#3 υπολογίζεται: $45,83-45,14=0,69$ και $(0,69/45,83)\times 100=1,51$ οπότε 1,51%

4.5.5.4 Σύνθεση #4

100 gr SW

100 gr Άμμος Νταμαρίσια

30 gr Τσιμέντο



Εικόνα 18: Κονίαμα #4

Πίνακας 3: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #4

Σύνθεση #4	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,23	45,90	45,48	45,71
	S2	46,23	45,74	45,73	
	S3	46,23	45,57	45,81	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#4 υπολογίζεται:
 $46,23-45,71=0,52$ και $(0,52/46,23)\times 100=1,12$ οπότε είναι 1,12%

4.5.5.5 Σύνθεση #5

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

20gr Τσιμέντο

20gr Άσβεστος

15gr νερό



Εικόνα 19: Κονίαμα #5

Πίνακας 4: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #5

Σύνθεση #5	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,44	45,70	45,51
	S2	46,13	45,44	45,42	
	S3	46,13	45,52	45,56	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #5 είναι 1,34%

4.5.5.6 Σύνθεση #6

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

30gr Γύψος



Εικόνα 20: Κονίαμα #6

Πίνακας 5: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #6

Σύνθεση #6	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,99	45,69	45,85
	S2	46,13	45,97	45,68	
	S3	46,13	46,06	45,71	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#6 είναι 0,61%. Η σύνθεση με κονία γύψου έχει το μικρότερο ποσοστό συρρίκνωσης από τα 16 κονιάματα. Η ταχύτατη (όμως) πήξη του κατά την εργασία, ο σχετικά μεγάλος αριθμός πορώδους και η αφαίρεση υλικού των ακμών του κατά το

ξεκαλούπωμα, αποτέλεσαν συμπεράσματα για να μην επιλεγθεί το κονίαμα για επόμενους ελέγχους.

4.5.5.7 Σύνθεση #7

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

20gr Τσιμέντο



Εικόνα 21: Κονίαμα #7

Πίνακας 6: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #7

Σύνθεση #7	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,53	46,11	45,54	45,77
	S2	46,53	46,16	45,38	
	S3	46,53	46,11	45,32	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #7 είναι 1,63%

4.5.5.8 Σύνθεση #8

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

15gr Τσιμέντο

15gr Άσβεστος



Εικόνα 22: Κονίαμα #8

Πίνακας 7: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #8

Σύνθεση #8	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,52	45,36	45,45
	S2	46,13	45,81	45,08	
	S3	46,13	45,73	45,19	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #8 είναι 1,69%

4.5.5.9 Σύνθεση #9

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

20gr Λευκό Τσιμέντο



Εικόνα 23: Κονίαμα #9

Πίνακας 8: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #9

Σύνθεση#9	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,65	45,56	45,68
	S2	46,13	45,90	45,51	
	S3	46,13	45,93	45,55	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#9 είναι 0,96%

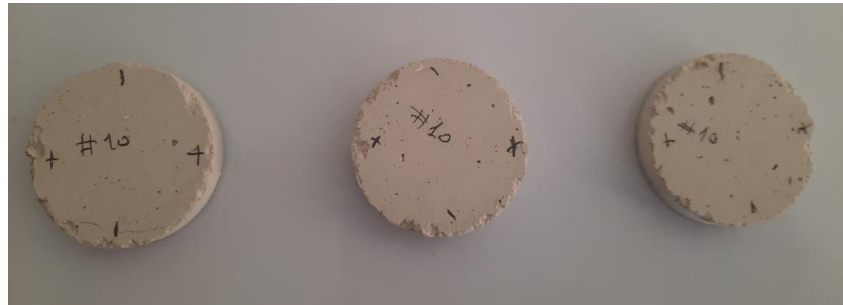
4.5.5.10 Σύνθεση #10

100gr SW

100gr Αλουμίνα_1

20gr Τσιμέντο

20gr Άσβεστος



Εικόνα 24: Κονίαμα #10

Πίνακας 9: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #10

Σύνθεση#10	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	47,62	47,30	46,81	47,15
	S2	47,62	47,21	46,67	
	S3	47,62	47,37	46,56	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#10 είναι 0,99%

4.5.5.11 Σύνθεση #11

100gr SW

100gr Αλουμίνα_2

20gr Τσιμέντο

20gr Άσβεστος

20gr Νερό



Εικόνα 25: Κονίαμα #11

Πίνακας 10: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #11

Σύνθεση #11	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,75	45,26	45,59
	S2	46,13	45,84	45,45	
	S3	46,13	45,92	45,32	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #11 είναι 1,17%

4.5.5.12 Σύνθεση #12

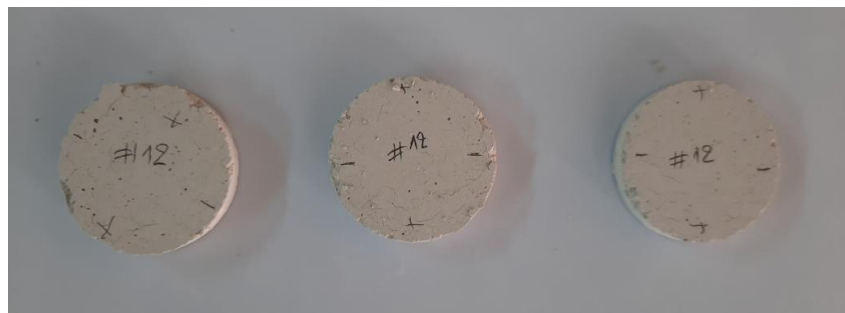
100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

20gr Τσιμέντο

20gr Άσβεστος

15gr Νερό



Εικόνα 26: Κονίαμα #12

Πίνακας 11: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #12

Σύνθεση#12	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,40	45,60	45,45	45,63
	S2	46,40	46,00	45,50	
	S3	46,40	45,75	45,50	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#12 είναι 1,66%

4.5.5.13 Σύνθεση #13

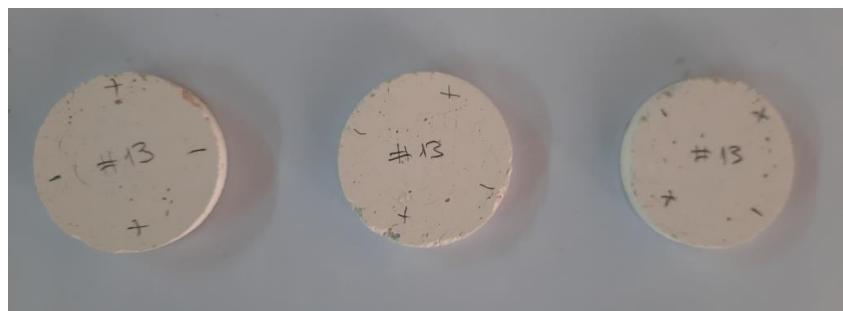
100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

10gr Μετακαολίνη

30gr Άσβεστος

20gr Νερό



Εικόνα 27: Κονίαμα #13

Πίνακας 12: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #13

Σύνθεση #13	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,40	45,50	44,85	45,09
	S2	46,40	45,00	44,50	
	S3	46,40	45,50	45,20	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #13 είναι 2,82%

4.5.5.14 Σύνθεση #14

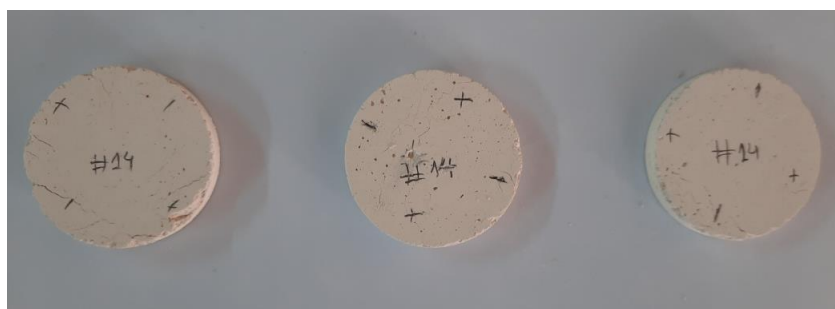
100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

15gr Ποζολάνη

25gr Άσβεστος

18gr Νερό



Εικόνα 28: Κονίαμα #14

Πίνακας 13: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #14

Σύνθεση#14	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,20	45,05	45,18
	S2	46,13	45,35	45,05	
	S3	46,13	45,30	45,10	

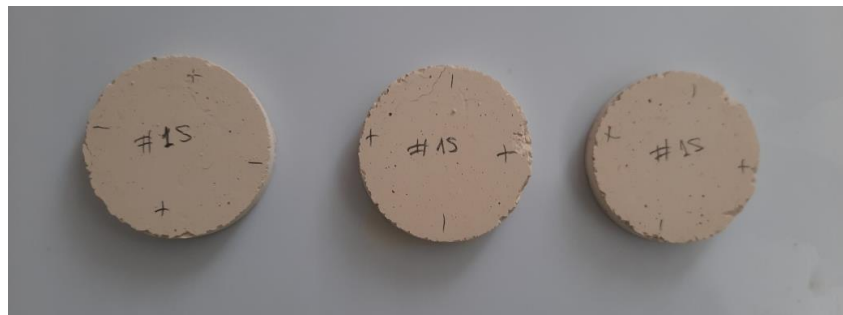
Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα#14 είναι 2,06%

4.5.5.15 Σύνθεση #15

100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

40gr Υδραυλική Άσβεστος (NHL 3.5)



Εικόνα 29: Κονίαμα #15

Πίνακας 14: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #15

Σύνθεση #15	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,13	45,90	45,35	45,63
	S2	46,13	45,85	45,30	
	S3	46,13	45,95	45,40	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #15 είναι 1,08%. Παρατηρείται ότι από τα κονιάματα που δεν περιέχουν τσιμέντο ως συγκολλητική κονία, δηλαδή ανάμεσα σε συνδυασμούς με ποζολάνη, μετακαολίνη και υδραυλική άσβεστο, η τελευταία δίνει αρκετά καλύτερα αποτελέσματα ως προς την συρρίκνωση.

4.5.5.16 Σύνθεση #16

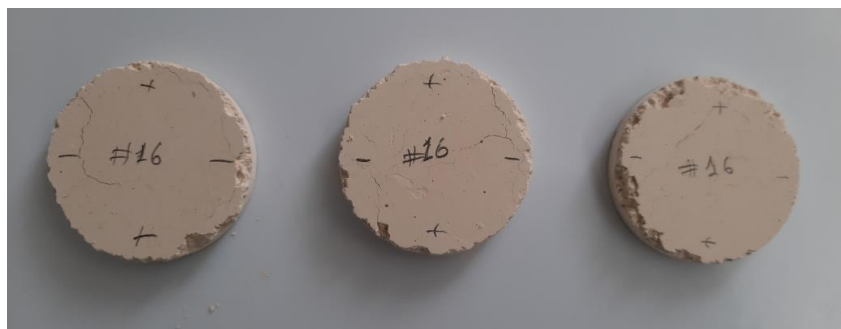
100gr SW

100gr Άμμος Νταμαρίσια

20gr Λευκό Τσιμέντο

15gr Άσβεστος

15gr Νερό



Εικόνα 30: Κονίαμα #16

Πίνακας 15: Διαστάσεις διαμέτρου δοκιμίου σύνθεσης #16

Σύνθεση #16	Δείγμα	Διάμετρος Δαχτυλιδιού (mm)	Διάσταση_A (mm)	Διάσταση_B (mm)	Average (mm)
	S1	46,00	45,80	45,58	45,62
	S2	46,00	45,60	45,49	
	S3	46,00	45,70	45,53	

Το ποσοστό συρρίκνωσης του δοκιμίου με το κονίαμα #16 είναι 0,83%. Παρατηρείται ότι η προσθήκη άσβεστου στην σύνθεση κονιάματος με λευκό τσιμέντο, δίνει ακόμα καλύτερα αποτελέσματα ως προς την συρρίκνωση από ότι σε κονίαμα απουσίας άσβεστου όπως το κονίαμα #9.

4.5.6 Συμπεράσματα _ Αποτελέσματα

Από τους παραπάνω δέκα-έξι συνδυασμούς κονιαμάτων, επιλέχθηκαν έξι για το επόμενο στάδιο του ελέγχου μηχανικών αντοχών.

Σύνθεση #5 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Τσιμέντο

Σύνθεση #9 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Λευκό Τσιμέντο

Σύνθεση #13 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Μετακαολίνη _ Άσβεστος

Σύνθεση #14 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Ποζολάνη _ Άσβεστος

Σύνθεση #15 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Υδραυλική Άσβεστος (NHL 3,5)

Σύνθεση #16 | SW _ Άμμος Νταμαρίσια _ Λευκό Τσιμέντο _ Άσβεστος

Από τη διεθνή βιβλιογραφία καταγράφονται τιμές συρρίκνωσης από 1,1% έως 1,7% σε παρόμοια υλικά και γι' αυτό θεωρούμε τις τιμές συρρίκνωσης που μετρήθηκαν ικανοποιητικές^{22,23}, με μικρό αριθμό πορώδους (αρχικά) βάσει εικόνας τους, χωρίς σημαντική αφαίρεση υλικού των ακμών κατά το ξεκαλούπωμα λόγω ομοιογενούς μείγματος, χωρίς μεγάλους πόρους. Επίσης τα κονιάματα που επιλέχθηκαν εκτός των παραπάνω κριτηρίων, είναι συνδυασμοί με διαφορετική συγκολλητική κονία ή επιπλέον υλικά (όπως στην περίπτωση της σύνθεσης #19 που εκτός του λευκού τσιμέντου προστίθεται και υδράσβεστος), ούτως ώστε να ερευνηθούν διαφορετικοί συνδυασμοί κονιαμάτων, διαχωρίζοντας τα βάσει εργαστηριακών ελέγχων και επιλέγοντας τα κατάλληλα.

4.5.7 Χυτεύσεις επιλεχθέντων κονιαμάτων σε μήτρες

Στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν οι χυτεύσεις των έξι επιλεχθέντων κονιαμάτων, με την ίδια αναλογία υλικών (%) με τον πρώτο έλεγχο, σε μεγαλύτερη ποσότητα για την πλήρωση των μήτρων.

²² Arizzi A., Cultrone G., The water transfer properties and drying shrinkage of aerial lime- based mortars: an assessment of their quality as repair rendering materials Environ Earth Sci (2014) 71:1699–1710 DOI 10.1007/s12665-013-2574-x)

²³ Sánchez J. A., Barrios J., Materiales De Construcción, The shrinkage in lime mortars vol 47, nº 245, 1997, page 25



Εικόνα 31: Μηχανή (σταθερή) ανάδευσης υλικών



Εικόνα 32: Μεταλλική μήτρα 3x 4x4x16



Εικόνα 33: Δοχείο ανάδευσης

4.5.7.1 Σύνθεση #5

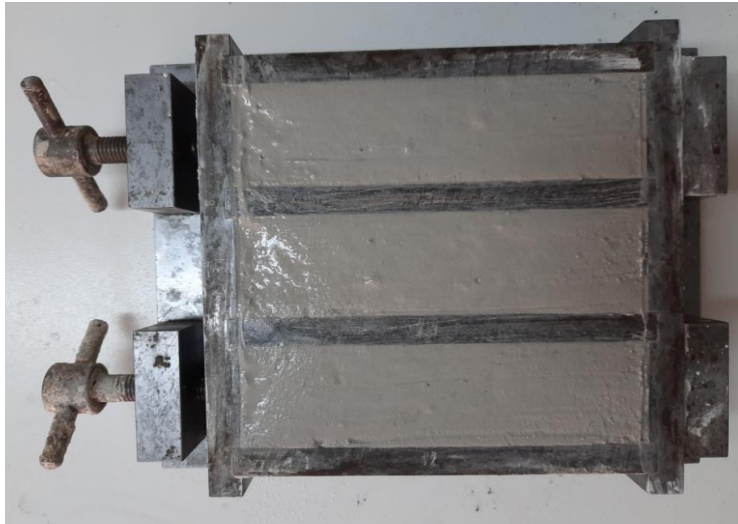
1550gr SW

1550gr Άμμος Νταμαρίσια

310gr Τσιμέντο

310gr Άσβεστος

380gr νερό



Εικόνα 34: Κονίαμα #5 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

4.5.7.2 Σύνθεση #9

665gr SW

665gr Άμμος Νταμαρίσια

133gr Λευκό Τσιμέντο

90gr Νερό



Εικόνα 35: Κονίαμα #9 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

4.5.7.3 Σύνθεση #13

775gr SW

775gr Άμμος Νταμαρίσια

78gr Μετακαολίνη

233gr Άσβεστος

200gr Νερό



Εικόνα 36: Κονίαμα #13 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

4.5.7.4 Σύνθεση #14

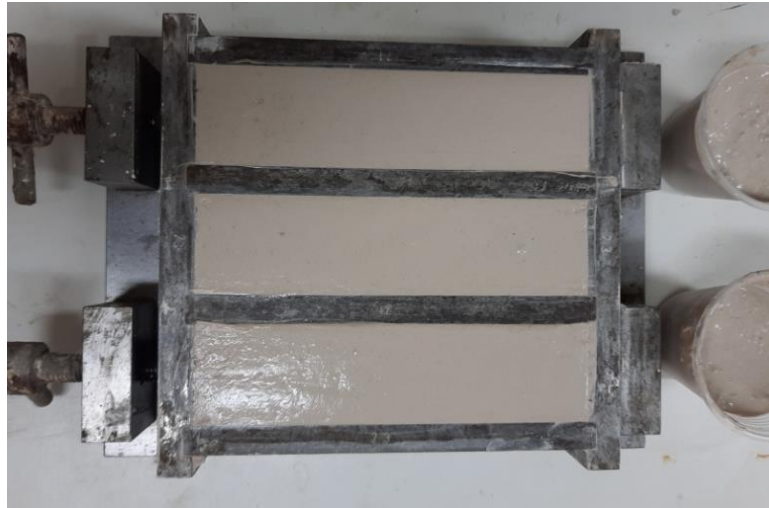
665gr SW

665gr Άμμος Νταμαρίσια

133gr Ποζολάνη

222gr Άσβεστος

240gr Νερό



Εικόνα 37: Κονίαμα #14 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

*Κατά το ξεκαλούπωμα του συγκεκριμένου υλικού από τις μήτρες, ένα εκ των τριών δοκιμίων αποδιοργανώθηκε, με αποτέλεσμα την μεταφορά των δύο στο εργαστήριο (μηχανικής πετρωμάτων για την διαδικασία θραύσης).

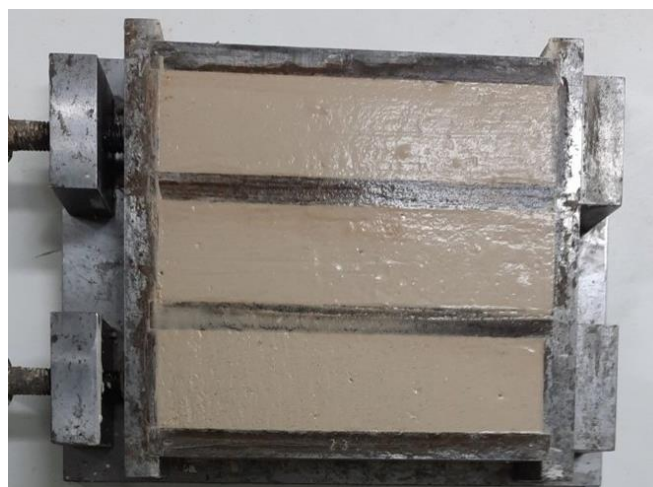
4.5.7.5 Σύνθεση #15

887gr SW

887gr Άμμος Νταμαρίσια

335gr Υδραυλική Άσβεστος (NHL 3.5)

200gr Νερό



Εικόνα 38: Κονίαμα #15 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

4.5.7.6 Σύνθεση #16

887gr SW

887gr Άμμος Νταμαρίσια

178gr Λευκό Τσιμέντο

133gr Άσβεστος

200gr Νερό



Εικόνα 39: Κονίαμα #16 σε μεταλλική μήτρα (πριν την πήξη)

4.5.8 Συντήρηση δοκιμίων



Εικόνα 40: Θάλαμος συντήρησης δοκιμίων 20 °C

4.5.9 Έλεγχος μηχανικών αντοχών

Με το πέρας είκοσι-οχτώ ημερών από την χύτευση των έξι συνδυασμών στις μήτρες, τα δοκίμια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο της Μηχανικής Πετρωμάτων, για την εργαστηριακή διαδικασία μηχανικών ιδιοτήτων(αντοχών).

Ως Αντοχή (ή Αντίσταση) ενός υλικού ορίζεται γενικά η ικανότητα του να μεταφέρει φορτία. Η ιδιότητα του αυτή εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως είναι η γεωμετρία του δομικού στοιχείου που είναι κατασκευασμένο από το υλικό αυτό, ο τρόπος φόρτισης και το ίδιο το υλικό. Σε κάθε τύπο φόρτισης αντιστοιχεί και μία συγκεκριμένη ανάπτυξη και κατανομή τάσεων και παραμορφώσεων. Το υλικό αστοχεί όταν οι τάσεις (ή παραμορφώσεις) φθάσουν μερικές (ή οριακές) τιμές, χαρακτηριστικές για κάθε υλικό και τύπο φόρτισης. Για απλές περιπτώσεις θλίψης, η αντοχή ενός υλικού καθορίζεται από τη μέγιστη τάση του διαγράμματος τάσεων-παραμορφώσεων που αντιστοιχεί στις φορτίσεις αυτές²⁴.

²⁴ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013,σελ.30-31



Εικόνα 41: Πρέσα θραύσης δοκιμίων - Δοκίμιο σύνθεσης #18

Έλεγχος μηχανικών αντοχών - Ωρίμανση 28 ημερών :

4.5.9.1 Σύνθεση #5

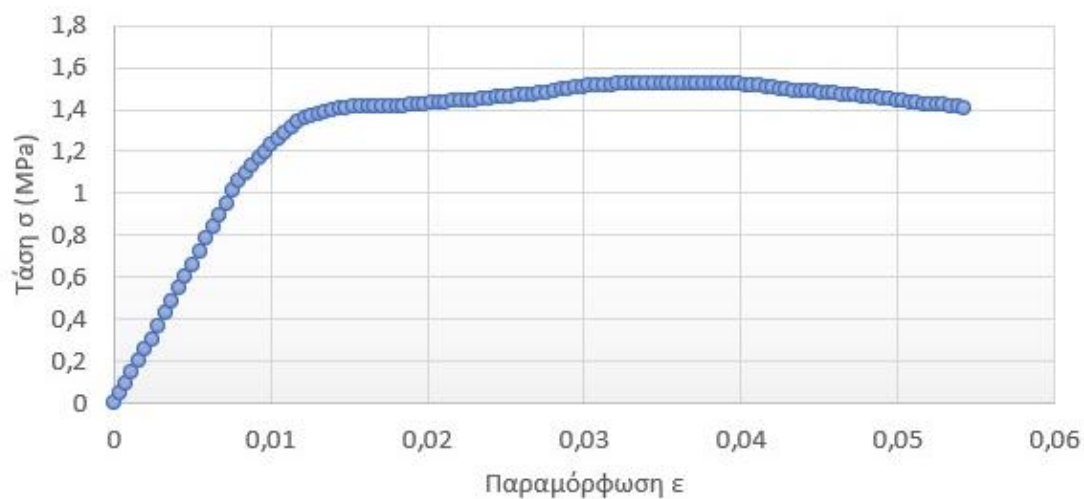
SW | Άμμος | Τσιμέντο | Άσβεστος

Πίνακας 16: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #5

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #5	1	0,39	0,37	0,013
	2	0,37		
	3	0,36		

Πίνακας 17: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #5

Θλίψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #5	1	1,52554	1,51269	0,22482	0,1309	0,14008	0,02551
	2	1,16073			0,1198		
	3	1,64806			0,1558		
	4	1,26939			0,1231		
	5	1,76604			0,1901		
	6	1,70640			0,1208		



Σχήμα 3: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #5

4.5.9.2 Σύνθεση #9

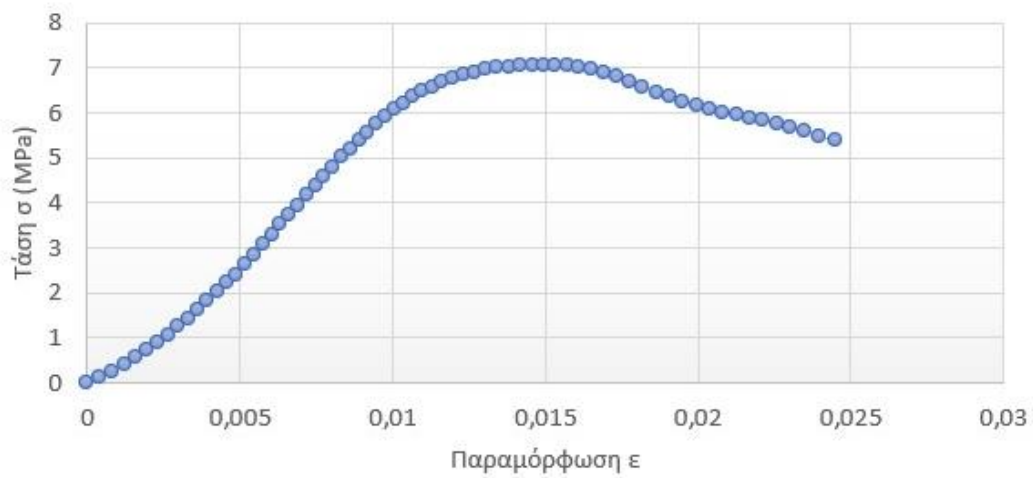
SW | Άμμος | Λευκό Τσιμέντο | Άσβεστος

Πίνακας 18: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #9

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #9	1	1,40	1,375	0,025
	2	1,35		
	3	-		

Πίνακας 19: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #9

Θλίψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (GPa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση#9	1	6,86594	7,19351	0,23970	0,4612	0,46733	0,17304
	2	7,44713			0,6268		
	3	7,06396			0,5938		
	4	7,39701			0,1875		
	5	-			-		
	6	-					



Σχήμα 4: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #9

4.5.9.3 Σύνθεση #13

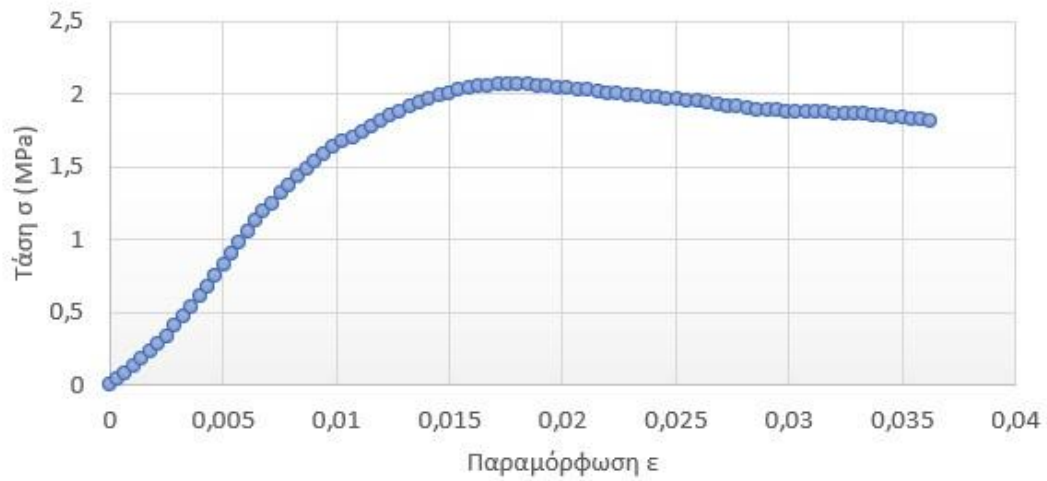
SW | Άμμος | Μετακαολίνη | Άσβεστος

Πίνακας 20: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #13

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #13	1	0,31	0,35	0,067
	2	0,44		
	3	0,29		

Πίνακας 21: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #13

Θλίψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #13	1	1,85253	2,07692	0,13003	0,0809	0,16038	0,04392
	2	2,06205			0,1812		
	3	2,27953			0,1332		
	4	2,15041			0,1583		
	5	2,01526			0,1940		
	6	2,10174			0,2147		



Σχήμα 5: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #13

4.5.9.4 Σύνθεση #14

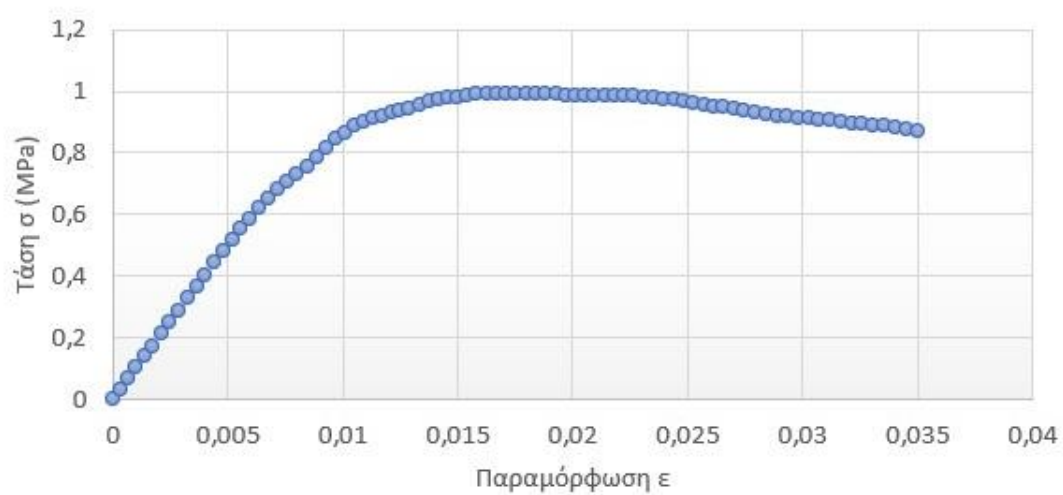
SW | Άμμος | Ποζολάνη | Άσβεστος

Πίνακας 22: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #14

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #14	1	0,16	0,19	0,030
	2	0,22		

Πίνακας 23: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #14

Θλίψη	Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #14	1	0,86210	0,85398	0,10381	0,0657	0,07147
	2	0,99193				
	3	0,69926				
	4	0,86263				
	5	-				
	6	-				
						0,01430



Σχήμα 6: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #14

4.5.9.5 Σύνθεση #15

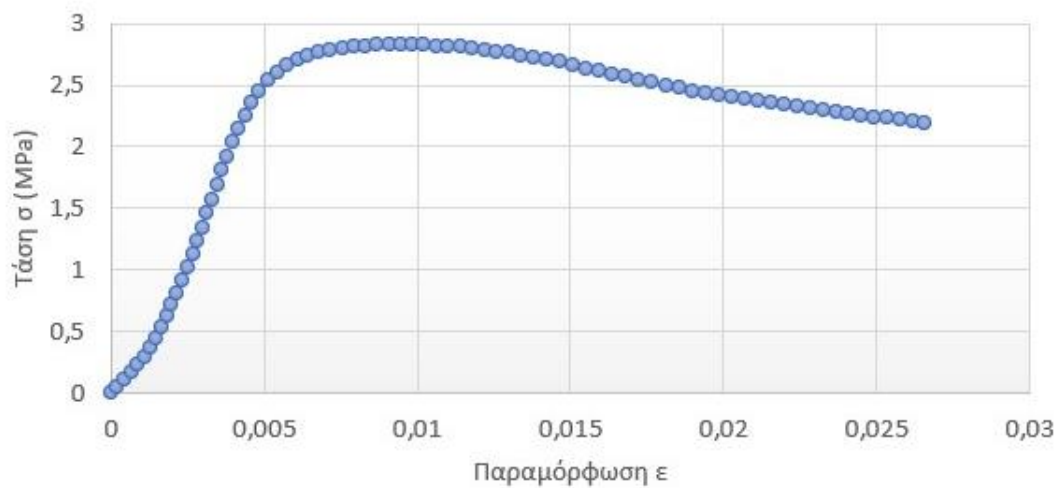
SW | Άμμος | Υδραυλική Άσβεστος (NHL 3.5)

Πίνακας 24: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #15

Κάμψη		Αντοχή (Μpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #15	1	0,53	0,43	0,086
	2	0,32		
	3	0,43		

Πίνακας 25: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #15

Θλίψη		Αντοχή (Μpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #15	1	2,71488	2,81548	0,08705	0,6637	0,49192	0,09380
	2	2,82920			0,5292		
	3	2,70211			0,4672		
	4	2,80686			0,3952		
	5	2,90540			0,3845		
	6	2,93442			0,5117		



Σχήμα 7: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #15

4.5.9.6 Σύνθεση #16

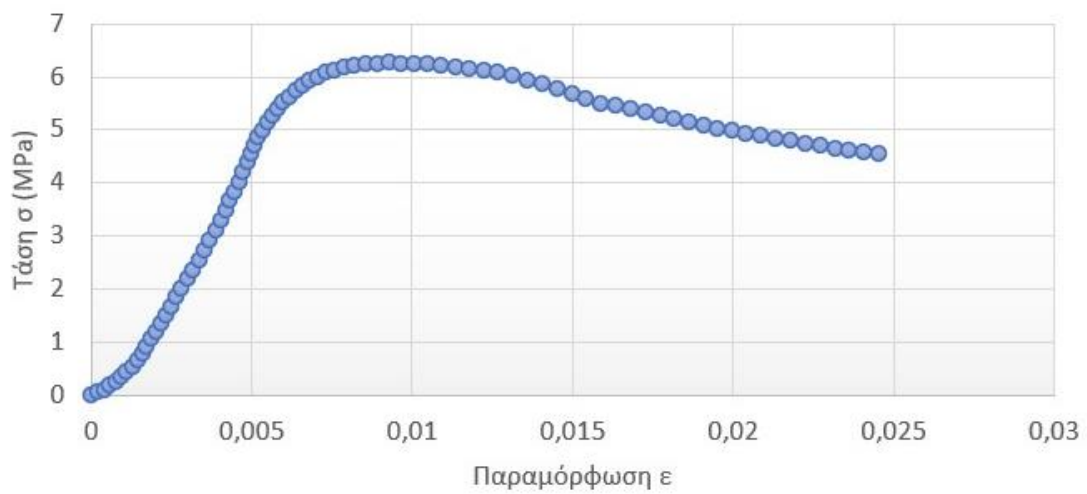
SW | Άμμος | Λευκό Τσιμέντο | Άσβεστος

Πίνακας 26: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #16

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #16	1	1,36	1,43	0,066
	2	1,42		
	3	1,52		

Πίνακας 27: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #16

Θλίψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση#16	1	6,45088	6,23501	0,26194	0,6720	0,54703	0,17539
	2	6,34167			0,5974		
	3	6,44414			0,3291		
	4	5,67861			0,5094		
	5	6,25377			0,8262		
	6	6,24099			0,3481		



Σχήμα 8: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #16

4.5.10 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών επιλεχθέντων κονιαμάτων

Πίνακας 28: Ποσότητες και αναλογίες υλικών επιλεχθέντων κονιαμάτων

Κονίαμα	#5	#9	#13	#14	#15	#16
Ημερομηνία Χύτευσης	28/9/21	01/10/21	28/9/21	01/10/21	12/10/21	12/10/21
Ημερομηνία Θραύσης	26/10/21	29/10/21	26/10/21	29/10/21	09/11/21	09/11/21
NHL 3,5 (gr)					355	
Ποζολάνη (gr)				133		
Μετακαολίνη(gr)			77,5			
Τσιμέντο (gr)	310					
Λευκό Τσιμέντο (gr)		133				178
Άσβεστος (gr)	310		232,5	222		133
Αδρανή (gr)	1550	665	775	887	887	887
Κονία / Αδρανή	0,40	0,20	0,40	0,40	0,40	0,35
Απόβλητο Υλικό (SW) (gr)	1550	665	775	887	887	887
Απόβλητο / Αδρανή	1	1	1	1	1	1
Νερό (gr)	380	90	200	240	200	200
Νερό / Κονία	0,61	0,68	0,64	0,68	0,68	0,68

*Συγκεντρωτικός πίνακας ποσοτήτων υλικών - αναλογιών - Πειραματικό μέρος I στον λόγο κονία/αδρανή, δεν συμπεριλαμβάνεται το απόβλητο υλικό ως αδρανές.

*Η κοκκομετρία των αδρανών στο (παραπάνω) Πειραματικό μέρος I είναι έως 4mm.

4.6 Συμπεράσματα | Πειραματική ενότητα I

Από τις τιμές των εργαστηριακών δοκιμών για τους παραπάνω έξι συνδυασμούς και αναλύοντας τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης τους, έπειτα από ωρίμανση 28 ημερών παρατηρούμε αντοχές μικρότερες των 2,50 MPa για τα κονιάματα #5(τσιμέντο και άσβεστο), #13 (Μετακαολίνη, οριακή τιμή) και #14 (ποζολάνη και άσβεστο) και στα εξής τρία κονιάματα, αντοχή μεγαλύτερη των 2,50 MPa, σύνθεση#9 (λευκό τσιμέντο), σύνθεση#16 (λευκό τσιμέντο και άσβεστο), σύνθεση #15 (υδραυλική άσβεστο | NHL 3.5).

Για χρήση του κονιάματος για κατασκευή αρμών τοιχοδομών και με βάση την αντοχή τους, οι παραπάνω τιμές κρίνονται ικανοποιητικές, εφόσον αποσκοπούμε σε ένα κονίαμα αντοχής σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα²⁵.

Πίνακας 29: Αναλογία κατ' όγκον υλικών κονιαμάτων κατά EN 998-2 | ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6.2, Καραντώνη Φ., σελ.41

Ποιότητα Κονιάματος	Χαρακτηριστική Θλιπτική Αντοχή (MPa)	Κατ' όγκον αναλογία		
		Τσιμέντο	Άσβεστος	Άμμος
M 2.5	2.5	1	3	9
M 5	5.	1	2	6
M 10	10.	1	0.5	5
M 20	20.	1	-	3

Από τους τρεις παραπάνω συνδυασμούς επιλέχθηκε η σύνθεση#16 λόγω καλύτερης εργασιμότητας και εφαρμόστηκε σε επιφάνεια λιθοδομής, (δοκιμή ως επίχρισμα) ώστε να παρατηρηθεί η φυσική διαδικασία ωρίμανσης του κονιάματος σε πραγματικές συνθήκες.

²⁵ Καραντώνη Φ., Κατασκευές από τοιχοποιία, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004, σελ.41



Εικόνα 42: Εφαρμογή υλικού σε εξωτερική επιφάνεια πεσσού

Οι απαιτήσεις στην θλιπτική αντοχή κονιαμάτων που προορίζονται για χρήση επιχρίσματος, γενικά είναι δευτερευούσης σημασίας, αλλά μεγαλύτερη σημασία έχει η πρόσφυση, η αποφυγή ρηγματώσεων και ειδικότερα στα εξωτερικά επιχρίσματα και η υδατοστεγανότητα²⁶. Τα κονιάματα επιχρισμάτων θα πρέπει να έχουν ικανοποιητική πλαστιμότητα και εργασιμότητα, να είναι συνεκτικά και να έχουν ομοιόμορφη και ομαλή στερεοποίηση²⁷.

²⁶ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ.55

²⁷ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζιόλα, 2021, σελ.429



Εικόνα 43: Κονίαμα, επτά μήνες μετά από την εφαρμογή του

Συμπεραίνουμε από την παραπάνω, πρώτη πειραματική ενότητα ότι τρία εκ των έξι επιλεχθέντων κονιαμάτων, πληρούν τις απαιτήσεις για εφαρμογή όσον αφορά στην αντοχή τους, για χρήση κονιάματος αρμών και για χρήση επιχρίσματος. Παρατηρήθηκε ότι το υλικό μετά το πέρας επτά μηνών, έχει μικρές ρηγματώσεις. Συμπεριλαμβάνοντας εκτός από την αντοχή των κονιαμάτων σύμφωνα με τα διαγράμματα και την πλαστικότητα, την ικανότητά (του κονιάματος) να αναπτύσσει πλαστικές παραμορφώσεις, δηλαδή σημαντικές μόνιμες παραμορφώσεις υπό σχεδόν σταθερή τάση, χωρίς να θραύεται²⁸ και όχι μόνο στα τρία επιλεχθέντα κονιάματα, αλλά σε όλα τα κονιάματα παρουσία του συγκεκριμένου απόβλητου (όπως φαίνεται και σε επόμενες πειραματικές ενότητες), αποτελεί σημαντικό στοιχείο για χρήση επιχρίσματος και αξίζει να σημειωθεί ότι με προσθήκη ινών με σκοπό την αποφυγή και τον έλεγχο ρηγματώσεων, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα σε πλήρωση αρμών παλαιών κτισμάτων φέρουσας τοιχοποιίας ή για χρήση επιχρίσματος. Για τον λόγο αυτό, το υλικό ξαναδοκιμάστηκε στις ίδιες συνθήκες με προσθήκη ινών πολυπροπυλενίου και άμμο νταμαρίσια κατ' ελάχιστο μεγαλύτερης κοκκομετρίας. Τα αποτελέσματα έπειτα από παρατήρηση δύο μηνών, ήταν το νέο υλικό να μην έχει αναπτύξει καμιά ρωγμή, παρόλο που το πάχος του

²⁸ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ.35

κυμάνθηκε από 10 έως 40mm λόγω της επιφάνειας του πεσσοῦ που εφαρμόστηκε.



Εικόνα 44: Εφαρμογή υλικού με προσθήκη ινών (νέο υλικό στα αριστερά)



Εικόνα 45: Σύγκριση υλικών (υλικό με ίνες στα αριστερά)

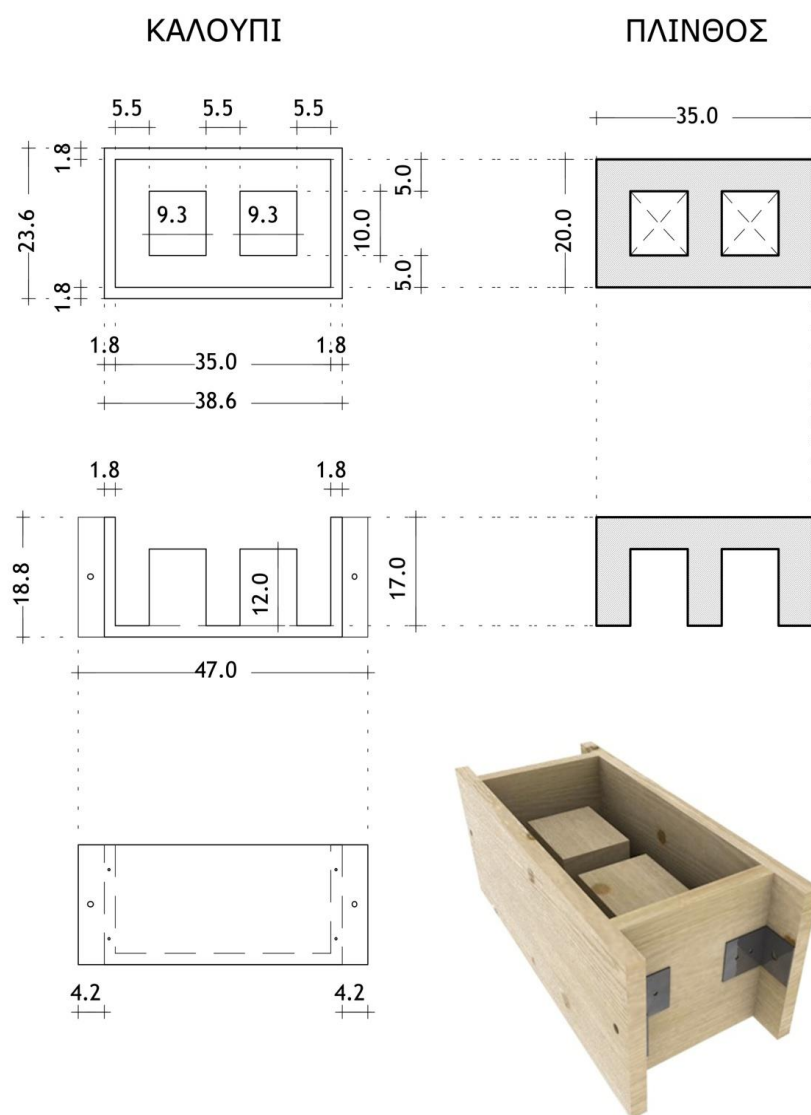
5.Εργαστηριακό Μέρος II | Δοκιμή κατασκευής πλίνθου

5.1 Εισαγωγή

Το δεύτερο πειραματικό μέρος αφορά στο σενάριο κατασκευής πλίνθου, τεχνητού λιθοσώματος, με κονίαμα μέρους του οποίου θα περιέχει το απόβλητο υλικό της πέτρας.

5.2 Κατασκευή ξύλινου καλουπιού για κατασκευή πλίνθου

Αρχικά ξεκινήσαμε σχεδιάζοντας και κατασκευάζοντας μία μήτρα, ένα καλούπι από ξύλο, μέσα στο οποίο θα γινόταν η χύτευση των νέων κονιαμάτων για κατασκευή πλίνθων.



Εικόνα 46: Σχέδιο και Απεικόνιση καλουπιού κατασκευής πλίνθου

Το καλούπι σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε έτσι, ώστε ο νέος πλίνθος να ενταχθεί, όσον αφορά στις διαστάσεις του, στην κατηγορία (ομάδα) 2 και συγκεκριμένα για (τσιμεντό)πλίνθους:

Τεχνητοί δομικοί διάκενοι λίθοι (κατά DIN 18151) είναι λίθοι τοιχοποιίας μεγάλων διαστάσεων με διάκενα κλειστά από τις πέντε πλευρές τους ²⁹.

Ποσοστού κενών μεταξύ 25% και 50%

Κάθε μεμονωμένη οπή έχει μικρότερο όγκο από 15% και συνολικά μέχρι 30%

Πάχος τοιχωμάτων των οπών τουλάχιστον 15mm και του περιμετρικού τοιχώματος 20 mm

Το άθροισμα του πάχους των τοιχωμάτων των οπών, αλλά και του εξωτερικού τοιχώματος, μετρούμενο οριζοντίως και εγκάρσιως στο επίπεδο του τοίχου δεν είναι ποθενά μικρότερο του 20% του ολικού πλάτους του τοιχοσώματος³⁰.



Εικόνα 47: Νέα ξύλινη μήτρα

²⁹ Wendehorst R., Δομικά Υλικά, 2η έκδοση μετάφραση της 21ης αναθεωρημένης γερμανικής έκδοσης, εκδ. Μ. Γκιούρδας, Αθήνα, 2003, σελ.238

³⁰ Καραντώνη Φ., Κατασκευές από τοιχοποιία, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004, σελ.29-30



Εικόνα 48: Διαδικασία κατασκευής ξύλινης μήτρας

5.3 Σύνθεση #17

Στην συνέχεια σχεδιάσαμε την σύνθεση #17, η οποία θα αποτελούσε το κονίαμα χύτευσης για την κατασκευή πλίνθου. Αρχικά ξεκινήσαμε υπολογίζοντας την κοκκομετρική διαβάθμιση των αδρανών, προσθέτοντας αδρανή διαφορετικής σύστασης, όπως απόβλητα πυρίμαχων υλικών από αλουμίνα (οξειδίο του αργιλίου) και διαφορετικού μεγέθους από τις προηγούμενες δεκαέξι συνθέσεις, οι οποίες αποτελούνταν από αδρανή που δεν ξεπερνούσαν την διατομή που συναντάται στα αδρανή της νταμαρίσιας άμμου (4 mm).

5.3.1 Κοκκομετρική διαβάθμιση κονιάματος #17

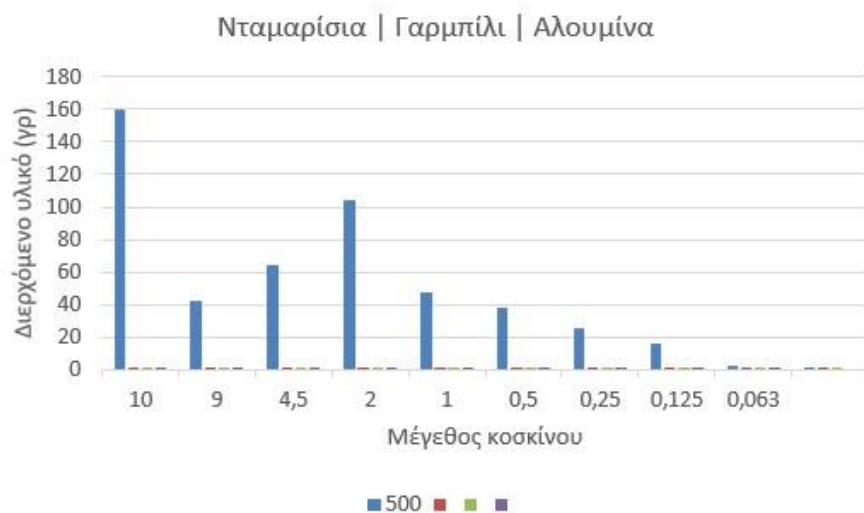
Τα αδρανή αποτελούνται από κόκκους διαφόρων μεγεθών με κοκκομετρική διαβάθμιση η οποία έχει μεγάλη σημασία για τη μελέτη σύνθεσης του κονιάματος. Καλά διαβαθμισμένα αδρανή, με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα, παρουσιάζουν λίγα κενά μεταξύ τους και άρα απαιτούν μικρή ποσότητα τσιμεντοπολτού, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την αύξηση της όγκο-σταθερότητας του. Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται από ομάδα προτύπων κοσκίνων, που κατά τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος μπορεί να είναι της γερμανικής σειράς (των DIN 4178 και DIN 4188) ή της αμερικάνικης σειράς (της ASTM E11).

Η κοκκομετρική διαβάθμιση προσδιορίζεται με βάση την εξής διαδικασία: Από το ποσοστό κατά βάρος των αδρανών που συγκρατεί κάθε κόσκινο υπολογίζεται το ποσοστό που περνάει³¹.

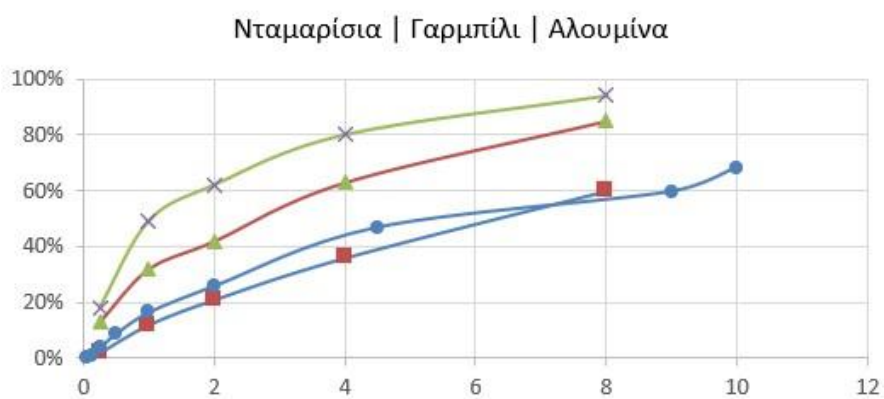
Πίνακας 30: Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών κονιάματος #17

	500			
10	159,95	31,99%	31,99%	68,01%
9	42,45	8,49%	40,48%	59,52%
4,5	63,9	12,78%	53,26%	46,74%
2	104,7	20,94%	74,20%	25,80%
1	46,95	9,39%	83,59%	16,41%
0,5	38,3	7,66%	91,25%	8,75%
0,25	25,2	5,04%	96,29%	3,71%
0,125	15,5	3,10%	99,39%	0,61%
0,063	2,6	0,52%	99,91%	0,09%
	0,45	0,09%	100,00%	0,00%

³¹ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ.150



Σχήμα 9: Διάγραμμα διερχόμενης μάζας υλικού-κόσκινου



Σχήμα 10: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μίγματος αδρανών μέγιστου κόκκου 8 και (μπλε) καμπύλη διαβάθμισης μίγματος αδρανών απόβλητου υλικού



Εικόνα 49: Κοσκίνισμα αδρανών, διαχωρισμός συγκρατούμενων - διερχόμενων



Εικόνα 50: Κοσκίνισμα αδρανών - ζύγιση συγκρατούμενων

5.3.2 Σύνθεση#17 | Αναλογία κατά βάρος

20.000gr SW

10.000gr Άμμος Νταμαρίσια | 3.000gr Γαρμπίλι | 7.000gr Αλουμίνα

3.000gr Τσιμέντο

3.000gr Άσβεστος

4.000gr νερό



Εικόνα 51: Διαδικασία ανάμειξης υλικών, για χύτευση σε ξύλινο καλούπι κατασκευής πλίνθων

5.3.3 Χύτευση και ξεκαλούπωμα κονιάματος #17



Εικόνα 52: Ανάδευση υλικών σύνθεσης#17



Εικόνα 53: Κονίαμα #17 σε ξύλινο καλούπι (πριν την πήξη)

Μετά το πέρας 10 ημερών, κατά το ξεκαλούπωμα και έπειτα από 28 συνολικά ημέρες, παρατηρείται δημιουργία μεγάλων ρωγμών και διάδοσης τους σε όλη την εγκάρσια διεύθυνση του πλίνθου, καταστροφική θραύση χωρίς εφαρμοζόμενη τάση.



Εικόνα 54: Κονίαμα #17 σε ξύλινο καλούπι (μετά την πήξη)



Εικόνα 55: Κονίαμα #17 - ξεκαλούπωμα

Έπειτα από την αποτυχημένη προσπάθεια της σύνθεσης #17, εκτός την αστοχία, συμπεραίνουμε την μεγάλη ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε.

5.4 Σύνθεση #18

Επόμενο βήμα αποτέλεσε ο σχεδιασμός και η κατασκευή νέων ξύλινων καλουπιών 10x10x10 (cm), ούτως ώστε η διαδικασία να είναι εφικτή, εφόσον με μήτρα 4x4x16 δεν θα ήταν εύκολο να γίνει η χύτευση του υλικού λόγω της μεγαλύτερης κοκκομετρίας αδρανών (όπως επίσης και εξοικονόμηση υλικών), έως ότου καταφέρουμε να φτάσουμε σε επιθυμητούς αριθμούς αντοχής νέων συνθέσεων (κονιαμάτων).

5.4.1 Κατασκευή μήτρας για χύτευση κονιάματος #18



Εικόνα 56: Διαδικασία κατασκευής νέας ξύλινης μήτρας 10x10x10

5.4.2 Σύνθεση#18 | Αναλογία κατά βάρος

Για την συγκεκριμένη σύνθεση χρησιμοποιήθηκαν ίδιες κονίες, ίδια αδρανή σε διαφορετικές αναλογίες, με προσθήκη περλίτη.

2.100gr SW

1.400gr Άμμος Νταμαρίσια | 700gr Γαρμπίλι | 700gr Αλουμίνα

450gr Τσιμέντο

200gr Άσβεστος

60gr Περλίτης

400gr νερό

5.4.3 Χύτευση υλικού σύνθεσης #18



Εικόνα 57: Ανάδευση και Χύτευση κονιάματος #18 σε ξύλινη μήτρα 10x10x10

5.4.4 Δοκίμια σύνθεσης #18

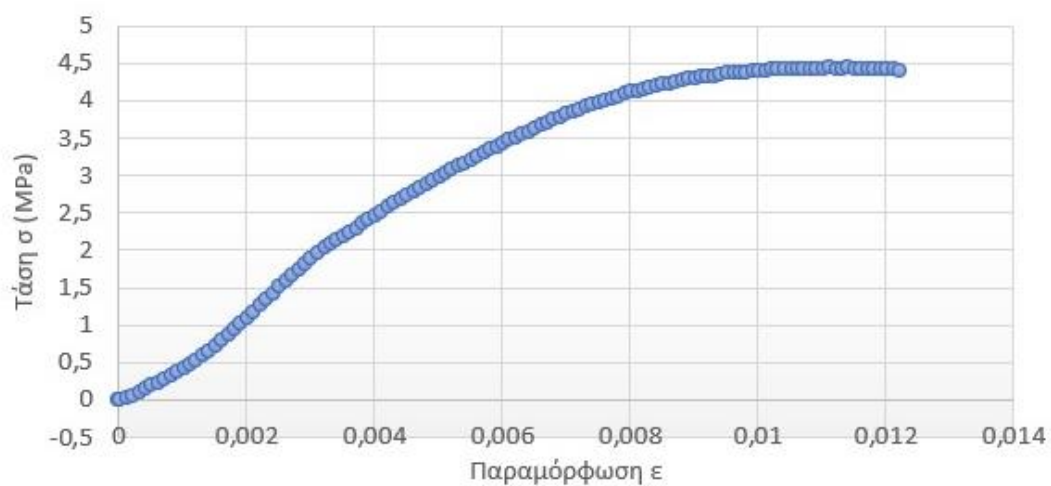


Εικόνα 58: Δοκίμια 10x10x10 σύνθεσης #18

5.4.5 Αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων κονιάματος #18

Πίνακας 31: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #18

Θλίψη	Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #18	1	4,38148	4,42358	0,03022	0,2842	0,13734
	2	4,43829				
	3	4,45098				
	4					
	5					
	6					



Σχήμα 11: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #18

5.4.6 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών κονιαμάτων #17 και #18

Πίνακας 32: Ποσότητες και αναλογίες υλικών, κονιαμάτων #17 και #18

Κονίαμα	#17	#18
Ημερομηνία Χύτευσης	10/6/22	29/6/22
Ημερομηνία Θραύσης	-	27/7/22
Τσιμέντο (gr)	3.000	450
Άσβεστος (gr)	3.000	200
Αδρανή (gr)	20.000	2.800
Κονία / Αδρανή	0,30	0,23
Απόβλητο Υλικό (SW) (gr)	20.000	2.100
Απόβλητο / Αδρανή	1	0,75
Νερό (gr)	4.000	400
Νερό / Κονία	0,67	0,62

*Η κοκκομετρία των αδρανών στο Πειραματικό μέρος II είναι έως 16mm

5.5 Συμπεράσματα | Πειραματική ενότητα II

Από την δεύτερη εργαστηριακή ενότητα, μέσω της οποίας αποσκοπούσαμε στην κατασκευή ενός πλίνθου παρουσία μεγάλου ποσοστού απόβλητου υλικού (αναλογία απόβλητο-αδρανές), στην σύνθεση του, τα εργαστηριακά αποτελέσματα ήταν οριακά ανεπαρκή για χρήση πλίνθου, εφόσον η θλιπτική αντοχή (οπτό)πλινθων, λόγω αντισεισμικών απαιτήσεων (στην Ελλάδα) θα πρέπει να είναι $f_{b,min} = 5 \text{ N/mm}^2$ κατ' ελάχιστο³². Οπότε αυξάνοντας κατά 10% την αντοχή του, που ήταν εφικτό βάσει των έως τώρα συνδυασμών, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν (ακόμα καλύτερα) ως λιθοσώματα για άοπλη τοιχοποιία, σε κτίρια μέτριας απαίτησης (Σ1) ως προς την ασφάλεια του κοινού, όπως αγροτικά οικήματα και αγροτικές αποθήκες, υπόστεγα, στάβλοι και άλλα³³.

Κατά την διαδικασία (όμως) ξεκαλουπώματος του πρώτου κονιάματος (της συγκεκριμένης πειραματικής ενότητας, σύνθεση #17) διαπιστώθηκε αρχικά, πολύ μεγάλη καθυστέρηση, δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία και δεύτερον το βάρος του συγκεκριμένου πλίνθου ξεπερνά τα δεκαεννέα κιλά, τιμή η οποία κρίνεται αρκετά υψηλή, συγκριτικά με ένα τσιμεντόλιθο παρόμοιων διαστάσεων (360x170x160) mm που ζυγίζει έντεκα κιλά, ή λιθοσώμα (βαρύ) κισηρόλιθου (240x360x190) mm που ζυγίζει δεκατρία κιλά³⁴, με φυσικό επακόλουθο την δυσκολία κατά την διαδικασία ανέγερσης (κτισίματος) της τοιχοποιίας και γενικότερα το τελικό βάρος της κατασκευής.

6. Εργαστηριακό Μέρος III | Δοκιμή κατασκευή πλακιδίων

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, των εργαστηριακών ελέγχων και δοκιμών μελετήσαμε την ιδέα κατασκευής πλακιδίων (Ιδέα του Καθηγητή κ. Κλήμη Ασλανίδη).

6.2 Σύνθεση #19

Αρχικά ανατρέξαμε στα κονιάματα που είχαν ελεγχθεί στις δύο προηγούμενες εργαστηριακές ενότητες, επιλέγοντας το κονίαμα #9 και μελετήσαμε ακόμα ένα κονίαμα, το #19 του οποίου η σύνθεση αποτελείται από το απόβλητο υλικό της πέτρας, αδρανή άμμος, γαρμπίλι, αλουμίνα (προϊόν ανακύκλωσης) και κονίες τσιμέντο και άσβεστο.

³² Ευρωκώδικας 6, Σχεδιασμός Κατασκευών από Τοιχοποιία, μετάφραση του ENV1996-1-1, Έκδ. Τ.Ε.Ε., 1995, σελ. 10

³³ Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000, εκδ. ΟΑΣΠ, Αθήνα, 2001, Πίνακας 2.3, σελ.61

³⁴ Καραντώνη Φ., Κατασκευές από τοιχοποιία, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004, πίνακες 1.3.7 και 1.3.8, σελ.28

6.2.1 Σύνθεση#19 | Αναλογία κατά βάρος

3.200gr SW

2.400gr Άμμος Νταμαρίσια | 1200gr Γαρμπίλι | 1200gr Αλουμίνα τύπου (λεπτόκοκκη) I

600gr Τσιμέντο

300gr Άσβεστος

600gr νερό

6.2.2 Κατασκευή μήτρας για χύτευση κονιάματος #19

Πριν την χύτευση σε μήτρες μεταλλικές διαστάσεων 4x4x16 cm (του εργαστηρίου Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης), κατασκευάστηκαν νέες μήτρες διαστάσεων για την δοκιμή κατασκευής πλακιδίων και την παράλληλη χύτευση.



Εικόνα 59: Ξύλινο καλούπι 20x20x3 cm για κατασκευή πλακιδίων

6.2.3 Χύτευση υλικού σύνθεσης #19



Εικόνα 60: Χύτευση κονιάματος #19 σε καλούπια 20x20x3 cm και 4x4x16 cm

6.2.4 Δοκίμια σύνθεσης #19



Εικόνα 61: Δοκίμια 4x4x16 cm σύνθεσης #19

6.2.5 Πλακίδια σύνθεσης #19



Εικόνα 62: Πλακίδια 20x20x3 cm σύνθεσης #19

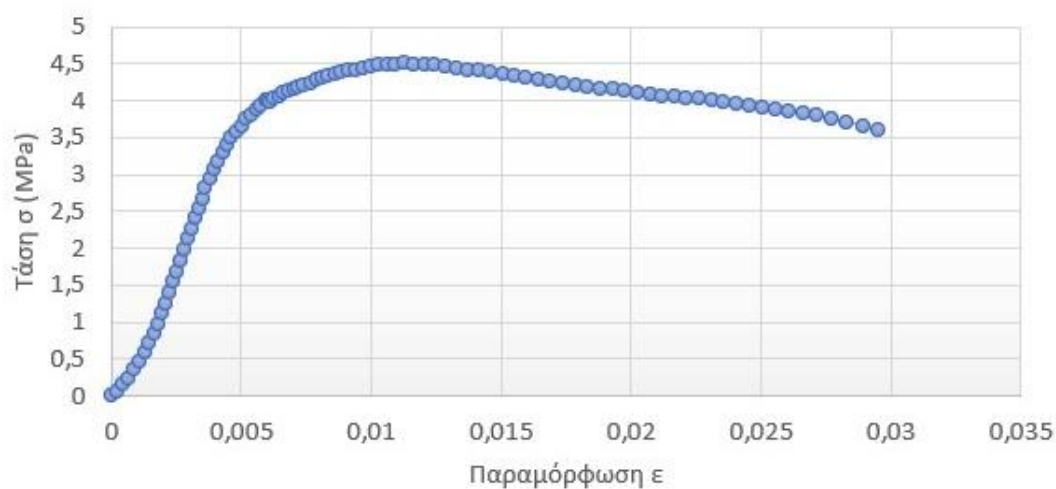
6.2.6 Αποτελέσματα εργαστηριακών ελέγχων κονιάματος #19

Πίνακας 33: Έλεγχος αντοχής σε κάμψη δοκιμίου κονιάματος #19

Κάμψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV
Σύνθεση #19	1	0,93	0,88	0,049
	2	0,81		
	3	0,89		

Πίνακας 34: Έλεγχος αντοχής σε θλίψη δοκιμίου κονιάματος #19

Θλίψη		Αντοχή (Mpa)	Average	STDEV	Μέτρο (Gpa) Ελαστικότητας	Average	STDEV
Σύνθεση #19	1	4,74151	4,41326	0,30867	0,7702	0,66077	0,18488
	2	3,99992			0,4004		
	3	4,49835			0,8117		
	4						
	5						
	6						



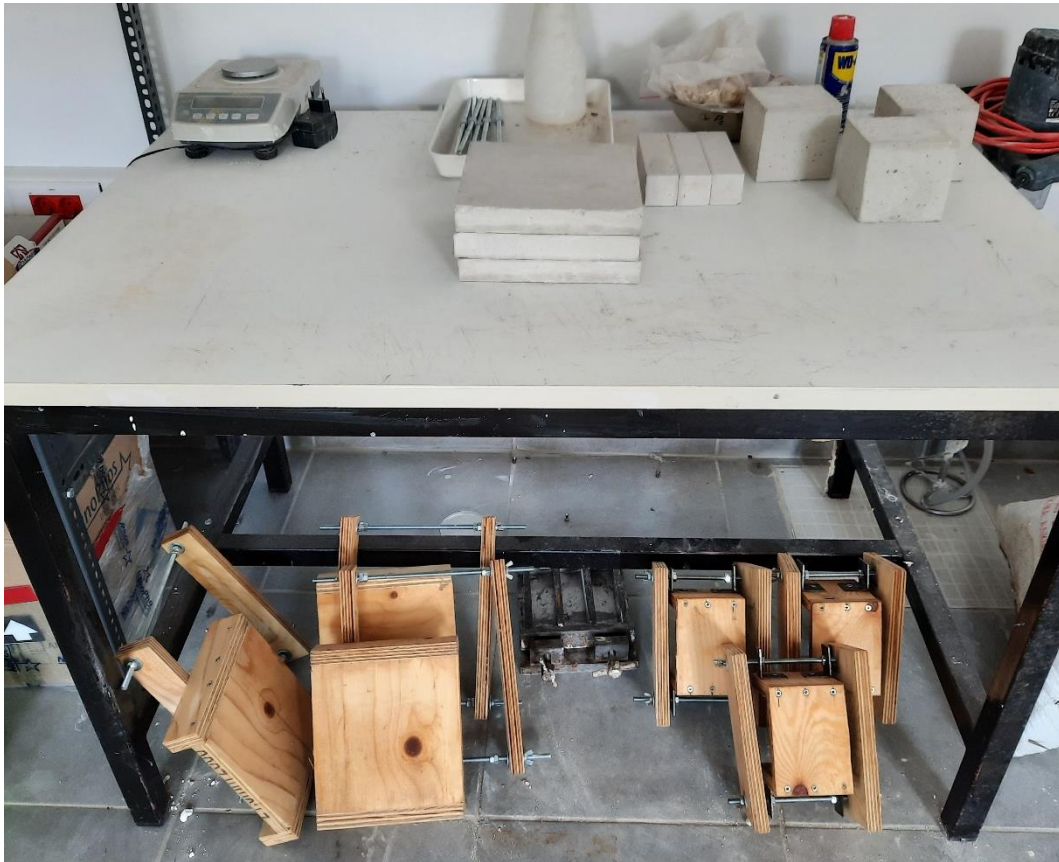
Σχήμα 12: Καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης δοκιμίου κονιάματος #19

6.2.7 Συγκεντρωτικός πίνακας αναλογιών κονιάματος #19

Πίνακας 35: Ποσότητες και αναλογίες υλικών κονιάματος #19

Κονίαμα	#19
Ημερομηνία Χύτευσης	29/6/22
Ημερομηνία Θραύσης	27/7/22
Τσιμέντο (gr)	600
Άσβεστος (gr)	300
Αδρανή (gr)	4.800
Κονία / Αδρανή	0,19
Απόβλητο Υλικό (SW) (gr)	3.200
Απόβλητο / Αδρανή	0,75
Νερό (gr)	600
Νερό / Κονία	0,67

**Η κοκκομετρία των αδρανών στο (παραπάνω) Πειραματικό μέρος III είναι έως 4mm*



Εικόνα 63: Δοκίμια, πλακίδια και μήτρες μετά το ξεκαλούπωμα των συνθέσεων #18 και #19

6.3 Πυκνότητα, ανοικτό πορώδες και απορροφητικότητα επιλεχθέντων κονιαμάτων (3ης πειραματικής ενότητας) #9 και #19

6.3.1 Έννοιες - Ορισμοί

Ως φαινόμενη πυκνότητα (συνήθως ονομάζεται απλώς πυκνότητα) ορίζεται ο λόγος της μάζας m ενός υλικού προς τον όγκο V που καταλαμβάνει. Με την έννοια πορώδες εννοούμε τους πόρους και τα υπάρχοντα κενά στα δομικά υλικά, πετρώματα, φυσικά ή τεχνητά. Όσο λιγότερους πόρους και κενά διαστήματα έχει ένα υλικό, τόσο περισσότερο συμπαγές είναι και αντιστρόφως³⁵. Οι πόροι σύμφωνα με την τυπολογία τους μπορούν να διαχωριστούν σε κλειστούς, οι οποίοι είναι εντελώς απομονωμένοι πόροι από την εξωτερική επιφάνεια (του υλικού) και δεν επιτρέπουν την πρόσβαση του

³⁵ Wendehorst R., Δομικά Υλικά, 2η έκδοση μετάφραση της 21ης αναθεωρημένης γερμανικής έκδοσης, εκδ. Μ.Γκιούρδας, Αθήνα, 2003, σελ.49

νερού και τους ανοικτούς που συνδέονται με την εξωτερική επιφάνεια του υλικού, με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την πρόσβαση στο νερό³⁶. Το ανοιχτό πορώδες υπολογίζεται από τον τύπο $\% \text{ open porosity} = 100 \times (V_{op}/V_a)$, $V_{op} = m_s - m_c$, όπου m_s =μάζα μετά την εμβάπτιση του υλικού, m_c =ξηρή μάζα³⁷. Απορροφητικότητα είναι η ιδιότητα που έχουν τα δομικά υλικά να απορροφούν (χωρίς εξωτερική πίεση) κάποιο ρευστό, το οποίο συνήθως είναι νερό (οπότε και η αντίστοιχη ιδιότητα λέγεται υδαταπορροφητικότητα). Η ιδιότητα αυτή μετράται συνήθως με τη μάζα επί τοις % που απορροφά η μονάδα μάζας του υλικού μετά από εμβάπτιση (έως ότου σταθεροποιηθεί το βάρος, π.χ. για 24 ώρες) σε νερό. Ορίζεται ως $Y = 100(m_u - m_x)/m_x$, όπου m_u =μάζα μετά την εμβάπτιση του υλικού και m_x =ξηρή μάζα (που προσδιορίζεται σε θερμοκρασία μέχρι 100 °C)³⁸.

6.3.2 Κοπή πλακιδίων σύνθεσης #19

Για το υλικό #19, αρχικό βήμα αποτέλεσε η κοπή των πλακιδίων (εκείνων που έγιναν στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης, του Πολυτεχνείου Κρήτης), σε τρία μικρότερα μέρη (διαφορετικών διαστάσεων) για έλεγχο, εφόσον δεν είχε προβλεφθεί αρκετή ποσότητα κατά την χύτευση στις μήτρες.

³⁶ Borrelli, Ernesto. ICCROM ARC laboratory handbook vol. 1-2. Rome : ICCROM, 1999, σελ.3

³⁷ Borrelli, Ernesto. ICCROM ARC laboratory handbook vol. 1-2. Rome : ICCROM, 1999, σελ.11

³⁸ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ.17-18



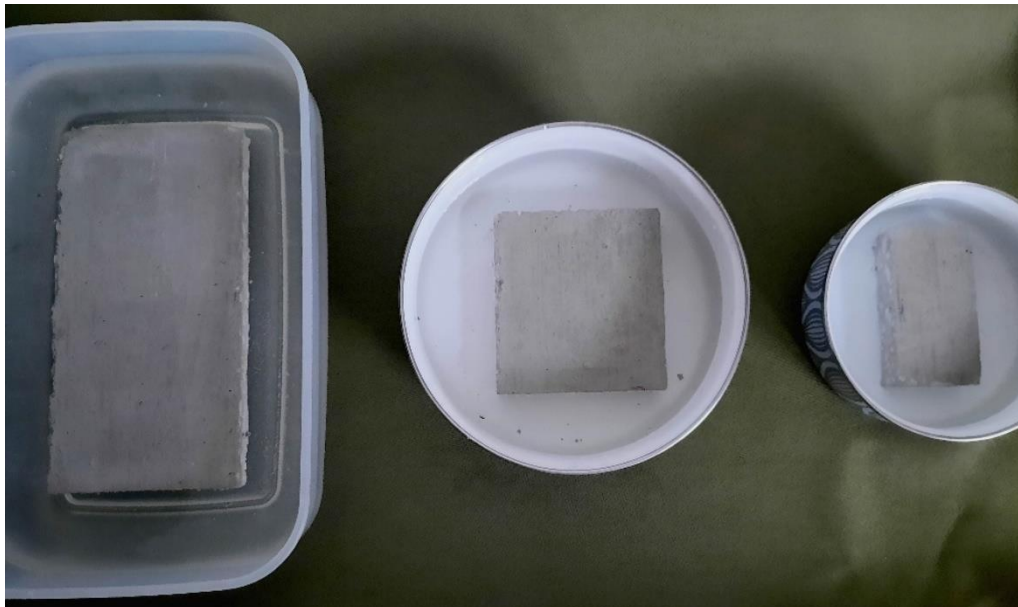
Εικόνα 64: Κοπή πλακιδίου σε τρία μέρη για εμφάνιση

6.3.3 Διαδικασία για την μέτρηση ανοικτού πορώδους και υδατοαπορροφητικότητας για τα κονιάματα #9 και #19

Αρχικά έγινε η ζύγιση των τριών δοκιμίων και η τοποθέτηση τους σε δοχεία, με μετρημένη ποσότητα νερού για το κάθε ένα από αυτά. Μετά το πέρας 72 ωρών, ζυγίστηκαν τα δοκίμια ξανά (μετρήθηκε ο όγκος νερού) και στην συνέχεια επανατοποθετήθηκαν στα δοχεία για 24 ακόμα ώρες, ούτως ώστε να βεβαιωθούμε για τον κορεσμό των δοκιμίων απορρόφησης νερού.



Εικόνα 65: Εμβάπτιση δοκιμίων κονιάματος #9



Εικόνα 66: Εμβάπτιση δοκιμίων κονιάματος #19

6.3.4 Αποτελέσματα μετρήσεων κονιαμάτων για χρήση κατασκευής πλακιδίων

Πίνακας 36: Πυκνότητα κονιάματος #9

Φαινόμενη Πυκνότητα		Μάζα δοκιμίου (g)	Όγκος δοκιμίου (cm ³)	Πυκνότητα δοκιμίου (g/cm ³)	Average
Σύνθεση #9	1	170	94,24	1,804	1,80
	2	21,05	11,43	1,842	
	3	22,70	12,35	1,838	

Πίνακας 37: Πυκνότητα κονιάματος #19

Φαινόμενη Πυκνότητα		Μάζα δοκιμίου (g)	Όγκος δοκιμίου (cm3)	Πυκνότητα δοκιμίου (g/cm3)	Average
Σύνθεση #19	1	1051	600	1,752	1,76
	2	505	285	1,772	
	3	237	135	1,756	

Πίνακας 38: Ανοικτό πορώδες (%) κονιάματος #9

Πορώδες		Όγκος δοκιμίου (ml=cm3)	Μάζα (πριν) δοκιμίου (g)	Μάζα (μετά) δοκιμίου (g)	Πορώδες(%) 100(ms- mc)/V	Average
Σύνθεση #9	1	94,24	170	192	23,34	21,52
	2	11,43	21,05	23,40	20,56	
	3	12,35	22,70	25,25	20,64	

Πίνακας 39: Ανοικτό πορώδες (%) κονιάματος #19

Πορώδες		Όγκος δοκιμίου (ml=cm3)	Μάζα (πριν) δοκιμίου (g)	Μάζα (μετά) δοκιμίου (g)	Πορώδες(%) 100(ms- mc)/V	Average
Σύνθεση#19	1	600	1051	1126	12,50	14,73
	2	285	505	551	16,14	
	3	135	237	258	15,56	

Πίνακας 40: Υδατοαπορροφητικότητα (%) κονιάματος #9

Υδατο απορ/κότητα	Μάζα (πριν) δοκιμίου (g)	Μάζα (μετά) δοκιμίου (g)	μάζα νερού (%) μάζας του υλικού	Average
Σύνθεση#9	1	170	192	11,46
	2	21,05	23,40	11,16
	3	22,70	25,25	11,23
				11,28

Πίνακας 41: Υδατοαπορροφητικότητα (%) κονιάματος #19

Υδατο απορ/κότητα	Μάζα (πριν) δοκιμίου (g)	Μάζα (μετά) δοκιμίου (g)	μάζα νερού (%) μάζας του υλικού	Average
Σύνθεση#19	1	1051	1126	6,67
	2	505	551	8,35
	3	237	258	8,14
				7,72

6.3.5 Συμπεράσματα

Από τους παραπάνω πίνακες ανοικτού πορώδους, υδατοαπορροφητικότητας και από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων για τα κονιάματα #9 και #19, συμπεραίνουμε ως προς την αντοχή, ικανοποιητικές τιμές για χρήση πλακιδίων εσωτερικού χώρου ή επένδυσης κατακόρυφης επιφάνειας, με το κονίαμα με λευκό τσιμέντο να υπερτερεί σε αντοχή 7,23 MPa έναντι 4,41 MPa (κονίαμα#19). Αντιθέτως με τις τιμές αντοχής, το κονίαμα #19 έχει μικρότερη τιμή (%) ανοικτού πορώδους χωρίς αυτό να σημαίνει, ότι το κονίαμα#9 δεν έχει αποτελέσματα ικανοποιητικά (20%-30%). Για την υδατοαπορροφητικότητα επίσης και τα δύο κονιάματα δείχνουν καλή συμπεριφορά, με τη σύνθεση#19 να έχει καλύτερη τιμή (συμπεριλαμβανομένου ότι οι κυβόλιθοι κυμαίνονται στο 7%) και να υπερτερεί κι αυτό πιθανά να συμβαίνει στην περιεκτικότητα σε υδράσβεστο και στην μικρότερη ποσότητα απόβλητου υλικού με 0,75/1,00 (sw/κονία) έναντι 1,00/1,00 για το κονίαμα#9.

7. Κατασκευή πλακιδίων και άλλων συνθέσεων

7.1 Εισαγωγή

Επιλέγοντας ανάμεσα από τα κονιάματα που έχουν υλοποιηθεί, τις συνθέσεις #9 και #19, συνδυασμοί απόβλητου υλικού με συγκολλητική ύλη το λευκό και το μαύρο τσιμέντο με προσθήκη άσβεστου αντίστοιχα και αδρανή να αποτελούν η νταμαρίσια άμμος (έως 4mm), ψηφίδα (6-10mm) το γαρμπίλι (8-16mm) και η ανακυκλωμένη αλουμίνα (8-16mm), ξεκίνησε η διαδικασία για την κατασκευή πλακιδίων, αποσκοπώντας στην επίτευξη επιπρόσθετων σκοπών, όπως την τελική εμφάνιση, τον χρόνο κατασκευής, την ευκολία και την εργονομία της διαδικασίας.

7.2 Υλικά | Αδρανή - Κονίες - Απόβλητο Υλικό - Κονίες χρωματισμού



Εικόνα 67: Υλικά κονιαμάτων για κατασκευή πλακιδίων

7.3 Διαδικασία κατασκευής πλακιδίων



Εικόνα 68: Συλλογή απόβλητου υλικού

7.3.1 Διαμόρφωση - Προσαρμογή ξύλινου καλουπιού

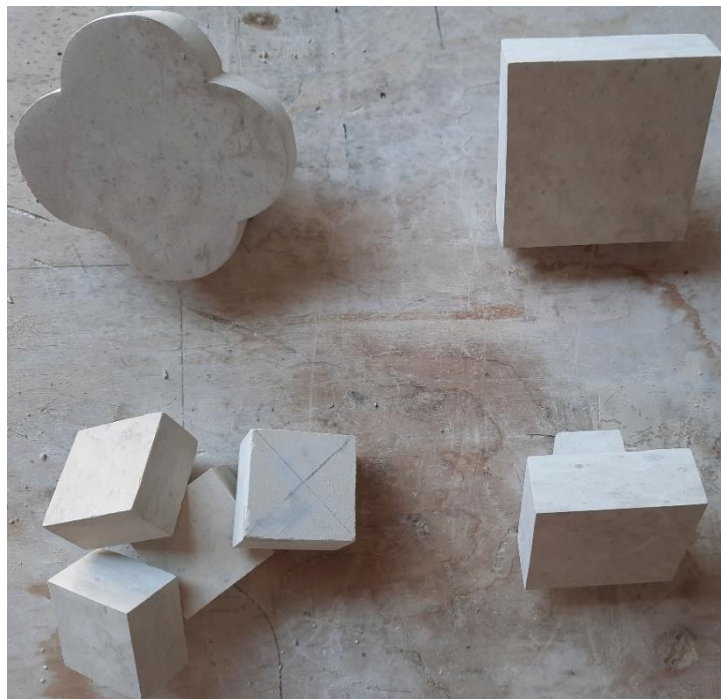
Για την καλύτερη και (περισσότερο) λεία επιφάνεια του πλακιδίου και ταυτόχρονα την μείωση του ύψους από 3 εκατοστά σε 2,2~2,3 εκατοστά, προστέθηκε στην ήδη κατασκευασμένη μήτρα πλακιδίων, ένα πλακάκι ίδιων διαστάσεων.



Εικόνα 69: Μήτρα κατασκευής πλακιδίων με προσθήκη λείας επιφάνειας

7.3.2 Κατασκευή λίθινων μορφών για δημιουργία μοτίβων, χρωμάτων και υφών στο πλακίδιο

Στην συνέχεια πριν να ξεκινήσει η πρώτη δοκιμή χύτευσης υλικών, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν λίθινα αντικείμενα διαφόρων σχημάτων, ώστε κατά την αφαίρεση τους, να γίνει χύτευση στην θέση τους, υλικού, διαφορετικού χρωματισμού.



Εικόνα 70: Λίθινες φόρμες



Εικόνα 71: Λίθινη φόρμα μέσα σε ξύλινη μήτρα για κατασκευή πλακιδίων με διαφορετικά χρώματα και μοτίβα

7.3.3 Χύτευση κονιαμάτων – συντήρηση – Αφαίρεση καλουπιού



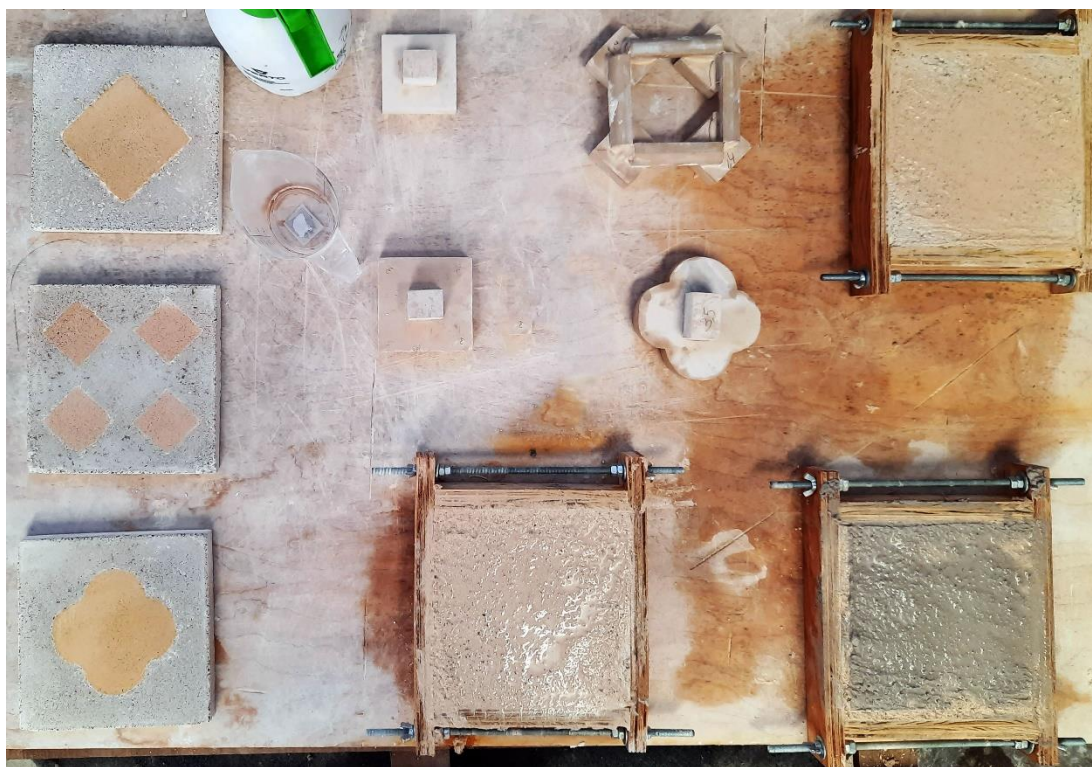
Εικόνα 72: Χύτευση κονιάματος, έπειτα από αφαίρεση λίθινης φόρμας | 2η τριάδα

Συντήρηση πλακιδίων | Χρονικό διάστημα συντήρησης κατ' ελάχιστον επτά ημέρες³⁹. Ξεκινάει η διαβροχή ακριβώς μετά την χύτευση, εντός μήτρας, σε σκιερό χώρο.



Εικόνα 73: Διαβροχή - συντήρηση πλακιδίων | 2η τριάδα

³⁹ Μαρσέλλος Ν., Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - ΚΤΣ-2016, 2η αναθεωρημένη έκδοση, εκδ. Δεδεμάδη, Αθήνα, 2017



Εικόνα 74: Χύτευση 3ης τριάδας πλακιδίων



Εικόνα 75: Χύτευση 6ης τριάδας πλακιδίων



Εικόνα 76: Αφαίρεση πλακιδίων από ξύλινο καλούπι

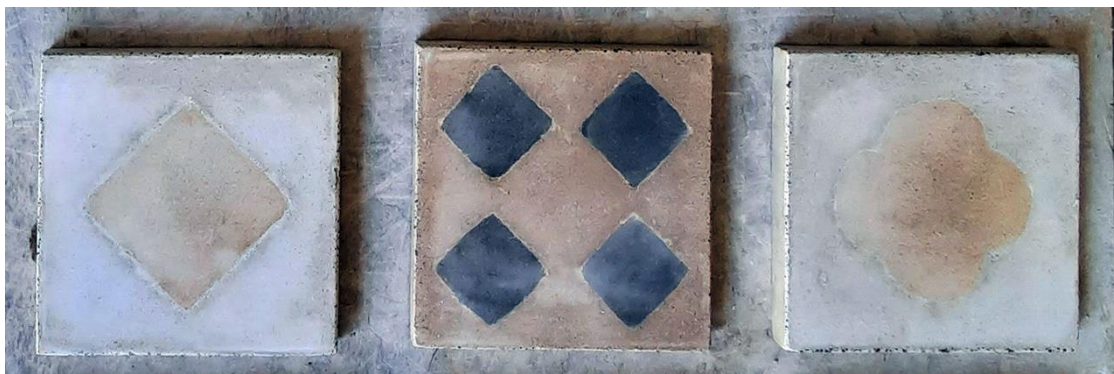
7.3.4 Πλακίδια | Τελικό αποτέλεσμα



Εικόνα 77: 1η τριάδα πλακιδίων (στο εργαστήριο κοπής και επεξεργασίας λίθων)



Εικόνα 78: 2η τριάδα πλακιδίων



Εικόνα 79: 3η τριάδα πλακιδίων



Εικόνα 80: 4η τριάδα πλακιδίων



Εικόνα 81: 5η τριάδα πλακιδίων



Εικόνα 82: 6η τριάδα πλακιδίων



Εικόνα 83: 7η τριάδα πλακιδίων

7.3.5 Παρατηρήσεις κατά την διαδικασία

Κατά την διαδικασία κατασκευής πλακιδίων πειραματιστήκαμε με αναλογίες των επιλεχθέντων υλικών, με συνδυασμούς χρωμάτων με προσθήκη ώχρας ή κόκκινου (κοσκινισμένου) χώματος και κάθε τριάδα διαφέρει από την προηγούμενη ως προς τα παραπάνω. Αναλυτικότερα, για τις δύο πρώτες τριάδες, χωρίς μοτίβα και διαφορετικούς χρωματισμούς, οι αναλογίες ήταν όπως τα κονιάματα των εργαστηριακών ελέγχων (δηλαδή οι συνδυασμοί #9 και #19). Η αναλογία τσιμέντου/αδρανών διαμορφωνόταν ανάλογα με το πλακίδιο,. Τα αδρανή λόγω χρήσης διαφορετικής νταμαρίσιας άμμου (στο εργαστήριο κατασκευής πλακιδίων η άμμος ήταν περισσότερο χονδρόκοκκη) και κατασκευής μικρότερου πάχους πλακιδίου (από 3 σε 2,2 εκατοστά) η περιεκτικότητα σε γαρμπίλι μειώθηκε και σε ορισμένα αντικαταστάθηκε και προστέθηκε μαρμαρόσκονη. Προστέθηκε σε ορισμένα ώχρα (αμελητέας ποσότητας) ή κόκκινο χρώμα 100 έως 200 γραμμάρια ανά πλακίδιο.

7.3.6 Κόστος κατασκευής πλακιδίων

Πίνακας 42: Ειδικό βάρος αδρανών και κονιών των κονιαμάτων #9 και #19

Φαινόμενο ειδικό βάρος	Υλικό	Όγκος (κμ)	Βάρος (κιλά)
	Γαρμπίλι	1,00	1550
	Νταμαρίσια Άμμος	1,00	1650
	Μαρμαρόσκονη	1,00	1600
	Κόκκινο Χώμα	1,00	1700
	Τσιμέντο	1,00	1100
	Τσιμέντο (λευκό)	1,00	1100
	Υδράσβεστος (παιπάλη)	1,00	500
	SW	1,00	1450

Η διαδικασία γίνεται για την τιμή σε δύο περιπτώσεις. Α περίπτωση, πλακίδιο με τσιμέντο και άσβεστο (κονίαμα#19) και Β περίπτωση, πλακίδιο (σύμφωνα με την αναλογία του κονιάματος#9) με μοτίβα, διαφορετικά χρώματα και προσθήκη λευκού τσιμέντου (ως το δυσμενέστερο σενάριο κόστους και χρόνου).

Οι τιμές ανά υλικό που αναγράφονται, είναι οι τιμές που προμηθεύεται η βιοτεχνία κοπής και επεξεργασίας λίθων (που ένα μεγάλο μέρος της 3^{ης} πειραματικής ενότητας της παρούσας εργασίας έγινε στο συγκεκριμένο χώρο) και αφορούν στην περίοδο Αυγούστου 2022.

Πίνακας 43: Ποσότητες και τιμές αδρανών και κονιών των κονιαμάτων #9 και #19

Ποσότητες_Τιμές	Υλικό	Ποσότητα	Τελική τιμή (€)
	Γαρμπίλι	Σάκος big bag (0.60 κμ)	43,40
	Νταμαρίσια Άμμος	Σάκος big bag (0.60 κμ)	43,40
	Μαρμαρόσκονη	Σάκος big bag (0.60 κμ)	62,20
	Κόκκινο Χώμα	-	-
	Τσιμέντο	Σακί (40 κιλών)	6,20
	Τσιμέντο (λευκό)	Σακί (40 κιλών)	11,16
	Υδράσβεστος (παιπάλη)	Σακί (25 κιλών)	6,80
	SW	-	-

Δεδομένου ότι τα πλακίδια έχουν διαστάσεις 20x20x2,2εκ., για έναν χώρο δώδεκα τετραγωνικών μέτρων θα χρειαστούμε 300 πλακίδια. Για ευκολία στην αναγωγή τιμής, ξεκινήσαμε για την τιμή τρακόσιων πλακιδίων, συμπεριλαμβανομένου ότι οι δοκιμές γινόταν (πάντα) ανά τριάδα. Για την χύτευση τριάδας πλακιδίων (όγκου $0,00264\text{m}^3 = 2,64\text{dm}^3$), χρειαζόμαστε κατ' όγκο κονίαμα, περίπου 3,60~3,70 λίτρων ($1\text{L} = 1\text{dm}^3$, εφόσον χρειαζόμαστε τον όγκο των πλακιδίων, πολλαπλασιασμένο με 1,35~1,40, εκτός του νερού).

Πίνακας 44: Ποσότητες αδρανών και κονιών πλακιδίου Α

Α Περίπτωση	Υλικό	Ποσότητα 3 πλακίδια (λίτρα κιλά)	Ποσότητα 300 πλακίδια (λίτρα κιλά)	Τιμή (€) 300 πλακίδια
	Γαρμπίλι	-	-	-
	Νταμαρίσια Άμμος	1,22 2,0	122 200	8,82
	Μαρμαρόσκονη	-	-	-
	Κόκκινο Χώμα	-	-	-
	Τσιμέντο	0,23 0,25	23 25	3,88
	Τσιμέντο (λευκό)	-	-	-
	Υδράσβεστος (παιπάλη)	0,25 0,125	25 12,5	3,40
	SW	0,91 1,325	91 132,5	-

Για την Α περίπτωση, κατασκευή απλού πλακιδίου, για αριθμό τριακοσίων τεμαχίων, το κόστος των υλικών είναι 16,10 ευρώ.

Πίνακας 45: Ποσότητες αδρανών και κονιών πλακιδίου Β

Β Περίπτωση	Υλικό	Ποσότητα 3 πλακίδια (λίτρα κιλά)	Ποσότητα 300 πλακίδια (λίτρα κιλά)	Τιμή (€) 300 πλακίδια
	Γαρμπίλι	-	-	-
	Νταμαρίσια Άμμος	0,48 0,8	48 80	3,47
	Μαρμαρόσκονη	0,41 0,65	41 65	4,25
	Κόκκινο Χώμα	0,12 0,2	12 20	
	Τσιμέντο	-	-	-
	Τσιμέντο (λευκό)	0,73 0,8	73 80	22,32
	Υδράσβεστος (παιπάλη)	-	-	-
	SW	0,86 1,25	86 125	-

Παρατήρηση: Για τους πίνακες ποσοτήτων περίπτωσης Α και Β, αναγράφονται σε αντιστοιχία (σε κάθε κελί) λίτρα και κιλά, βάσει χρέωσης της αγοράς. Για παράδειγμα η ποσότητα της άμμου πωλείται κατ' όγκο σε σάκο ($0,6m^3$ ή αλλιώς 600L), ενώ το τσιμέντο σε σακί (25kg και 40 kg, παλαιότερα 50kg)

Για την Β περίπτωση, κατασκευή πλακιδίου με διαφορετικά χρώματα και μοτίβα, για αριθμό τριακοσίων τεμαχίων, το κόστος των υλικών είναι 30,04 ευρώ.

Ο χρόνος κατασκευής πλακιδίων κυμαίνεται από οκτώ έως εννέα λεπτά. Συμπεριλαμβανομένου ότι το ωράριο εργασίας είναι οχτάωρο, καθαρό χρόνο ορίσαμε τις επτά ώρες, χρονική διάρκεια κατά την οποία μπορούν να κατασκευαστούν (7 ώρες = 420 λεπτά | $420/9$) 47 πλακίδια. Διαιρώντας το ημερομίσθιο εξειδικευμένου εργαζόμενου (μισθός και ασφάλιση) στα 80 ευρώ, για το κάθε πλακίδιο αντιστοιχεί εργασία τιμής 0,59 ευρώ.

Για την Α περίπτωση έχουμε τελικό κόστος : $0,054 + 0,59 = 0,644$ ανά πλακίδιο, άρα $25 \times 0,644 = 16,10$ €/τμ

Για την Β περίπτωση έχουμε τελικό κόστος : $0,10 + 0,59 = 0,69$ ανά πλακίδιο, άρα $25 \times 0,644 = 17,25$ €/τμ

Η συνηθέστερη διάσταση τσιμεντοπλακιδίων στην αγορά είναι $20 \times 20 \times 1,5$ cm. Οι τιμές σε μονόχρωμο πλακίδιο κυμαίνονται από 35 έως 60 €/τμ, ενώ για πλακίδιο με διάφορα σχήματα και χρώματα η τελική τιμή φτάνει έως και 100 €/τμ. Οι παραπάνω τιμές αφορούσαν την περίοδο Σεπτεμβρίου του έτους 2022.

Συγκρίνοντας τις τιμές των τσιμεντοπλακιδίων με πλακίδια του υλικού απόβλητου, οι τιμές των τσιμεντοπλακιδίων ξεπερνούν το κόστος κατασκευής των πλακιδίων της έρευνας σχεδόν κατά έξι φορές. Συμπεριλαμβανομένου ότι τα πλακίδια σύγκρισης δεν περιέχουν ανακυκλωμένο υλικό για παράδειγμα την αλουμίνα, λόγω έλλειψης διότι χρησιμοποιήθηκε στα δοκίμια προς εργαστηριακούς ελέγχους, η διαφορά στην τιμή μπορεί να γίνει ακόμα μεγαλύτερη. Εκτός από ότι η υπεραξία που «τοποθετείται» σε ένα προϊόν είναι στην κρίση του κατασκευαστή και πωλητή σε μία ελεύθερη αγορά και (μπορεί να) εξηγεί την τεράστια διαφορά, ένας σημαντικός ακόμα λόγος είναι ότι τα κόστη του πλακιδίου της αγοράς, με το πλακίδιο της έρευνας είναι πολύ διαφορετικά εφόσον για το πρώτο ακολουθείται μία γραμμή παραγωγής, ενώ το δεύτερο είναι προϊόν προς μία κατεύθυνση κυκλικής οικονομίας που αποσκοπεί στη χρήση απόβλητων και ανακυκλωμένων υλικών.

7.3.7 Χρόνος κατασκευής πλακιδίων

Οι χρόνοι που αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα, αφορούν στην κατασκευή τριάδας πλακιδίων, όπως γινόταν κατά την διαδικασία της παρούσας εργασίας.

Πίνακας 46: Χρόνος κατασκευής πλακιδίων

Εργασίες κατασκευής πλακιδίων	Χρόνος (minutes)
Ζύγιση υλικών	2
Ανάδευση	3
Χύτευση Α	2
Αφαίρεση λίθινης φόρμας	1
Χύτευση Β	2
Αφαίρεση πλακιδίων από καλούπι	2
Καθαρισμός καλουπιών Λάδωμα	8
Λείανση ακμών πλακιδίων	5
Φινίρισμα κεριού (προστασίας)	2

Σύμφωνα με τον πίνακα 46, για την κατασκευή ενός πλακιδίου μονόχρωμου, θα χρειαστεί χρόνος περίπου οχτώ λεπτών, ενώ για πλακίδιο με διαφορετικούς χρωματισμούς και σχήματα, περίπου εννιά λεπτά.

7.4 Δοκιμές κατασκευής συνθέσεων

Η τριβή και οι πειραματισμοί στα κονιάματα κατά τη διαδικασία κατασκευής πλακιδίων (παράγραφος 7.3.5), σε συνδυασμό με την αξιοποίηση της εργασιμότητας που προσδίδει η προσθήκη του απόβλητου υλικού, μας οδήγησε στις δοκιμές και για άλλες συνθέσεις, που πραγματοποιήθηκαν χρονικά παράλληλα με την κατασκευή πλακιδίων, στον χώρο του εργαστηρίου κοπής και επεξεργασίας πέτρας. Έγιναν χυτεύσεις σε καλούπια ξύλινα που κατασκευάστηκαν για την συγκεκριμένη διαδικασία, σε τσίγκινα και πλαστικά σκεύη (χωρίς καμία έως τότε χρήση), που διαμορφώθηκαν κατάλληλα για να αξιοποιηθούν σε μία προσπάθεια κατασκευής ενός χρηστικού αντικειμένου, αισθητικά προσεγμένου και αξιοποιώντας κατά την διαδικασία και κατά τη σύνθεση του υλικού όσο το δυνατόν γινόταν επαναχρησιμοποιημένα και απόβλητα υλικά.



Εικόνα 84: Διαδικασία κατασκευής τριών συνθέσεων για χρήση φωτιστικού | Συντήρηση
6ης τριάδας πλακιδίων | Χύτευση 7ης τριάδας πλακιδίων



Εικόνα 85: Διαδικασία κατασκευής σύνθεσης για χρήση φωτιστικού I



Εικόνα 86: Φωτιστικό II (η βάση του αποτελείται από κονίαμα απόβλητου υλικού)



Εικόνα 87: Φωτιστικό III (με κονίαμα απόβλητου υλικού)

Για την κατασκευή των παραπάνω συνθέσεων, εκτός από το απόβλητο υλικό, τη συνδετική κονία και το πηλόχωμα, όσον αφορά στα αδρανή χρησιμοποιήθηκε μαρμαρόσκονη, νταμαρίσια άμμο (έως 4mm) και ψηφίδα τριών διαφορετικών χρωμάτων (6-10mm).

8. Σύντομη ανασκόπηση - Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας, παράλληλα με την διεξαγωγή βασικών συμπερασμάτων, κρίνεται σκόπιμη μία σύντομη περιγραφή και επεξήγηση της διαδικασίας.

Αρχικά, κύριος σκοπός της εργασίας ήταν η αξιοποίηση του απόβλητου υλικού σε συνδυασμό με κάποια κονία και με κατά το δυνατόν κι άλλα απόβλητα υλικά προς παραγωγή κονιάματος νέας σύνθεσης ή τεχνητού λιθοσώματος.

Στην πρώτη πειραματική ενότητα επιλέχθηκαν 6 συνδυασμοί κονιαμάτων. Οι τρεις εξ' αυτών έδωσαν αντοχές μεγαλύτερες των 2,50 MPa και παράλληλα παρατηρήθηκε η πλαστικότητα όλων των κονιαμάτων που ερευνήθηκαν. Κατά την ανάδευση και σε δοκιμές εφαρμογής τους, η εργασιμότητα τους ήταν καλή, το υλικό είχε συνεκτικότητα και ήταν ομοιογενές. Επιλέχθηκε ένας εκ των τριών συνδυασμών κονιαμάτων για εφαρμογή σε εξωτερικό λίθινο τοίχο και μετά το πέρας επτά μηνών το κονίαμα είχε μικρές ρηγματώσεις. Σύμφωνα με την αντοχή την πλαστικότητα και την καλή εργασιμότητα του υλικού με προσθήκη ινών συμπεραίνουμε ότι το κονίαμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως επίχρισμα ή ως υλικό για αρμολόγηση, όπως έχει γίνει από το Εργαστήριο σε εφαρμογές σε εξωτερικούς τοίχους.

Δεύτερη εργαστηριακή ενότητα αποτέλεσε, η προσθήκη του απόβλητου υλικού με αδρανή και συγκολλητική κονία για κατασκευή νέου λιθοσώματος. Αρχικά μελετήθηκαν, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν νέες ξύλινες μήτρες για χύτευση υλικού. Έγινε μία νέα μείξη και εν συνεχεία χύτευση, η οποία αστόχησε. Η αστοχία του πλίνθου (μεγάλες εγκάρσιες ρωγμές στην μεγάλη διεύθυνση), η ταυτόχρονη σπατάλη μεγάλης ποσότητας υλικών και η χρήση αδρανών μεγάλης διατομής που δεν θα μπορούσε να ελεγχθεί σε μήτρες του εργαστηρίου (4x4x16 cm), μας οδήγησαν στην κατασκευή νέων ξύλινων μητρών (10x10x10 cm) για έλεγχο του υλικού. Στις νέες μήτρες έγινε χύτευση και εργαστηριακός έλεγχος σε υλικό, ενός ακόμα νέου συνδυασμού. Τα εργαστηριακά αποτελέσματα της συγκεκριμένης σύνθεσης ήταν πολύ κοντά στις τιμές του ανεκτού και με μικρές αλλαγές στις αναλογίες των υλικών ήταν εφικτό η αντοχή να αυξανόταν σε βαθμό που μπορούσαμε (σχεδόν) να προσδιορίσουμε σύμφωνα με τις έως τώρα δοκιμές. Η δυσκολία παραγωγής με την χρήση του συγκεκριμένου καλουπιού, η καθυστέρηση ξεκαλουπώματος, το πολύ μεγάλο βάρος του συγκεκριμένου πλίνθου είχαν αρνητικό πρόσημο, για την συνέχιση της διαδικασίας της συγκεκριμένης πειραματικής.

Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα (ιδιαίτερα) της δεύτερης εργαστηριακής ενότητας, δεν είχαν οδηγήσει προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση, σίγουρα όμως αποτέλεσαν τον δρόμο της έρευνας (βάσει εργαστηριακών συμπερασμάτων) για να μεταβούμε σε τρίτη πειραματική ενότητα και λύση.

Η τρίτη εργαστηριακή ενότητα αφορά στην δοκιμή κατασκευής πλακιδίων, με μείγμα μέρους του οποίου θα αποτελούσε το απόβλητο υλικό. Αρχικά σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν νέες μήτρες διαστάσεων 20x20x3 cm. Πραγματοποιήθηκε χύτευση προς εργαστηριακό έλεγχο (σε μήτρες 4x4x16 cm) και στις μήτρες κατασκευής πλακιδίων ταυτόχρονα. Τα αποτελέσματα από τους εργαστηριακούς ελέγχους του νέου συνδυασμού και ορισμένων συνδυασμών των προηγούμενων πειραματικών ενοτήτων κρίθηκαν κατάλληλα για χρήση πλακιδίων σε εσωτερικό χώρο και έπειτα ακολούθησαν πειραματισμοί, που αφορούσαν στο αισθητικό καθαρά μέρος του πλακιδίου.

Κατά την διαδικασία κατασκευής πλακιδίων, τα υλικά χύτευσης διαμορφωνόταν, με προσθήκη χρωστικών, όπως ώχρα, κόκκινο χρώμα και περισσότερη ποσότητα λευκού τσιμέντου, με σκοπό (πλέον) το καλύτερο αποτέλεσμα σε εικόνα και υφή.

Από όλες τις δοκιμές, τον συνδυασμό υλικών, τους πειραματισμούς κονιαμάτων, με έμφαση στην τρίτη πειραματική ενότητα, έχει γίνει σαφές ότι η προσθήκη της υγρής ωχρόλευκης παιπάλης, δεν αντικαθιστά ιδιότητες αδρανούς υλικού (για παράδειγμα νταμαρίσιας άμμου), αλλά ως συστατικό υλικό κονιάματος και σε αναλογία που κυμαίνεται από 0,60 έως 0,80 (αναλογίες που εφαρμόστηκαν κατά την διαδικασία της τρίτης πειραματικής ενότητας) προς τα αδρανή, δίνει αποτελέσματα, από τα οποία συμπεραίνουμε ότι μπορεί να αξιοποιηθεί, αποτελώντας μέρος των κονιαμάτων για κατασκευή πλακιδίων, προς μία χρήση κυρίως αισθητικού χαρακτήρα, με εφαρμογή του σε δάπεδο ή επενδύοντας κατακόρυφες επιφάνειες εσωτερικών χώρων. Βασικό χαρακτηριστικό της προσθήκης του υγρού ωχρόλευκου απόβλητου υλικού σε κονίαμα, βάσει των παραπάνω και της εργασίας κατά την ανάδευση υλικών που παρατηρήθηκε έντονα, είναι η εργασιμότητα που προσδίδει στο κονίαμα.

Η εργασιμότητα εξαρτάται από την ευκολία ροής, δηλαδή τη ρευστότητα του νωπού κονιάματος και τη συνοχή της μάζας (την ικανότητα του κονιάματος να συγκρατεί τόσο το νερό, όσο και τα αδρανή σε μία ομοιόμορφη μάζα) δηλαδή τη συνεκτικότητα. Επειδή η εργασιμότητα εξαρτάται κάθε φορά από τις συνθήκες του έργου, το μέγεθος, καιρικές συνθήκες, απαιτήσεις, είναι αναμενόμενο ότι πειραματικός έλεγχος δεν είναι αρκετός από μόνος του για την μέτρηση της. Επισημαίνεται δε, ότι με ένα απλό μυστρί ή φτυάρι ή σπάτουλα, μπορούμε να συμπεράνουμε και να εκτιμήσουμε την εργασιμότητα του κονιάματος, αρκεί να συνοδεύεται από την εμπειρία του χρήστη⁴⁰.

⁴⁰ Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013, σελ.174

Η επιλογή και ο συνδυασμός των υλικών, που χρησιμοποιούνται στην δόμηση, την αρχιτεκτονική και την διακόσμηση τις τελευταίες δεκαετίες, κατά ένα μεγάλο βαθμό οφείλεται στη συνειδητοποίηση της συνεχούς επιβάρυνσης του φυσικού περιβάλλοντος, που έχει αποτελέσει ένα μεγάλο πεδίο προβληματισμού. Κατασκευές (μικρής και μεγάλης κλίμακας) που αντλούν τα πρότυπα τους από την παραδοσιακή αρχιτεκτονική, με φυσικά υλικά, που ανανεώνονται εύκολα, έχουν λιγότερο κόστος επεξεργασίας, ανακυκλώνονται, δεν βλάπτουν την ανθρώπινη υγεία, παράγονται στον τόπο κατασκευής, αποτελούν όλο και συχνότερα ένα από τα ζητούμενα που βαρύνουν στις επιλογές των σχεδιαστών αλλά και των χρηστών⁴¹.

Η ευκολία διαχείρισης, η ρευστότητα, η εργασιμότητα που χαρακτηρίζει το κονίαμα, που δημιουργεί η μίξη του υγρού ωχρόλευκου απόβλητου υλικού, με τον σωστό κατ' αναλογία συνδυασμό κονίας και αδρανών, φαίνεται να μας δίνει την δυνατότητα να μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε και σε άλλα αντικείμενα, αναγκαία για τον χρήστη και παράλληλα, κατασκευάσματα, επακόλουθα ιδεών ενός αρχιτέκτονα.

9. Προτάσεις – Προοπτικές

Με βάση τα συμπεράσματα της ερευνητικής εργασίας αυτής, μπορούν να προταθούν τα ακόλουθα:

_Για την ευκολότερη διαδικασία σύλληψης του απόβλητου υλικού, θα μπορούσε να κατασκευαστεί μία «στάση» στην διαδρομή (του καναλιού) ροής του, πριν καταλήξει στις δεξαμενές οι οποίες περιέχουν ουσίες για τον καθαρισμό του και αλλάζουν την χημική του σύσταση.

_Για τις δοκιμές, χυτεύσεις και την κατασκευή των παραπάνω πλακιδίων χρησιμοποιήθηκε ξύλινος πάγκος διαστάσεων 1.20x2.50m σε συγκεκριμένο χώρο που δεν ξεπερνούσε τα 15 τμ. Με βάση την συγκεκριμένη πληροφορία, συμπεραίνουμε ότι απαιτείται μικρός χώρος εργασίας, μηχανήματα και εργαλεία μικρού μεγέθους, για να παραχθεί ένα προϊόν από το εν λόγω απόβλητο, γεγονός το οποίο καθιστά εύκολη την πρόβλεψη και τον σχεδιασμό ενός τέτοιου μικρού χώρου, σε μονάδα κοπής και επεξεργασίας πέτρας και μαρμάρου.

_Οι μήτρες που χρησιμοποιήθηκαν, κατασκευάστηκαν από ξύλο και τα σχήματα, εσωτερικά των πλακιδίων δημιουργήθηκαν με αφαίρεση λίθινης

⁴¹ Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζιόλα, 2021, σελ.

φόρμας και χύτευση υλικού. Και τα δύο (συγκεκριμένα) «καλούπια» θα μπορούσαν να αντικατασταθούν με μέταλλο, ούτως ώστε η διαδικασία καθαρισμού μήτρας να είναι γρηγορότερη και η συντήρηση ευκολότερη.

_Σχεδιασμός και κατασκευή μητρών μίας πιο οργανικής μορφής, θα μπορούσε να δώσει αποτελέσματα συνθέσεων εύκολα, μίας καλλιτεχνικής, εικαστικής μορφής, αξιοποιώντας στο μέγιστο την ιδιότητα της ευκολίας χρήσης του απόβλητου υλικού, καθώς προσδίδει μεγάλη εργασιμότητα.

_Σύμφωνα με αυτή την ερευνητική εργασία, εξετάζεται η χρήση του απόβλητου υλικού που προκύπτει κατά την διαδικασία κοπής και επεξεργασίας πετρωμάτων, αλλά και κατά το δυνατόν ο συνδυασμός του με άλλα απόβλητα υλικά. Παρότι οι εργαστηριακές μελέτες αρχικά, έγιναν με συνθέσεις που περιλάμβαναν και ανακυκλώσιμα υλικά δίνοντας (ορισμένες εξ' αυτών) ικανοποιητικά αποτελέσματα, οι συνθέσεις του τρίτου εργαστηριακού μέρους δεν περιλάμβαναν τέτοια υλικά (λόγω του ότι καταναλώθηκαν στην διαδικασία των πρώτων πειραμάτων). Προς μία κατεύθυνση διαχείρισης απόβλητων υλικών και έχοντας κατανοήσει την σημαντικότητα της αξιοποίησης τους, αξίζει και θα μπορούσε (και στη συγκεκριμένη διαδικασία) μέρος των αδρανών, να αποτελούσαν (και να αποτελούν εφόσον είναι εφικτή η κατασκευή τους) ανακυκλώσιμα υλικά, σε μία διαδικασία κατασκευής συνθέσεων, πλακιδίων ή άλλων αντικειμένων.

10. Βιβλιογραφία

- Arizzi A., Cultrone G., The water transfer properties and drying shrinkage of aerial lime- based mortars: an assessment of their quality as repair rendering materials Environ Earth Sci (2014) 71:1699–1710 DOI 10.1007/s12665-013-2574-x)
- Borrelli E., ICCROM ARC laboratory handbook vol. 1-2. Rome : ICCROM, 1999
- Γεωργιάδου Ζ., Δομικά και Διακοσμητικά Υλικά, Εκδ. Τζιόλα, 2021
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός ΕΑΚ 2000, εκδ. ΟΑΣΠ, Αθήνα, 2001
- Ευρωκώδικας 6, Σχεδιασμός Κατασκευών από Τοιχοποιία, μετάφραση του ENV1996-1-1, Έκδ. Τ.Ε.Ε., 1995
- Καλκάνης Γ., Χατήρης Ι., Σταθουλοπούλου χ., Τεχνολογία των Δομικών Υλικών, Εκδ. ΙΩΝ, Αθήνα, 2004
- Καπάσα Μ., Ανάπτυξη και εφαρμογή εκπαιδευτικού υλικού πράσινης χημείας στο πλαίσιο της αειφορίας με έμφαση στην χρήση ανανεώσιμων πρώτων υλών, Διδακτορική διατριβή Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα, 2013
- Καραντώνη Φ., Κατασκευές από τοιχοποιία, Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2004
- Καρακάση Ο., Διερεύνηση της συμβολής της ιπτάμενης τέφρας από καύση λιγνιτών στην απορρύπανση οργανικών φορτίων, Διδακτορική διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα, 2009
- Κουτσουμπίδης Γ., Ανάλυση Φασματοσκοπίας και Φασματομετρίας FTIR και Εφαρμογή σε Μέτρηση Συγκέντρωσης Αέριων Εκπομπών σε Καυσαέρια από Scrubbers, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Δ.Π.Μ.Σ.,»Συστήματα Αυτοματισμού», ΕΜΠ, 2018
- Λιόλιος Α., Δόμηση και περιβάλλον: Βιώσιμα Δομικά Υλικά και η συμπεριφορά τους στο περιβάλλον, Διδακτορική διατριβή Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, 2019
- Μαραβελάκη Π., Φθορά και συντήρηση δομικών υλικών μνημείων & αρχιτεκτονικών επιφανειών, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, 2016
- Μαρσέλλος Ν., Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος - ΚΤΣ-2016, 2η αναθεωρημένη έκδοση, εκδ. Δεδεμάδη, Αθήνα, 2017
- Μπατσούλης Α., Εφαρμογές της υπέρυθρης φασματοσκοπίας (FT-IR) και της φασματοσκοπίας Raman (FT-RAMAN) στη μελέτη συστατικών γεωργικών προϊόντων, η περίπτωση του Kenaf, του μελιού και των φύλλων της μουριάς, Διδακτορική διατριβή Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2016

Παπαγιάννη Ι, Οικονόμου Ν., Στεφανίδου Μ., Δομικά Υλικά Ι, Ανοιχτά ακαδημαϊκά μαθήματα, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Παπαδασκαλοπούλου Χ., Αξιολόγηση βιωσιμότητας τεχνολογιών αξιοποίησης αστικών στερεών αποβλήτων και περαιτέρω διερεύνηση εφαρμογής βιοδιυλιστηρίου, Διδακτορική διατριβή ΕΜΠ, Αθήνα, 2020

Πατέλης Δ., Έρευνα, Τεχνολογία και προοπτική ενοποίησης της ανθρωπότητας, Εκδ. ΚΨΜ, Αθήνα, 2019

Πατέλης Δ., Τέχνη & Τεχνολογία, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Παχτά Β., Μελέτη εξέλιξης τεχνολογίας κονιαμάτων, Διδακτορική διατριβή ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2011

Πολύζος Σ., Διαχείριση φυσικών πόρων και βιώσιμη ανάπτυξη, Εκδ. Τζιόλα, Αθήνα, 2022

Sánchez J. A., Barrios J., Materiales De Construcción, The shrinkage in lime mortars vol 47, nº 245, 1997

Στεφανίδου Μ., Μελέτη μικροδομής και μηχανικών χαρακτηριστικών «παραδοσιακών» κονιαμάτων, Διδακτορική διατριβή ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2000

Τεκίδης Σ.Κ., Ανθεκτικότητα κονιαμάτων γεωπολυμερών από μετακαολίνη και ασβεστολιθική άμμο, Δ.Π.Μ.Σ. Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2013

Τριανταφύλλου Α.Χ., Δομικά Υλικά, 10η Έκδοση, Πάτρα, 2013

Tchobanoglous G., Kreith F., Εγχειρίδιο διαχείρισης στερεών αποβλήτων, μετάφραση 2^{ης} έκδοσης, εκδ. Τζιόλα, Αθήνα, 2010

Wendehorst R., Δομικά Υλικά, 2η έκδοση μετάφραση της 21ης αναθεωρημένης γερμανικής έκδοσης, εκδ. Μ.Γκιούρδας, Αθήνα, 2003

11. Διαδικτυακές πηγές

<https://www.researchgate.net/publication/328108419> On the experimental investigation of pozzolanic lime mortar stress-strain behavior and deformation characteristics when subjected to unloading-reloading cycles (10/9/21)

https://jme.shahroodut.ac.ir/article_491.html (10/9/21)

<https://www.researchgate.net/profile/Sushovan-Sarkar/publication/275653959> Solid waste management in steel industry- (25/9/21)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884604004089>
(25/9/21)

<https://www.mdpi.com/2075-5309/10/10/172> (10/10/21)

http://canadamasonrydesigncentre.com/download/9th_symposium/MORTAR03.pdf (10/10/21)

<http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teepatra/profil/oe/TAB5329975/OE-2012-TEE-ANAKYKLWSH%20AEKK.pdf> (10/3/22)

<https://kemioteke.gr/index.php/news/476-210gr-katigories-spoudaiotitas-ktirion-antiseismikoy-kanonismoy>(10/3/22)

<http://www.ggde.gr/dmddocuments/03-02-01-00.pdf> (15/3/22)

http://www.hellaskps.gr/min_requirements/docs/PE1/DGTSY/5Ktiriaka/TD-D-1000.0.htm (5/8/22)

<https://apothesis.eap.gr/bitstream/repo/47613/1/%CE%98%CE%95%CE%9F%CE%94%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%94%CE%97%CE%A3-%CE%9A%CE%A9%CE%9D%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%A3-%CE%94%CE%99%CE%91%CE%94%CE%95.pdf> (5/8/22)

http://portal.tee.gr/portal/page/portal/teetkm/DRASTHRIOTHES/SEMINARIA/PALAIOTERA_SEMINARIA/H_KYKLOS_S_M_D_IAN_FEB_09/FEROUSA_TOIXOPOIIA_VLAVES_APOKATASTASH/%D3%E5%EC%20%F4%EF%E9%F7%20%D4%C5%C5_2_.pdf (10/8/22)

<https://www.laboratuar.com/el/testler/kimyasal-testler/ftir-spektroskopi-analizleri/> (10/8/22)

<https://www.materials.uoc.gr/el/undergrad/courses/ETY222/notes/2020/lecture06.pdf> (10/8/22)

<https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro> (10/8/22)