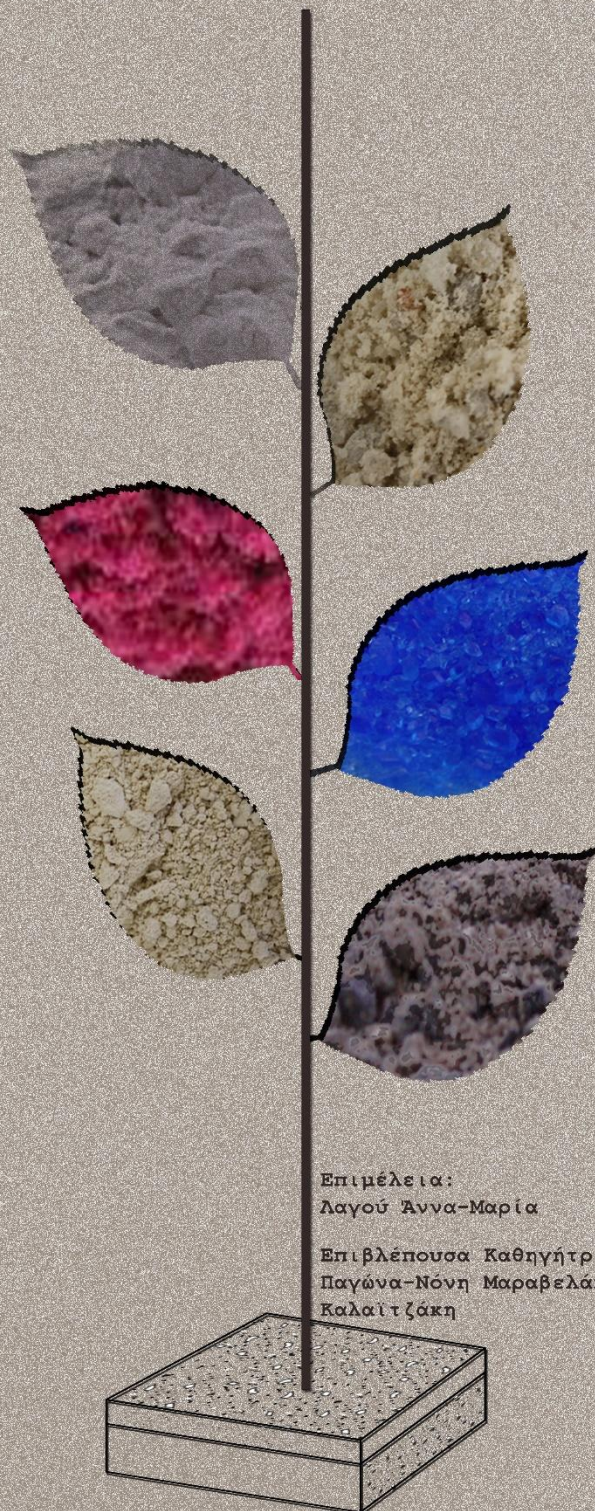




Πολυτεχνείο Κρήτης
Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών
Διπλωματική Εργασία
2017-2018

Σύνθεση Ενεργειακών Επιχρισμάτων Με Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα ως Αδρανή Και Ορυκτά Πρόσθετα Για Χρωματισμό



Επιμέλεια:
Λαγού Άννα-Μαρία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Παγώνα-Νόνη Μαραβελάκη-
Καλαϊτζάκη

Σύνθεση Ενεργειακών Επιχρισμάτων Με Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα ως Αδρανή Και Ορυκτά Πρόσθετα Για Χρωματισμό



Επιμέλεια:
Λαγού Άννα-Μαρία

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:
Παγώνα-Νόννη Μαραβελάκη-
Καλαϊτζάκη

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έλαβε χώρα στο εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης(MACHMOB),με επιβλέπουσα την Αναπληρώτρια καθηγήτρια κ.Παγώνα-Νόνη Μαραβελάκη-Καλαϊτζάκη. Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και την βαθιά ευγνωμοσύνη μου για την απεριόριστη βοήθεια και υποστήριξη που έδειξε μαζί μου από την ερευνητική έως την διπλωματική μου εργασία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την ερευνήτρια-Πολιτικό Μηχανικό MSc, Καπετανάκη Καλή για την πολύτιμη βοήθεια, την υποστήριξη και την υπομονή που μου πρόσφερε όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Με την φιλική της στάση από την πρώτη κιόλας στιγμή με εξοικείωσε με όλες τις μεθόδους και τις αναλύσεις που χρησιμοποιήθηκαν στο εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης.

Επίσης ευχαριστώ ιδιαιτέρως τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Γαλετάκη Μιχαήλ για την πολύτιμη βοήθεια του και την προσφορά του βασικού υλικού της παρούσας διπλωματικής εργασίας, άμμος από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα που αποτελεί προϊόν έρευνας της ερευνητικής μονάδας του κ. Γαλετάκη, Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική. Επίσης στην ίδια ερευνητική μονάδα, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κα. Σουλτάνα Αθανασία, Μηχανικό Ορυκτών Πόρων, MSc τόσο για την βοήθεια και την προσφορά των υλικών όσο και για την καθοριστική συμβολή της στη δοκιμή της γραμμικής συρρίκνωσης των συνθέσεων μου καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την Αναπληρώτρια Καθηγήτρια κα. Κολοκοτσά Διονυσία για την συμβολή της στις βασικές δοκιμές για την μελέτη των ενεργειακών χαρακτηρισμών των συνθέσεων μου στο εργαστήριο Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας υπό τις υποδείξεις και την πολύτιμη βοήθεια και διεξαγωγή συμπερασμάτων του Δρ. Γομπάκη Κωνσταντίνου τον οποίο ευχαριστώ επίσης ιδιαιτέρως.

Ευχαριστώ επίσης πάρα πολύ τον κ. Στέλιο Μαυριγιαννάκη και τον καθηγητή κ. Γιώργο Εξαδάκτυλο από το Εργαστήριο Μηχανικής Πετρωμάτων για την πολύτιμη βοήθεια στο σπάσιμο δοκιμίων, τον καθηγητή κ. Νίκο Καλλίθρακα, τη κα. Ελένη Χαμηλάκη και τον καθηγητή Νίκο Πασαδάκη από το Εργαστήριο Ανάλυσης Ρευστών και Πυρήνων Υπογείων Ταμιευτήρων για την προσφορά του μηχανήματος FTIR, τον κ. Αντώνη Στρατάκη και τον καθηγητή κ. Γιώργο Αλεβίζο από το Εργαστήριο Γενικής και Τεχνικής Ορυκτολογίας για τις αναλύσεις XRD.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω πάρα πολύ την οικογένεια μου και τον Δημήτρη για την στήριξη, την υπομονή και την βοήθειά τους σε οτιδήποτε κι αν χρειάστηκα όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την ομάδα από το Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης, που με στόχο την επιτυχία συνεργαστήκαμε άψογα καθ' όλη την διάρκεια της χρονιάς.

Περιεχόμενα

Περίληψη	8
-----------------	---

ΜΕΡΟΣ Α'

Εισαγωγή

1. Ανάλυση και Προέλευση Υλικών και Ορυκτών

1.1 Αδρανή από Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα

1.1.1 Ανακύκλωση Απόβλητων Εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών (ΑΕΚΚ) και βαθμός επαναχρησιμοποίησης σε Ευρώπη και Ελλάδα	14
1.1.2 Χρήση ΑΕΕΚ για οικοδομικές εργασίες	19

1.2 Ψυχρά Υλικά

1.2.1 Ιδιότητες των Ψυχρών Υλικών	21
1.2.2 Επίδραση των Ψυχρών Υλικών στις Ενεργειακές Επιδόσεις των κτιρίων	22

2. Υλικά

2.1 Κονίες

2.1.1 Λευκό Τσιμέντο	26
2.1.2 Υδράσβεστος	27
2.1.3 Υδραυλική Άσβεστος	28
2.1.4 Μετακαολίνης	29

2.2 Αδρανή

2.2.1 Άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή	32
2.2.2 Νταμαρίσια Άμμος	33
2.2.3 Μαρμαρόσκονη	34

2.3 Πρόσθετα

2.3.1 Ένυδρος Θεικός Χαλκός	35
2.3.2 Χλωριούχο Κοβάλτιο Εξαϋδρικό	35

Πειραματικό Μέρος**3. Μέθοδοι Δοκιμών και Αρχές Λειτουργίας Οργάνων**

3.1 Μακροσκοπική Ανάλυση	
3.1.1 Φωτογράφιση.....	38
3.1.2 Dino-Lite.....	38
3.2 Φυσικοχημικές Αναλύσεις	
3.2.1 Εξέταση FTIR.....	39
3.2.2 Εξέταση XRD.....	41
3.2.3 Χρωματόμετρο.....	43
3.3 Μηχανικές Δοκιμές	
3.3.1 Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης.....	45
3.3.2 Διαδικασία Γραμμικής Συρρίκνωσης.....	47
3.4 Ενεργειακές Αναλύσεις	
3.4.1 Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-Nir Spectrophotometer.....	48
3.4.2 Μετρητής Συντελεστή Εκπομπής Emissometer Model.....	50

4. Σχεδιασμός συνθέσεων.....52**Αποτελέσματα****5. Αποτελέσματα Αναλύσεων**

5.1 Φυσικοχημικές Αναλύσεις	
5.1.1 Αποτελέσματα Εξέτασης FTIR.....	61
5.1.2 Αποτελέσματα Εξέτασης XRD.....	73
5.1.3 Αποτελέσματα Χρωματόμετρου.....	77
5.2 Μηχανικές Δοκιμές	
5.2.1 Αποτελέσματα Δοκιμών Μονοαξονικής Θλίψης.....	83
5.2.2 Αποτελέσματα Διαδικασίας Γραμμικής Συρρίκνωσης.....	87
5.3 Ενεργειακές Αναλύσεις	
5.3.1 Αποτελέσματα Φασματοφωτόμετρου Cary 5000 UV-Vis-Nir Spectrophotometer.....	89

5.3.2 Αποτελέσματα Μετρητή Συντελεστή Εκπομπής Emissometer
Model.....97

ΜΕΡΟΣ Δ΄

6. Συμπεράσματα.....104

7. Βιβλιογραφία-Διαδικτυακές πηγές.....107

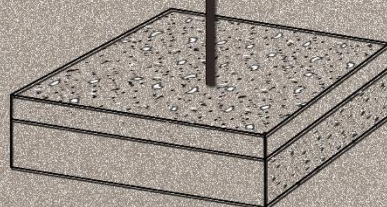
8. Παράρτημα.....111

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία διερευνάται σε εργαστηριακή κλίμακα η δυνατότητα παραγωγής κτιριακών επιχρισμάτων. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλωμένα αδρανή (άμμος), προερχόμενα από απόβλητα εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών(ΑΕΚΚ). Επιπροσθέτως, οι συνθέσεις που μελετήθηκαν αποτελούνται από λευκό τσιμέντο, υδράσβεστο, υδραυλική άσβεστο και μετακαολίνη. Για την λευκότερη απόχρωση των επιχρισμάτων προστέθηκε στις συνθέσεις μαρμαρόσκονη. Με σκοπό την κατασκευή εγχρώμων επιχρισμάτων προστέθηκε στις συνθέσεις ποσότητα ένυδρου θεικού χαλκού($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ή κοινώς γνωστό ως γαλαζόπετρα). Η επιλογή του εν λόγω ορυκτού έγινε ύστερα από δοκιμές, μελέτες και συγκρίσεις.

Οι παραπάνω συνθέσεις υποβάλλονται σε μια σειρά από μελέτες και αναλύσεις με σκοπό τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Μακροσκοπικές, φυσικοχημικές, μηχανικές και ενεργειακές αναλύσεις τίθενται σε εφαρμογή και αποδεικνύουν ότι με προσिता, καθημερινά και οικονομικά υλικά μπορούν να κατασκευαστούν επιχρίσματα που θα βελτιώσουν το σοβαρό ενεργειακό πρόβλημα. Η παρούσα διπλωματική εργασία που αποτελεί συνέχεια της ερευνητικής μου εργασίας «Πράσινα Οικολογικά υλικά για εξοικονόμηση ενέργειας κτιρίων», παρέδωσε μία πρώτη ομάδα εγχρώμων οικολογικών επιχρισμάτων ανόργανης φύσης με αδρανή από ανακύκλωση υλικών κατεδαφίσεων, τα οποία επιχρίσματα παρουσιάζουν ικανοποιητικές αντοχές και μείωση ενεργειακής κατανάλωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°



Εισαγωγή

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ**Αδρανή από Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα**

Στην παρούσα Διπλωματική εργασία, μελετώνται υλικά τα οποία θα συνθέσουν κονιάματα που θα λειτουργήσουν ως επιχρίσματα κτιρίων και θα εξεταστούν, πέρα από τις φυσικοχημικές και μηχανικές δοκιμές, για τις ενεργειακές τους ιδιότητες. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε ως αδρανή, σκυρόδεμα από ανακύκλωση αποβλήτων-εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών που δημιουργήθηκε στο ερευνητικό τμήμα του κ. Γαλετάκη Μιχαήλ με τίτλο Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική στο τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Ο όρος "Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων" (ΑΕΚΚ), αναφέρεται σε κάθε υλικό ή αντικείμενο από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις που θεωρείται απόβλητο¹. Τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ) περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα υλικών, κυρίως αδρανών, όπως είναι το σκυρόδεμα, τα τούβλα και τα πλακάκια, ενώ δεν αποκλείεται και η παρουσία επικίνδυνων υλικών². Η μεγάλη σε όγκο ύπαρξη τους και η μη ελεγχόμενη διάθεσή τους αποτελεί επιτακτική ανάγκη επαναχρησιμοποίησης και δημιουργίας νέων προϊόντων με σκοπό τη μείωση των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκαλούν. Τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων στις βιομηχανικές χώρες, το οποίο αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Παράγονται κατά κύριο λόγο από τη δόμηση νέων κατασκευών και κατά την ανακαίνιση και κατεδάφιση των υπαρχουσών κατασκευών.³

Τα παραπάνω απόβλητα καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα υλικών και για το λόγο αυτό κατηγοριοποιούνται σε απόβλητα από⁴:

• **Οικοδομικές εργασίες**, όπως προαναφέρθηκε από ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαίνισεις, επισκευές, περιφράξεις κατοικιών, επαγγελματικών χώρων και γενικότερα κτιριακών συγκροτημάτων.

¹ Άρθρο 2 της υπ. αριθ. 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παρ.4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρου 17 του παρόντος Διατάγματος.

² Μεταπτυχιακή Διατριβή "Εργαστηριακή Διερεύνηση της Δυνατότητας Χρήσης Ανακυκλωμένων Αδρανών για Παραγωγή Δομικών Στοιχείων", Πυτερίδη Χριστίνα

³ Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη 11-12 Ιουνίου 2015, "Διερεύνηση της Δυνατότητας παραγωγής δομικών στοιχείων από λατομική παυτάλη και ανακυκλωμένα αδρανή προερχόμενα από απόβλητα εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών". Μ. Γαλετάκης, Α. Βασιλείου, Χ. Πυτερίδη, Α. Σουλτάνα, Κ. Κομνιτσάς, Ε.Στειακάκης, Μ. Γκίνος

⁴ <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=51>

•**Έργα τεχνικών υποδομών**, όπως κατεδαφίσεις, κατασκευές ή επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων, καθώς και αναπλάσεις χώρων.

•**Μονάδες επεξεργασίας μαρμάρου**, ετοίμου σκυροδέματος και προϊόντων αυτών.

•**Φυσικές ή τεχνολογικές καταστροφές**, όπως σεισμοί, πλημμύρες, κατολισθήσεις και γενικότερα δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες.

•**Απόβλητα από εργοτάξια**, όπως ξύλο, πλαστικό, χαρτί, γυαλί, μέταλλα, καλώδια, χρώματα, βερνίκια.

Στον πίνακα 1 εμφανίζεται η τυπική σύσταση των Αποβλήτων κατεδαφίσεων και Κατασκευών⁵.

Πίνακας 1. Τυπική σύσταση Αποβλήτων Κατεδαφίσεων και Κατασκευών.

Σύσταση	Ποσοστό %	
	<i>Απόβλητα κατεδαφίσεων</i>	<i>Απόβλητα κατασκευών</i>
Άσφαλτος	1,61	0,13
Σκυρόδεμα	19,99	9,27
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	33,11	8,25
Ακαθαρσίες, Χώμα, Λάσπη	11,91	30,55
Πέτρες	6,83	9,74
Χαλίκια	4,95	14,13
Ξύλο	7,46	10,95
Τούβλο από Σκυρόδεμα	1,11	0,90
Τούβλο	6,33	5,00

⁵ <http://www.uest.gr/>

Γυαλί	0,20	0,56
Άλλα οργανικά	1,30	3,05
Πλαστικοί Σωλήνες	0,61	1,13
Άμμος	1,44	1,70
Εντοιχισμένα Έπιπλα	0,04	0,03
Άχρηστα Αντικείμενα	0,07	0,24
Μέταλλα	3,41	4,36
Σύνολο	100	100

Ανακύκλωση Αποβλήτων Εκσκαφών-κατεδαφίσεων (ΑΕΕΚ) και βαθμός επαναχρησιμοποίησης σε Ευρώπη και Ελλάδα

Ανακύκλωση υλικών, ή ευρύτερα η ανακύκλωση, είναι η ειδική επεξεργασία χρησιμοποιημένων και φαινομενικά άχρηστων υλικών ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν με κυκλικό τρόπο για επανάκτηση-επαναχρησιμοποίηση των μη ανανεώσιμων αγαθών όπως είναι το μέταλλο, το χαρτί, το γυαλί, το νερό των αποβλήτων και άλλων⁶. Οι πρώτες ύλες των οικοδομικών υλικών προέρχονται από φυσικούς πόρους του εδάφους και υπεδάφους τα γνωστά πετρώματα και τα μεταλλεύματα που αποτελούν τμήμα των μη ανανεώσιμων πόρων της γης.



Εικόνα 1. Διαγραμματική Απεικόνιση του κύκλου ζωής των υλικών. Πηγή: Τεχνική Έκθεση Durecobel, 2013

Η ανακύκλωση των υλικών αυτών μπορεί, όπως φαίνεται παραστατικά στην εικόνα 1 να συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση πρωτογενών πρώτων υλών⁷.

⁶ Μεταπτυχιακή Διατριβή "Εργαστηριακή Διερεύνηση της Δυνατότητας Χρήσης Ανακυκλωμένων Αδρανών για Παραγωγή Δομικών Στοιχείων", Πιπερίδη Χριστίνα, Πολυτεχνείο Κρήτης

⁷ Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013

Η κατασκευαστική βιομηχανία είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής ακατέργαστων πρώτων υλών μετά τη βιομηχανία τροφίμων⁸. Για το λόγο αυτό, μια σημαντική αρχή για τη διατήρηση των αποθεμάτων είναι :

- η μείωση της χρήσης των φυσικών πόρων, ιδιαίτερα των μη ανανεώσιμων,
- η μείωση των απωλειών υλικών κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της κατασκευής και κατά τη διάρκεια ζωής των κτιρίων,
- η επανάχρηση των υλικών μετά από κατεδαφίσεις
- και η ανακύκλωση των υλικών.

Υλικά τα οποία είναι δυσεύρετα ή μη ανανεώσιμα, για να εξακολουθούν να υφίστανται, πρέπει να χρησιμοποιούνται με σύνεση και μέτρο. Δεν είναι λίγες οι φορές που οι φυσικοί πόροι της γης θεωρούνται ανεξάντλητες και είναι περιορισμένες. Ο καταλυτικός παράγοντας που περιορίζει την δυνατότητα εκμετάλλευσης του συνόλου των φυσικών πόρων, είναι το γεγονός ότι όλα τα κοιτάσματά τους δεν είναι προσιτά, αλλά μόνο μικρές ποσότητές τους και μάλιστα αυτά που βρίσκονται στην ανώτερη ζώνη του γήινου φλοιού.

Συνεπώς, ο χρόνος ζωής των αποθεμάτων πρέπει να εκτιμηθεί κυρίως με κριτήριο το ρυθμό της τρέχουσας κατανάλωσής τους, καθώς η επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους εξαρτάται κυρίως από το βαθμό ορθολογικής διαχείρισης και εξοικονόμησης των ποσοτήτων τους που χρησιμοποιούνται από τον άνθρωπο⁹. Ωστόσο, όσον αφορά τα αποθέματα των πετρωμάτων, δεν υπάρχει οξύ πρόβλημα εξάντλησης, παρόλο το γεγονός ότι για ορισμένα από αυτά παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση, λόγου χάρη για τα ασβεστολιθικά πετρώματα που αποτελούν το 80% της μάζας του σκυροδέματος¹⁰. Μόνο υλικά που υπάρχουν σε αφθονία στην κλίμακα του τοπικού περιβάλλοντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό την προϋπόθεση ότι η εξόρυξή τους δεν θα προκαλεί, ή θα προκαλέσει στο μέλλον, αισθητική υποβάθμιση.

Η οργανωμένη εκμετάλλευση των πόρων πρέπει να συνοδεύεται από μελέτες για την εκτίμηση των επιπτώσεων στο άμεσο περιβάλλον, όπως πτώση στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, καταστροφή ευαίσθητων τοπικών οικοσυστημάτων και ούτω κάθε εξής¹¹.

⁸ Berge B. 2000. 'Ecology of Building Materials'. Oxford: Architectural Press.

⁹ Γεωργιάδου Ε. (1996). Καθαρές τεχνολογίες δόμησης, Κεφ. IV, στο: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός - Καθαρές Τεχνολογίες Δόμησης.

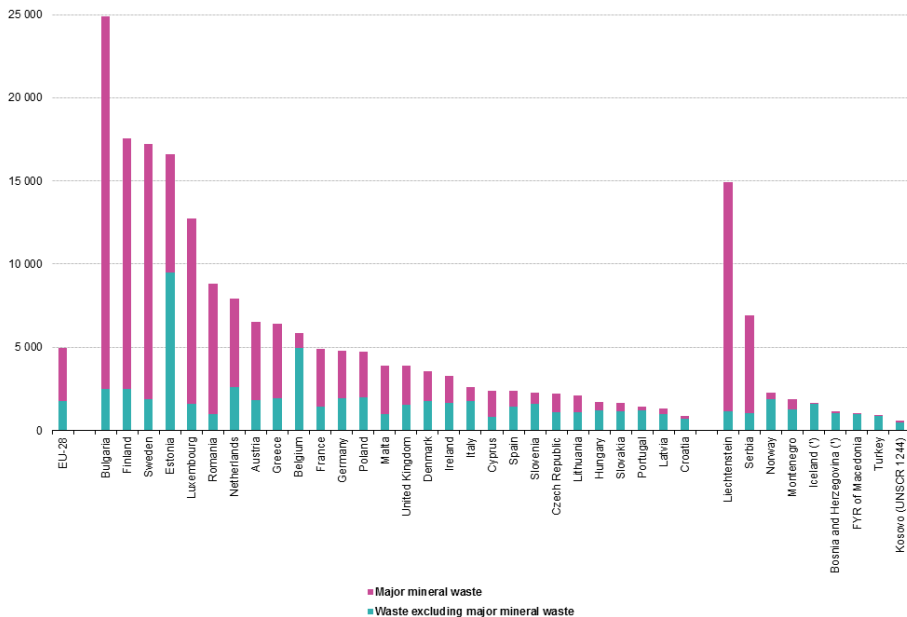
Ν.Ε.Λ.Ε. Θεσ/νίκης-ΤΕΕ/ΤΚΜ-Ανέλιξη- XVII Γεν. Διευθ. για την Ενέργεια, Θεσ/νίκη: Παρατηρητής.

¹⁰ Ο.π

¹¹ Τομπά Χρ. (2005). Δομικά Υλικά Φιλικά προς το Περιβάλλον. Διπλωματική Εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Εξειδίκευσης 'Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων'. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.

Η ανακύκλωση είναι η διάσωση ενός υλικού που ενώ έχει χρησιμοποιηθεί και μοιάζει άχρηστο, δεν έχει χάσει την αξία του και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολύ ακόμα. Έτσι, αντί να απορριφθεί στο περιβάλλον, επιστρέφει στον οικονομικό κύκλο επιτυγχάνοντας προστασία του περιβάλλοντος, εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας¹². Συνήθως μετά από την κατασκευή του έργου και στο τελικό στάδιο του κύκλου ζωής, προκύπτει ένα μείζον ερώτημα: κατεδάφιση και υλικά απορρίμματα ή κατεδάφιση και επαναχρησιμοποίηση;

Τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι από τα πιο βαριά και ογκώδη απόβλητα που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αντιπροσωπεύουν το 25-30% περίπου του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων. Οι διαφορετικοί ορισμοί που εφαρμόζονται σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση, έχει ως αποτέλεσμα τη δυσκολία συγκρίσεων μεταξύ των χωρών.



(*) 2012.
Source: Eurostat (online data code: env_wasgen)

Εικόνα 2. Παραγωγή αποβλήτων, 2014(κιλά ανά κάτοικο) Πηγή: Eurostat

Τα ΑΕΚΚ έχουν αναγνωριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ένα ρεύμα αποβλήτων με προτεραιότητα διαχείρισης. Υπάρχει ένα υψηλό δυναμικό για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των ΑΕΚΚ, δεδομένου ότι ορισμένα από τα υλικά αυτά έχουν μεγάλη αξία. Ειδικότερα, υπάρχει μια νέα αγορά για χρήση αδρανών υλικών που προέρχονται από ΑΕΚΚ για διάφορα κατασκευαστικά έργα¹³. Επιπροσθέτως, η τεχνολογία για το διαχωρισμό και την ανάκτηση των αποβλήτων κατασκευών και

¹² <http://www.recycling-center.gr/benefits-of-recycling.html>

¹³ Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης- www.eoan.gr

κατεδαφίσεων είναι καλά εδραιωμένα, εύκολα προσβάσιμη και γενικά χαμηλού κόστους.

Ωστόσο, το επίπεδο της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό σε ολόκληρη την Ε.Ε. σε λιγότερο από 10% έως και πάνω από 90%. Σε ορισμένα κράτη μέλη, αυτή η κατηγορία αποβλήτων απορρίπτεται, καταλαμβάνοντας πολύτιμο χώρο σε χώρους υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, εάν δεν διαχωρίζονται στην πηγή, μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων, με κίνδυνο να προκαλέσουν ιδιαίτερους κινδύνους για το περιβάλλον.

Στην Ελλάδα η ποσότητα των αποβλήτων που παράγονται από τις διάφορες οικοδομικές εργασίες (κατασκευές και κατεδαφίσεις) εκτιμώνται σε 6-8 εκατ. τόνους ετησίως¹⁴, αλλά βαίνουν συνεχώς μειούμενες λόγω της κρίσης στον κλάδο κατασκευών. Δεδομένου ότι μέχρι σήμερα δεν υπήρχε ένα οργανωμένο δίκτυο συλλογής και αξιοποίησης τους, η διαχείριση των υλικών αυτών σήμερα γίνεται αποσπασματικά, δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στο περιβάλλον εξαιτίας της ανεξέλεγκτης διάθεσής τους.

Σήμερα, η κατασκευή γίνεται αποδέκτης υλικών απορριμμάτων και τα υλικά που εντάσσονται μέσα σε αυτή έχουν προκύψει από κάποια άλλη παραγωγική διαδικασία. Έχουν αξιοποιηθεί σημαντικά τα πριονίδια του ξύλου για την παραγωγή ινσανίδων και μορισανίδων ενώ έχουν αξιοποιηθεί και άλλα περισσότερο ευφάνταστα υλικά όπως τα πτίλα (πούπουλα) που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή αερικού σκυροδέματος¹⁵. Επιπλέον, γίνονται προσπάθειες να απορροφηθούν και άλλα υλικά στο κτίριο έτσι ώστε να αποτελέσει επί της ουσίας μία αποθήκη άχρηστων υλικών και να μην απαιτείται εξόρυξη ή παραγωγή νέων υλικών¹⁶.

Στην Ελλάδα, όσον αφορά τις υπάρχουσες κατασκευές, τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι¹⁷:

- Δομικά στοιχεία από λίθους χωρίς κονίαμα (ξερολιθιά).
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση).
- Ξυλεία φέροντος οργανισμού.
- Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λ.π.)
- Επιπλέον στοιχεία όπως πόρτες, παράθυρα αλλά και είδη υγιεινής και έπιπλα.

Τούβλα, τσιμέντο και σκυρόδεμα από καθαιρέσεις οικοδομών δεν ανακυκλώνονται εύκολα ούτε μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν απευθείας σε νέες κατασκευές και για το λόγο αυτό το ποσοστό ανακύκλωσης είναι πολύ χαμηλό.

¹⁴ Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ 2006

¹⁵ Περυσινάκη Δ. Παρασκευή, "Διερεύνηση των οικολογικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος", Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολύτεχνιο

¹⁶ Ο.π

¹⁷ www.eedsa.gr- Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων

Στον πίνακα 2 φαίνονται αναλυτικά τα ποσοστά επεξεργασίας αποβλήτων σε Ευρώπη και Ελλάδα.

Πίνακας 2: Επεξεργασία Αποβλήτων σε Ευρώπη και Ελλάδα. Πηγή: Eurostat

	Total (million tonnes)	Landfill	Incineration	Energy recovery (%)	Backfilling	Recycling
EU-28	2 319.5	47.4	1.5	4.7	10.2	36.2
Belgium	42.8	8.2	4.3	13.6	0.0	73.9
Bulgaria	175.7	97.9	0.0	0.1	0.0	2.0
Czech Republic	19.9	17.3	0.4	5.1	29.1	48.1
Denmark	17.7	21.7	0.0	20.7	0.0	57.6
Germany	370.7	19.2	2.3	10.5	25.3	42.7
Estonia	20.7	65.6	0.0	2.5	11.9	20.0
Ireland	10.0	42.6	0.1	7.2	37.4	12.7
Greece	67.1	88.4	0.0	0.2	8.1	3.2
Spain	103.4	47.9	0.0	3.4	12.6	36.1
France	299.7	29.3	2.0	4.5	10.7	53.6
Croatia	3.5	51.1	0.0	1.4	2.0	45.5
Italy	129.2	16.0	5.2	1.6	0.2	76.9
Cyprus	1.8	58.9	0.0	1.7	25.9	13.5
Latvia	1.9	34.8	0.0	8.7	0.9	55.5
Lithuania	4.5	67.6	0.1	4.1	2.5	25.8
Luxembourg	8.5	38.3	0.0	2.5	16.0	43.3
Hungary	13.7	39.4	0.7	8.9	3.7	47.3
Malta	1.6	28.9	0.4	0.0	37.5	33.3
Netherlands	130.6	45.4	1.0	7.9	0.0	45.7
Austria	53.9	38.6	0.2	6.5	20.1	34.7
Poland	182.4	24.9	0.4	2.7	21.5	50.5
Portugal	9.9	31.8	10.0	3.1	0.0	55.0
Romania	172.2	94.4	0.0	1.3	0.6	3.7
Slovenia	5.4	9.2	0.6	4.9	33.5	51.8
Slovakia	7.1	53.8	0.8	4.4	0.0	40.9
Finland	93.3	80.9	0.5	4.8	0.0	13.8
Sweden	163.3	84.4	0.1	4.7	1.6	9.3
United Kingdom	209.0	41.5	3.6	0.9	10.4	43.6
Iceland (*)	0.5	30.7	0.0	2.7	0.6	66.0
Norway	11.7	17.9	0.5	35.8	5.3	40.5
Montenegro	1.0	98.8	0.0	0.1	0.0	1.0
FYR of Macedonia	1.5	98.7	1.3	0.0	0.0	0.0
Albania	1.2	74.8	3.1	0.5	0.0	21.6
Serbia	49.4	97.3	0.0	0.1	0.0	2.6
Turkey	79.3	70.2	0.0	0.7	:	29.0

(*) 2012.

Source: Eurostat (online data code: env_wasrt)

Χρήση ΑΕΕΚ σε οικοδομικές εργασίες

Τα υλικά που συλλέγονται κατά την διαδικασία διαχείρισης των αποβλήτων κατασκευών-κατεδαφίσεων είναι το γυαλί, το μέταλλο, αλουμίνιο, πλαστικό και χαρτί. Ωστόσο, για την παραγωγή δομικών στοιχείων πρέπει να συλλέγονται τα ορυκτά απόβλητα που αποτελούνται από σκυρόδεμα, τούβλα, σοβάδες και πλακάκια.

Έτσι, το σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές υλικό αντί για χαλίκι ή άμμο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα αντικαθιστά την άμμο και δημιουργεί συνθέσεις κονιμάτων και επιχρισμάτων. Επιπλέον άλλες βασικές χρήσεις του σκυροδέματος είναι¹⁸:

- σε έργα οδοποιίας, κυρίως στην κατασκευή της βάσης από τον ασφαλτικό τάπητα.
- Ως υλικό κάλυψης των απορριμμάτων των ΧΥΤΑ ή για τις επιχώσεις σε οικοδομικά έργα. Ως πρώτη ύλη για την κατασκευή υλικών για πεζοδρόμια.
- Σε έργα επεξεργασίας και βιολογικού καθαρισμού λυμάτων. Το σκυρόδεμα μπορεί να αντικαταστήσει φυσικά υλικά, όπως η άμμος και το χαλίκι, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες για το σκοπό αυτό.

Τα τούβλα, πλακίδια και λοιπά κεραμικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν¹⁹:

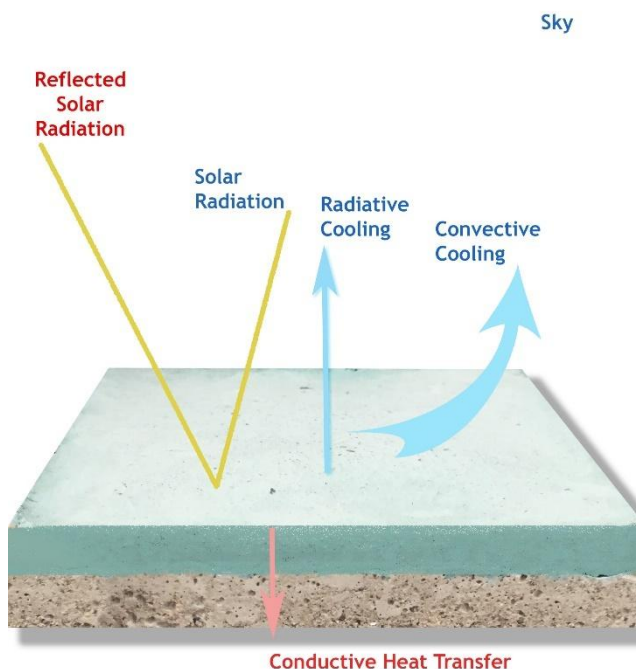
- Ως πρώτη στρώση σε δρόμους ελαφριάς κυκλοφορίας.
- Στην κάλυψη των λάκκων που ανοίγονται για τα δίκτυα ύδρευσης και αποχέτευσης. Έτσι, μειώνουν τη χρήση της άμμου και την περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκαλούν οι αμμοληψίες.
- Ως πρώτη ύλη για την κατασκευή νέων τούβλων.
- Ως άμμος για γήπεδα τένις (χωμάτινα τερέν).
- Ως υποστρώματα για φυτά.

¹⁸ Γαλετάκης Μιχάλης, Αν. Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης, Εσπερίδα 'Προστασία Περιβάλλοντος: Νομική Απαιτήση ή Εργαλείο για την Τοπική Βιώσιμη Ανάπτυξη'. ΤΕΕ Χανίων, Ιούνιος 2014

¹⁹ Ο.π

Ψυχρά Υλικά

Ψυχρά υλικά²⁰ ονομάζονται τα λευκά ή τα έγχρωμα υλικά που μπορούν να εφαρμοστούν στο κέλυφος ενός κτιρίου, αλλά και σε άλλες επιφάνειες του αστικού δομημένου περιβάλλοντος όπως τα πεζοδρόμια, μειώνοντας την θερμοκρασία που αναπτύσσεται σε αυτά.²¹ Όταν μια επιφάνεια εκτίθεται στον ήλιο πραγματοποιούνται οι ακόλουθες φυσικές διεργασίες και προσδιορίζεται η θερμοκρασία της επιφάνειας²².



Εικόνα 3: Αντίδραση ψυχρού υλικού έπειτα από έκθεση στον ήλιο

Η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στην επιφάνεια και μέρος της αντανακλάται και απορροφάται από το υλικό που συμβάλλει στη θέρμανση του. Συνεπώς, η επιφάνεια εκπέμπει ακτινοβολία στο απώτερο μέρος του υλικού καθώς η ανταλλαγή ακτινοβολίας λαμβάνει χώρα μεταξύ των δύο επιφανειών όταν το ένα είναι θερμότερο από το άλλο. Τέλος, η θερμότητα διεξάγεται μέσω των στρωμάτων του υλικού (για παράδειγμα μέσω της μόνωσης), από τη θερμότερη πλευρά στην ψυχρότερη.

²⁰ Gobakis, K., Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, N., Perdikatsis, V., Santamouris, M. (2015). Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures. Energy and Buildings.

²¹ Εμμανουήλ Κατσιγιάννης 'Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με χρήση οικολογικών υλικών στα επιχρίσματα', Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης

²² Konstantinos Gobakis, D. Thesis, 'Design and Development of Smart Cool Materials for the built environment', February 2018.

Ιδιότητες Ψυχρών Υλικών

Ένα ψυχρό υλικό χαρακτηρίζεται από²³:

- Υψηλή ηλιακή ανακλαστικότητα (SR), η οποία είναι ένα μέτρο της ικανότητας ενός επιφανειακού υλικού να αντανakλά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο όρος ηλιακή ανακλαστικότητα δηλώνει τη συνολική ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας, λαμβάνοντας υπόψη την ημισφαιρική ανακλαστικότητα της ακτινοβολίας, ενσωματωμένη στο ηλιακό φάσμα, συμπεριλαμβανομένης της κατοπτρικής και διάχυτης αντανakλαστικότητας. Υπολογίζεται, σε κλίμακα από 0 έως 1 (ή 0-100%).
- Υψηλή υπέρυθη εκπομπή (IE), η οποία είναι ένα μέτρο της ικανότητας μιας επιφάνειας να απελευθερώνει την θερμότητα που έχει απορροφήσει. Η υπέρυθη εκπομπή μετρείται σε κλίμακα από 0 έως 1 (ή 0-100%).

Αυτές οι δύο ιδιότητες έχουν ως αποτέλεσμα την επίδραση της θερμοκρασίας μιας επιφάνειας²⁴. Αν μια επιφάνεια με υψηλή ηλιακή ανακλαστικότητα (SR) και υψηλή υπέρυθη εκπομπή (IE) είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία, θα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας σε σύγκριση με παρόμοια επιφάνεια με χαμηλότερη ηλιακή ανακλαστικότητα (SR). Αν η ψυχρή επιφάνεια βρίσκεται στο περίβλημα ενός κτιρίου, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμότητας που διεισδύει στο κτίριο γεγονός που θα συνέβαλε σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς και στη μείωση της έντασης της μεταφοράς θερμότητας από μια πιο δροσερή επιφάνεια²⁵.

²³ Konstantinos Gobakis, D. Thesis, 'Design and Development of Smart Cool Materials for the built environment'', February 2018.

²⁴ Sarah E. Bretz and Hashem Akbari. Long-term performance of high-albedo roof coatings.

Energy and Buildings, Jan 1997.

²⁵ Martyn S. Ray. Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd edn, by R. Siegel and J.R. Howell, Hemisphere Publishing Corporation, USA (1992). ISBN 0-89116-271-2. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 2008

Επίδραση των Ψυχρών υλικών στις Ενεργειακές Επιδόσεις των κτιρίων

Η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας των κατασκευών στις οποίες εφαρμόζονται τα ψυχρά υλικά τα καθιστά ιδιαίτερα σημαντικά στον τομέα της παθητικής εξοικονόμησης ενέργειας σε μια εποχή όπου οι αστικές περιοχές, βιώνουν έντονα το «φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας». Έτσι, η ευρεία χρήση των ψυχρών υλικών ευνοεί το δομημένο περιβάλλον, τόσο στο επίπεδο του κτιρίου όσο και στο επίπεδο της πόλης. Τα αποτελέσματα, όσο αφορά τα κτίρια επικεντρώνονται στη μείωση της θερμοκρασίας των εξωτερικών επιφανειών, μειώνοντας έτσι την απαιτούμενη ισχύ και τα μέγιστα φορτία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό αποδίδεται καλύτερα σε κλιματιζόμενα κτίρια ενώ σε ότι αφορά τα μη κλιματιζόμενα η χρήση των εν λόγω υλικών μπορεί να βελτιώσει τη θερμική τους άνεση²⁶. Η επίδραση των ψυχρών υλικών στις ενεργειακές επιδόσεις των κτιρίων είναι:

- *Μείωση του φορτίου αιχμής για ψύξη*

Η χρήση ψυχρών υλικών μπορεί να μειώσει έως και 40% το φορτίο αιχμής σε μεμονωμένα κτίρια^{27,28} με τη χρήση ψυχρών στεγών. Επιπλέον, η χρήση τους, είναι ικανή να μειώσει την ζήτηση ψύξης σε κλιματιζόμενα κτίρια κατά 11-27%²⁹. Η εξοικονόμηση κόστους μπορεί να επέλθει κυρίως σε εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια στα οποία η χρέωση εξαρτάται τόσο από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, όσο και από τη μέγιστη ζήτηση (σε kWh) κατά τη διάρκεια της περιόδου χρέωσης. Λόγω του μειωμένου φορτίου αιχμής, σύμφωνα με το οποίο γίνεται η διαστασιολόγηση του συστήματος κλιματισμού, μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστήματα μικρότερης ισχύος. Επιπλέον, η μείωση του φορτίου αιχμής για ψύξη συμβάλλει στη μείωση της πιθανότητας διακοπής ρεύματος σε περιόδους καύσωνα.

- *Αύξηση της θερμικής άνεσης*

Η χρήση ψυχρών υλικών στα κτίρια συμβάλλει στην αύξηση της θερμικής άνεσης³⁰ καθώς μειώνουν την ημερήσια μέση θερμοκρασία λειτουργίας ενός χώρου ακόμα και κατά τους θερινούς μήνες³¹.

²⁶ B. Givoni, M. E. Hoffman, Makhon tekhnologi le-Yisrael. Tekhniyon, and Tahanah le-heker ha beniyah. Effect of building materials on internal temperatures. Haifa, Israel, 1968

²⁷ Ronnen Levinson, Paul Berdahl, and Hashem Akbari. Solar spectral optical properties of pigments -Part II: Survey of common colorants. Solar Energy Materials and Solar Cells.

²⁸ A. Synnefa, M. Santamouris, and H. Akbari. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. Energy and Buildings

²⁹ Hashem Akbari, Sarah Bretz, Dan M. Kurn, and James Hanford. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. Energy and Buildings.

³⁰ A. Synnefa, M. Santamouris, and H. Akbari. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. Energy and Buildings.

³¹ Anna Laura Pisello and Franco Cotana. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring. Energy and Buildings

Η χαμηλότερη επιφανειακή θερμοκρασία που εξασφαλίζουν τα ψυχρά υλικά έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση μικρότερων ποσών θερμότητας από την ψυχρή επιφάνεια στα υπερκείμενα στρώματα αέρα προς το αστικό περιβάλλον. Η χρήση ψυχρών υλικών σε αστική κλίμακα θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα κατά μέσο όρο 1 - 2°C.

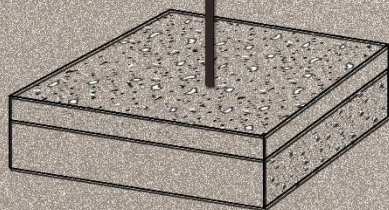
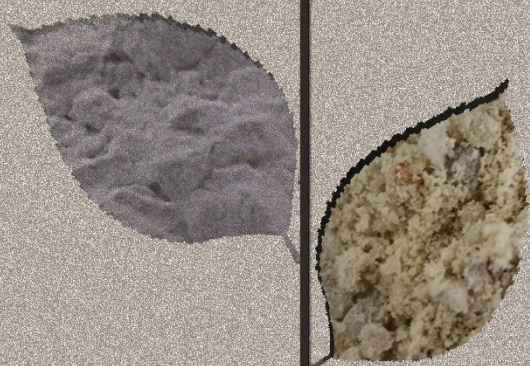
- *Περιορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών CO₂*

Η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και των εκπομπών CO₂ οφείλεται στη μειωμένη εκπομπή ρύπων από τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας, λόγω των μειωμένων αναγκών ενέργειας για ψύξη, που προκύπτει από την εφαρμογή ψυχρών υλικών³². Επιπλέον, δεδομένου ότι μεγάλο ποσοστό της ατμοσφαιρικής ρύπανσης εξαρτάται από φωτοχημικές αντιδράσεις, η ταχύτητα των οποίων αυξάνεται με τη θερμοκρασία γίνεται αντιληπτό ότι ακόμη και μικρή μείωση της θερμοκρασίας του αέρα, από την εφαρμογή ψυχρών υλικών, μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης³³.

³² M. Santamouris. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. Solar Energy

³³ Διακρούσης Στυλιανός, Μεταπτυχιακή Διατριβή: " Αξιολόγηση επιρροής διαφοροποιημένου αδρανούς στα κονιάματα ως προς τις οπτικές τους ιδιότητες", Πολυτεχνείο Κρήτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°



ΥΛΙΚΑ

ΚΟΝΙΕΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα υλικά που επιλέχθηκαν με σκοπό τη δημιουργία παστών και συνθέσεων. Πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι εξής κατηγορίες:

- Κονίες
- Αδρανή
- Πρόσθετα ορυκτά για χρωματισμό.

Κονίες, είναι τα υλικά τα οποία όταν αναμιχθούν 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, τα οποία περιέχουν πέρα από την κονία, το νερό και αδρανές υλικό συνήθως άμμο³⁴. Με βάση με τον τρόπο με τον οποίο πήζουν και σκληραίνουν διακρίνονται σε³⁵:

- **Αερικές κονίες**, οι οποίες πήζουν και σκληραίνουν στον ατμοσφαιρικό αέρα αποδίδοντας νερό ενώ η συντήρηση τους γίνεται σε περιβάλλον με χαμηλή υγρασία, καθώς είναι ευδιάλυτες στο νερό όπως ο άργιλος, η υδράσβεστος και ο πηλός.
- **Υδραυλικές κονίες**, οι οποίες μετά την σκλήρυνση τους συντηρούνται με νερό και είναι αδιάλυτες σε αυτό όπως είναι το τσιμέντο, η υδραυλική άσβεστος και οι ποζολανικές κονίες.

³⁴ Αθανάσιος Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά, 2013, ISBN, 9789609217712

³⁵ Ο.π

ΛΕΥΚΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Με τον όρο τσιμέντο προσδιορίζεται μια μεγάλη κατηγορία υδραυλικών κονιών, που έχουν την ιδιότητα να στερεοποιούνται και μέσα στο νερό. Η πρώτη παρασκευή τσιμέντου έγινε το 1756 από τον Άγγλο μηχανικό John Smeaton, ο οποίος ανακάλυψε ότι με το ψήσιμο ενός ειδικού πετρώματος, του αργλικού ασβεστόλιθου, μπορούμε να παρασκευάσουμε υδραυλική κονία. Το τσιμέντο αυτού του τύπου είναι γνωστό με το όνομα φυσικό τσιμέντο και σήμερα ελάχιστες χώρες το παράγουν³⁶. Ο πρώτος που σκέφθηκε να μη χρησιμοποιήσει αυτούσιο ένα πέτρωμα, αλλά να παρασκευάσει μίγμα από διάφορα πετρώματα, ώστε να πετύχει τις καλύτερες αναλογίες οξειδίων και να παράγει επομένως ανώτερης ποιότητας τσιμέντο ήταν ο Άγγλος Joseph Aspdin το 1824, που του έδωσε την ονομασία τσιμέντο portland γιατί το νέο αυτό υλικό είχε το χρώμα των εδαφών της περιοχής Portland της Αγγλίας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε λευκό τσιμέντο Portland³⁷, Δανίας, Aalborg White. Το τσιμέντο αυτό παρασκευάζεται με την ελάττωση του ποσοστού του οξειδίου του σιδήρου σε 1% (Fe_2O_3) και με ψήσιμο σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Με την ίδια διαδικασία παρασκευάζονται όλα τα λευκά ή τα ημίλευκα τσιμέντα.



Εικόνα 4: Λευκό Τσιμέντο

ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟΣ

Μία από τις σημαντικότερες κονίες που χρησιμοποιείται είναι η άσβεστος³⁸. Η άσβεστος όπως προαναφέρθηκε κατατάσσεται στις αερικές κονίες, έχει λευκό χρώμα

³⁶ Μωχάμεντ Μ., (1996), «Παρασκευή νέων κονιαμάτων με παραδοσιακά υλικά για εφαρμογές συντήρησης ενετικών μνημείων- Μελέτη της συμβατότητας των δομικών λίθων, της αντοχής και της θαλάσσιας διάβρωσής τους», Μεταπτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.

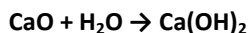
³⁷ Gobakis, K, Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, N., Perdikatsis, V., Santamouris, M. (2015). Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures. Energy and Buildings.

³⁸ Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures", K. Gobakis D. Kolokotsa, N. Maravelaki-Kalaitzaki, V. Perdikatsis, M. Santamouris, Energy and Buildings.

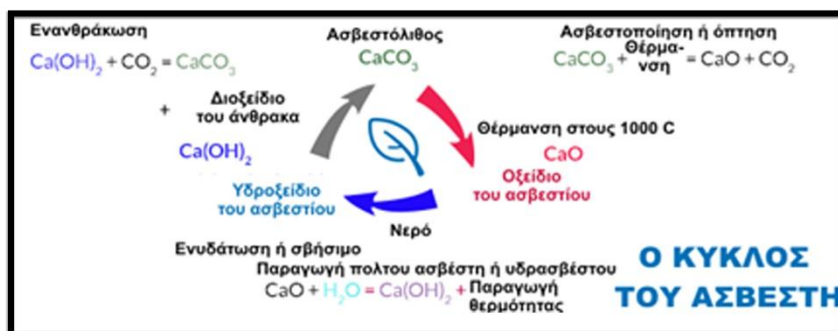
και αποτελεί μια από τις παλαιότερες συνδετικές ύλες, που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την παρασκευή κονιαμάτων. Όταν οι κοινοί ασβεστόλιθοι πυρωθούν μεταξύ 800°C και 1.200 °C, το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), που περιέχουν, διασπάται στο αέριο διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και στο στερεό οξείδιο του ασβεστίου ή ενεργό ασβέστιο, που απομένει σαν πορώδης μάζα, με την ίδια μορφή των λίθων του ασβεστόλιθου³⁹. Η αντίδραση που λαμβάνει χώρα για την παραπάνω διαδικασία:



Η αντίδραση για να πραγματοποιηθεί απαιτεί θερμότητα, που συνήθως, λόγω μεγάλων απωλειών, είναι διπλάσια της θεωρητικής. Το οξείδιο του ασβεστίου (CaO) ονομάζεται ασβέστης ή κεκαυμένος ασβέστης. Αν το οξείδιο του ασβεστίου αναμιχθεί με νερό, τότε πραγματοποιείται το λεγόμενο σβήσιμο του ασβέστη και προκύπτει το υδροξείδιο του ασβεστίου Ca(OH)_2 (υδράσβεστος) κατά την παρακάτω εξώθερμη αντίδραση:



Η παραπάνω αντίδραση δίνει ως αποτέλεσμα την υδράσβεστο.



Εικόνα 5: Ο κύκλος του ασβέστη.



Εικόνα 6: Υδράσβεστος

³⁹ Βιαζής Γ, (2001), «Τεχνολογία των δομικών υλικών». Αθήνα.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΣΒΕΣΤΟΣ

Υδραυλική άσβεστος, ονομάζεται, όπως αναφέρθηκε, η άσβεστος, που παράγεται από την πύρωση αργιλούχων ασβεστόλιθων, που περιέχουν 10-20% άργιλο. Η πύρωση του ασβεστόλιθου γίνεται στα συνήθη ασβεστοουργικά καμίνια συνεχούς λειτουργίας και σε θερμοκρασία από 1000° ως 1300 °C. Η υδραυλική άσβεστος, μετά από ειδική σβέση, φέρεται στο εμπόριο πάντοτε σε μορφή σκόνης.

Οι υδραυλικές ιδιότητες οφείλονται στις σχηματιζόμενες, κατά την πύρωση, ενώσεις των οξειδίων της αργίλου, του πυριτίου και σιδήρου με την άσβεστο, που αποτελούν τους υδραυλικούς παράγοντες της κονιάς. Συνήθως προστίθεται η θεωρητικά απαιτούμενη ποσότητα νερού, πού προκαλεί την άμεση σβέση του οξειδίου του ασβεστίου. Η πλήρης σβέση απαιτεί περισσότερο χρόνο, δεδομένου ότι το πυριτικό ασβέστιο αργεί να ενυδατωθεί. Η υδραυλική άσβεστος χρησιμοποιείται για την παρασκευή κονιαμάτων για υδραυλικές κατασκευές. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί και για την παρασκευή αερίκων κονιαμάτων που πλεονεκτούν στις μηχανικές ιδιότητες. Στην Ελλάδα, δεν παράγεται υδραυλική άσβεστος. Η ασθενώς υδραυλική άσβεστος είναι κονία, που περιέχει υδραυλικά συστατικά, που της δίνουν μία σχετική υδραυλική σκληρυντική ικανότητα.



Εικόνα 7:Υδραυλική Άσβεστος

ΜΕΤΑΚΑΟΛΙΝΗΣ

Ο μετακαολίνης (Metakaolin, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ή αλλιώς AS_2) είναι ένα ποζολανικό τεχνικό συστατικό το οποίο προστίθεται σε κονιάματα και προσδίδει σημαντικές ιδιότητες καθώς μετατρέπει το κονίαμα σε αρκετά υδραυλικό. Αποτελεί μία πολύ λεπτή κονία η οποία προέρχεται από τη θερμική επεξεργασία του καολινίτη σε θερμοκρασίες μεταξύ 450 και 900 °C.⁴⁰

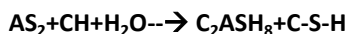


Η αφυδάτωση του καολίνη σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (φτάνουν έως και τους 900 °C) αποβάλλει το χημικά δεσμευμένο νερό (OH) και μετασχηματίζεται στον μετακαολίνη⁴¹. Με την θερμική διεργασία καταρρέει η κρυσταλλική δομή των αργιλικών συστατικών και σχηματίζεται μια άμορφη φάση αργιλοπυριτικών, ο μετακαολίνης. Ακόμη και χαμηλότερης ποιότητας καολινίτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή δραστικού μετακαολίνη. Κάτω από ορισμένες συνθήκες ο παραγόμενος μετακαολίνης εμφανίζει την υψηλότερη ποζολανική αντίδραση.



Εικόνα 8:Μετακαολίνη

Ως ποζολανική αντίδραση, ο μετακαολίνης, αντιδρά με $\text{Ca}(\text{OH})_2$ παρουσία νερού και παράγονται ενυδατωμένες ενώσεις του ασβεστίου, του αργιλίου και του πυριτίου σύμφωνα με την γενική μορφή της αντίδρασης:



⁴⁰ Μαρίνος Α, Μπατής Γ, Κασιώτη Μ., Μελέτη της ανθεκτικότητας κονιαμάτων με μετακαολίνη υπό αέρια συντήρηση, 10ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Πάτρα 2015.

⁴¹ Παγώνα Μαραβελάκη, σημειώσεις μαθήματος.

ΜΕΡΟΣ Α'

Έχει παρατηρηθεί ότι, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η αντίδραση μεταξύ ασβέστη-μετακαολίνη και νερού πραγματοποιείται από συγκεκριμένα κέντρα της επιφάνειας του μετακαολίνη, ενώ σε θερμοκρασία γύρω στους 100 °C αυξάνεται η απόδοση της αντίδρασης⁴². Στον πίνακα, δίνεται η ποζολανική δραστηριότητα του μετακαολίνη και άλλων υλικών που χρησιμοποιούνται ήδη ευρέως στην παραγωγή σκυροδέματος.

Πίνακας 3: Ποζολανική δραστηριότητα υλικών

ΥΛΙΚΟ	ΠΟΖΟΛΑΝΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (mgCa(OH) ₂ /g
Silica fume	430
Σκωρία (ggbs)	300
Ιπτάμενη τέφρα	875
Μετακαολίνης	1000

⁴² J. Ninov, Donchev, I., Dimova, L, (2009, November 07), On the kinetics of pozzolanic reaction in the system kaolin–lime–water, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry

ΑΔΡΑΝΗ

Αδρανή υλικά καλούνται τα κοκκώδη υλικά, τα οποία προκύπτουν από τη φυσική ή την τεχνητή θραύση των πετρωμάτων, καθώς και μερικά τεχνητά υλικά (όπως σκωρίες υψικαμίνων)⁴³. Η άμμος είναι το πιο συνηθισμένο αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται στα κονιάματα. Δεν πρέπει να περιέχει προσμίξεις που να:

1. Είναι ικανές να προκαλέσουν μείωση της αντοχής και της σταθερότητας των κονιαμάτων,
2. Μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς άλλες ιδιότητες των κονιαμάτων και να
3. Μπορούν να προκαλέσουν επιβλαβείς χημικές αντιδράσεις με την συνδετική ύλη⁴⁴

Παρ' όλα αυτά, τα αδρανή ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους, διακρίνονται σε⁴⁵:

- **Άμμος:** για παράδειγμα, αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους, d , ικανοποιεί τη σχέση $0 \leq d < 8 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (0/8). Η συγκεκριμένη κατηγορία χωρίζεται στις εξής υποκατηγορίες
Παιτάλη: Το τμήμα των αδρανών, το οποίο αποτελείται από τους πιο λεπτούς κόκκους του υλικού και διέρχεται από το αμερικάνικο πρότυπο κόσκινο No 200, που έχει διάμετρο 0,75 mm.
Ρυζάκι: Το τμήμα των αδρανών, που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $4 \leq d < 8 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (4/8).
- **Γαρμπίλι:** αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $8 \leq d < 16 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (8/16).
- **Σκύρα:** αδρανή που η διάμετρος των κόκκων τους ικανοποιεί τη σχέση $16 \leq d < 64 \text{ mm}$ και συμβολίζονται με (16/64).

Τα αδρανή υλικά θα πρέπει να ικανοποιούν ορισμένες απαιτήσεις για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στα κονιάματα. Αρχικά, τα αδρανή των κονιαμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του παρακάτω Ευρωπαϊκού προτύπου: ΕΛΟΤ EN 13139:2002⁴⁶ Αδρανή κονιαμάτων.

⁴³ Αιμήλιου Κορωναίου, Καθηγητού Ε.Μ.Π., "Τεχνητά Υλικά, Τόμος 1", Ε.Μ., ΑΘΗΝΑΙ 1985

⁴⁴ http://portal.tee.gr/pls/portal.docs/PAGE/MATERIALS_GUIDES/P_KONIAMATA

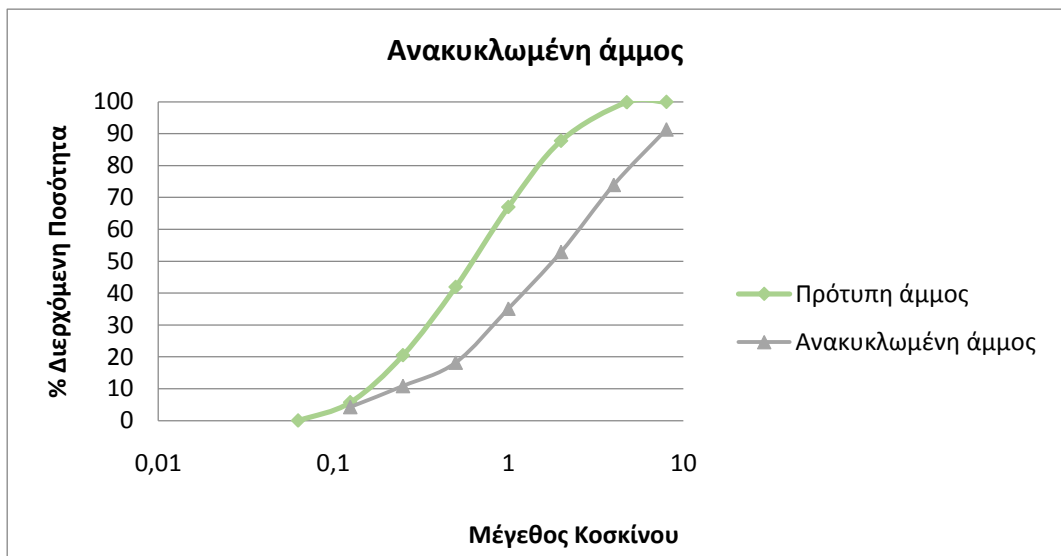
⁴⁵ EUROPEAN STANDARD EN 13139:2002 ON AGGREGATES

⁴⁶ EN-13139, Aggregates for Mortar, Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussels, Belgium, 2002.

Δεν πρέπει να περιλαμβάνουν επιβλαβείς προσμίξεις που θα επηρεάζουν την σταθερότητα, αντοχή και λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων. Τέλος, η υγρασία τους είναι καθοριστικός παράγοντας διότι δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 3. Θα πρέπει πάντα να υπολογίζεται πριν τον καθορισμό των αναλογιών ενός κονιάματος.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή όπως έχει ήδη προαναφερθεί. Ωστόσο, για τις ανάγκες σύγκρισης των μηχανικών αντοχών χρησιμοποιήθηκε και νταμαρίσια θραυστή άμμος.

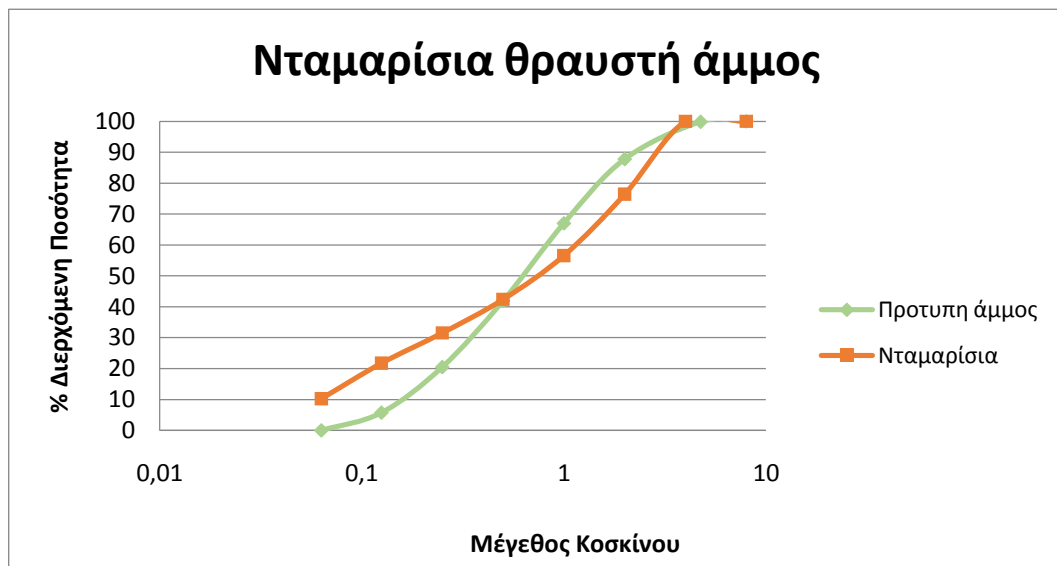
Άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή



Διάγραμμα 1: Κοκκομετρική Καμπύλη Πρότυπης άμμου-Ανακυκλωμένης

Όπως παρατηρείται από το Διάγραμμα 1, η άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή είναι πιο χονδροκόκκη σε σχέση με την πρότυπη άμμο. Το γεγονός αυτό, όπως θα αναλυθεί και στα επόμενα κεφάλαια, έχει διαπιστωθεί ότι επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες των κονιαμάτων⁴⁷. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε και νταμαρίσια θραυστή άμμος, με σκοπό να πραγματοποιηθούν αντίστοιχες συνθέσεις στην μελέτη της γραμμικής τους συρρίκνωσης.

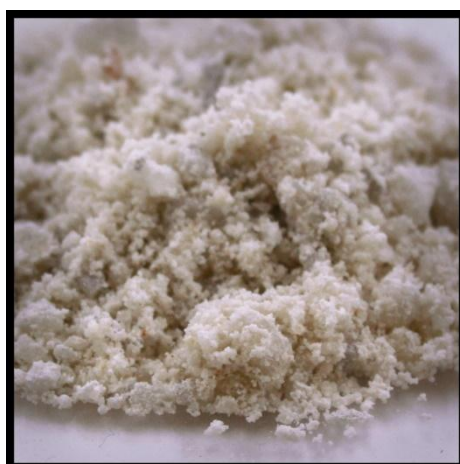
⁴⁷ R.V. Silvia, J.de Brito, R.K. Dhir, 'Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition waste', Construction and Building Materials

Νταμαρίσια Θραυστή άμμος

Διάγραμμα 2: Κοκκομετρική Καμπύλη Πρότυπη άμμος- Νταμαρίσια



Εικόνα 10: Άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή



Εικόνα 9: Νταμαρίσια άμμος

ΜΑΡΜΑΡΟΣΚΟΝΗ

Η μαρμαρόσκονη παράγεται από μηχανική κατεργασία και θραύση ασβεστόλιθου στο λατομείο και στη συνέχεια γίνεται διαχωρισμός με κόσκινα. Η διαβάθμιση της είναι: 0 έως 2 mm.

Χρησιμοποιείται:

- Στην παρασκευή δομικών προϊόντων (κράσπεδα, πλάκες πεζοδρομίου κ.α.).
- Στην παρασκευή επιχρισμάτων και κονιαμάτων σύμφωνα με το πρότυπο EN 13139⁴⁸.
- Καθώς και για βιομηχανικές-φαρμακευτικές χρήσεις.

Η αντοχή στην κάμψη του σκυροδέματος αυξάνεται με την αύξηση της αναλογίας της μαρμαρόσκονης στα κονιάματα ενώ η θλιπτική αντοχή τους μειώνεται⁴⁹.



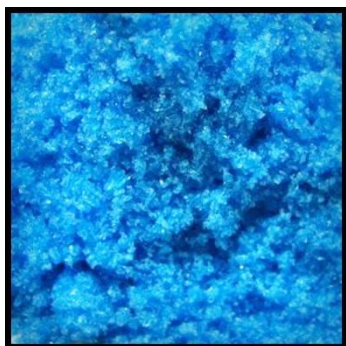
Εικόνα 11: Μαρμαρόσκονη

ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΟΡΥΚΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την επίτευξη χρωματισμού των κονιαμάτων πραγματοποιήθηκαν χημικές δοκιμές με πρόσθετα ορυκτά. Τα πειράματα έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Υλικών Πολιτιστικής Κληρονομιάς και Σύγχρονης Δόμησης (ΥΛΠΟΚ)

⁴⁸ EUROPEAN STANDARD EN 13139:2002 ON AGGREGATES

⁴⁹ Er. Tanpreet Singh and Er. Anil Kumar Nanda, Associate Professor & Head Surya School of Engg. & Tech. Surya World, Rajpura, "Influence of Marble Powder on Mechanical Properties of Mortar and Concrete Mix". <https://www.nbmcw.com/tech-articles/concrete/29107-influence-of-marble-powder-mortar-and-concrete-mix.html>

ΕΝΥΔΡΟΣ ΘΕΙΙΚΟΣ ΧΑΛΚΟΣ:

Εικόνα 12: Ένυδρος θειικός Χαλκός

Ο ένυδρος θειικός Χαλκός $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ή αλλιώς γαλαζόπετρα είναι ορυκτό που σχηματίζεται στις ζώνες οξείδωσης χαλκούχων μεταλλευμάτων αποκλειστικά σε ξηρά κλίματα, επειδή είναι διαλυτό στο νερό. Δημιουργείται κυρίως στα υπολείμματα της μεταλλευτικής δραστηριότητας απουσία νερού. Σπανιότερα συναντάται και ως απόθεση σε φουμαρόλες, δηλαδή σε ηφαιστιογενή περιοχή. Λόγω της ιδιότητας της διαλυτότητας στο νερό, σπάνια δημιουργούνται

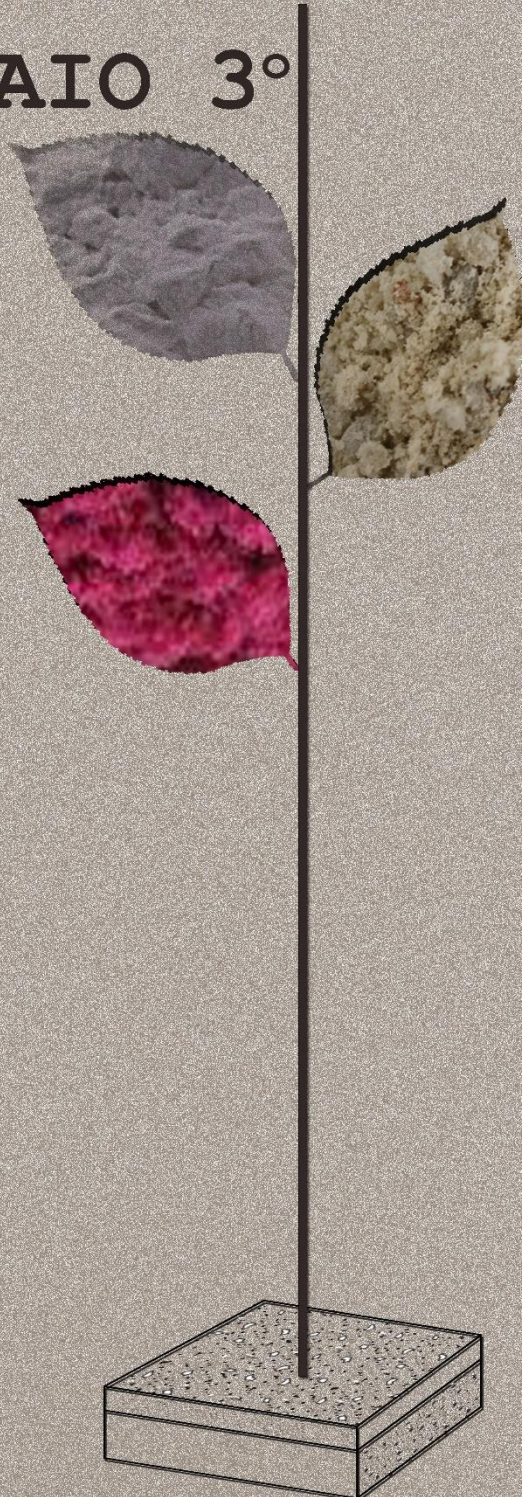
καλοσχηματισμένοι κρύσταλλοι στη φύση. Η γαλαζόπετρα είναι, όμως, περιζήτητη από τους συλλέκτες ορυκτών, λόγω της διαφάνειας και του πολύ όμορφου χρώματός του. Αν βρεθεί σε αέρα ιδιαίτερα ξηρό, χάνει το κρυσταλλικό νερό του και μετατρέπεται σε λευκή ή γαλαζωπή χονδροκρυσταλλική σκόνη. Με την πρόσμιξη ασβέστη παρασκευάζεται ο βορδιγάλειος πολτός το χρώμα του οποίου θελήσαμε να αποκτήσουν τα επιχρίσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Η χρήση του ξεκίνησε στο Μπορντό της Γαλλίας περί το 1880 και ήταν το πρώτο πραγματικό μυκητοκτόνο στην ιστορία της αμπελουργίας και της γεωργίας γενικότερα. Με τον όρο "πραγματικό μυκητοκτόνο" εννοούμε ότι υπήρξε το πρώτο χημικό σκεύασμα του οποίου η δράση κατά των μυκήτων που στόχευε (κυρίως κατά του περονόσπορου) ήταν αδιαμφισβήτητη. Ο βορδιγάλειος πολτός ή γαλαζόπετρα με ασβέστη, είναι ένα χαλκούχο φάρμακο μυκητοτοξικό, που το χρησιμοποιούμε προληπτικά, για να εμποδίσουμε την προσβολή των φυτών από τους μύκητες, αλλά και για να καταπολεμήσουμε διάφορες ασθένειες, που οφείλονται σε αυτούς, ή σε βακτηρίδια. Δεν έχει δια συστηματική δράση, αυτό σημαίνει ότι με ένα καλό πλύσιμο μπορούμε να καταναλώσουμε τα προϊόντα χωρίς κανένα φόβο και είναι από τα ελάχιστα μυκητοκτόνα με την ιδιότητα αυτή. Χρησιμοποιείται στην Βιολογική Γεωργία όταν χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένη δοσολογία. Είναι από τα πιο αποτελεσματικά για καταπολέμηση μυκήτων.


Χλωριούχο Κοβάλτιο (II) εξαϋδρικό:Εικόνα 13: Χλωριούχο Κοβάλτιο
Εξαϋδρικό

Πρόκειται για μια ανόργανη χημική ένωση με οκταεδρική γεωμετρία χρώματος ροζ. Η τιμή pH είναι 4,9 ($50\text{g}/100\text{mL}$, 25°C) ενώ το σημείο τήξεως/πήξεως βρίσκεται στους 56°C . Η πυκνότητα του είναι $1,92\text{g}/\text{cm}^3$ στους 20°C . Με παρουσία νερού και ασβέστη το εν λόγω χλωριούχο κοβάλτιο έχανε το ανοιχτό χρώμα του και για το λόγο αυτό δεν επιλέχθηκε στα επιχρίσματα μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°



ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ

ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗ		ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ
Dino-Lite		ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ - ΜΕΤΡΗΣΗ
ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
ΕΞΕΤΑΣΗ FTIR		ΕΝΩΣΕΙΣ- ΔΕΣΜΟΥΣ
ΕΞΕΤΑΣΗ XRD		ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ-ΔΟΜΗ
ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ		ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΧΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ		ΑΝΤΟΧΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ		ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ		ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ
ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ CARY 5000		ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
Emissometer Model		ΕΚΠΕΜΨΙΜΟΤΗΤΑ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΟΚΙΜΩΝ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΡΓΑΝΩΝ

Μακροσκοπικές Αναλύσεις

Φωτογράφιση:

Η μακροσκοπική ανάλυση απευθύνεται στην φωτογράφιση ολόκληρων των δοκιμίων, τα οποία τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο. Ο εν λόγω θάλαμος, έχει δημιουργηθεί με

συγκεκριμένο φως και μαύρο φόντο με σκοπό την αρμονία όλων των φωτογραφίσεων. Απέναντι από το θάλαμο φωτογράφισης, στήνεται ο τρίποδας, ο οποίος στηρίζει την φωτογραφική μηχανή εστιασμένη ως προς το δείγμα. Η φωτογραφική μηχανή που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο είναι η Canon, μοντέλο Canon EOS 450D.



Εικόνα 14: Φωτογραφική Μηχανή Εργαστηρίου (ΥΛΠΟΚ)

Dino-Lite:



Εικόνα 15: Dino-Lite Εργαστηρίου (ΥΛΠΟΚ)

Για μεγαλύτερη μεγέθυνση και παρατήρηση των δοκιμίων, το εργαστήριο διαθέτει ένα φορητό μικροσκόπιο. Η ονομασία του είναι Dino-Lite Edge Digital Microscope, μοντέλο AM4515T5. Με μεγέθυνση πάνω από 500x και οπτικά συστήματα υψηλής ανάλυσης, αυτό το μοντέλο σειράς Edge αποκαλύπτει λεπτομέρειες μικρότερα από 2,5μm και προσφέρει εξαιρετική ποιότητα εικόνας⁵⁰. Για τη λειτουργία του οργάνου απαιτείται η τοποθέτησή του σε θύρα USB στον υπολογιστή. Με εγκατεστημένο πρόγραμμα, (Dino-Lite 2.0) αναγνωρίζεται το όργανο και εμφανίζεται η εικόνα, στην οποία εστιάζει ο φακός.

⁵⁰ https://www.dino-lite.eu/index.php/en/?gclid=EAlaIqobChMIstzX2cTJ2gIVRUTTCh1YFw-3EAAYASAAEgItpvD_BwE

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Φυσικοχημικές Αναλύσεις**Εξέταση FTIR:***Φασματοσκοπία υπερύθρου με μετασχηματισμό Fourier (FTIR)***ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Η φασματοσκοπία μετασχηματισμού Fourier είναι πειραματική τεχνική, όπου συλλέγονται φάσματα, μετρώντας την παροδική συνοχή μιας πηγής που ακτινοβολεί. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ υπεριώδους ακτινοβολίας και των μορίων του δείγματος⁵¹. Οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα έχουν διακριτή γεωμετρία και φυσικές καταστάσεις ταλάντωσης και στρέψης. Η προσπίπτουσα υπεριώδη ακτινοβολία ενεργοποιεί αυτές τις καταστάσεις, όταν αποκτάται ένα κρίσιμο μήκος κύματος, το οποίο μπορεί να δώσει ενέργεια στο δεσμό. Ο ατομικός δεσμός διεγείρεται με αποτέλεσμα να απορροφά το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Το συμβολόμετρο (interferometer) είναι μια πλάκα (A) κατασκευασμένη από ημιδιαφανές υλικό, συνήθως βρωμιούχο κάλιο KBr που δεν απορροφά την IR, και κατεργασμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ανακλά το 50% της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω της. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ως συμβολόμετρο χρησιμοποιήθηκε βρωμιούχο κάλιο KBr. Εάν η πλάκα αυτή, με την πρόσμειξη του υλικού τοποθετηθεί μεταξύ της πηγής εκπομπής της υπέρυθρης ακτινοβολίας και του λήπτη, τότε το ποσοστό απορρόφησης μπορεί να αποθηκευτεί και να συσχετιστεί με χαρακτηριστικούς ατομικούς δεσμούς. Με αυτή την μέθοδο μπορεί να ταχτοποιηθεί και να μελετηθεί η χημική δομή και η φύση των ενδοατομικών δεσμών των δειγμάτων⁵². Σκοπός της φασματοσκοπικής ανάλυσης είναι να προσδιοριστούν τα επιμέρους δομικά υλικά που συνθέτουν το υφιστάμενο κονίαμα καθώς και η ποσοστιαία αναλογία τους⁵³.

⁵¹ Biscontin, G., Birelli, M., & Zendri, E., 'Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars', Journal of Cultural Heritage, Vol. 3 (2002) 31-37

⁵² Middendorf, B., Hughes, J., Callebaut, K., Baronio, G., & Papayanni, I., 'Investigative Methods for the Characterization of Historic Mortars- part 1: Mineralogical Characterization', Material and Structure Vol. 38 (2005) 761- 769

⁵³ 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008 "Χαρακτηρισμός Κονιαμάτων με Χρήση Της Φασματοσκοπικής Μεθόδου FT-IR, (Fast Fourier Infrared Spectroscopy)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τα δείγματα που εξετάζουμε είναι στερεής μορφής για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η κατασκευή μικρών κυκλικών και διάφανων πλακών οι οποίες ονομάζονται pellets. Η διαδικασία παρασκευής τους είναι η εξής:

- Αρχικά συγκεντρώνουμε 1 mg δείγματος από την επιφάνεια των παστών που έχουμε δημιουργήσει με απόξεση από το εσωτερικό τους και ζυγίζουμε στο ζυγό.
- Σε γουδί από αχάτι κονιοποιούμε πλήρως το υλικό μας
- Ζυγίζουμε 100 mg καθαρού βρωμιούχου καλίου και ύστερα το τοποθετούμε και αυτό στο γουδί. Αναμειγνύουμε και κονιοποιούμε πολύ καλά με το υπόλοιπο δείγμα.
- Στη συνέχεια τοποθετούμε όλο το υλικό μας σε ειδικό φορέα για να μπορέσει να εισαχθεί σε πρέσα που ασκεί πίεση 10-15 tonnes.
- Το δισκίο που προκύπτει έχει διάμετρο 1,2 εκατοστά και πάχος 0,3 εκατοστά
- Μέχρι την ανάλυσή τους στη συσκευή της φασματοσκοπίας, φυλάσσονται σε καλά σφραγισμένο δοχείο με silica gel, με σκοπό να αποφευχθεί η αλλοίωση τους από την υγρασία.

Τα αποτελέσματα εξάγονται, εφόσον τα pellets εισαχθούν συσκευή φασματοσκοπίας. Εκεί, με τη μέθοδο που αναλύθηκε παραπάνω, και με τη βοήθεια υπολογιστικού προγράμματος (Spectra), εμφανίζονται τα διαγράμματα ανάλυσης, τα οποία μας γνωστοποιούν τη δομή του κάθε δείγματος. Μέσω αυτού του προγράμματος έχουμε τη δυνατότητα επεξεργασίας των διαγραμμάτων, όπως εμείς επιθυμούμε, για να έχουμε όλα τα αποτελέσματα, με σκοπό την καλύτερη ανάλυση των δειγμάτων.



Εικόνα 16: Εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την δημιουργία pellets και εξαγωγή αποτελεσμάτων της εξέτασης FTIR

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εξέταση XRD:*Μέθοδος περιθλασιμετρίας κόνεως ακτινών -X (XRD)***ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Η μέθοδος της περιθλασιμετρίας ακτινών -X (XRD) έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης και της δομής των δειγμάτων, τα οποία μπορούν να περιέχουν περισσότερες από μία κρυσταλλικές φάσεις, με χρήση αντιπροσωπευτικού κονιοποιημένου αρχικού δείγματος.

Το φαινόμενο της περίθλασης των ακτινών-X πάνω στους κρυστάλλους οφείλεται στην αλληλεπίδραση τους με τα ηλεκτρόνια των ατόμων των κρυστάλλων και έχει ως αποτέλεσμα τη σκέδαση των ακτινών-X. Η περίθλαση των ακτινών-X πάνω στους κρυστάλλους ερμηνεύεται ως σκέδαση των ακτινών-X οι οποίες προσπίπτουν υπό ορισμένη γωνία σε πλεγματικά επίπεδα του κρυστάλλου. Θεωρείται ότι το πλέγμα ενός κρυστάλλου αποτελείται από ομάδες πλεγματικών επιπέδων τα οποία σε κάθε ομάδα είναι παράλληλα και διαδέχεται το ένα το άλλο πάντα στην ίδια απόσταση d . Η σκέδαση στην προκείμενη περίπτωση διαφέρει από την ανακλαστικότητα του ορατού φωτός, στο γεγονός ότι λόγω της μεγάλης ικανότητας διείσδυσης η προσπίπτουσα στον κρύσταλλο δέσμη των ακτινών-X διαπερνά ένα πολύ μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων πριν απορροφηθεί⁵⁴. Το προς ανάλυση δείγμα βρίσκεται υπό μορφή κόνεως μέσα στην κοιλότητα ενός πλαστικού ή μεταλλικού πλακιδίου. Η κοιλότητα αυτή έχει βάθος περίπου 1mm και έκταση μερικών cm^2 και προσφέρει χώρο για μάζα του δείγματος της τάξης του 1g, η οποία κατανέμεται με τέτοιο τρόπο στην κοιλότητα του πλακιδίου ώστε να σχηματίζει επίπεδη επιφάνεια⁵⁵.

Με τη μέθοδο αυτή πραγματοποιείται απευθείας μέτρηση τόσο των γωνιών όσο και των εντάσεων των ανακλάσεων των ακτινών-X που προσπίπτουν πάνω σε ένα παρασκεύασμα κρυσταλλικής κόνιας. Οι βασικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται ένα σύγχρονο περιθλασίμετρο ακτινών-X είναι:

- Μονάδα παραγωγής υψηλής τάσης
- Λυχνία ακτινών-X
- Γωνιόμετρο
- Απαριθμητής ακτινών-X
- Ηλεκτρική μονάδα επεξεργασίας και καταγραφής κρούσεων
- Μονάδα μικροϋπολογιστή καθοδήγησης του συστήματος και αξιολόγησης δεδομένων

⁵⁴ Κωστάκης Γ., (2005). Γενική Ορυκτολογία. Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.

⁵⁵ Ο.π

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Οι προσπίπτουσες ακτίνες-Χ διαπερνούν ένα μεγάλο αριθμό πλεγματικών επιπέδων και με αυτόν τον τρόπο λαμβάνεται ένας αριθμός πολλών και παράλληλων ανακυκλωμένων ακτινών. Η απόσταση μεταξύ των ανακλώμενων αυτών ακτινών είναι ανάλογη της απόστασης d μεταξύ των πλεγματικών επιπέδων του κρυστάλλου και της γωνίας ανάκλασης θ . Αν λ είναι το μήκος κύματος των ακτινών-Χ, τότε για κάθε ορυκτό ισχύει η εξίσωση του Bragg⁵⁶

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

όπου:

- $n = 1, 2, 3, \dots$ ακέραιος αριθμός
- λ = το μήκος κύματος της δέσμης των ακτινών-Χ που είναι γνωστό και εξαρτάται από το στοιχείο της καθόδου
- θ = είναι η γωνία πρόσπτωσης ή ανάκλασης της ακτίνας- Χ σε σχέση με τα κρυσταλλικά επίπεδα, και την ορίζουμε εμείς μια εμείς ελέγχουμε τον ρυθμό περιστροφής του δείγματος
- d = είναι οι αποστάσεις των διαφορετικών ατόμων στο πλέγμα του κρυστάλλου και αυτό είναι το ζητούμενο. Ένας κρύσταλλος χαρακτηρίζεται από περισσότερες της μιας πλεγματικές αποστάσεις που περιγράφουν την εσωτερική δομή του.

Το περιθλασίμετρο XRD καταγράφει υπό μορφή ακτινογραφήματος την ένταση των σκεδαζόμενων ακτινών για κάθε συγκεκριμένη γωνία και για ορισμένο φάσμα γωνιών. Το ακτινογράφημα κάθε ουσίας είναι χαρακτηριστικό και μοναδικό, κατά συνέπεια αποτελεί ένα είδος ταυτότητας βάσει της οποίας μπορούμε να προσδιορίσουμε την ουσία αυτή.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία ο τύπος περιθλασίμετρου ακτίνων-Χ που χρησιμοποιήθηκε ήταν Siemens D 500 diffractometer (Cu – Ka). Λαμβάνονται 15-20 mg από το εσωτερικό της πάστας, κονιοποιείται σε γουδί και στη συνέχεια τοποθετείται στους ειδικούς δειγματοφορείς της συσκευής με οινόπνευμα, έτσι

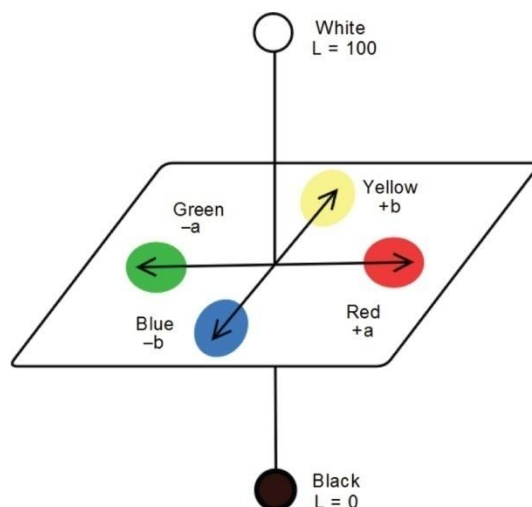
⁵⁶ Γενική Ορυκτολογία, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ώστε να τοποθετηθεί το μείγμα ομοιόμορφα. Τέλος, αφήνονται να στεγνώσουν για περίπου μισή ώρα και στη συνέχεια τοποθετούνται στο περιθλασίμετρο.

Χρωματόμετρο:

Εξέταση Χρωματικών Παραμέτρων:



Εικόνα 17: Προσδιορισμός χρωματικών παραμέτρων a^* , b^* , L^* , στην επιφάνεια των δοκιμίων

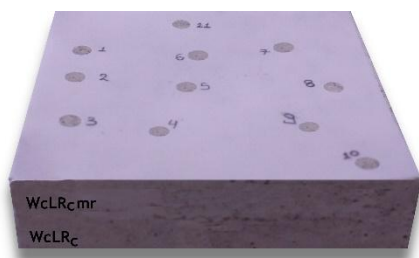
Η αξιολόγηση των χρωματικών παραμέτρων μετά την σύνθεση των συνθέσεων που προορίζονται για επιχρίσματα είναι σημαντική, αφού ένα από τα βασικά κριτήρια που πρέπει να πληρούν τα κονιάματα είναι η ανοιχτόχρωμη επιφάνειά τους. Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε φορητό χρωματόμετρο για τη μέτρηση των παραμέτρων a^* , b^* , L^* στα δομικά υποστρώματα πριν και μετά την έκθεσή τους στον ήλιο. Οι παραπάνω παράμετροι ορίστηκαν βάσει του χρωματικού μοντέλου ταξινόμησης CIE Lab, που παρουσιάστηκε από την CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) το 1976⁵⁷, σύμφωνα με το οποίο: Ο παράγοντας L^* (Lightness) αποθηκεύει όλη την πληροφορία φωτεινότητας της εικόνας παίρνοντας τιμές από 0 (μαύρο) έως 100 (λευκό), το a^* εκφράζει τις πράσινες-κόκκινες αποχρώσεις, με θετικές τιμές για τα κόκκινα και αρνητικές για τα πράσινα και το b^* εκφράζει τις κίτρινες-μπλε αποχρώσεις, με θετικές τιμές για τα κίτρινα και αρνητικές για τα μπλε.

⁵⁷ Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ. 2005, Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας, Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, Αθήνα.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 17. Οι παράγοντες a^* και b^* αποθηκεύουν την πληροφορία χρώματος, χωρίς να υπάρχουν για αυτά κάποια αριθμητικά όρια⁵⁸. Η μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων έγινε βάσει του προτύπου UNI-EN 15886:2010.218⁵⁹.

Στα δοκίμια που εξετάστηκαν στο εργαστήριο με το χρωματόμετρο, αρχικά μελετήθηκαν οι συνθέσεις υπό μορφής παστών και βάση των επιθυμητών αποτελεσμάτων επιλέχθηκαν οι τελικές συστάσεις των συνθέσεων. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε εξέταση στην πάνω επιφάνεια των δοκιμίων σε 11 διαφορετικά σημεία.



Εικόνα 18: Διαδικασία εξέτασης δοκιμίων στα 11 σημεία της επιφάνειας

Υστερα έγινε επανάληψη της διαδικασίας ύστερα από την έκθεση τους στον ήλιο για περίπου 30 ημέρες. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να υπολογιστεί η χρωματική αλλαγή, που ίσως έχει προκληθεί. Η ολική διαφορά χρώματος υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\Delta E = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$$

Όπου:

$$\Delta L^* = L^* \text{ treated} - L^* \text{ untreated}$$

$$\Delta a^* = a^* \text{ treated} - a^* \text{ untreated}$$

$$\Delta b^* = b^* \text{ treated} - b^* \text{ untreated}$$

Τιμές του $\Delta E < 3$ δεν είναι αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι. Εάν η τιμή του ΔE κυμαίνεται μεταξύ 3 και 5, θεωρείται ανεκτή. Ενώ εάν η τιμή είναι $\Delta E > 5$, υπάρχει σημαντική απόκλιση, μη αποδεκτή για μεταβολές σε μνημεία ή έργα τέχνης. Η μέτρηση των χρωματικών παραμέτρων, στα υπό εξέταση δοκίμια, έγινε με τη χρήση φασματοφωτομέτρου KONICA MINOLTA cm-2600d. Στα περισσότερα έγιναν μετρήσεις με την μάσκα των 0,8 cm, προκειμένου να ελεγχθεί όσο το δυνατό μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας, καθώς και ακολουθήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες του οργάνου το σωστό κάθε φορά Calibration.



Εικόνα 19: Συσκευή χρωματόμετρου που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο ΥΛΠΟΚ.

⁵⁸ Ο.π

⁵⁹ UNI-EN 15886:2010, Conservation of Cultural property - Test methods – Colour measurements of surfaces.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μηχανικές Δοκιμές**Δοκιμή Μονοαξονικής Θλίψης:**

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης πραγματοποιείται με βάση το πρότυπο EN 1015- 11 (1999). Για να πραγματοποιηθεί η εξέταση χυτεύονται 3 κυβικά δοκίμια για κάθε δοκιμή διαστάσεων 5x5x5 cm σε ειδικές μήτρες τις οποίες έχουμε επαλείψει με λάδι ορυκτής προέλευσης για να γίνει ευκολότερη η αφαίρεση τους μετά το πέρας των ημερών. Τα δοκίμια ξεκαλουπώνονται τρεις μέρες μετά τη χύτευση. Η δοκιμή πραγματοποιείται για 28 μέρες, 3 & 6 μήνες ωρίμανσης.



Εικόνα 20:Κυβικές μήτρες 5x5x5 cm για την μελέτη μονοαξονικής θλίψης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία η δοκιμή πραγματοποιήθηκε για 28 ημέρες. Τα δοκίμια φυλάσσονται σε κλειστά δοχεία με υγρασία έτσι ώστε να τηρείται το πρότυπο EN 196-1 (2002)^{60,61}. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής τοποθετείται το δοκίμιο ανάμεσα στις δύο πλάκες φόρτισης και στην συνέχεια ξεκινάει η φόρτιση μέχρι την τελική αστοχία του δοκιμίου. Η συσκευή συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή όπου καταγράφονται όλες οι τιμές της φόρτισης (μονάδες δύναμης kN) και οι αντίστοιχες μετακινήσεις σε mm.

Μετά από κάθε δοκιμή προκύπτει ένα αρχείο .csv το οποίο περιέχει τιμές φόρτισης και μετακίνησης. Τις τιμές αυτές τις μετατρέπουμε σε τιμές τάσης και παραμόρφωσης από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\sigma = F/0,1 \cdot A$$

$$\varepsilon = \Delta l/l_0$$

Όπου:

σ : είναι η τάση σε MPa

F : η δύναμη σε kN

A : το εμβαδόν της επιφάνειας σε cm

ε : η παραμόρφωση

L_0 : το αρχικό ύψος

ΔL : η συρρίκνωση

⁶⁰ EN 196-1 (2002), Methods of testing cement. Determination of strength

⁶¹ EN 1015-11 (1999), Methods of test for mortar for masonry. Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Υπολογίζοντας λοιπόν τις παραπάνω τιμές μπορούμε να πάρουμε την αντοχή σε θλίψη, θλιπτική αντοχή F_c :

$$F_c = \sigma_{max}$$

Εκτός από την τιμή της θλιπτικής αντοχής που μας δίνει αυτή η δοκιμή, εξίσου σημαντική είναι η καμπύλη τάσης- παραμόρφωσης μέσω της οποίας μπορούμε να εκτιμήσουμε:

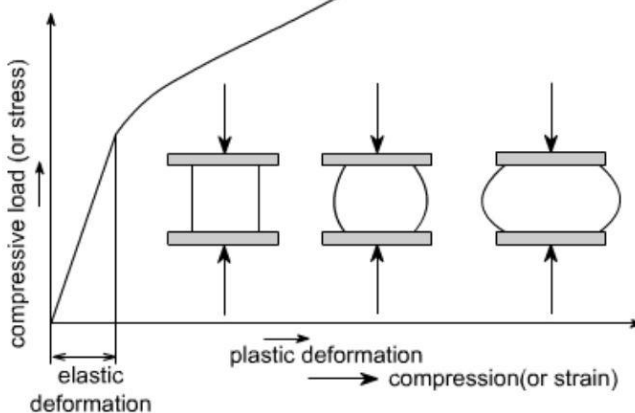
- Τη συμπεριφορά του υλικού, δηλαδή κατά πόσο συμπεριφέρεται ελαστικά ή έχει πλαστιμότητα.
- Το μέτρο ελαστικότητας
- Το δείκτη δυσθραυστότητας.

Η ελαστική συμπεριφορά του υλικού αφορά το γραμμικό κλάδο της καμπύλης κατά τον οποίο η τάση (σ) είναι ανάλογη της παραμόρφωσης (ϵ) και τα υλικά ακολουθούν το νόμο του Hooke⁶²:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Ως μέτρο ελαστικότητας E λοιπόν ορίζεται η κλίση της ευθείας αυτής. Η πλαστική συμπεριφορά αφορά τον οριζόντιο κλάδο της καμπύλης και ουσιαστικά εκφράζει ότι σε αυτή τη φάση το υλικό παίρνει μεγαλύτερες παραμορφώσεις οι οποίες είναι πλέον μόνιμες.

Η δυσθραυστότητα εκφράζει το πόσο εύκολα ή δύσκολα σπάει το δοκίμιο κατά τη φόρτιση. Είναι η ικανότητα του υλικού να απορροφά ενέργεια χωρίς να σπάει. Ο δείκτης δυσθραυστότητας υπολογίζεται από το εμβαδόν της καμπύλης τάσης παραμόρφωσης.



Εικόνα 21: Διαδικασία σπασίματος δοκιμίων, διαδικασία μονοαξονικής θλίψης

⁶² <https://el.wikipedia.org>

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Διαδικασία Γραμμικής Συρρίκνωσης

Η διαδικασία της γραμμικής συρρίκνωσης ορίζεται η ελάττωση μιας διάστασης της εδαφικής μάζας, όταν η περιεχόμενη υγρασία μειώνεται από δεδομένο ποσοστό (%) στο όριο συρρίκνωσης. Για την επίτευξη αυτής της μελέτης οι συνθέσεις χυτεύονται σε «μήτρες» με διάσταση 25*25*285 mm. Προτού γίνει η χύτευση, είναι αναγκαίο, οι μήτρες, να καθαριστούν καλά και να γίνει επάλειψη στο εσωτερικό τους με λάδι ορυκτής προέλευσης όπως και στην διαδικασία της μονοαξονικής θλίψης. Έπειτα, το μείγμα χυτεύεται και αφήνεται να στεγνώσει (ξηραθεί) προοδευτικά μακριά από ρεύματα αέρα μέχρις ότου να συρρικνωθεί (συσταλεί) και απομακρυνθεί έτσι από τα τοιχώματα της μήτρας. Η διαδικασία ξήρανσης διαρκεί 24 ώρες. Μετά το πέρας μιας ημέρας, το δοκίμιο απομακρύνεται από την μήτρα στην οποία είχε χυτευθεί και μετριέται η συρρίκνωση του σε σχέση με μια Reference Bar που τοποθετείτε στο όργανο με σταθερό μήκος. Οι μετρήσεις θα ληφθούν για την 1^η ημέρα, την 3^η, την 7^η, την 14^η και τέλος την 28^η ημέρα. Για κάθε μέτρηση είναι αναγκαίο η λήψη 3 μετρήσεων από τις οποίες θα παρθεί ο Μέσος όρος. Αν το δοκίμιο έχει κυρτώσει κατά τη διάρκεια της ξήρανσης τότε αυτό απομακρύνεται προσεκτικά από τη μήτρα και μετριέται το μήκος της πάνω και κάτω επιφάνειάς του. Η γραμμική συρρίκνωση μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

Ποσοστό γραμμικής συρρίκνωσης = $L/\Delta L * 100(\%)$



Εικόνα 22:Εξοπλισμός για την μελέτη γραμμικής συρρίκνωσης στο εργαστήριο της Ερευνητικής μονάδας: Έλεγχος Ποιότητας Υγιεινή και Ασφάλεια στην Μεταλλευτική (ΕΠΥΑ)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ενεργειακές Αναλύσεις**Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-Nir Spectrophotometer:****ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

Το Cary 5000 είναι ένα φασματοφωτόμετρο υψηλής απόδοσης για το υπεριώδες(UV), το ορατό (VIS) και κοντά σε υπέρυθρο (NIR) με εξαιρετική φωτομετρική απόδοση στην περιοχή των 175-3300 nm. Η συσκευή μετράει την ένταση του φωτός ως συνάρτηση του μήκους του φωτεινού κύματος που μεταδίδεται ή αντανακλάται από το δείγμα. Χρησιμοποιώντας έναν ανιχνευτή PbSmart, το Cary 5000 επεκτείνει το εύρος του NIR στα 3300 nm καθιστώντας το ένα ισχυρό εργαλείο για την έρευνα επιστήμης των υλικών. Το φασματοφωτόμετρο Cary 5000 είναι εξοπλισμένο με δύο φωτεινές πηγές. Η πρώτη είναι ένας λαμπτήρας αλογόνου-βολφραμίου για την παραγωγή φωτός σε ορατό και σχεδόν υπέρυθρο φάσμα. Η δεύτερη είναι μια λάμπα Δευτερίου ή Ξένου (D2) που παράγει φως σε υπεριώδες φάσμα. Χρησιμοποιεί δύο διαφορετικούς ανιχνευτές φωτός, Φωτογραφικό πολλαπλασιαστικό σωλήνα (PMT) για το υπεριώδες και ορατό φως (175 nm έως 900 nm) και PbS για το σχεδόν υπέρυθρο φως (700 nm έως 3000 nm). Για τη μέτρηση της ανακλαστικότητας των δειγμάτων, η σφαίρα διαλογής με διάμετρο 150 μm από το (DRA 2500) προστίθεται στο Cary 5000. Η συσκευή αποτελείται από μια σφαίρα με διάμετρο 150 μm καλυμμένο με υλικό υψηλής ανάκλασης, στην προκειμένη περίπτωση το Spectralon^{®63}. Το Spectralon παράγεται από την Labsphere και είναι ένα εξαιρετικά λευκό υλικό με ανακλαστικότητα 98%- 99% στην περιοχή φάσματος 200 nm έως 2500 nm. Το υλικό έχει τη δυνατότητα να αντικατοπτρίζει το περιστατικό ακτινοβολία σε ένα πλήρως διάχυτο τρόπο, που σημαίνει συμμετρική σε όλες τις κατευθύνσεις. Με αυτόν τον τρόπο, ο ανιχνευτής που τοποθετείται στο κουμπί της σφαίρας θα δέχεται φωτισμό ανεξάρτητα από την αρχική κατεύθυνση της δέσμης. Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα αυτού του οργάνου είναι η λειτουργία του μέτρησης διπλής δέσμης. Αυτός ο τύπος μέτρησης απαιτεί ένα πρότυπο αναφοράς με γνωστή ανακλαστικότητα. Η ανακλώμενη ακτινοβολία του προτύπου αναφοράς συγκρίνεται συνεχώς με την ανακλώμενη ακτινοβολία του δείγματος. Αυτό εξασφαλίζει ότι τυχόν διακυμάνσεις ή παρεμβολές που οφείλονται στα ηλεκτρονικά, την πηγή φωτός, τον ανιχνευτή και τις αλλαγές στο σφαίρα αφαιρούνται από τη μέτρηση σε κάθε βήμα του χρόνου. Για τον υπολογισμό των τιμών βασιζόμαστε στο πρότυπο ASTM E903-ASTM E891⁶⁴.

⁶³ G. T. Georgiev and J. J Butler. Long-term calibration monitoring of Spectralon diffusers BRDF in the air-ultraviolet.

⁶⁴ ASTM. ASTM E891 - 87(1992) Tables for Terrestrial Direct Normal Solar Spectral Irradiance Tables for Air Mass 1.5 (Withdrawn 1999)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Αρχικά, ανοίγουμε πάντα το όργανο 30 λεπτά προτού ξεκινήσουμε τις μετρήσεις για να προετοιμαστεί (αυτόματα) ώστε να πάρει τις μετρήσεις. Μετά την πάροδο των 30 λεπτών, ανοίγουμε στον υπολογιστή την εφαρμογή και επιλέγουμε τη μέθοδο 2500 200 DRA reflectance. Όταν φορτωθεί η μέθοδος, τοποθετούμε με προσοχή τα δύο αριθμημένα πρότυπα δείγματα (standards) στις θέσεις δεξιά (#1) και αριστερά (#2), ώστε το όργανο να κάνει μια αυτόματη βαθμονόμηση (calibration) για το 0 % και το 100 % της ανακλαστικότητας. Αφού τελειώσει αυτή η μέτρηση ανοίγουμε το κάλυμμα του οργάνου και τοποθετούμε ένα αδιαφανές κάλυμμα μαύρου χρώματος μεταξύ της δέσμης και του πρότυπου δείγματος που έχουμε τοποθετήσει στην αριστερή θέση (#2), ώστε να κάνουμε τη μέτρηση για το 0 % της ανακλαστικότητας. Αφού γίνει η μέτρηση, αφαιρούμε το κάλυμμα και το πρότυπο δείγμα που βρίσκεται στην αριστερή θέση (#2) και βάζουμε το δείγμα που θέλουμε να μετρήσουμε στην αριστερή θέση. Οι μετρήσεις επεξεργάζονται σε αρχείο .csv όπου μας δίνουν τις τιμές ανακλαστικότητας σε όλα τα φάσματα.



Εικόνα 23: Εξοπλισμός εργαστηρίου Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας για τον υπολογισμό της ανακλαστικότητας (SR)

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Μετρητής συντελεστή εκπομπής -θερμικής Εκπομπής-Emissometer model

Η θερμική εκπομπή των δειγμάτων μετράται με τη βοήθεια του εξειδικευμένου οργάνου "Συσκευή και Υπηρεσίες Emissometer μοντέλο AE1 ". Η συσκευή μετρά το θερμικό εκπομπής του δείγματος, σε σχέση με δύο γνωστά πρότυπα αναφοράς. Το πρότυπο αναφοράς με η υψηλή θερμική εκπομπή έχει τιμή 0,88 ενώ η χαμηλή θερμική εκπομπή έχει τιμή 0,06.Ο ανιχνευτής αποτελείται από μια σειρά από θερμοπυρήνες και θερμαίνεται σε σταθερή θερμοκρασία 82 °C.

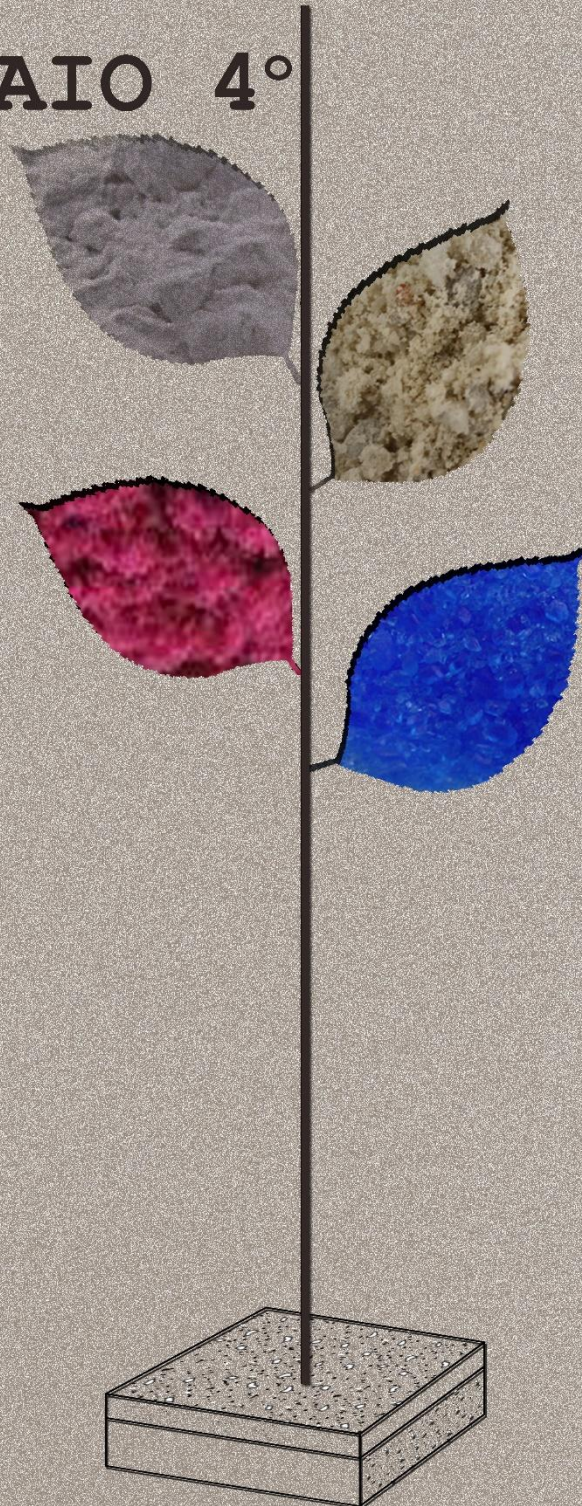
Αρχικά η συσκευή βαθμονομείται χρησιμοποιώντας τόσο τα υψηλά όσο και τα χαμηλά πρότυπα αναφοράς και η διαδικασία βαθμονόμησης επαναλαμβάνεται κάθε 20 λεπτά. Δεδομένου ότι τα δείγματα έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα πρέπει να ακολουθήσετε ειδική διαδικασία όπως περιγράφεται στην τεχνική σημείωση TN 04-1⁶⁵ που παρέχει ο κατασκευαστής. Η διαδικασία ονομάζεται "μέθοδος διαφανειών για υλικά υψηλής εκπεμπόμενης με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Τόσο τα δείγματα όσο και ο ψύκτης καλύπτονται με την ίδια ευρεία ταινία κάλυψης με γνωστή θερμική ακτινοβολία. Ένας μικρός ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για να φυσάει αέρα στην επιφάνεια και των δύο σημείων αναφοράς καθώς και στο δείγμα προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη θερμοκρασία. Μια σειρά οκτώ μετρήσεων κάθε 30 δευτερόλεπτα λαμβάνονται σε ολόκληρη την επιφάνεια του δείγματος.



Εικόνα 24: Εξοπλισμός εργαστηρίου Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας για τον υπολογισμό της εκπεψιμότητας

⁶⁵ Devices and Services. Technical note 10-2 emissometer model ae1 – slide method for high emittance materials with low thermal conductivity. Technical report, Devices and Services, 2010.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ

Συνολικά σχεδιάστηκαν 18 συνθέσεις. Οι 6 εκ των οποίων σχεδιάστηκαν υπό μορφή παστών, δηλαδή, συνθέσεις σε μικρή ποσότητα, έτσι ώστε να μελετηθούν οι φυσικοχημικές κατά βάση ιδιότητες. Επιπροσθέτως, σχεδιάστηκαν 5 συνθέσεις για την αξιολόγηση των ενεργειακών αναλύσεων, 4 για την μελέτη της γραμμικής συρρίκνωσης και τέλος, 3 για την μελέτη της μονοαξονικής θλίψης .

Οι συνθέσεις χωρίζονται σε δυο κατηγορίες με βάση την προσθήκη μαρμαρόσκονης:

1.

- Συνθέσεις με Λευκό Τσιμέντο (**Wc**), Υδράβεστος (**L**) και Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/3**).
- Συνθέσεις με Υδράβεστος (**L**), Υδραυλική άβεστος (**Y**) και Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R_c**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/2**).
- Συνθέσεις με Υδράβεστος (**L**), Μετακαολίνη (**M**) και Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R_c**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/2**).

2.

- Συνθέσεις με Λευκό Τσιμέντο (**Wc**), Υδράβεστος (**L**), Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R**) και Μαρμαρόσκινη (**mr**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/3**).
- Συνθέσεις με Υδράβεστος (**L**), Υδραυλική άβεστος (**Y**), Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R**) και Μαρμαρόσκινη (**mr**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/2**).
- Συνθέσεις με Υδράβεστος (**L**), Μετακαολίνη (**M**), Άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (**R_c**) και Μαρμαρόσκινη (**mr**) με λόγο κονιάς προς αδρανή (**1/2**).

Πίνακας 4: Βασικές Συνθέσεις

Συνθέσεις Παστών	Λόγος Κονιάς/Αδρανή
WcLR	1/3
LYR	1/2
LMR	1/2
WcLRmr	1/3
LYRmr	1/2
LMRmr	1/2

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για να μελετηθούν φυσικοχημικές αναλύσεις όπως προαναφέρθηκε, παρασκευάστηκαν πάστες σφαιρικού και κυβικού σχήματος, διαμέτρου και πλάτους 2,5-3 cm. Αρχικά, οι πάστες ωρίμασαν στην υγρασία και έπειτα διακόπηκε η ωρίμανση τους με την τοποθέτησή τους σε πλαστικό μπουκάλι ακετόνης. Από τις συνθέσεις παστών, παρατηρήθηκε ότι, στο χρωματόμετρο, συνθέσεις με την προσθήκη μαρμαρόσκονης ήταν πιο φωτεινές. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε η προσθήκη της στα κονιάματα-επιχρίσματα.

Πίνακας 5: Ακρωνύμια

Λευκό Τσιμέντο	Wc
Υδράσβεστος	L
Άμμος από ανακυκλωμένα αδρανή	R
Υδραυλική άσβεστος	Y
Μετακαολίνη	M
Μαρμαρόσκονη	mr
Νταμαρίσια άμμος	N
Θεικός Χαλκός	Cu

Πίνακας 6: Βασικές Συστάσεις και αναλογίες των συνθέσεων

Όνομα Σύνθεσης	Σύσταση(%)							Κονία/ αδρανή	Νερό/ κονία
	Wc	L	R	Y	M	mr	Νερό		
WcLR	12,5	12,5	75				21,9	1/3	0,875
YLR		16,67	66,6	16,67			23,3	1/2	0,7
LMR			16,67	66,6	16,67		66,6	1/2	2
WcLRmr	12,5	12,5	60			15	18,75	1/3	0,75
LYRmr		16,67	53,3	16,67		13,36	26,67	1/2	0,8
LMRmr		26,67	53,3		6,67	13,36	26,67	1/2	1,25

Συνολικά Σχεδιάστηκαν 18 Συνθέσεις

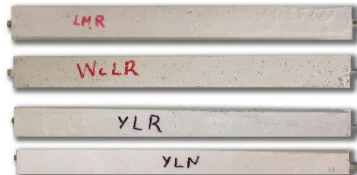
6 πάστες



5 για ενεργειακές
αναλύσεις



4 για μελέτη γραμμικής
συρρίκνωσης



3 για δοκιμή
μονοαξονικής θλίψης



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην συνέχεια, έγιναν κάποιες δοκιμές με σκοπό τον φυσικό χρωματισμό των κονιαμάτων σε αντικατάσταση των πλαστικών χρωμάτων. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε, ένυδρος θειικός χαλκός χρώματος μπλε και χλωριούχο κοβάλτιο εξαϋδρικό, χρώματος ροζ. Αρχικά, προσθέσαμε υδράσβεστο (L) και στα δύο ορυκτά, με σκοπό να παρατηρηθεί εάν διατηρείται το χρώμα. Στην περίπτωση του θειικού χαλκού και έχοντας ως γνώμονα τον βορδιγάλειο πολτό, παρατηρήσαμε ότι, το χρώμα παρέμενε μπλε και σε κάποιες περιπτώσεις πιο ανοιχτό. Από την άλλη μεριά, το κοβάλτιο, έχανε την φωτεινότητα του χρώματος του και γινόταν πιο σκούρο. Τέλος, προσθέσαμε στα μείγματα απιονισμένο νερό, παρατηρώντας ότι, ο θειικός χαλκός παρέμενε μπλε, σε αντίθεση με το κοβάλτιο που γινόταν πράσινο σκούρο. Έτσι, τα εφαρμόσαμε σε έτοιμα ασβεστοκονιάματα και τα αφήσαμε σε εξωτερικό χώρο να δούμε πως θα αντιδράσουν.

Τα αποτελέσματα ήταν θετικά, καθώς τα χρώματα παρέμεναν επάνω στα ασβεστοκονιάματα σε σχετικά ανοιχτές αποχρώσεις. Με γνώμονα τα παραπάνω, εφαρμόσαμε τα εν λόγω ορυκτά στις συνθέσεις με την διαδικασία 'fresco'. Τα ορυκτά τοποθετήθηκαν ξεχωριστά σε κάθε σύνθεση και μαζί. Με το πέρας των ημερών, παρατηρήθηκε ότι το κοβάλτιο έχανε εντελώς το χρώμα του και γινόταν όλο και πιο σκούρο. Φυσικά, κάτι τέτοιο δεν θα ήταν ευνοϊκό μιας και επιθυμούσαμε ανοιχτόχρωμα επιχρίσματα. Έτσι, αντικαταστήσαμε την άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή με τύπου χαλαζιακή αλλά το κοβάλτιο, έγινε ακόμα πιο σκούρο. Μετά το πέρας όλων αυτών των δοκιμών, αποφασίστηκε, η επιλογή ενός μόνο ορυκτού, του θειικού χαλκού, ως απόρροια των παραπάνω.

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα, παρατίθενται οι δοκιμές των προαναφερθέντων. Στις σειρές με προσθήκη Κοβάλτιου και θειικού Χαλκού στις συνθέσεις, οι πρώτες στήλες αφορούν την προσθήκη μόνο θειικού χαλκού. Οι δεύτερες στήλες αφορούν την προσθήκη κοβαλτίου και οι τρίτες στήλες την ανάμειξη και των δύο ορυκτών.

Έγχρωμες Δοκιμές με προσθήκη Θειικού Χαλκού και Κοβάλτιου



Προσθήκη Άσβεστη (L)



Προσθήκη Απιονισμένο Νερό



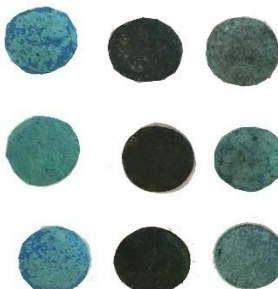
Εφαρμογή σε ασβεστοκονιάματα



Προσθήκη Κοβάλτιου και Θειικού Χαλκού στις συνθέσεις μας και συνδιασμός



Προσθήκη Κοβάλτιου και Θειικού Χαλκού στις συνθέσεις με Χαλαζιακή Άμμο



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την μελέτη των ενεργειακών αναλύσεων των κονιαμάτων, οι συνθέσεις χυτεύτηκαν σε ειδικές-διαμπερές μήτρες διαστάσεων 9,5x9,5x3 cm. Τα κονιάματα αποτελούνταν από 2 στρώσεις. Για την ανάγκη των πειραμάτων η κάθε σύνθεση απαιτούσε 3 διαφορετικές μήτρες. Πρώτα έγιναν οι πρώτες στρώσεις και έπειτα από κάποιες ημέρες τοποθετήθηκαν οι τελικές στρώσεις.

Ο Πίνακας 7. δείχνει αναλυτικά τις συνθέσεις και τις συστάσεις των συνθέσεων.

Πίνακας 7:Συστάσεις συνθέσεων για ενεργειακές αναλύσεις

Αριθμός Σύνθεσης	A' Στρώμα (Βάση)	Σύσταση (g)	Νερό (mL)	B' Στρώμα Επίχρισμα	Σύσταση (gr)	Νερό (mL)
1	Wc	40	50	Wc	60	100
	L	40		L	60	
	R	240		R	288	
				mr	72	
2	L	70	95	L	75	110
	Y	70		Y	75	
	R	280		R	240	
				mr	60	
3	L	80	80	L	80	100
	M	20		M	20	
	R	200		R	160	
				mr	40	
4	Wc	78	75	Wc	60	60
	R	235		R	180	
				Cu	60	
5	L	100	60	L	80	75
	M	25		M	20	
	R	250		R	200	
				Cu	60	

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την μελέτη της γραμμικής συρρίκνωσης, οι συνθέσεις, χυτεύτηκαν σε μήτρες διαστάσεων 2,5x2,5x28,5cm. Οι ημέρες των μετρήσεων ήταν η 1^η, 3^η, 7^η, 14^η, και 28^η ημέρα. Στην εν λόγω διαδικασία, προστέθηκε μια ακόμη σύνθεση χρησιμοποιώντας νταμαρίσια άμμο (N) σε σύνθεση με υδραυλική άσβεστο(Υ) Και υδράσβεστο (L). Αυτή η προσθήκη, αποσκοπούσε στην διεξαγωγή αποτελεσμάτων και συγκρίσεων των δυο άμμων.

Ο Πίνακας 8 δείχνει αναλυτικά τις εν λόγω συνθέσεις καθώς και τις συστάσεις των συνθέσεων.

Πίνακας 8: Συστάσεις συνθέσεων για μελέτη γραμμικής συρρίκνωσης

Αριθμός Συνθέσεων	Σύνθεση	Σύσταση(g)	Νερό (mL)	1 ^η Ημέρα (mm)	3 ^η Ημέρα (mm)	7 ^η Ημέρα (mm)	14 ^η Ημέρα (mm)	28 ^η Ημέρα (mm)
REFERENCE BAR=2,992								
1	L	80	100	2,756	2,024	1,973	1,964	1,953
	M	20						
	R	200						
2	Wc	50	90	3,281	3,141	2,953	2,803	2,758
	L	50						
	R	300						
3	Y	100	115	3,179	2,997	2,832	2,813	2,784
	L	100						
	N	400						
4	Y	10	120	1,680	0,948	0,765	0,635	0,626
	L	100						
	R	400						

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης, πραγματοποιήθηκαν οι 3 βασικές συνθέσεις. Όπως έχει προαναφερθεί στο κεφάλαιο 3, για την εν λόγω δοκιμή οι συνθέσεις χυτεύτηκαν σε μήτρες διαστάσεων 5x5x5 cm. Η δοκιμή πραγματοποιείται για 28 ημέρες, 3 και 6 μήνες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε για 28 ημέρες.

Ο Πίνακας 9 δείχνει αναλυτικά τις εν λόγω συνθέσεις καθώς και τις συστάσεις των συνθέσεων.

Πίνακας 9:Συστάσεις συνθέσεων για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης

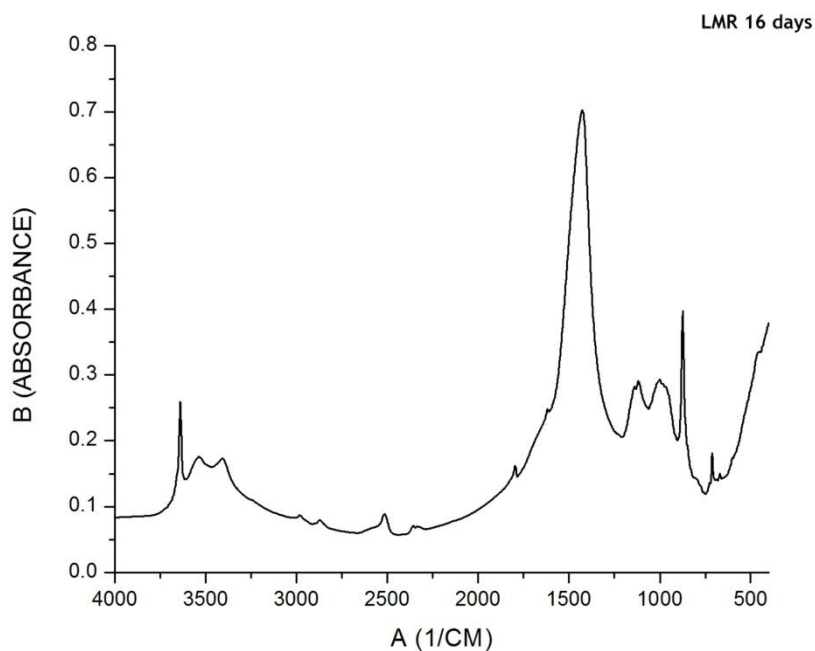
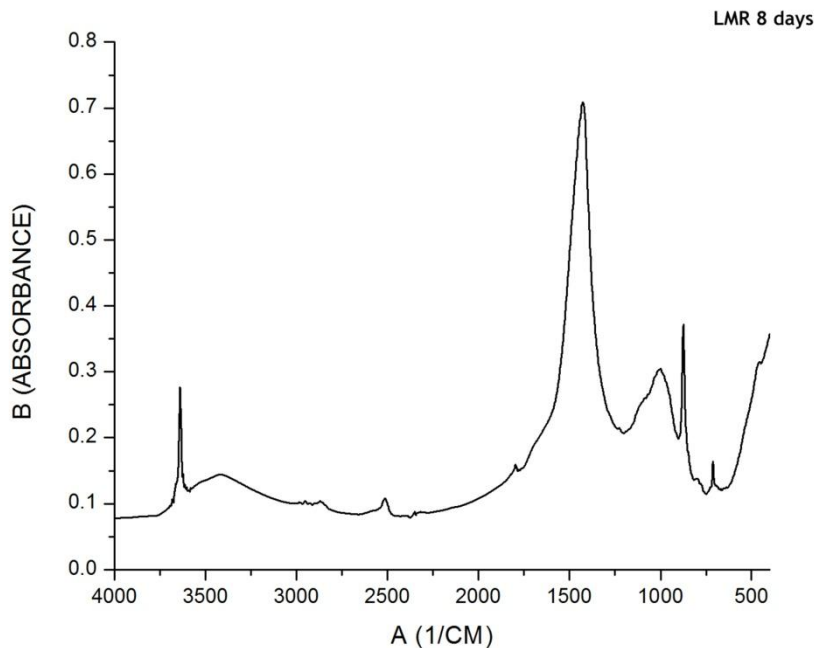
Αριθμός Συνθέσεων	Σύνθεση	Σύσταση(g)	Νερό (mL)
1	L	160	110
	M	40	
	R	400	
2	Y	100	150
	L	100	
	R	400	
3	Wc	100	160
	L	100	
	R	600	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

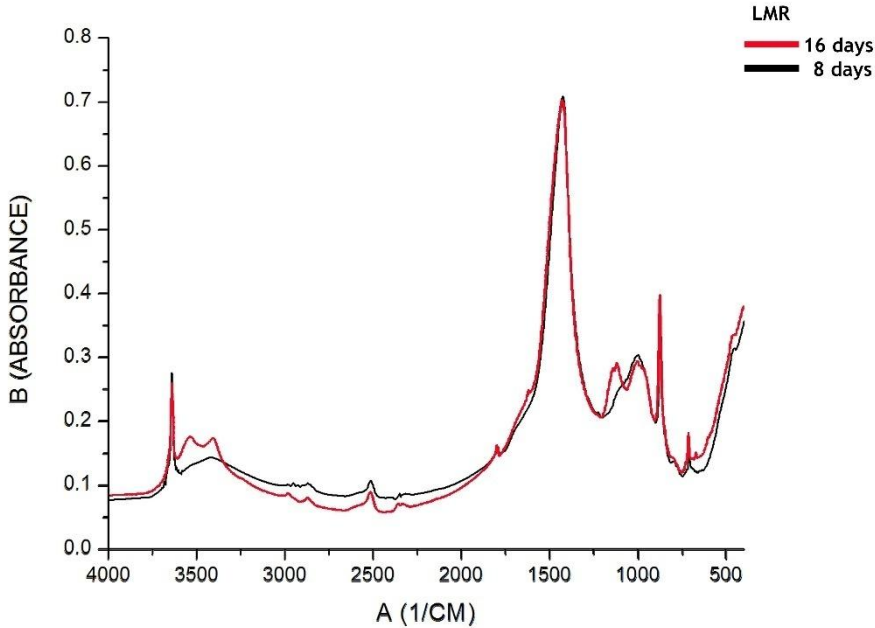


ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ (FTIR)



Διάγραμμα 3: Φασμάτα FTIR στις LMR πάστες στις 8 και στις 16 ημέρες



Διάγραμμα 4: Φασματά FTIR στις LMR πάστες στις 8 και στις 16 ημέρες

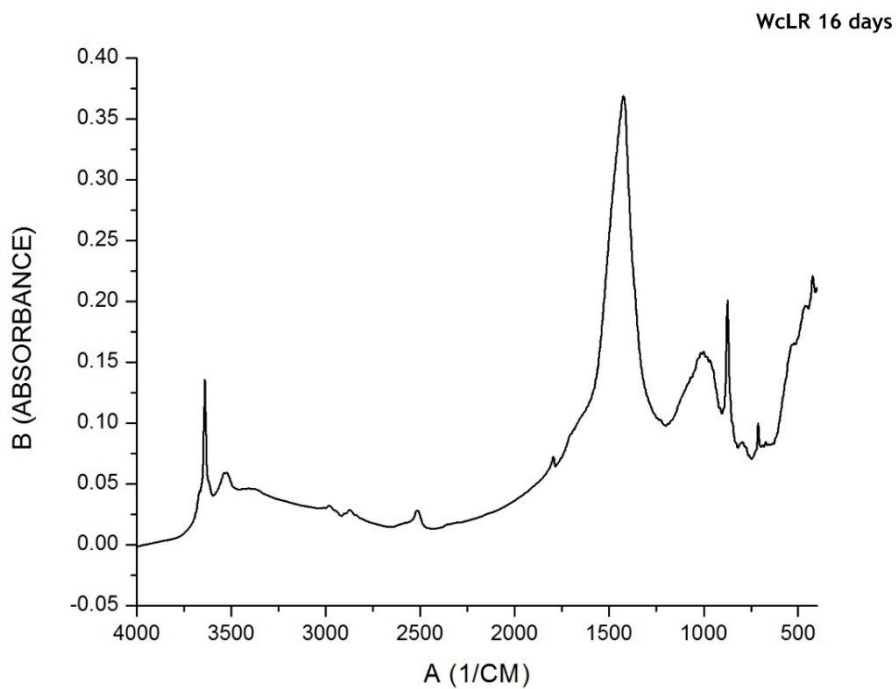
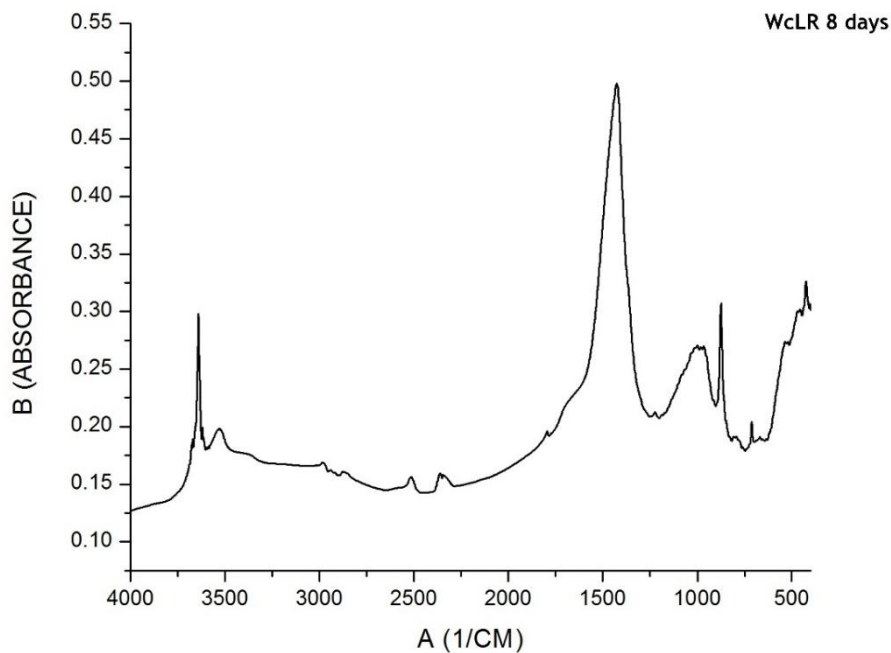
Παρατηρώντας τα Διαγράμματα 3,4 στην σύνθεση με: υδράσβεστο (L), μετακαολίνη (M) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα:

Στις 8 ημέρες παρατηρούνται συστατικά της ασβέστου(CH) σε όλα σχεδόν τα υπέρυθρα φάσματα που αναλύθηκαν. Στις 16 ημέρες, διατηρούνται τα συστατικά της ασβέστου ενώ ταυτόχρονα ενανθρακώνεται ο ασβέστης και δημιουργούνται υδραυλικά συστατικά. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει αναλυτικά τις κορυφές και τα συστατικά τους.

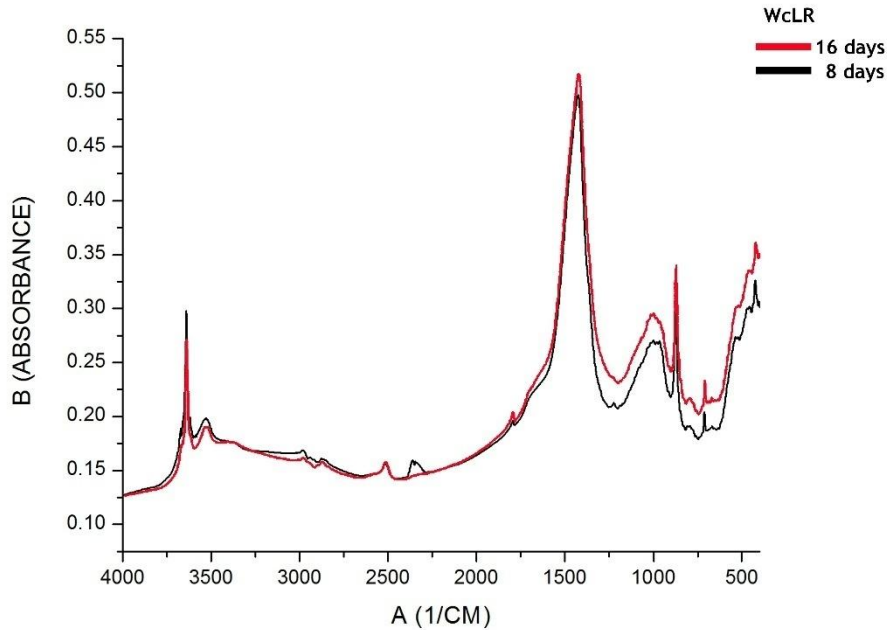
Πίνακας 10:Φασματά και Κορυφές FTIR στις LMR πάστες

	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
	cm-1	Total	Corrected	Total	Corrected	
LMR8	3641	8,378	2,145	0,278	0,142	Calcium hydroxide
	3403	18,388	1,428	0,172	0,025	Malachite
	2515	4,347	0,416	0,089	0,015	calcite
	1798	5,563	0,345	0,164	0,022	Malachite
	1426	92,763	28,261	0,704	0,299	Calcite
	875	11,869	3,140	0,396	0,207	Calcite
	711	3,307	0,559	0,190	0,068	Calcite

LMR16	3641	7,757	1973	0,278	0,138	Calcium hydroxide
	3403	15,134	0,827	0,172	0,017	Malachite
	2515	4,657	0,624	0,082	0,020	calcite
	1798	4,606	0,285	0,164	0,020	Malachite
	1426	93,808	29,774	0,704	0,316	Calcite
LMR16	1141	10,819	0,264	0,282	0,012	artinite
	998	11,031	0,121	0,292	0,006	C-S-H
	875	6,976	1,702	0,418	0,156	Calcite
	711	3,925	0,636	0,207	0,074	Calcite



Διάγραμμα 5 Φασματά FTIR στις WcLR πάστες στις 8 και στις 16 ημέρες:



Διάγραμμα 6: Φασματα και κορυφές FTIR στις WcLR πάστες στις 8 και στις 16 ημέρες:

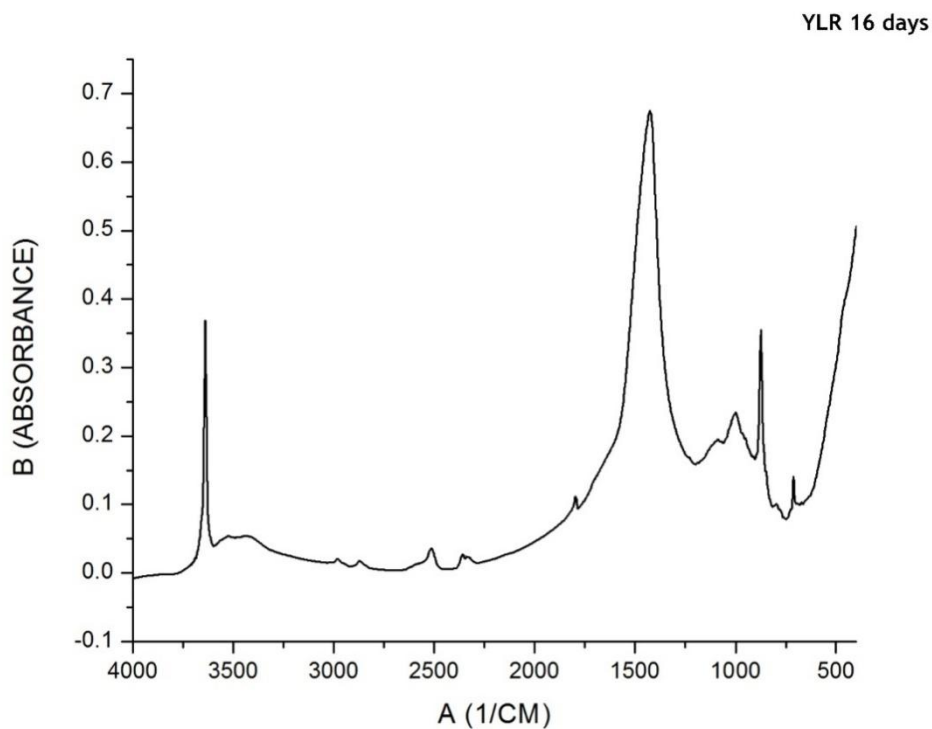
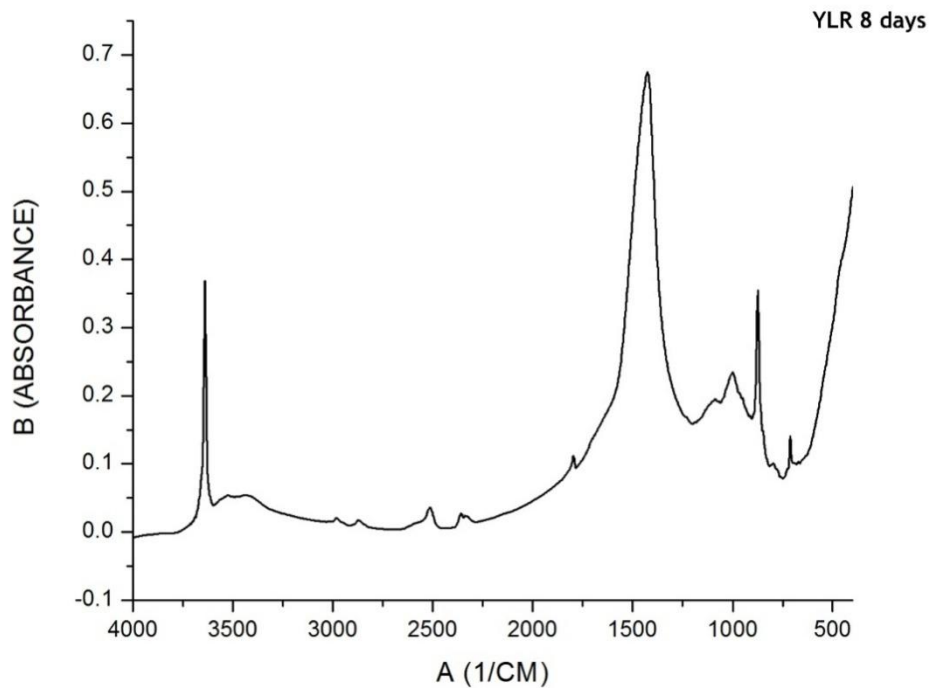
Πίνακας 11 Φασματα και Κορυφές FTIR στις WcLR πάστες:

	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
	cm-1	Total	Corrected	Total	Corrected	
WcLR8	3641	7,689	1,674	0,329	0,137	Calcium hydroxide
	2982	14,130	0,188	0,169	0,005	Calcite
	2937	5,769	0,027	0,162	0,001	Kaolinite
	2511	9,525	0,300	0,156	0,009	calcium carbonate
	2367	6,235	0,265	0,160	0,012	NaNO3
	1793	6,078	0,106	0,199	0,008	Calcite
	1426	62,606	13,197	0,500	0,167	Calcite
	1000	6,630	0,022	0,271	0,003	C-S-H
	875	11,194	1,531	0,320	0,104	Calcite
	711	4,788	0,262	0,215	0,031	Calcite
	469	12,008	0,256	6,301	0,01	C-S-H
WcLR16	3641	4,749	1,746	0,152	0,112	Calcium Hydroxide
	3524	4,799	0,675	0,059	0,013	Gibbsite

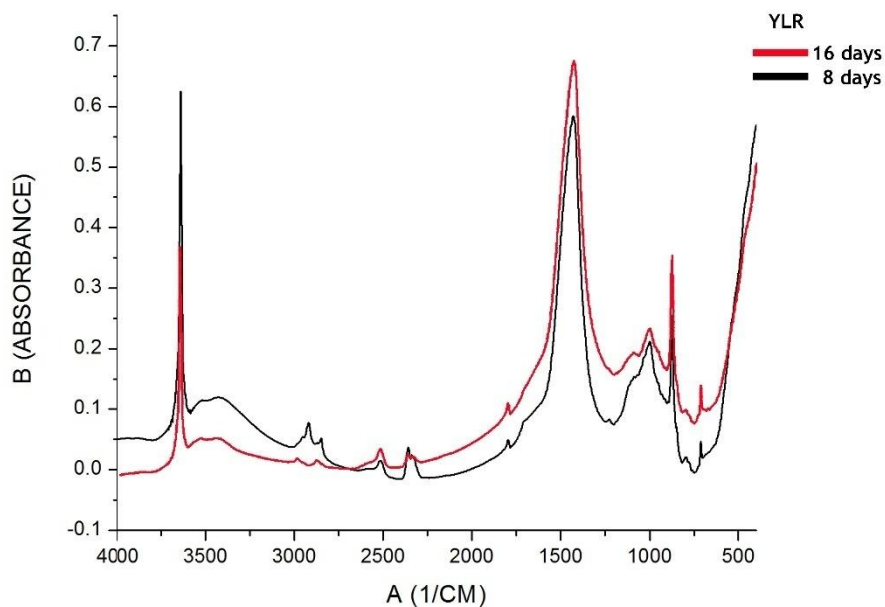
WcLR16	2982	3,645	0,281	0,032	0,005	Calcite
	2869	1,978	0,145	0,028	0,004	Calcite
	2511	2,261	0,458	0,028	0,012	calcium carbonate
	1796	2,420	0,142	0,073	0,010	Calcite
	1424	46,861	13,76	0,370	0,159	Calcite
	1016	8,729	0,214	0,158	0,007	Gypsum
	875	4,427	1,183	0,211	0,090	Calcite
	711	2,72	2,72	0,112	0,035	Calcite
	671	2,033	2,033	0,086	0,005	C-S-H
	424	7,616	7,616	0,224	0,020	Hydroxylapatite

Παρατηρώντας τα Διαγράμματα 5,6 στην σύνθεση με: λευκό τσιμέντο (Wc), υδρασβεστο (L) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα:

Στις 8 ημέρες παρατηρούνται συστατικά της υδρασβέστου όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στον πίνακα 11 με την κορυφή 3641 cm^{-1} που παρατηρείται στο υδροξείδιο του ασβεστίου. Επιπροσθέτως, είναι σημαντικό που αναπτύσσονται ήδη από τις 8 ημέρες κορυφές στα $900\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ που αποδίδονται στην δημιουργία υδραυλικών συστατικών (C-H-S) ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται και ανθρακικά συστατικά λόγω ενανθράκωσης της υδρασβέστου



Διάγραμμα 7: Φασματά FTIR στις YLR πάστες



Διάγραμμα 8: Φάσματα FTIR στις YLR πάστες

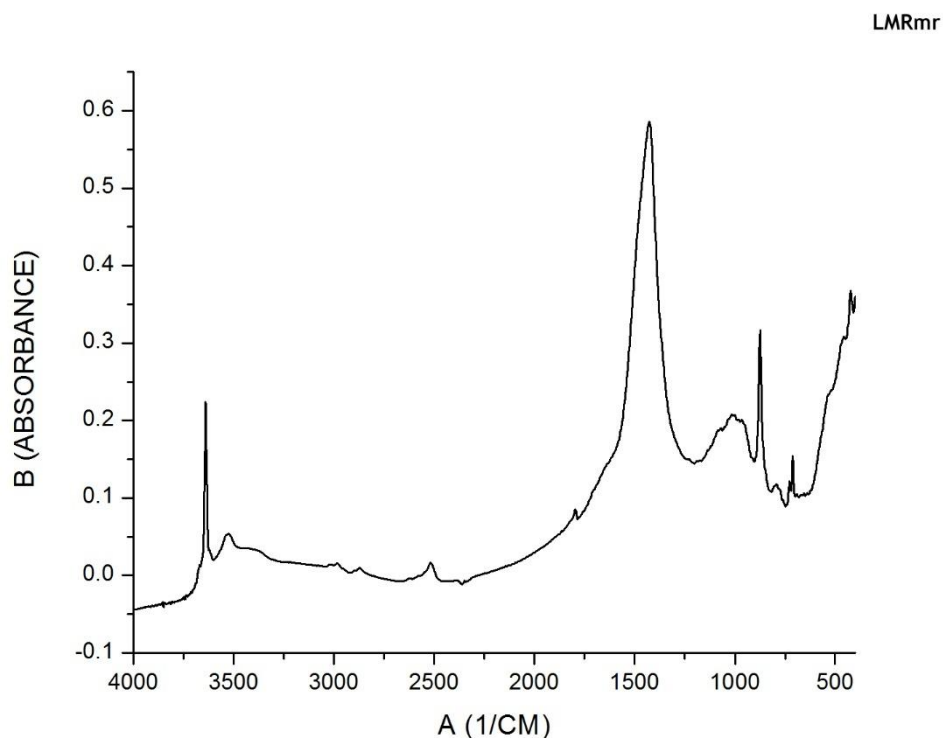
Πίνακας 12: Φάσματα και Κορυφές FTIR στις YLR πάστες

	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
		Total	Corrected	Total	Corrected	
YLR8	3641	195,69	6,894	0,630	0,442	Calcium Hydroxide
	2919	8,142	0,399	0,176	0,019	Poly(vinylacetate)
	2847	7,494	0,277	0,156	0,013	Poly(vinylacetate)
	2515	11,110	0,532	0,131	0,013	calcite
	2358	5,549	0,356	0,148	0,020	NaNO3
	1796	3,748	0,142	0,157	0,011	Malachite
	1428	78,22	28,662	0,534	0,276	Calcite
	998	15,028	0,908	0,270	0,029	C-S-H
	875	875	1,659	0,317	0,126	Calcite
	711	711	0,269	0,167	0,036	Calcite
YLR16	3641	8,556	6,164	0,428	0,395	CalciumHydroxide
	2977	1,668	0,359	0,020	0,007	Poly(vinylacetate)
	2869	0,982	0,257	0,017	0,007	Poly(vinylacetate)
	2515	1,382	0,533	0,035	0,018	Calcite
	1796	0,114	0,021	4,44	0,328	Malachite

1426	104,876	46,999	0,676	0,42	Calcite
996	12,989	0,862	0,233	0,025	C-S-H
875	7,874	2,754	0,377	0,201	Calcite
711	3,761	0,604	0,167	0,074	Calcite

Παρατηρώντας τα Διαγράμματα 7,8 στην σύνθεση με: υδραυλική άσβεστο(Υ), υδράσβεστο (L) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή, παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα:

Στις 8 ημέρες παρατηρούνται συστατικά της υδρασβέστου όπως φαίνεται στον πίνακα 12 στην κορυφή 3641 cm^{-1} ενώ αναπτύσσονται ήδη κορυφές στα $900\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ που αποδίδονται στη δημιουργία υδραυλικών συστατικών (C-H-S), ενώ ταυτόχρονα αναπτύσσονται και ανθρακικά συστατικά λόγω ενανθράκωσης της υδρασβέστου. Στις 16 ημέρες, διατηρούνται τα ασβεστιτικά συστατικά ενώ ταυτόχρονα τα υδραυλικά είναι πιο έντονα.



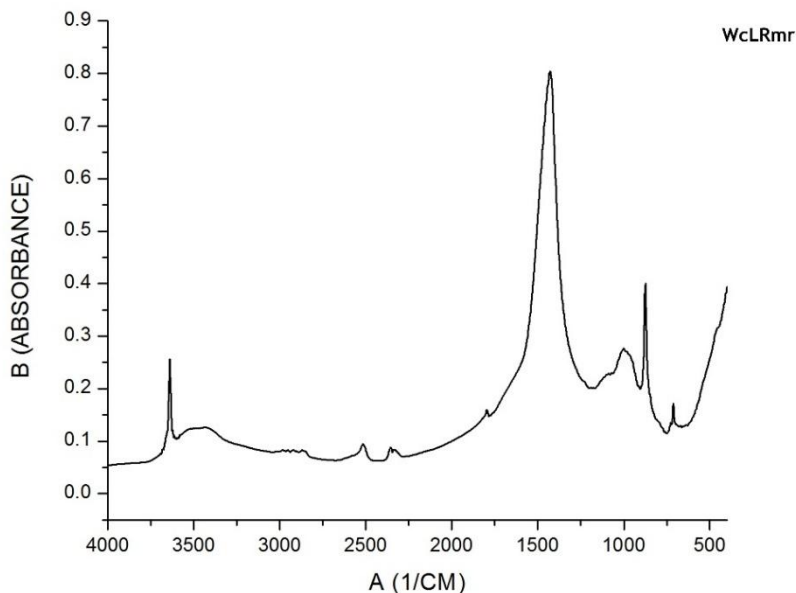
Διάγραμμα 9: Φάσματα FTIR στις LMRmr πάστες

Πίνακας 13: Φάσματα και Κορυφές FTIR στις LMRmr πάστες

LMRmr8	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
		Total	Corrected	Total	Corrected	
	3641	7,757	1973	0,278	0,1384	Calcium Hydroxide
	1796	-6,769	-11,612	0,227	0,117	Malachite
	2515	3,981	0,987	0,015	0,020	calcite
	1426	72,622	24,531	0,585	0,281	calcite
	1424	6,834	1,856	0,314	0,140	calcite
	711	1,740	0,210	0,150	0,034	calcite
	422	8,680	0,363	0,366	0,029	Hydroxylapatite
	998	15,028	0,908	0,270	0,029	C-H-S

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 9 και τον Πίνακα 13 στην σύνθεση με: υδράσβεστο (L), μετακαολίνη (M), μαρμαρόσκονη (mr) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή, παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα:

Στις 8 ημέρες παρατηρούνται συστατικά της υδρασβέστου όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην κορυφή 3641 cm^{-1} . Παρατηρείται πως εδώ έχουν ήδη εμφανιστεί υδραυλικά συστατικά από τις 8 κιόλας ημέρες. Λόγω τεχνικών προβλημάτων το εν λόγω κονίαμα και τα επόμενα δύο δεν εξετάστηκαν φυσικοχημικά στις 16 ημέρες ωρίμανσης τους.

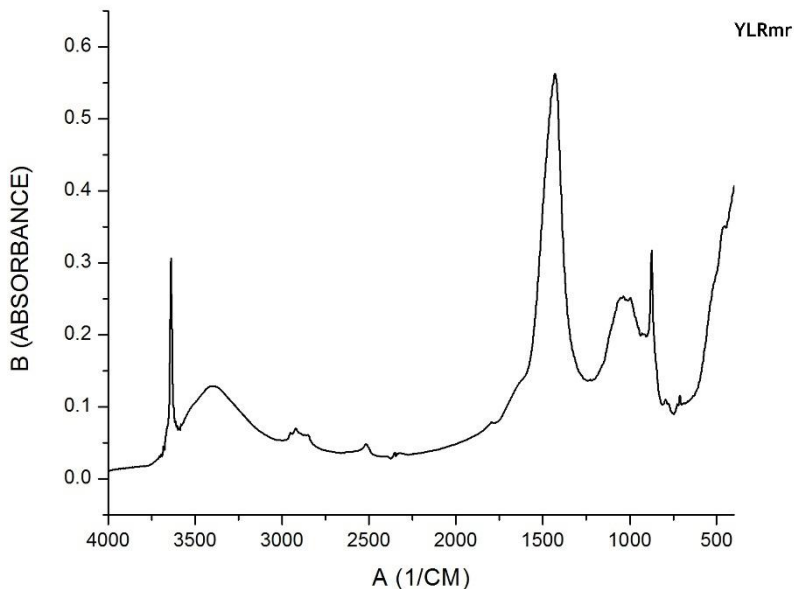


Διάγραμμα 10: Φάσματα FTIR στις WcLRmr παστών

Πίνακας 14: Φάσματα και Κορυφές στις WcLRmr πάστες

	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
		Total	Corrected	Total	Corrected	
WcLRmr	3641	8,777	2,976	0,290	0,197	Calcium Hydroxide
	2865	3,992	0,123	0,082	0,004	Calcite
	2511	7,274	0,921	0,093	0,023	calcite
	2327	5,861	0,471	0,084	0,009	NaNO3
	1428	99,813	35,410	0,808	0,408	Calcite
	998	18,089	0,638	0,275	0,016	C-S-H
	875	13,879	3,902	0,429	0,240	Calcite
	711	3,729	0,488	0,198	0,064	Calcite

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 10 και τον Πίνακα 14 στην σύνθεση με: λευκό τσιμέντο (Wc), υδράσβεστο (L), μαρμαρόσκονη (mr) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα. Σχεδόν ίδια συχνότητα εμφάνισης ασβεστιτικών και υδραυλικών συστατικών με το αντίστοιχο κονίαμα χωρίς μαρμαρόσκονη.



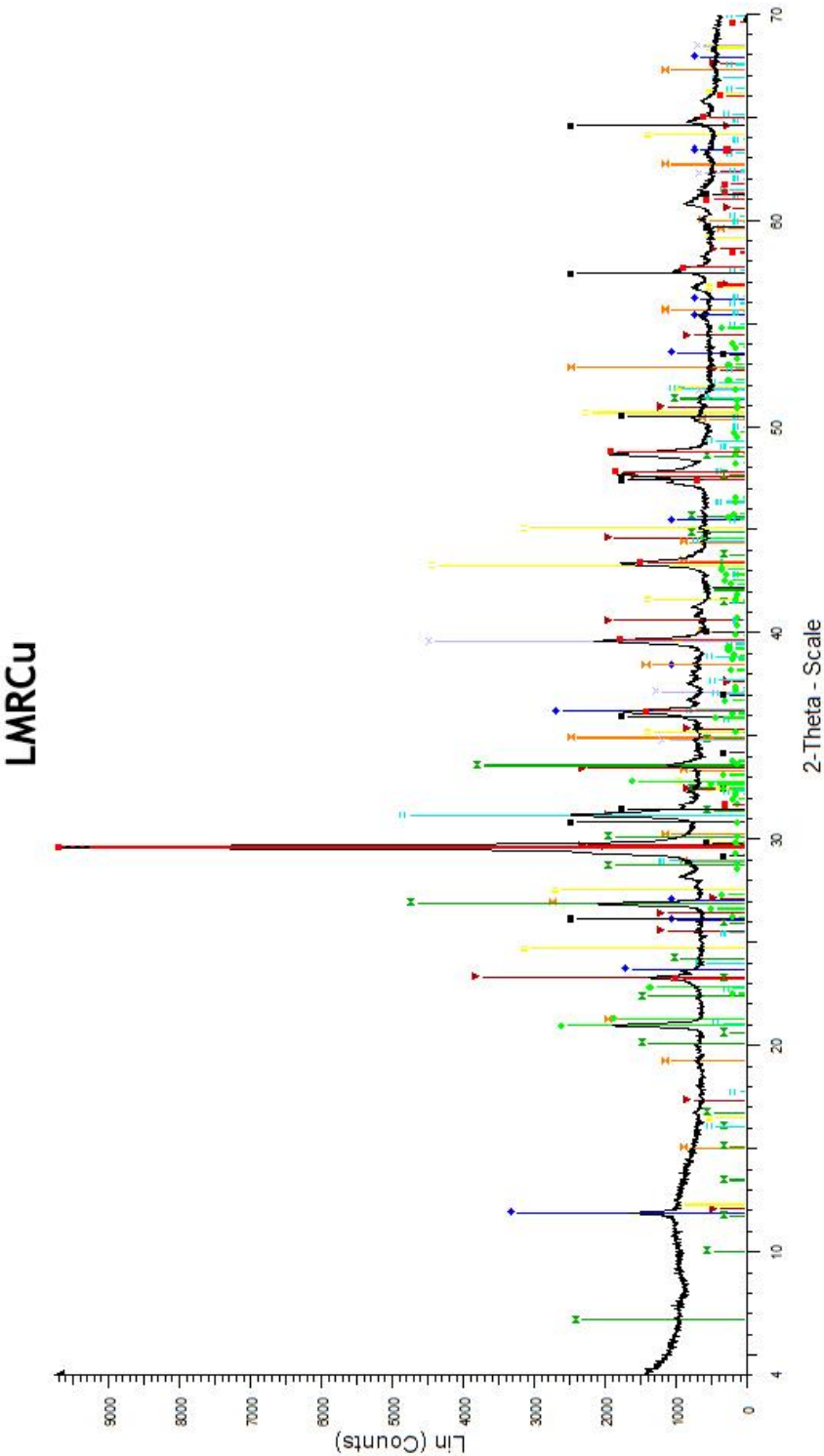
Διάγραμμα 11: Φάσματα FTIR στις YLRmr

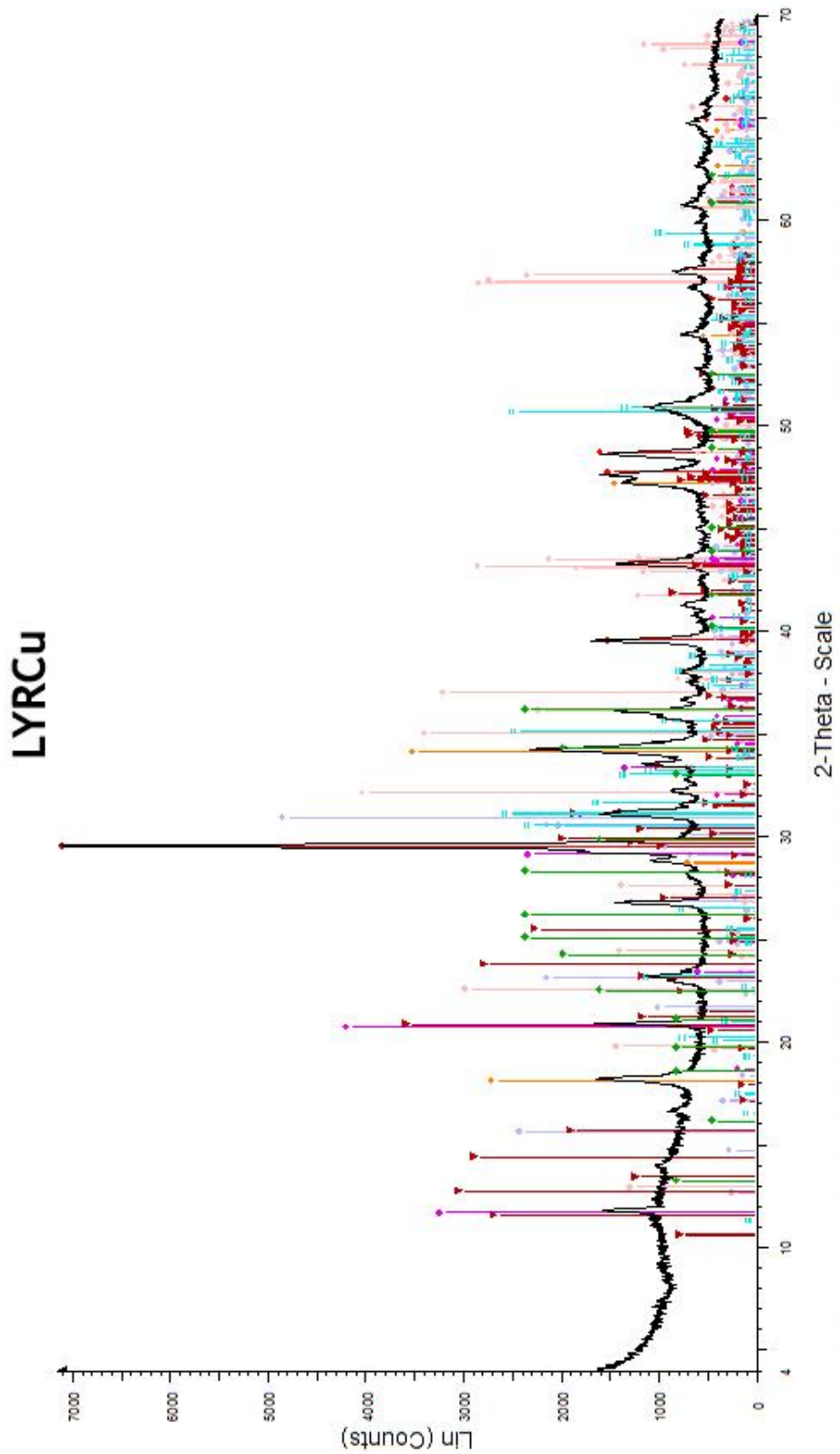
Πίνακας 15: Φάσματα και Κορυφές FTIR στις YLRmr πάστες

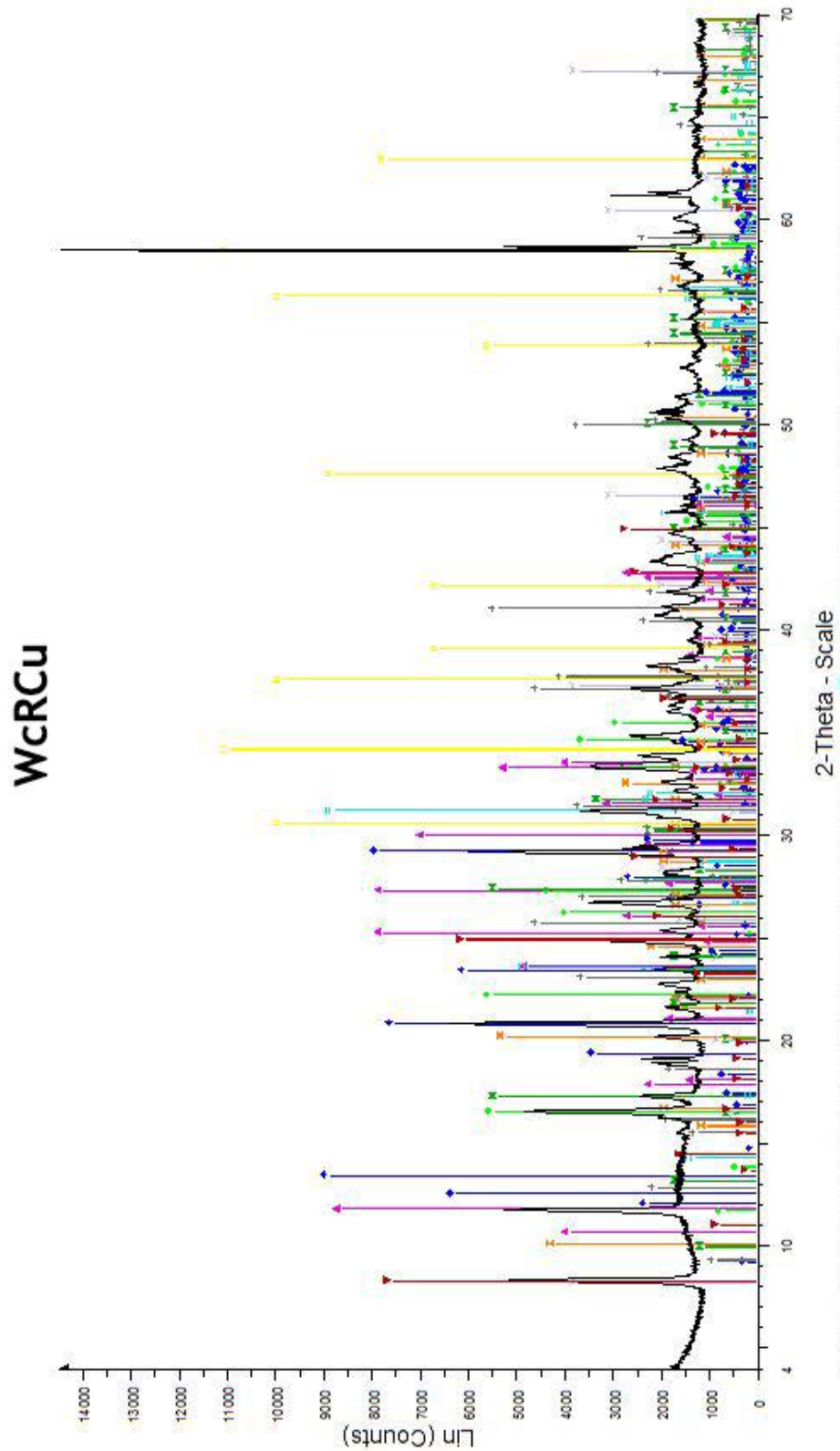
	Location	Area(A.cm-1)		Height(A)		Compounds
		Total	Corrected	Total	Corrected	
YLRmr	3641	7,752	3,951	0,354	0,291	Calcium Hydroxide
	3390	33,039	5,554	0,129	0,033	C-S-H
	2919	4,068	0,233	0,070	0,009	Poly(vinyl-acetate)
	2517	3,074	0,384	0,048	0,010	Calcite
	1796	2,472	0,125	0,085	0,009	Calcite
	1428	77,932	36,879	0,566	0,355	Calcite
	993	9,377	0,275	0,250	0,012	C-S-H
	875	9,360	1,978	0,337	0,144	Calcite
	789	4,268	0,181	0,108	0,006	Albite
	711	2,448	0,153	0,128	0,025	Calcite

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 11 και τον Πίνακα 15 στην σύνθεση με: υδραυλική άσβεστο (L), υδράσβεστο (L), μαρμαρόσκονη (mr) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), παρουσιάζουν τα εξής αποτελέσματα. Λόγω της υδραυλικής σύστασης της εν λόγω σύνθεσης είναι λογικό να εμφανίζονται αρκετά υδραυλικά στοιχεία ήδη από τις 8 ημέρες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι παρουσιάζουν εντονότερες κορυφές ενδεχομένως λόγω της προσθήκης μαρμαρόσκονης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΗΣ XRD







Τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης, με βάση την περιθλασιμετρία των ακτίνων-Χ, έδειξαν ότι τα ανακυκλωμένα αδρανή από σκυρόδεμα αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη, χαλαζία και άλλα ορυκτά σε πολύ μικρές ποσότητες. Στις παραπάνω συνθέσεις η προσθήκη ένυδρου θειικού χαλκού (chalacanthite), φαίνεται στα ακτινογραφήματα με εντάσεις στις γωνίες 18,7, 23,97,22 και 26⁶⁶.

⁶⁶ http://webmineral.com/MySQL/xray.php?ed1=4.73&minmax=2#.WuWucJe-m_g

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟΥ**Α' ΦΑΣΗ**

Στην πρώτη φάση της εξέτασης του χρωματόμετρου για τις συνθέσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγιναν συγκρίσεις με ένα ασβεστοκονίαμα. Οι συνθέσεις μας υπό την μορφή παστών συγκρίθηκαν με ένα ασβεστοκονίαμα και έπειτα μεταξύ τους με αυτές που περιείχαν μαρμαρόσκονη και με εκείνες χωρίς. Τα αποτελέσματα των εξετάσεων μας οδήγησαν στις τελική επιλογή των συνθέσεων μας.

Πίνακας 16: Χρωματικές Διαφορές βάση συγκεκριμένου ασβεστοκονιάματος.

		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)	dL*(D65)	da*(D65)	db*(D65)	dE*ab(D65)
ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ	AVERAGE	91,17	1,34	4,78	-	-	-	-
	STDEV	0,772	0,016	0,073	-	-	-	-
	YLRmr	72,45	1,45	6,09	-18,01	0,105	1,29	18,05
		0,225	0,015	0,049	0,08	0,005	0,015	0,085
	YLR	73,62	1,25	5,75	-18,26	-0,09	0,99	18,29
		0,114	0,01	0,054	0,175	0,01	0,025	0,174
	LMRmr	76,71	1,31	7,1	-13,75	-0,03	2,3	13,94
		0,257	0,012	0,032	0,004	0,004	0,016	0,004
	LMR	76,18	1,15	5,68	-15,7	0,01	0,92	15,73
		0,015	0,01	0,069	0,305	0,19	0,01	0,3
	WcLRmr	69,33	1,37	6,81	-22,55	0,03	2,06	22,64
		0,374	0,021	0,063	0,035	0,007	0,042	0,035
	WcLR	71,12	1,36	6,26	-20,77	0,02	1,5	20,82
		0,18	0,014	0,05	0,1	0,005	0,02	0,11

Παρατηρείται διαφορά μεταξύ Ασβεστοκονιάματος και YLRmr, της τάξης **ΔΕ= 18,05**

Όπου: $\Delta E = \sqrt{((\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2)}$ όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Επιπροσθέτως, παρατηρούνται οι διαφορές:

Ασβεστοκονίαμα με LMRmr **ΔΕ= 13,94**

Ασβεστοκονίαμα με WcLRmr **ΔΕ= 22,26**

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα **ΔΕ** το κονίαμα με την μικρότερη απόκλιση είναι εκείνο που περιέχει μετακαολίνη. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται χρωματικά αυτές οι διαφορές με βάση το L*, a* και το b* του κάθε κονιάματος.



Για τις συνθέσεις χωρίς την προσθήκη μαρμαρόσκονης, παρατηρούνται οι εξής διαφορές:

Ασβεστοκονίαμα με YLR με διαφορά $\Delta E = 18,29$

Ασβεστοκονίαμα με LMR με διαφορά $\Delta E = 15,73$

Ασβεστοκονίαμα με WcLR με διαφορά $\Delta E = 20,82$

Όπως γίνεται αντιληπτό από τα ΔE το κονίαμα που παρουσιάζει διαφορά στο χρώμα καθώς είναι φωτεινότερο (L) είναι εκείνο με την προσθήκη μετακαολίνης. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται χρωματικά αυτές οι διαφορές με βάση το L^* , a^* και το b^* του κάθε κονιάματος.



Πίνακας 17:Χρωματικές Διαφορές μεταξύ συνθέσεων με προσθήκη μαρμαρόσκονης και χωρίς.

		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)		$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	YLRmr	76,72	1,55	7,33	AVERAGE	3,18	0,16	1,51	3,52
STDEV	YLRmr	0,15	0,01	0,06	STDEV	0,01	0,005	0,015	0,015
	YLR	73,62	1,25	5,75					
	YLR	0,16	0,015	0,05					
	LMRmr	77,35	1,07	5,46					
	LMRmr	0,215	0,02	0,05		-0,22	0,05	0,17	0,28
	LMR	77,58	1,02	5,29					
	LMR	0,22	0,02	0,055		0,005	0	0,01	0,005
	WcLRmr	72,57	1,46	6,43					
	WcLRmr	0,15	0,03	0,055		-7,5	0,39	0,85	7,56
	WcLR	65,06	1,85	7,28					
	WcLR	0,225	0,01	0,04		0,075	0,015	0,01	0,075

Παρατηρείται διαφορά της τάξης $\Delta E=3,52$, όπου το κονίαμα YLRmr, με την προσθήκη μαρμαρόσκονης, να είναι πιο φωτεινό από εκείνο χωρίς την προσθήκη της.

Επιπλέον παρατηρούνται οι εξής διαφορές:

Παρατηρείται ελάχιστη διαφορά της τάξης $\Delta E=0,28$ μεταξύ των LMRmr-LMR

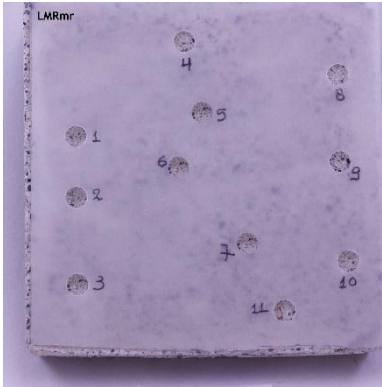
και διαφορά $\Delta E=7,5$ μεταξύ WcLRmr-WcLR όπου το κονίαμα με την προσθήκη μαρμαρόσκονης να είναι πιο φωτεινό από εκείνο χωρίς την προσθήκη της. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται χρωματικά αυτές οι διαφορές με βάση το L^* , a^* και το b^* του κάθε κονιάματος.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟΥ

Β΄ ΦΑΣΗ

Μετά το πέρας της πρώτης φάσης, έγινε αντιληπτό ότι πάστες με προσθήκη μαρμαρόσκονης και μετακαολίνης είναι ανοιχτόχρωμες από εκείνες χωρίς την προσθήκη τους. Με γνώμονα τα παραπάνω αποτελέσματα, οδηγηθήκαμε στην κατασκευή των ενεργειακών συνθέσεων με την λογική των 2 στρωμάτων όπως έχει αναφερθεί παραπάνω. Έτσι επιλέχθηκε για το επάνω στρώμα(επίχρισμα) κονίαμα την προσθήκη μαρμαρόσκονης. Τα δείγματα εξετάστηκαν με την βοήθεια του χρωματόμετρου σε πρώτη φάση μετά την ωρίμανση τους και σε δεύτερη φάση μετά από την έκθεσή τους σε εξωτερικό χώρο για πάνω από 30 ημέρες. Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα των προαναφερθέντων.

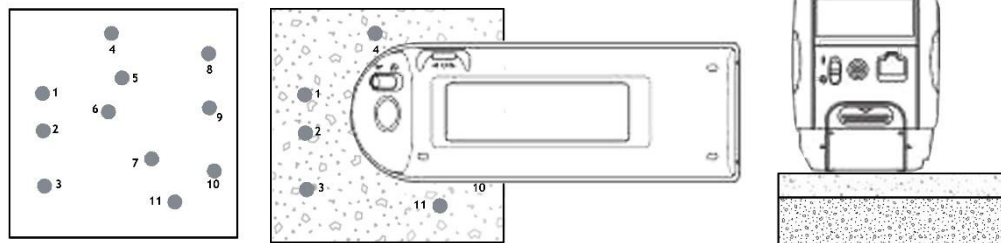


Η εξέταση του χρωματόμετρου έγινε σε 11 διαφορετικά σημεία όπως φαίνεται στην εικόνα 25. για να υπάρχει μια συνολική εικόνα της κατάστασης του κονιάματος.

Εικόνα 25:Εξέταση Χρωματόμετρου σε 11 διαφορετικά σημεία

Πίνακας 18: Χρωματικές Διαφορές μεταξύ των βασικών συνθέσεων πριν και μετά από 35 ημέρες.

Β΄ ΦΑΣΗ- ΜΕΤΑ ΑΠΟ 35 ΗΜΕΡΕΣ									
		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)		ΔL*(D65)	Δa*(D65)	Δb*(D65)	ΔE*ab(D65)
AVERAGE	YLRmr	80,69	0,99	6,52	AVERAGE	-0,08	0,26	-0,27	2,42
STDEV		2,071	0,127	0,647					
	YLRmr 35 days	73,62	1,25	5,75	STDEV	2,757	0,328	0,958	1,699
		0,115	0,01	0,055					
	LMRmr	80,14	1,03	6,52		-1,8	0,22	-0,76	3,18
		1,834	0,19	0,542					
	LMRmr 35 days	79,21	1,15	6,12		3,043	0,201	0,881	1,969
		2,433	0,191	0,687					
	WcLRmr	79,2	1,02	6,14		1,7	0,11	-0,42	2,34
		1,181	0,168	0,725					
	WcLRmr 35 days	80,05	1,08	5,93		2,08	0,196	0,66	1,554
		-1,628	-0,152	-0,611					

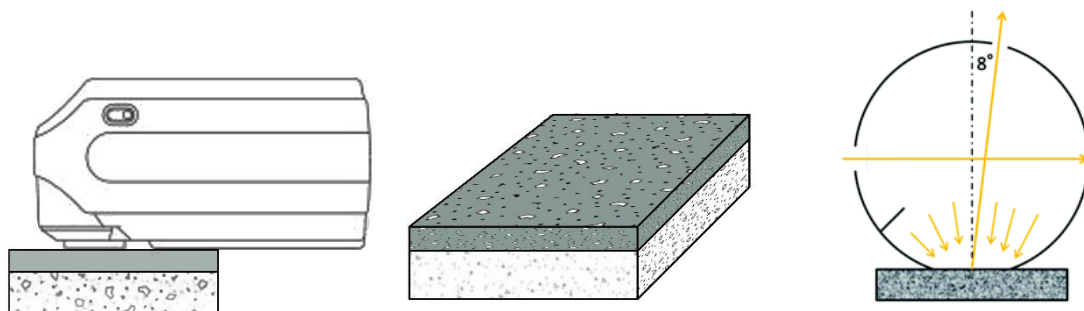


Εικόνα 26: Διαδικασία εξέτασης Χρωματόμετρου στις συνθέσεις



Εικόνα 27: Εξέταση Χρωματόμετρου

Στην συνέχεια εξετάστηκαν οι συνθέσεις με θειικό χαλκό με τον ίδιο τρόπο και τις ίδιες ημέρες.



Εικόνα 28: Διαδικασία Εξέτασης Χρωματόμετρου στα έγχρωμα Επιχρίσματα

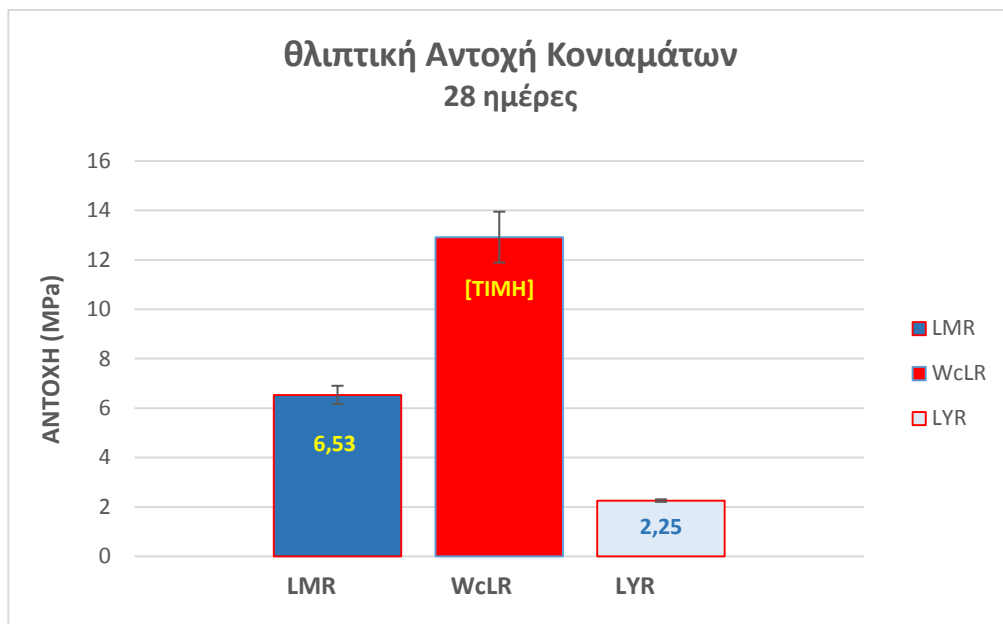
Πίνακας 19: Χρωματικές Διαφορές των βασικών συνθέσεων με την προσθήκη ένυδρου θειικού χαλκού πριν και μετά απο 35 ημέρες.

		L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)		ΔL*(D65)	Δa*(D65)	Δb*(D65)	ΔE*ab(D65)
AVERAGE	WcRCu	69,7	-8	0,4	AVERAGE	1,31	0,31	0,61	3,74
STDEV		3,989	0,34	0,364					
	WcRCu 35 days	70,36	7,85	0,71	STDEV	4,227	0,594	0,282	2,55
		3,052	0,43	0,434					
	LMRCu	73,17	-5,64	1,34		-3,4	-0,26	-0,45	3,7
		2,174	0,792	0,636					
	LMRCu 35 days	71,69	-5,76	1,09		3,49	0,675	0,664	3,204
		2,98	0,621	0,556					

Παρατηρείται ότι με το πέρασμα των ημερών τα κονιόματα μας γίνονται πιο ανοιχτόχρωμα .Αυτό αποδεικνύεται από το **L** που εκφράζει την φωτεινότητα τους αλλά και το **ΔE** που αντικατοπτρίζει τη συνολική χρωματική διαφορά τους.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

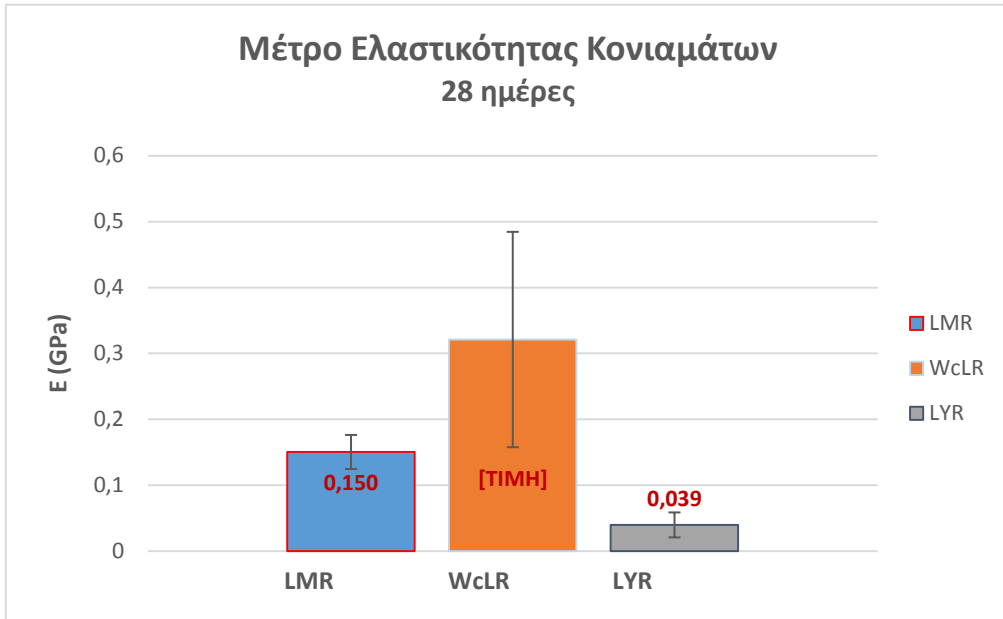
Η δοκιμή της μονοαξονικής θλίψης μας προσφέρει την δυνατότητα να εκτιμήσουμε την αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας. Η αντοχή των 28 ημερών που έγινε στην παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί βασικό μηχανικό χαρακτηριστικό των κονιαμάτων.



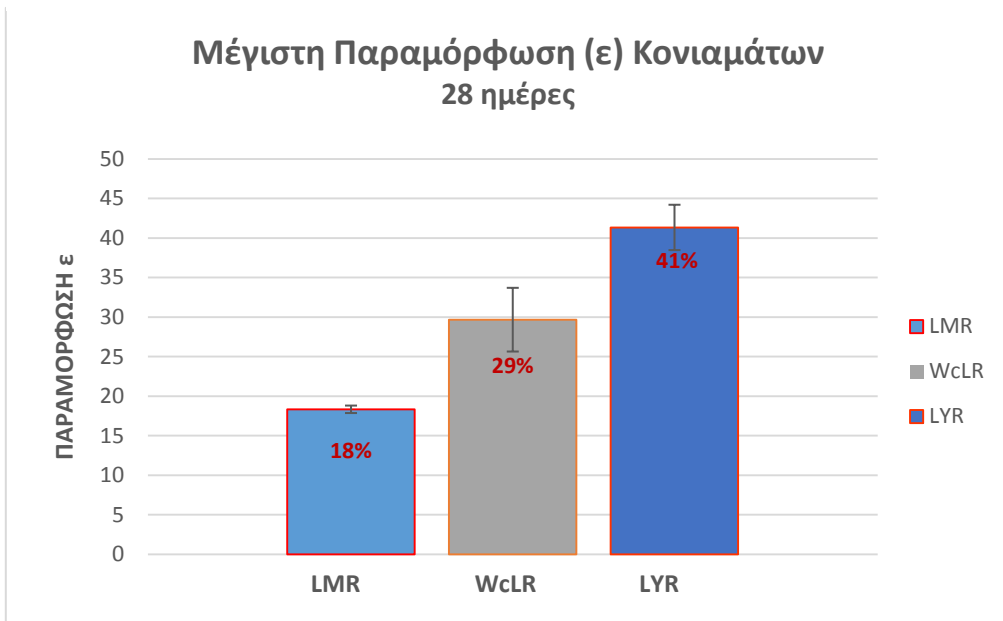
Διάγραμμα 12: Θλιπτική αντοχή Κονιαμάτων 28 ημερών

- Παρατηρούμε ότι οι συνθέσεις με Λευκό Τσιμέντο, Υδραυλική Άσβεστο και άμμο παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις υπόλοιπες.
- Την μέγιστη αντοχή παρουσιάζουν τα κονιάματα WcLR με $\sigma_{max}=12,92 \text{ MPa} \pm 1$
- Την μικρότερη αντοχή παρουσιάζουν τα κονιάματα LYR με $\sigma_{min}=2,25 \text{ MPa} \pm 0,04$

Για να προσδιορίσουμε το μέτρο ελαστικότητας χρησιμοποιούμε την καμπύλη τάσης-παραμόρφωσης.



Διάγραμμα 14: Μέτρο Ελαστικότητας Κονιαμάτων 28 ημερών

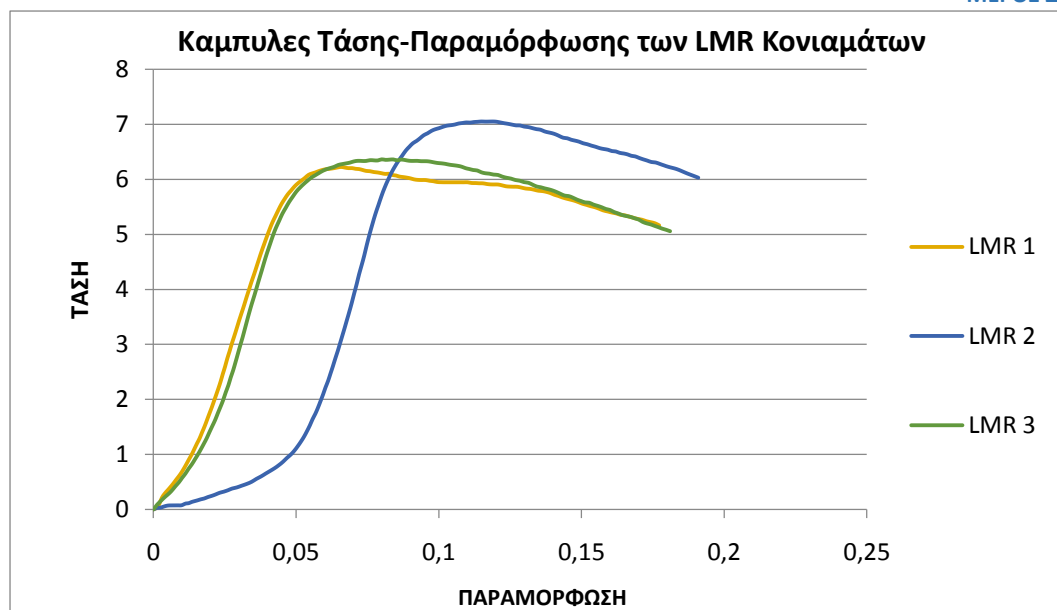


Διάγραμμα 13: Μέγιστη Παραμόρφωση(ε) Κονιαμάτων 28 ημερών

Παρατηρείται ότι το μέγιστο μέτρο ελαστικότητας έχουν οι συνθέσεις WcLR ενώ τη μέγιστη παραμόρφωση παρουσιάζουν οι συνθέσεις με υδράσβεστο, υδραυλική άσβεστο και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή.

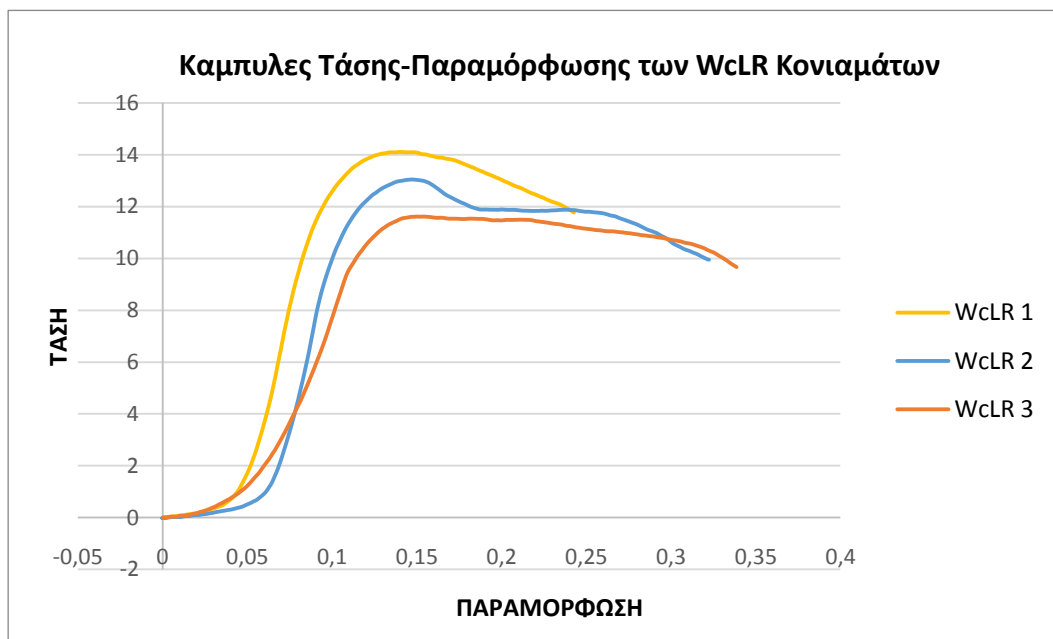
$E_{max} = 0,321 \pm 0,16 \text{ GPa}$ και $E_{min} = 0,039 \pm 0,01 \text{ GPa}$

$\epsilon_{max} = 41 \pm 2,8 \%$ και $\epsilon_{min} = 18 \pm 0,4\%$



Διάγραμμα 15: Καμπύλες Τάσης-Παραμόρφωσης των LMR Κονιαμάτων

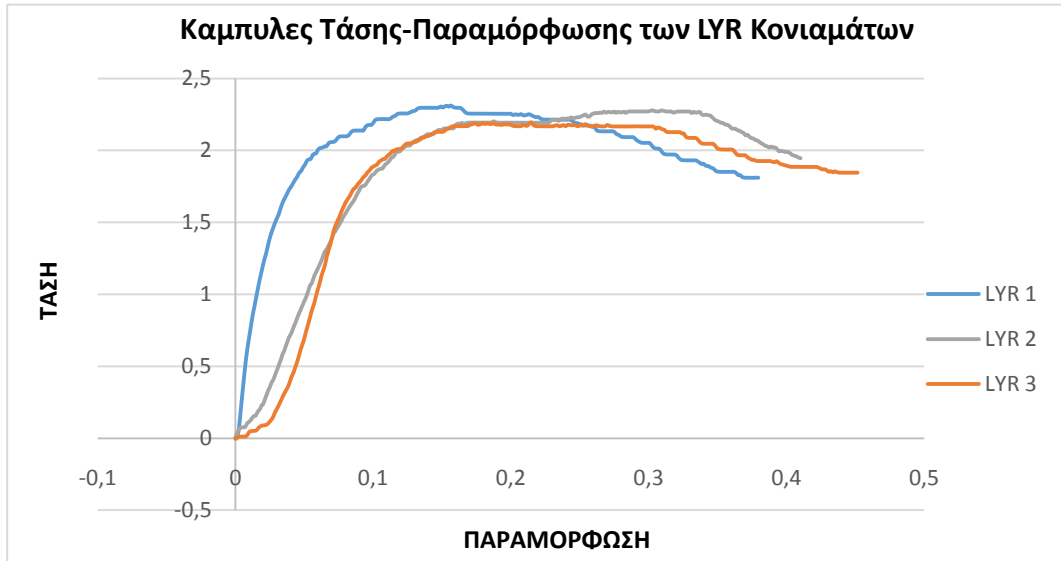
Παρατηρώντας το Διάγραμμα 15. τάσης-παραμόρφωσης των LMR Κονιαμάτων, παρά την διαφορετική μέγιστη τιμή(αντοχή) παρουσιάζουν όμοια συμπεριφορά στον ελαστικό και πλαστικό κλάδο πέρα από το 2 δοκίμιο που παρουσιάζει καλύτερες συμπεριφορές.



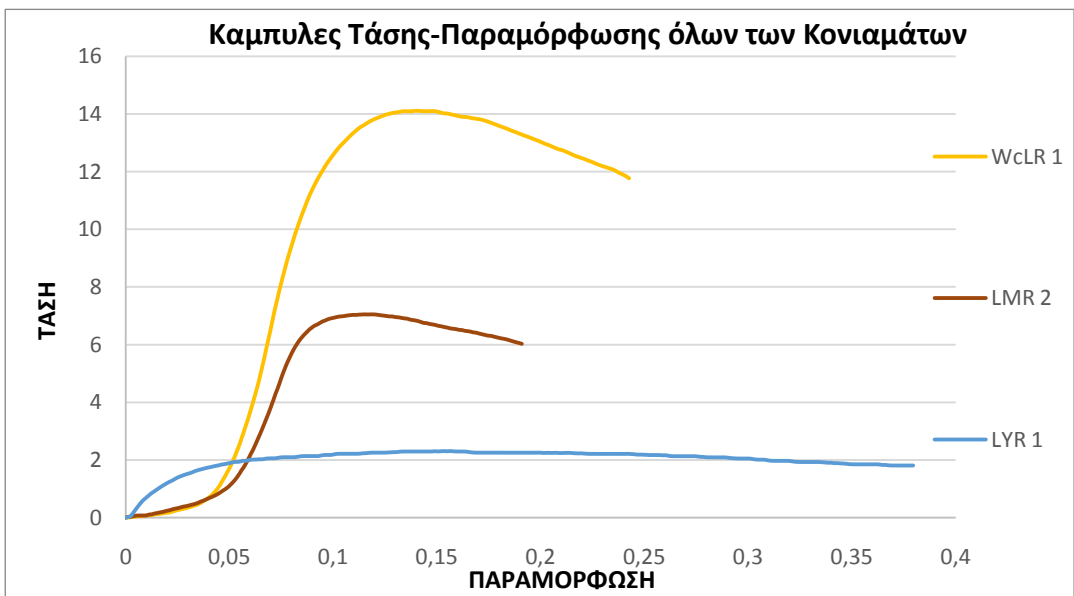
Διάγραμμα 16: Καμπύλες Τάσης-Παραμόρφωσης των WcLR Κονιαμάτων

ΜΕΡΟΣ Δ'

Ως απόρροια των παραπάνω και παρατηρώντας το Διάγραμμα 16. τάσης-παραμόρφωσης των WcLR Κονιαμάτων, διαπιστώνεται ότι έχουν σχεδόν ίδια μέγιστη τιμή(αντοχή) ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν και σχεδόν όμοια συμπεριφορά στον ελαστικό και πλαστικό κλάδο. Επιπροσθέτως, όπως ήταν αναμενόμενο το συγκεκριμένο κονίαμα παρουσιάζει την μέγιστη αντοχή.



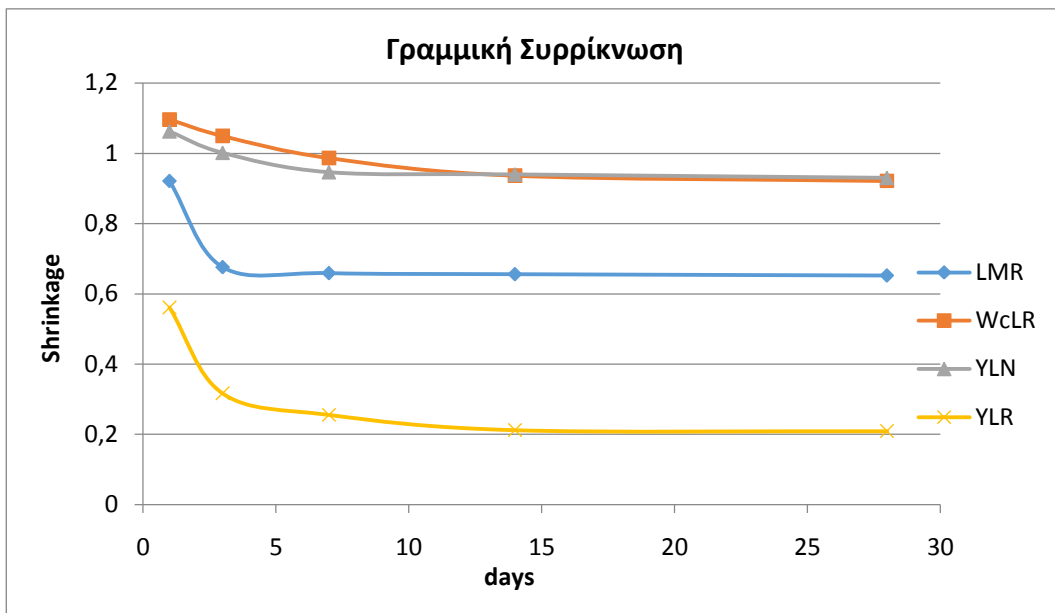
Διάγραμμα 17: Καμπύλες Τάσης-Παραμόρφωσης των LYR Κονιαμάτων



Διάγραμμα 18: Καμπύλες Τάσης-Παραμόρφωσης όλων των κονιαμάτων

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 17 διαπιστώνεται ότι έχουν ίδια μέγιστη τιμή(αντοχή) ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν όμοια συμπεριφορά στον ελαστικό και πλαστικό κλάδο εκτός από το δοκίμιο 1 που παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στον ελαστικό κλάδο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ



Διάγραμμα 19: Γραμμική Συρρίκνωση των LMR, WcLR, YLN, YLR συνθέσεων

Η Διαδικασία της γραμμικής συρρίκνωσης έλαβε χώρα στο εργαστήριο-τμήμα ερευνών, Έλεγχος Ποιότητας-Υγιεινή και Ασφάλεια στη Μεταλλευτική υπό την εποπτεία του καθηγητή κ. Γαλετάκη Μιχαήλ και υπό τις υποδείξεις και την βοήθεια της κα. Σουλτάνας Αθανασίας διπλωματούχος και μέλος του τμήματος ερευνών.

Πίνακας 20: Τιμές Συρρίκνωσης της WcLR σύνθεσης

	DL	Ημέρες
WcLR	1,096	1
	1,049	3
	0,986	7
	0,936	14
	0,921	28

Πίνακας 21: Τιμές Συρρίκνωσης της LMR σύνθεσης

	DL	Ημέρες
LMR	0,921	1
	0,676	3
	0,659	7
	0,656	14
	0,652	28

Πίνακας 22: Τιμές Συρρίκνωσης της YLR σύνθεσης

	DL	Ημέρες
YLR	0,561	1
	0,316	3
	0,255	7
	0,212	14
	0,209	28

Πίνακας 19: Τιμές Συρρίκνωσης της YLN σύνθεσης

	DL	Ημέρες
YLN	1,062	1
	1,001	3
	0,946	7
	0,940	14
	0,930	28

Παρατηρώντας το Διάγραμμα 19 της συρρίκνωσης, διαπιστώνεται ότι το κονίαμα με την μεγαλύτερη συρρίκνωση αντιστοιχεί στη σύνθεση που περιέχει άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή, υδράσβεστο και υδραυλική άσβεστο. Ενώ η σύνθεση με την μικρότερη, ανήκει σε σύνθεση με λευκό τσιμέντο, υδράσβεστο και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή. Στο ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε δύο ίδιες συνθέσεις με υδραυλική άσβεστο, υδράσβεστο και με μόνη διαφορά τα αδρανή τους που στην μία έχουμε άμμο από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα ενώ στην δεύτερη, νταμαρίσια θραύστη άμμος. Γίνεται αντιληπτό, ότι τα ανακυκλωμένα αδρανή επηρεάζουν σημαντικά την συρρίκνωση ενός κονιάματος χωρίς όμως να επηρεάζονται σε γενικές γραμμές οι μηχανικές τους αντοχές. Τα συμπεράσματα της εν λόγω ανάλυσης θα αποτυπωθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Οι Πίνακες 16-19 δείχνουν αναλυτικά τις τιμές της συρρίκνωσης. Με $dl=T/L$
Όπου: **T= αναγραφόμενη τιμή, L=Reference bar (σημείο αναφοράς).**

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟΥ Cary 5000 UV-Vis-Nir Spectrophotometer**

Οι ενεργειακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Δομημένου Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας υπό την εποπτεία της Αναπληρώτριας Καθηγήτριας κα. Κολοκοτσά Διονυσία και υπό τις υποδείξεις και την πολύτιμη βοήθεια του Δρ.Γομπάκη Κωνσταντίνου.

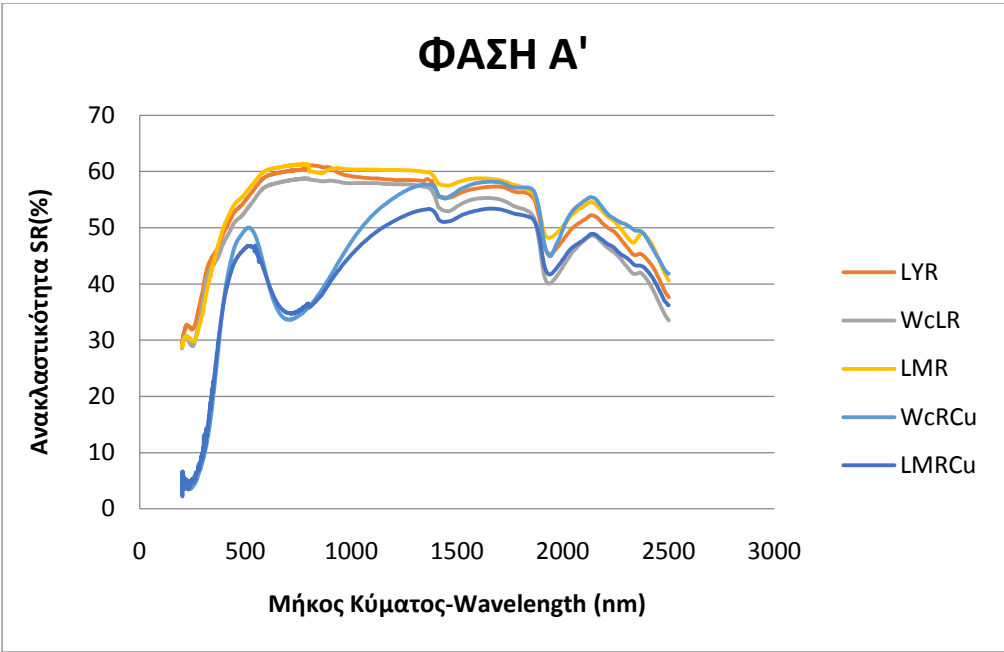
Οι αναλύσεις για την εξέταση της ανακλαστικότητας, έγιναν μετά το πέρας των 30 ημέρων ωρίμανσης των συνθέσεων. Οι τιμές της ανακλαστικότητας που ελήφθησαν στην πρώτη φάση, έδειξαν διαφορετικές τιμές ανάλογα με το συνδυασμό των υλικών που έχουν παρασκευαστεί. Οι διαφορές αυτές φαίνονται χαρακτηριστικά στον Πίνακα 20 και στο Διάγραμμα 20 ανακλαστικότητας συναρτήσεως του μήκους κύματος της ακτινοβολίας που δέχονται τα υπό μέτρηση δοκίμια. Το μήκος κύματος μέχρι τα 400nm αντιστοιχεί σε (UV) υπεριώδη ακτινοβολία, από 400-800 nm σε (VIS) ορατή ακτινοβολία, ενώ μεγαλύτερο από 800nm σε υπέρυθρη (NIR).

Πίνακας 23: Τιμές ανακλαστικότητας σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας (ΦΑΣΗ Α')

ΦΑΣΗ Α'							
	LYRmr	WcLRmr	LMRmr	WcRCu	LMRCu	Εμπορικό Ψυχρό Υλικό	Τσιμέντο Portland
SR (%)	57	55	58	45	43	84	49
SUM _{UV}	58	56	59	46	44	8	37
SUM _{VIS}	57	55	58	43	42	88	47
SUM _{IR}	43	42	42	18	20	84	50

Στον Πίνακα 20. παρουσιάζονται οι τιμές που πάρθηκαν μετά από την ωρίμανση των δοκιμίων. Επιπλέον, παρουσιάζονται οι ενδεικτικές τιμές που ισχύουν για ένα ψυχρό υλικό που κυκλοφορεί στο εμπόριο, και για το τσιμέντο Portland που χρησιμοποιήθηκε και στις εν λόγω συνθέσεις.

Στο Διάγραμμα 20 παρουσιάζονται οι τιμές που λαμβάνει η ανακλαστικότητα του κάθε δοκιμίου συναρτήσεως των μηκών κύματος που αντικατοπτρίζουν τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας. Παρατηρούμε ότι, η σύνθεση LMRmr παρουσιάζει δείκτη ανακλαστικότητας (SR) 58% έναντι των υπόλοιπων συνθέσεων.



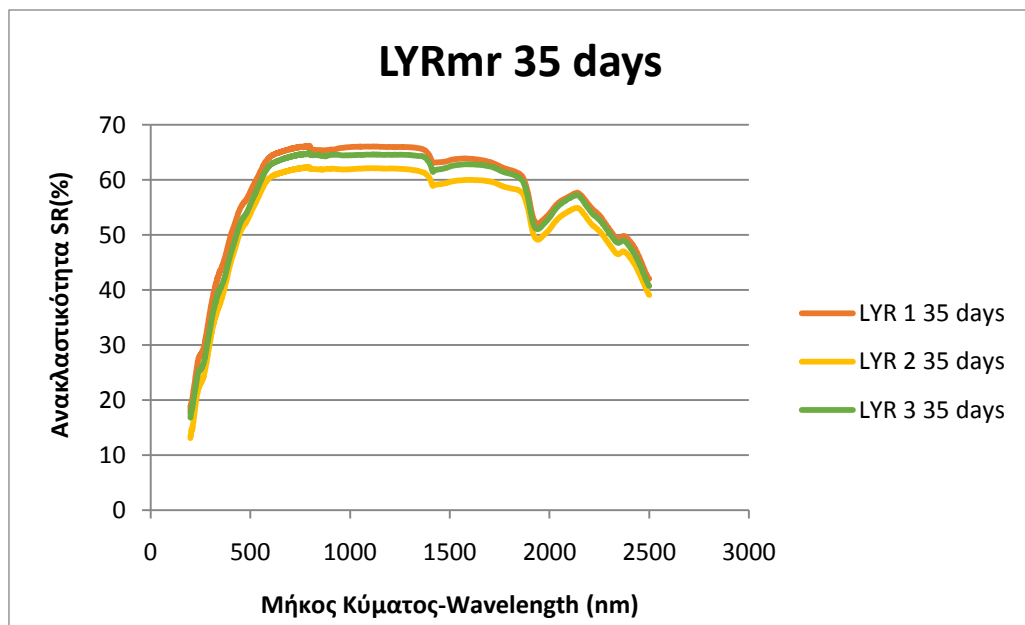
Διάγραμμα 20: Ανακλαστικότητα των συνθέσεων σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας

Στη συνέχεια, τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε εξωτερικό περιβάλλον για 35 ημέρες. Αφού τα ξανά τρίψαμε με γυαλόχαρτο, πλύθηκαν με απιονισμένο νερό και μετά τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 60°C για μία ημέρα. Έπειτα έγιναν οι μετρήσεις ξανά σε όλα τα δείγματα της κάθε σύνθεσης.

Πίνακας 24: Τιμές ανακλαστικότητας σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας(ΦΑΣΗ Β')

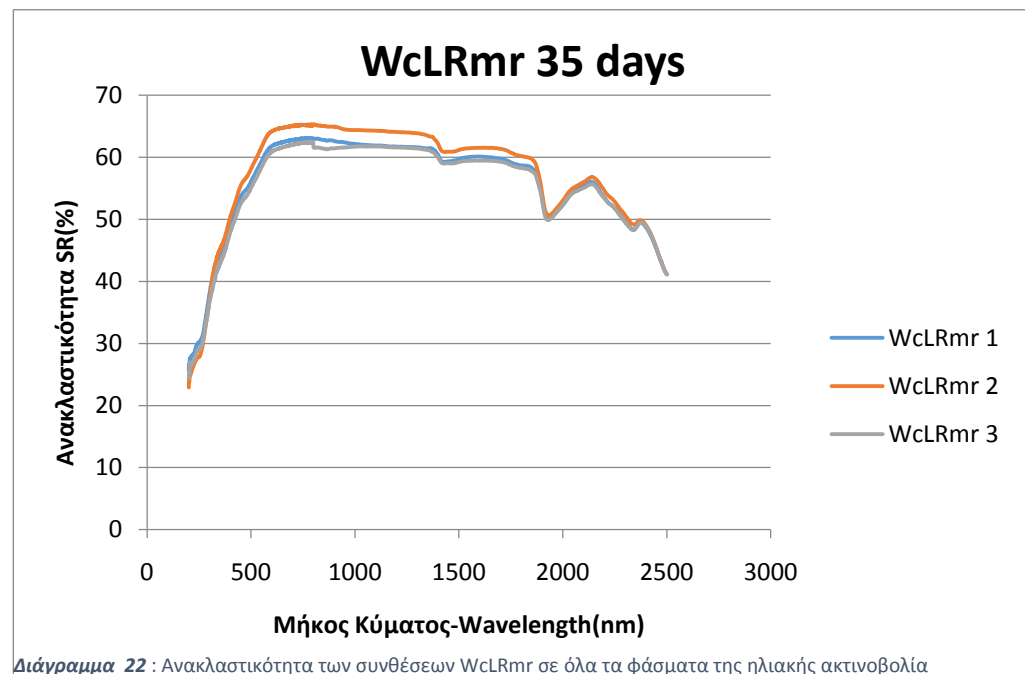
ΦΑΣΗ Β' (ΜΕΤΑ ΑΠΟ 35 ΗΜΕΡΕΣ)							Εμπορικό Ψυχρό Υλικό	Τσιμέντο Portland
	LYRmr	WcLRmr	LMRmr	WcRCu	LMRCu	WcR		
SR	62	61	61	43	44	58	84	49
SUM _{UV}	64	63	63	44	46	61	8	37
SUM _{VIS}	61	61	60	42	44	65	88	47
SUM _{IR}	42	43	40	20	17	37	84	50

Στον Πίνακα 21 παρατηρούμε τις τιμές ανακλαστικότητας που έλαβαν τα επιχρίσματα μας ύστερα από 35 ημέρες. Παρατηρούμε αύξηση των τιμών (SR) σε όλες τις συνθέσεις πλην της WcRCu που έπεσε μόλις μια μονάδα.



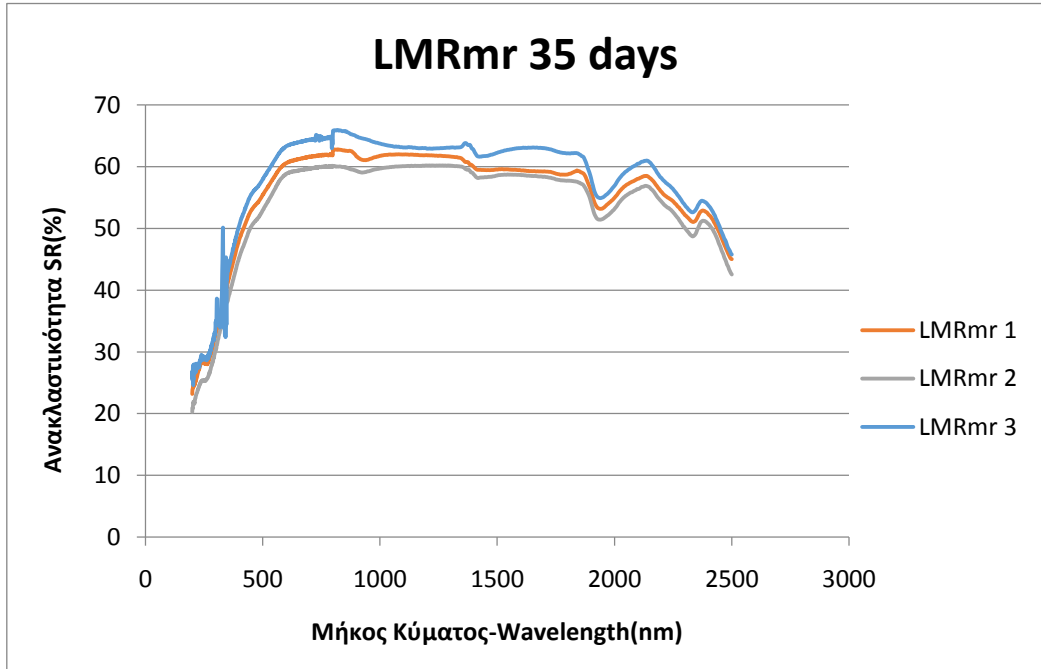
Διάγραμμα 21: Ανακλαστικότητα των συνθέσεων LYRmr σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας

Στο Διάγραμμα 21 παρατηρούμε τις τιμές ανακλαστικότητας και των τριών δειγμάτων της σύνθεσης **LYRmr** με υδράβεστο (L), Υδραυλική άβεστο (Y), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), και μαρμαρόσκονη (mr) τα οποία έχουν βελτιωθεί αισθητά όπως γίνεται αντιληπτό.



Διάγραμμα 22 : Ανακλαστικότητα των συνθέσεων WcLRmr σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολία

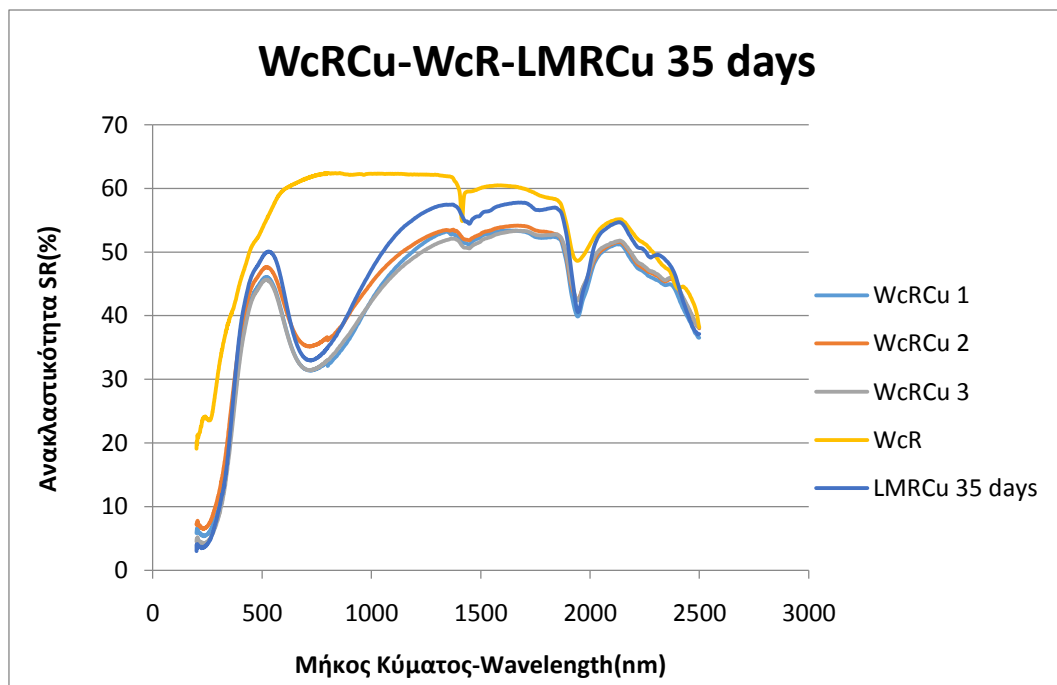
Στο Διάγραμμα 22 παρατηρούμε τις τιμές ανακλαστικότητας και των τριών δειγμάτων της σύνθεσης **WcLRmr** με λευκό τσιμέντο (Wc), Υδράσβεστο (L), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και μαρμαρόσκονη (mr) τα οποία έχουν επίσης βελτιωθεί.



Διάγραμμα 23: Ανακλαστικότητα των συνθέσεων LMRmr σε όλα τα φάσματα της ηλιακής ακτινοβολίας

Στο Διάγραμμα 23 παρατηρούμε τις τιμές ανακλαστικότητας και των τριών δειγμάτων της σύνθεσης **LMRmr** με Υδράσβεστο (L), μετακαολίνη άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και μαρμαρόσκονη (mr) τα οποία έχουν επίσης βελτιωθεί.

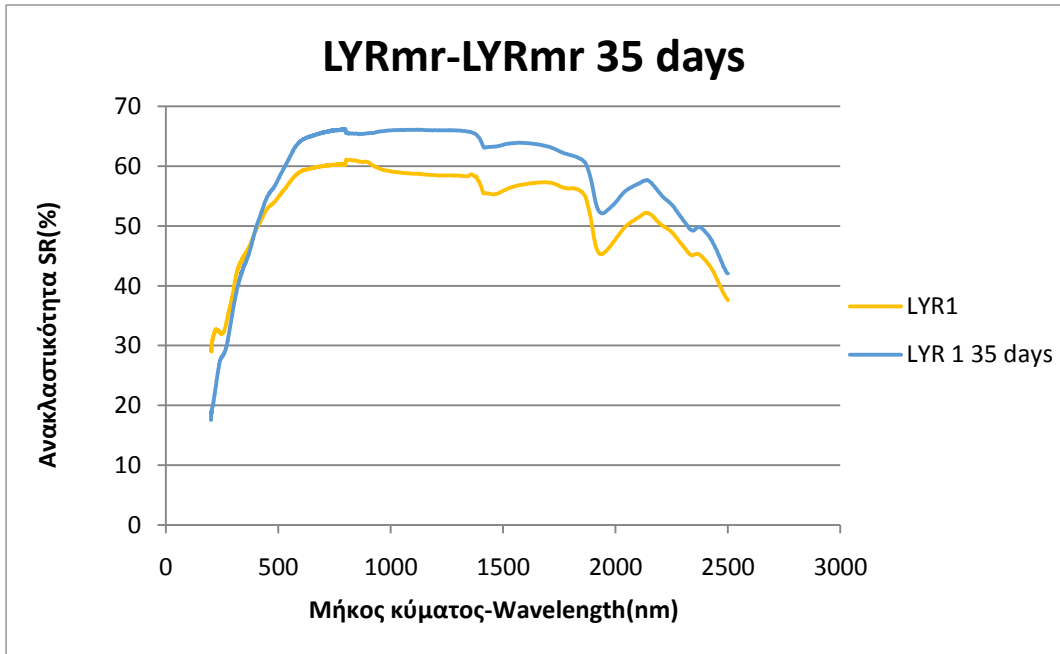
Στα Διαγράμματα 24-29 φαίνονται αναλυτικά οι συγκρίσεις των συνθέσεων πριν και μετά από τις 35 ημέρες και πριν όλης της διεργασίας με τη λείανση των επιφανειών και απομάκρυνση τυχόν υπολειμμάτων. Στην εν λόγω διαδικασία προστέθηκε επιπλέον μέτρηση της πίσω όψης της σύνθεσης WcRCu για να διαπιστωθεί κατά πόσο ο θειικός χαλκός επηρεάζει την ανακλαστικότητα των επιχρισμάτων μιας και η πίσω όψη αποτελείται από την ίδια σύσταση πλην του θειικού χαλκού. Η συγκεκριμένη μέτρηση αποτυπώνεται στο Διάγραμμα 24. στο οποίο φαίνεται καθαρά η χαμηλή ανακλαστικότητα του ένυδρου θειικού χαλκού.



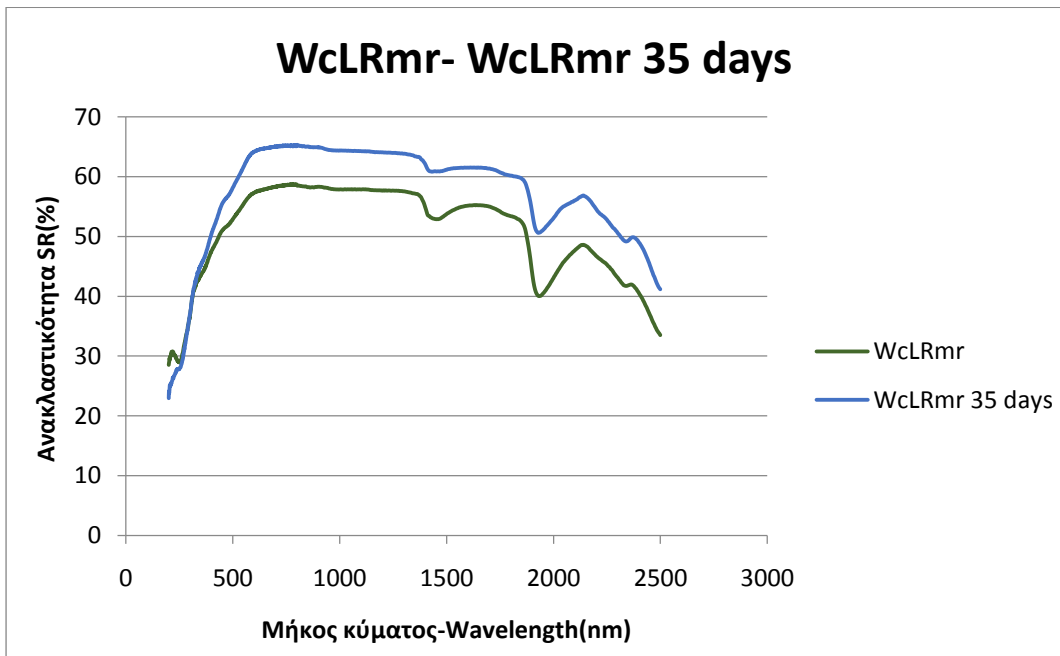
Διάγραμμα 24: Ανακλαστικότητα των συνθέσεων WcRCu-WcR LMRCu 35 days

Πιο αναλυτικά, παρατηρούμε τις τιμές ανακλαστικότητας των συνθέσεων με την προσθήκη θειικού χαλκού. Οι καμπύλες του διαγράμματος **WcRCu 1,2,3** αναφέρονται στα δοκίμια που παρασκευάστηκαν από λευκό τσιμέντο (Wc), άμμο με ανακυκλωμένα αδρανή (R), και ποσότητα ένυδρου θειικού χαλκού. Εντούτοις, στο ίδιο διάγραμμα παρατηρούμε την καμπύλη **WcR** η οποία αναφέρεται στην πίσω όψη ίδιου δοκιμίου χωρίς την προσθήκη θειικού χαλκού (Cu). Τέλος, παρατηρούμε την καμπύλη **LMRCu** η οποία αναφέρεται σε δοκίμιο που παρασκευάστηκε από υδράσβεστο (L), μετακαολίνη (M), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και ποσότητα ένυδρου θειικού χαλκού (Cu).

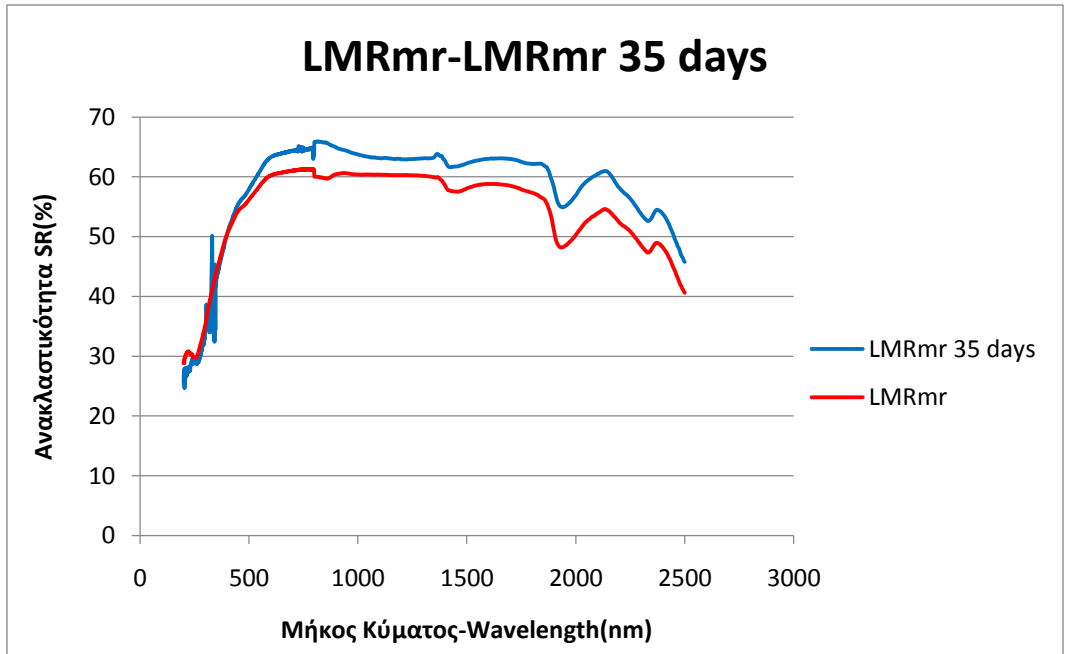
Στα Διαγράμματα 25 έως 28. παρουσιάζονται συγκριτικά οι τιμές που λαμβάνει η ανακλαστικότητα (SR) των επιχρισμάτων ίδιας σύστασης, πριν και μετά από 35 ημέρες και ύστερα από συνεχόμενη έκθεση σε εξωτερικό περιβάλλον. Τα συμπεράσματα των εν λόγω διαγραμμάτων θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο για το λόγο αυτό παρατίθενται παρακάτω σε σειρά.



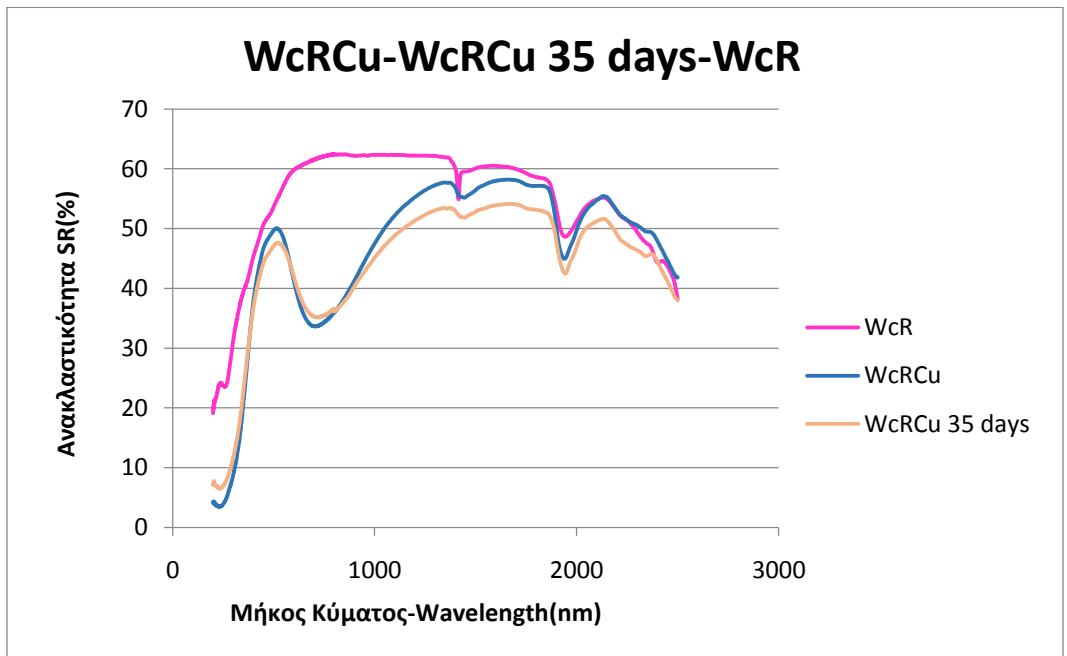
Διάγραμμα 25: Συγκριτική Ανακλαστικότητα των συνθέσεων LYRmr και LYRmr 35 days



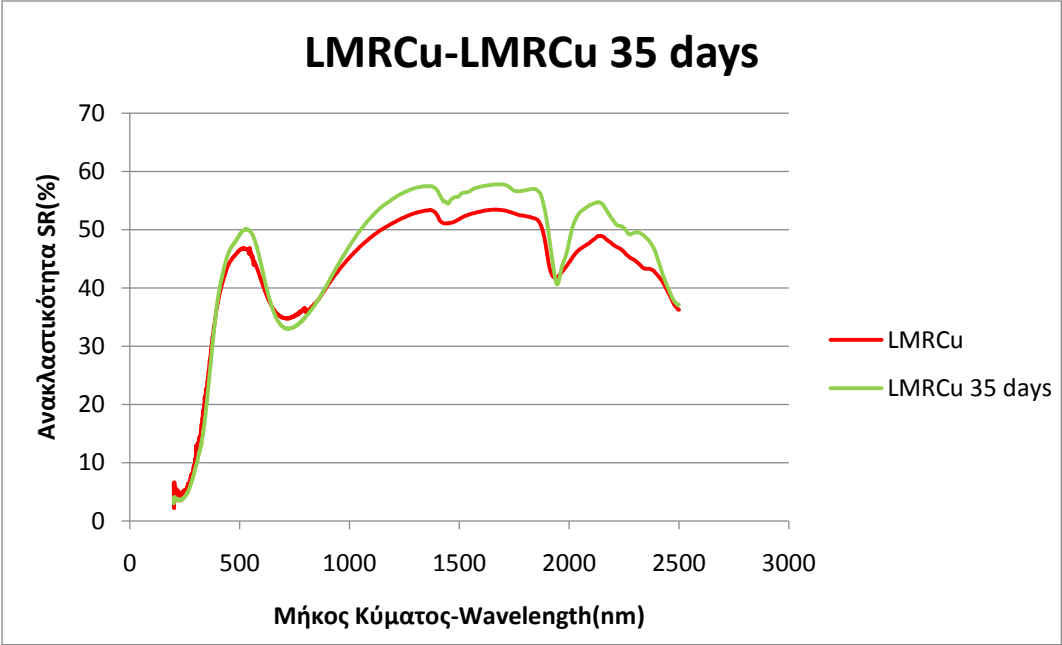
Διάγραμμα 26 Συγκριτική Ανακλαστικότητα των συνθέσεων WcLRmr και WcLRmr 35 days



Διάγραμμα 27: Συγκριτική Ανακλαστικότητα των συνθέσεων LMRmr και LMRmr 35 days



Διάγραμμα 28: Συγκριτική Ανακλαστικότητα των συνθέσεων WcRCu, WcRCu 35 ημερών και WcR



Διάγραμμα 29: Συγκριτική Ανακλαστικότητα των συνθέσεων LMRCu και LMRCu 35 days

Στην συνέχεια παρατηρήθηκε συσχέτιση των τιμών χρωματόμετρου και των τιμών ανακλαστικότητας στα φάσματα από 400-700 nm, τα φάσματα δηλαδή της ορατής ακτινοβολίας. Στους Πίνακες 25-26 φαίνονται αναλυτικά οι τιμές των κάθε δειγμάτων πριν και μετά από 35 ημέρες στα εν λόγω φάσματα.

Πίνακας 25: Συσχέτιση χρωματόμετρου και ανακλαστικότητας.

ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ - ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΡΑΤΟΥ			
400-740 (nm)			
LMR	AVERAGE	400 (nm)	740 (nm)
Χρωματόμετρο	56,5 ± 3	44,51 ± 3	61,7 ± 3
SR _{vis}	58	50,43	61,15
LYR			
Χρωματόμετρο	57,49 ± 3	45,50 ± 4	62,5 ± 4
SR _{vis}	57	49,34	60,19
WcLR			
Χρωματόμετρο	54,85 ± 2	44 2,6	59,4 ± 2
SR _{vis}	57	47,57	58,53
WcRCu			
Χρωματόμετρο	36,61 ± 5	32 ± 5	30 ± 4
SR _{vis}	43	37,96	34
LMRCu			
Χρωματόμετρο	42 ± 3	36,80 ± 3	37 ± 3
SR _{vis}	42	37,28	34,97

Πίνακας 26: Συσχέτιση χρωματόμετρου και ανακλαστικότητας μετά από 35 ημέρες.

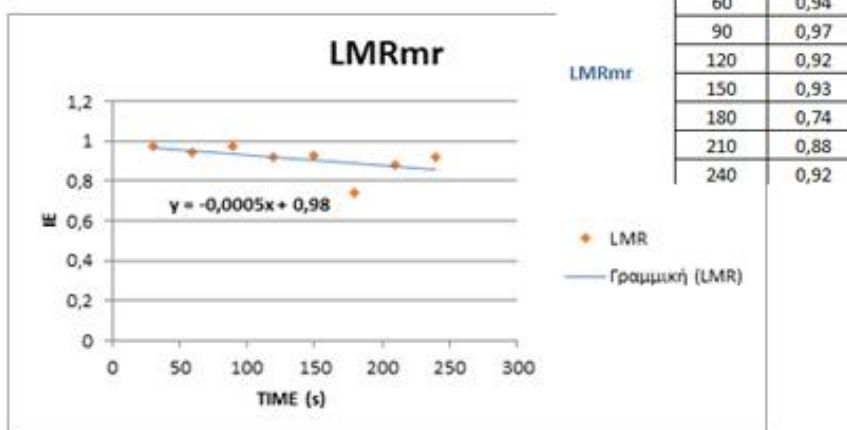
400-740 (nm) over 35 days			
LMR	AVERAGE	400 (nm)	740 (nm)
Χρωματόμετρο	55 ± 4	43,48 ± 4	60,23 ± 4
SR _{vis}	60	50	64
LYR			
Χρωματόμετρο	57,51 ± 3	46,23 ± 3	62,73 ± 3
SR _{vis}	61	49,71	66
WcLR			
Χρωματόμετρο	58 ± 3	47,65 ± 3	62,66 ± 3
SR _{vis}	61	50	65
WcRCu			
Χρωματόμετρο	38	32,91 ± 2	31,28 ± 2
SR _{vis}	42	37	35
LMRCu			
Χρωματόμετρο	38 ± 4	33 ± 4	32 ± 3
SR _{vis}	44	38	33

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ Emissometer Model

Α' ΦΑΣΗ

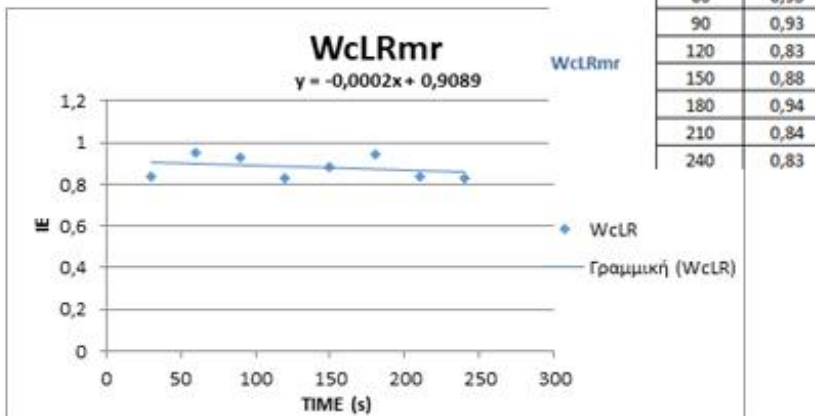
Η εκτίμηση του συντελεστή εκπομπής έγινε με προτυποποιημένη μέθοδο γνωστή ως slide method⁶⁷. Έτσι προκύπτουν οι εξής 8 μετρήσεις για το κάθε δοκίμιο όπως έχει αναλυθεί στην αντίστοιχη μέθοδο. Στους παρακάτω πίνακες και στα διαγράμματα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές που πάρθηκαν στην πρώτη φάση αυτής της εξέτασης. Τα συμπεράσματα θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

Πίνακας 27: Τιμές εκπεψιμότητας στην LMRmr σύνθεση



Διάγραμμα 30: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του LMRmr δείγματος.

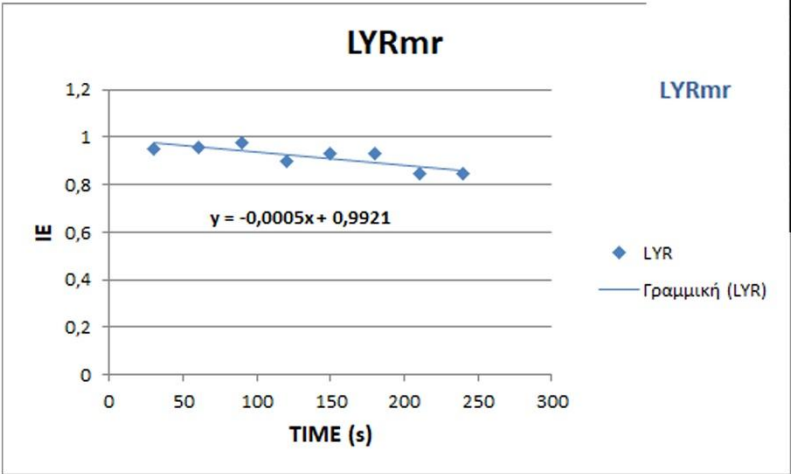
Πίνακας 23: Τιμές εκπεψιμότητας στην WcLRmr σύνθεση



⁶⁷ Devices and Services Company. TN 04-1 Emissometer Model AE - Slide Method for AE Measurements. Technical report, Devices and Services Company, Dallas, 2010

Διάγραμμα 31: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του WcLRmr δείγματος.

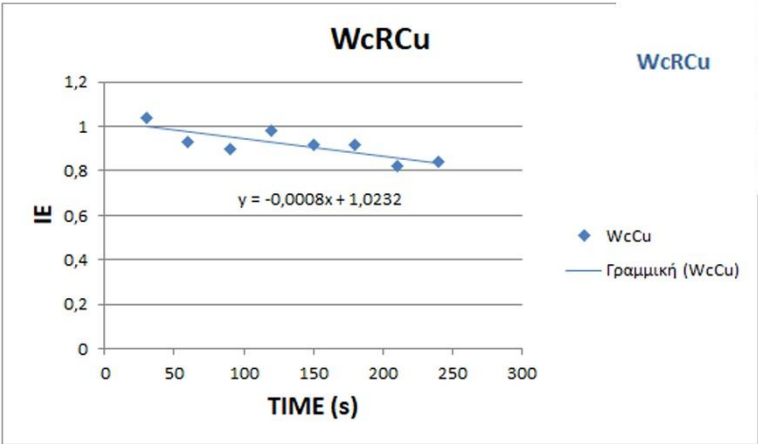
Πίνακας 28: Τιμές εκπεψιμότητας στην LYRmr σύνδεση



TIME	E
30	0,95
60	0,96
90	0,98
120	0,9
150	0,93
180	0,93
210	0,85
240	0,85

Διάγραμμα 32: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του LYRmr δείγματος.

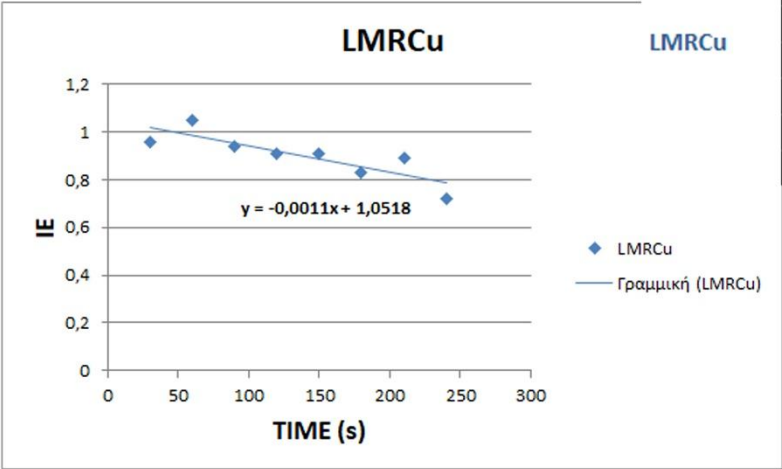
Πίνακας 29: Τιμές εκπεψιμότητας στην WcRCu σύνδεση



TIME	E
30	1,04
60	0,93
90	0,9
120	0,98
150	0,92
180	0,92
210	0,82
240	0,84

Διάγραμμα 33: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του WcRCu δείγματος.

Πίνακας 30: Τιμές Εκπεψιμότητας στην LMRCu σύνθεση



TIME	E
30	0,96
60	1,05
90	0,94
120	0,91
150	0,91
180	0,83
210	0,89
240	0,72

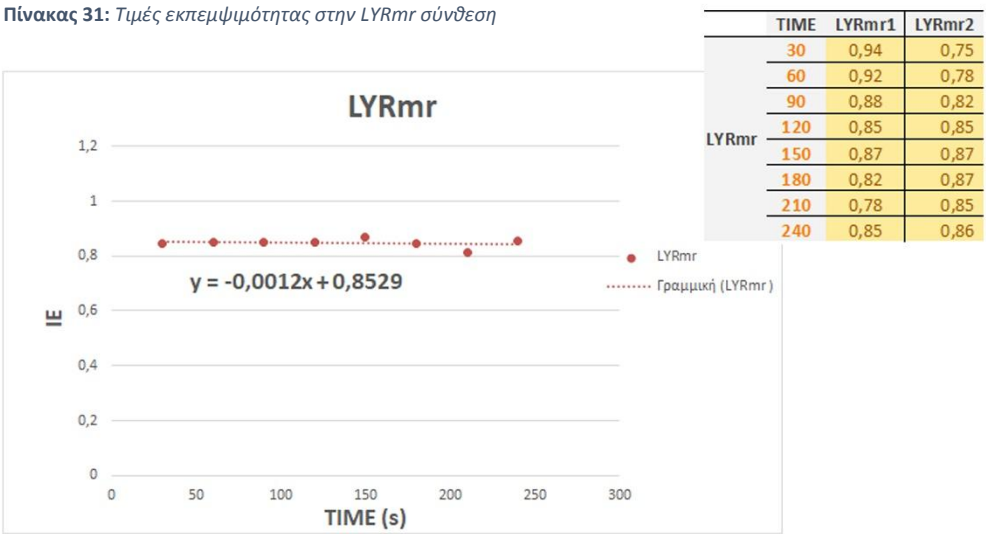
Διάγραμμα 34: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του LMRCu δείγματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΤΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ Emissometer Model

Β' ΦΑΣΗ

Η δεύτερη φάση της εξέτασης έγινε μετά το πέρας των 35 ημερών μετά από συνεχή έκθεση σε εξωτερικό περιβάλλοντα χώρο και έπειτα από πλύσιμο όλων των δοκιμίων με απιονισμένο νερό. Στη συνέχεια τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 60°C. Στους παρακάτω πίνακες και στα διαγράμματα φαίνονται αναλυτικά οι τιμές που πάρθηκαν στην δεύτερη φάση αυτής της εξέτασης.

Πίνακας 31: Τιμές εκπεμπιμότητας στην LYRmr σύνθεση



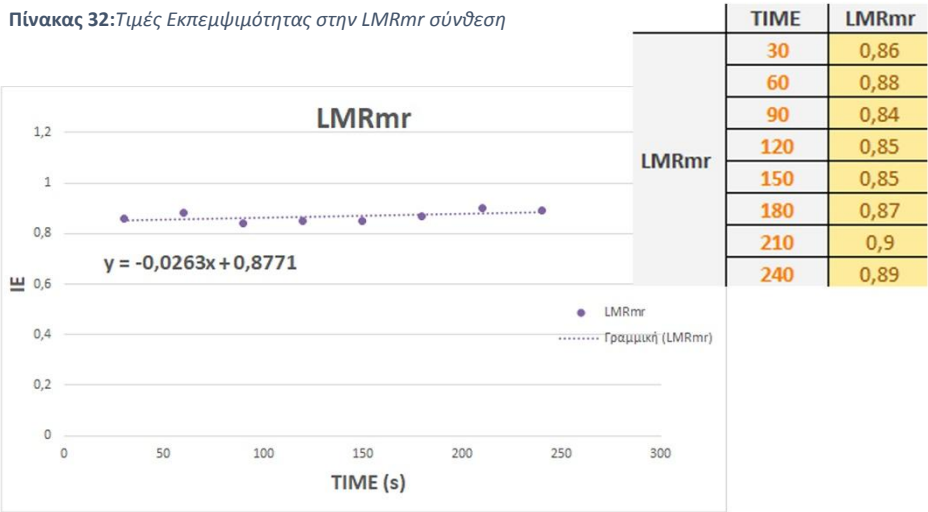
Διάγραμμα 35: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του LYRmr δείγματος.

Ο δείκτης εκπομπής (emissivity) για τη σύνθεση LYRmr=0,85

Η βέλτιστη τιμή λαμβάνεται για κάθε δείγμα και υπολογίζεται από τον συντελεστή β , αν θεωρήσουμε ότι η γραμμική εξίσωση είναι της μορφής $y=\alpha x+\beta$.

Εενδεικτικά, οι τιμές εκπεμπιμότητας για ένα ψυχρό υλικό που κυκλοφορεί στο εμπόριο έχουν δείκτη $e= 0.89$ και τουτσιμέντου Portland $e=0.78$

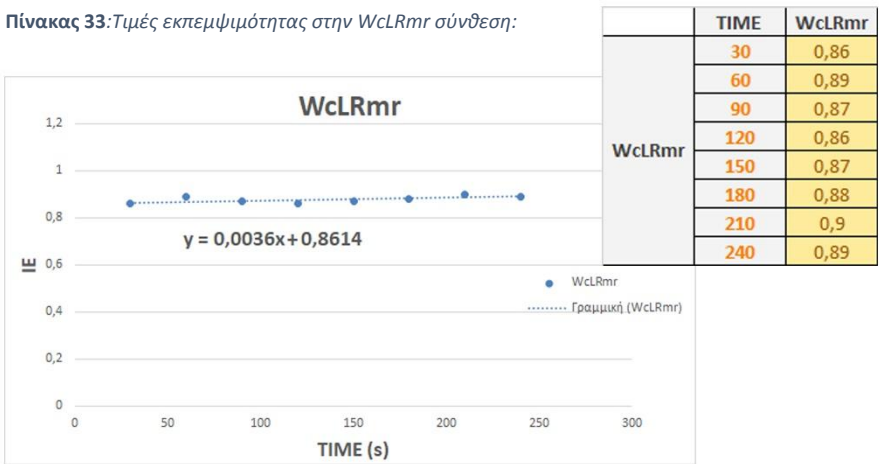
Πίνακας 32:Τιμές Εκπεψιμότητας στην LMRmr σύνθεση



Διάγραμμα 36: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του LMRmr δείγματος

Ο δείκτης εκπομπής (emissivity) για τη σύνθεση LMRmr=0,87

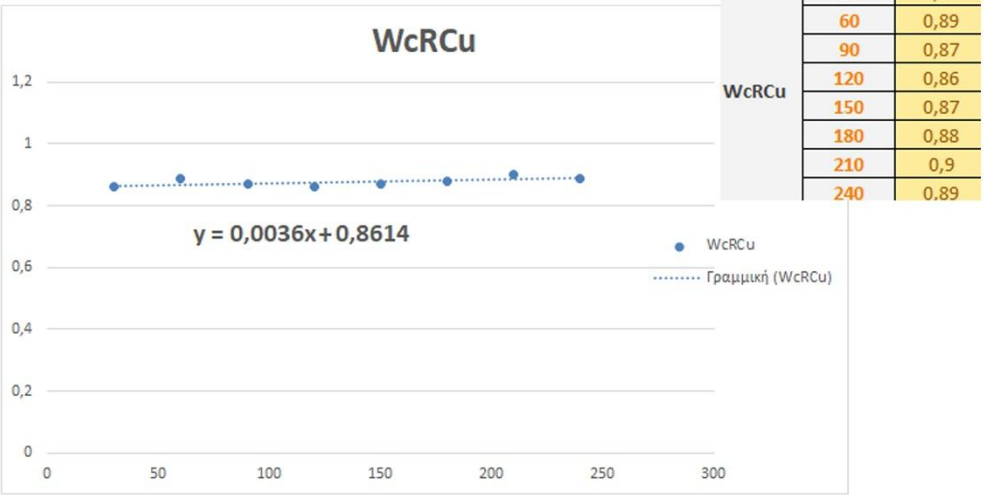
Πίνακας 33:Τιμές εκπεψιμότητας στην WcLRmr σύνθεση:



Διάγραμμα 37:Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του WcLRmr δείγματος.

Ο δείκτης εκπομπής (emissivity) για τη σύνθεση WcLRmr=0,86

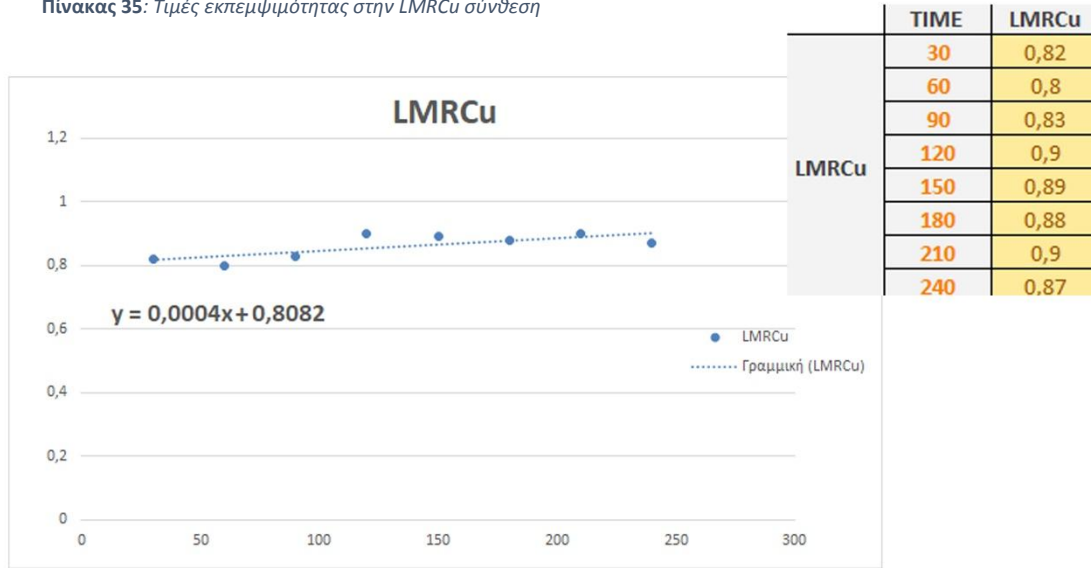
Πίνακας 34: Τιμές εκπεμπιμότητας στην WcRCu σύνθεση



Διάγραμμα 38: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του WcRCu δείγματος.

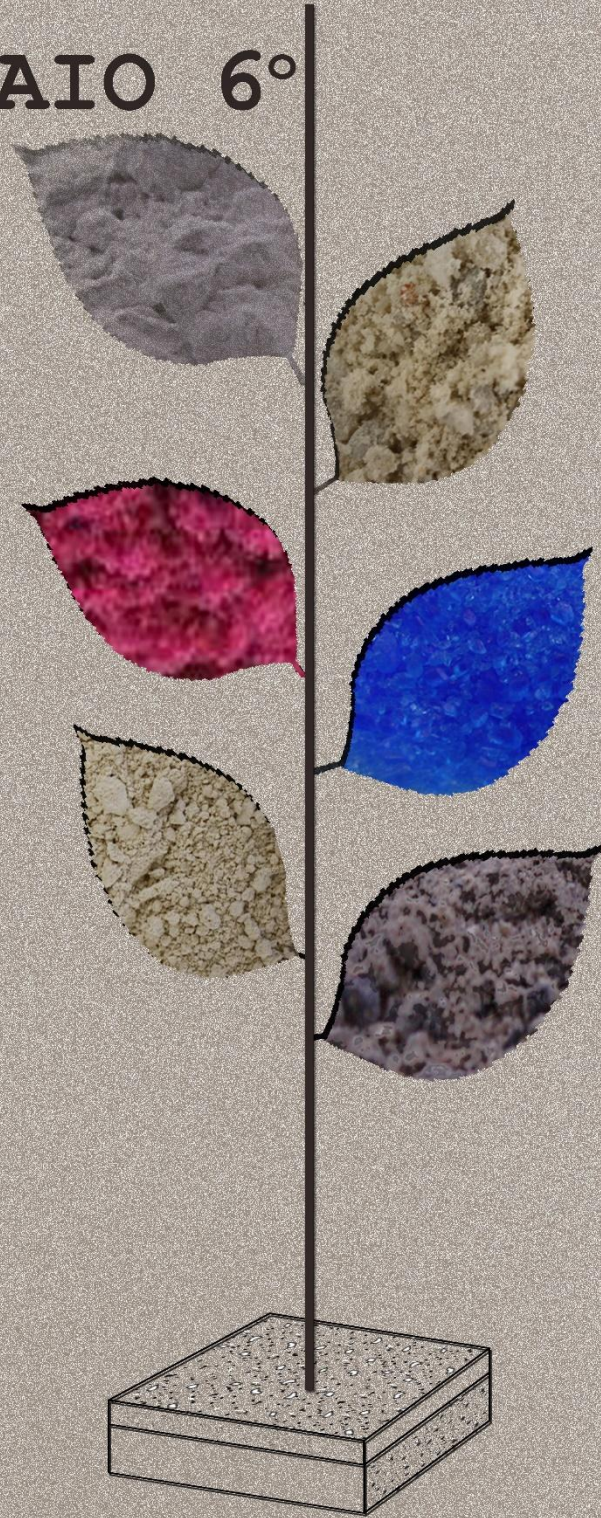
Ο δείκτης εκπομπής (emissivity) για τη σύνθεση WcRCu=0,86 και LMRCu=0,80

Πίνακας 35: Τιμές εκπεμπιμότητας στην LMRCu σύνθεση



Διάγραμμα 39: Τιμές που κατέγραψε το βολτόμετρο συναρτήσει του χρόνου, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων του WcRCu δείγματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τις φυσικοχημικές, μηχανικές και ενεργειακές αναλύσεις προκύπτουν:

Η εξέταση FTIR έδειξε ότι η σύνθεση **LMR** με υδράσβεστο (L), μετακαολίνη (M), και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) στις 8 ημέρες έχει ακόμα διατηρήσει συστατικά της υδρασβέστου ενώ παράλληλα στις 16 ημέρες έχει προχωρήσει η διαδικασία ενανθράκωσης και έχουν επίσης δημιουργηθεί και υδραυλικά συστατικά με την ενυδάτωση. Αυτό εξηγεί και το γεγονός ότι στις μηχανικές δοκιμές παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή με μόλις $\sigma=6,53$ MPa έναντι συνθέσεων με ίδια άμμο αλλά άμμο τύπου νταμαρίσια που αγγίζουν τα $\sigma=16$ MPa. Επιπλέον, παρουσιάζουν σχετικά αρκετή συρρίκνωση. Εντούτοις, μετά το πέρασμα των ημερών, το χρώμα φαίνεται να μην διαφοροποιείται αρκετά μιας και όπως υπολογίστηκε και στην εξέταση χρωματόμετρου το $L_{αρχ}=80$ και το $L_{τελ}=79$.

Για την σύνθεση **WcLR** με λευκό τσιμέντο (Wc), υδράσβεστο (L) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή, από την εξέταση FTIR παρατηρούνται συστατικά της υδρασβέστου και ταυτόχρονα υδραυλικά συστατικά. Στις 16 ημέρες τα υδραυλικά αυτά συστατικά είναι εντονότερα καθώς αναπτύσσονται και ανθρακικά λόγω της ενανθράκωσης της υδρασβέστου. Ως εκ τούτου το εν λόγω κονίαμα στις 28 ημέρες, χωρίς να έχει τελειώσει η ωρίμανση του, παρουσιάζει πολύ καλά αποτελέσματα μηχανικής αντοχής, λόγω της γρήγορης ανάπτυξης των υδραυλικών συστατικών του. Συγκεκριμένα το εν λόγω κονίαμα παρουσιάζει $\sigma_{max}=12,92$ MPa έναντι άλλων με άμμο τύπου νταμαρίσια που πλησιάζουν τα $\sigma=20$ MPa. Επιπροσθέτως, έχει την μικρότερη συρρίκνωση από όλες τις υπόλοιπες συνθέσεις. Όσο αφορά την εξέταση του χρωματόμετρου, είναι το μόνο κονίαμα που είναι πιο σκούρο σε σχέση με τα υπόλοιπα και αυτό ερμηνεύεται λόγω της σκούρας απόχρωσης της άμμου και του τσιμέντου που γίνεται αντιληπτό από το $L=65$ έναντι ασβεστοκονιάματος με $L=91$.

Όσον αφορά την σύνθεση **LYR** με υδραυλική άσβεστο (Y), υδράσβεστο (L) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή, η εξέταση FT-IR έδειξε ότι η διαδικασία της ενανθράκωσης όσο και της ποζολανικής αντίδρασης είναι υψηλή κατά τις πρώτες ημέρες αντίδρασης. Αυτό συμβαίνει λόγω του γεγονότος, ότι στην υδραυλική άσβεστο κατά την υδρόλυση της υδραυλικής ασβέστου παράγεται υδράσβεστος. Παρ'όλα αυτά η προσθήκη άμμου από ανακυκλωμένα αδρανή παρουσιάζεται να επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές δοκιμές των συνθέσεων και συγκεκριμένα της γραμμικής συρρίκνωσης. Πιο αναλυτικά, το εν λόγω κονίαμα παρουσιάζει μικρή αντοχή με μόλις $\sigma_{min}=2,25$ MPa γεγονός που δεν μας ανησυχεί μιας και ίδιες συνθέσεις με άμμο τύπου νταμαρίσια πλησιάζουν $\sigma=4$ MPa. Επίσης, παρουσιάζει την καλύτερη αντοχή στην παραμόρφωση(ε) γεγονός που υποδεικνύει την πλαστικότητα του. Ως αντίφαση στις δοκιμές της μονοαξονικής θλίψης παρουσιάζεται η διαδικασία γραμμικής συρρίκνωσης αφού ήταν η μόνη σύνθεση με την μεγαλύτερη συρρίκνωση. Συγκεκριμένα, χρειάστηκαν αρκετές φορές να πραγματοποιηθεί η προκειμένη σύνθεση καθώς το κονίαμα από την πρώτη κιόλας

ημέρα έσπαγε. Με αφορμή το αποτέλεσμα αυτό δημιουργήθηκε ίδια σύνθεση με αντικατάσταση της άμμου από νταμαρίσια και το αποτέλεσμα ήταν ότι το κονίαμα με νταμαρίσια παρουσίαζε ελάχιστη συρρίκνωση. Βιβλιογραφικά και πειραματικά γνωρίζουμε ότι τα προβλήματα των ανακυκλωμένων αδρανών από σκυρόδεμα εστιάζονται στη συρρίκνωση μιας και η αντοχές δεν είναι το πρόβλημα. Για το λόγο αυτό, θα προσπαθήσουμε στο μέλλον να τοποθετήσουμε ενδεχομένως κάποια πρόσθετα που θα μειώσουν το πρόβλημα. Ο λόγος που τοποθετήσαμε ανακυκλωμένα αδρανή ήταν για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε υλικά με σκοπό να κάνουμε επεμβάσεις επεμβάσεις σε μνημεία αλλά και σε σύγχρονα κτίρια, ώστε να μειωθεί το τεράστιο ενεργειακό πρόβλημα και να αξιοποιηθεί η τεράστια ποσότητα ΑΕΕΚ που μένει ανεκμετάλλευτη.

Με την **προσθήκη μαρμαρόσκονης (mr)** στις εν λόγω συνθέσεις μελετήθηκαν οι φυσικοχημικές και ενεργειακές αναλύσεις. Έτσι, παρατηρείται ότι στις πρώτες ημέρες ωρίμανσης η μαρμαρόσκονη ευνοεί την διαδικασία της ενανθράκωσης και της ποζολανικής αντίδρασης. Επιπλέον η προσθήκη της δίνει στις συγκεκριμένες συνθέσεις πιο ανοιχτό χρώμα που με το πέρασμα των ημερών αποδίδεται και περισσότερο με $L=80$.

Η προσθήκη **ένυδρου θεικού (Cu)**, αποδίδει στις συνθέσεις γαλαζοπράσινο χρώμα που με το πέρασμα των ημερών όπως απέδειξε η εξέταση του χρωματόμετρου γίνεται όλο και πιο φωτεινό. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της ορυκτολογικής ανάλυσης, με βάση την περιθλασιμετρία των ακτινών-Χ, έδειξαν ότι τα περισσότερα συστατικά ανήκουν στον θεικό χαλκό και ενώσεις που τον περιέχουν ήδη από τις πρώτες ημέρες ωρίμανσης της σύνθεσης.

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της εξέτασης του **συντελεστή εκπομπής emissivity** λαμβάνεται υπόψη μόνο η δεύτερη φάση της μελέτης. Η πρώτη φάση θεωρείται εσφαλμένη λόγω της όχι και τόσο λείας επιφάνειας των δειγμάτων. Η δεύτερη φάση πραγματοποιήθηκε εφόσον τα δοκίμια παρέμειναν για 35 ημέρες σε πραγματικές συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος και έπειτα από καλό τρίψιμο με γυαλόχαρτο και καθαρισμός των επιφανειών με απιονισμένο νερό. Έτσι, τον μεγαλύτερο δείκτη εκπεψιμότητας παρουσιάζει η σύνθεση **LMRmr** με $\text{emissivity}=0,87$. Στη συνέχεια η σύνθεση **WcRCu** και **WcLRmr** παρουσιάζουν τον ίδιο ακριβώς δείκτη εκπεψιμότητας $\text{emissivity}=0,86$. Έπειτα η σύνθεση **LYRmr** παρουσιάζει δείκτη $\text{emissivity}=0,85$ και τέλος τον μικρότερο δείκτη παρουσιάζει η σύνθεση **LMRCu** με $0,80$. Υπενθυμίζεται ότι η τιμή εκπεψιμότητας για ένα ψυχρό υλικό που κυκλοφορεί στην αγορά έχει δείκτη $\text{emissivity}=0,89$ ενώ ο δείκτης για το τσιμέντο Portland είναι ίσος με $\text{emissivity}=0,78$. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι η υδράσβεστος εμποδίζει την απορρόφηση ακτινοβολίας του επιχρίσματος και την απελευθερώνει γρηγορότερα με αποτέλεσμα να εισχωρεί λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό.

Εξετάζοντας την **ανακλαστικότητα** των δοκιμών (**SR**), παρατηρείται ότι όλα τα δείγματα παρουσιάζουν ανοδική τιμή ανακλαστικότητας με την πάροδο του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα, τον υψηλότερο δείκτη παρουσιάζει το δείγμα με σύσταση **LYRmr** που περιέχει υδράσβεστο (L), υδραυλική άσβεστο (Y), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και μαρμαρόσκονη (mr) με $SR=62\%$. Στην συνέχεια τα δείγματα **WcLRmr** και **LMRmr** παρουσιάζουν δείκτη ανακλαστικότητας (SR)= 61% . Αντίθετα, οι μικρότερες τιμές ανήκουν σε δύο δείγματα με σύσταση λευκό τσιμέντο (Wc), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και ένυδρο θειικό χαλκό (Cu), **WcRCu** και στο **LMRCu** με υδράσβεστο (L), μετακαολίνη (M), άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R) και ένυδρο θειικό χαλκό (Cu) με $SR=43\%$ και $SR=44\%$ αντίστοιχα. Λαμβάνοντας το δείγμα **WcR** ως **σημείο αναφοράς**, μιας και αποτελείται από λευκό τσιμέντο (Wc) και άμμο από ανακυκλωμένα αδρανή (R), και εξαιρώντας το δείγμα **WcRCu** που έχει την ίδια σύσταση συν θειικό χαλκό, παρατηρούμε ότι η τιμή της ανακλαστικότητας είναι σημαντικά μεγαλύτερη (SR)= 58% έναντι (SR)= 43% . Παρ'όλα αυτά η προσθήκη ένυδρου θειικού χαλκού δεν επηρεάζει την ανακλαστικότητα των επιχρισμάτων καθώς αν συγκρίνουμε το χρώμα που αποδίδεται με τύπου εμπορίου ίδια απόχρωσης, διαπιστώνονται βελτιωμένες τιμές έναντι άλλων που κυμαίνονται από (SR)= $33-37\%$.

Παρατηρώντας τα ενεργειακά αποτελέσματα εστιάζουμε την συνέχεια της έρευνας μας στην βελτίωση των επιχρισμάτων με τον θειικό χαλκό. Αφενός γιατί η φυσική απόδοση του χρώματος που προσδίδει είναι πιο υγιεινή από οποιοδήποτε εμπορικό πλαστικό χρώμα, αφετέρου γιατί μελετώντας άλλες έρευνες⁶⁸ είναι εφικτό να βελτιωθεί η ανακλαστικότητα και εκπεψιμότητα ακόμα και με προσθήκη γυαλιού. Ένα ενδιαφέρον στοιχείο της ερευνητικής διαδικασίας αποτελούν οι τιμές της ανακλαστικότητας και εκπεψιμότητας. Η μέτρια ανακλαστικότητα των δειγμάτων που έχουν όμως μεγάλη εκπεψιμότητα μπορεί να βελτιωθεί με ανόργανα πρόσθετα όπως σφαιρίδια γυαλιού όπως προαναφέρθηκε ή άμμο δολομιτικής σύστασης. Το τεράστιο ενεργειακό πρόβλημα και οι γρήγοροι ρυθμοί της ζωής, θέτουν επιτακτική την ανάγκη, για ορθολογικό σχεδιασμό και κατασκευή κτιρίων με γνώμονα, την ελάχιστη επίπτωση στο περιβάλλον προστατεύοντας την υγεία του ανθρώπου και βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής.

⁶⁸ Konstantinos Gobakis, D. Thesis, 'Design and Development of Smart Cool Materials for the built environment', February 2018.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αιμήλιου Κορωναίου, Καθηγητού Ε.Μ.Π, "Τεχνητά Υλικά, Τόμος 1", Ε.Μ., ΑΘΗΝΑΙ 1985
- Άρθρο.2 της υπ. αριθ. 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παρ.4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρου 17 του παρόντος Διατάγματος.
- A. Synnefa, M. Santamouris, and H. Akbari. Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal comfort in residential buildings in various climatic conditions. *Energy and Buildings*
- Anna Laura Pisello and Franco Cotana. The thermal effect of an innovative cool roof on residential buildings in Italy: Results from two years of continuous monitoring. *Energy and Buildings*
- ASTM. ASTM E891 - 87(1992) Tables for Terrestrial Direct Normal Solar Spectral Irradiance
- B. Givoni, M. E. Hoffman, Makhon tekhnologi le-Yisrael. Tekhniyon, and Tahanah le-heker ha beniyah. Effect of building materials on internal temperatures. Haifa, Israel, 1968
- Biscontin, G., Birelli, M., & Zendri, E., 'Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars', *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 3 (2002)
- Berge B. 2000. 'Ecology of Building Materials'. Oxford: Architectural Press.
- Βιαζής Γ, (2001), «Τεχνολογία των δομικών υλικών». Αθήνα.
- Γαλετάκης Μιχαήλ, Αν. Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης, Εσπερίδα 'Προστασία Περιβάλλοντος: Νομική Απαιτήση ή Εργαλείο για την Τοπική Βιώσιμη Ανάπτυξη' .ΤΕΕ Χανίων, Ιούνιος 2014
- Gobakis, K., Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, N., Perdikatsis, V., Santamouris, M. (2015). Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures. *Energy and Buildings*.
- Gobakis Konstantinos, D. Thesis, 'Design and Development of Smart Cool Materials for the built environment', February 2018.
- G. T. Georgiev and J. J Butler. Long-term calibration monitoring of Spectralon diffusers BRDF in the air-ultraviolet. Tables for Air Mass 1.5 (Withdrawn 1999)
- Γεωργιάδου Ε. (1996). Καθαρές τεχνολογίες δόμησης, Κεφ. IV, στο: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός - Καθαρές Τεχνολογίες Δόμησης. Ν.Ε.Λ.Ε. Θεσ/νίκης-ΤΕΕ/ΤΚΜ-Ανέλιξη- XVII Γεν. Διευθ. για την Ενέργεια, Θεσ/νίκη: Παρατηρητής.
- Cool Roof Rating Council. Cool Roof Rating Council, 2018.
- C. Romeo and M. Zinzi. Impact of a cool roof application on the energy and comfort performance in an existing non-residential building. A Sicilian case study. *Energy and Buildings*
- Γενική Ορυκτολογία, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Εμμανουήλ Κατσιγιάννης 'Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια με χρήση οικολογικών υλικών στα επιχρίσματα', Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης

- Er. Tanpreet Singh and Er. Anil Kumar Nanda, Associate Professor & Head Surya School of Engg. & Tech. Surya World, Rajpura, *"Influence of Marble Powder on Mechanical Properties of Mortar and Concrete Mix"*
- EUROPEAN STANDARD EN 13139:2002 ON AGGREGATES
- EN-13139, Aggregates for Mortar, Comité Européen de Normalisation (CEN), Brussels, Belgium, 2002
- EUROPEAN STANDARD EN 13139:2002 ON AGGREGATES
- Hashem Akbari, Sarah Bretz, Dan M. Kurn, and James Hanford. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Buildings*.
- J. Ninov, Donchev, I., Dimova, L, (2009, November 07), On the kinetics of pozzolanic reaction in the system kaolin–lime–water, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*
- Κωστάκης Γ., (2005). Γενική Ορυκτολογία. Σημειώσεις παραδόσεων, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά.
- Μεταπτυχιακή Διατριβή *"Εργαστηριακή Διερεύνηση της Δυνατότητας Χρήσης Ανακυκλωμένων Αδρανών για Παραγωγή Δομικών Στοιχείων"*, Πιπερίδη Χριστίνα
- Μεταπτυχιακή Διατριβή *"Εργαστηριακή Διερεύνηση της Δυνατότητας Χρήσης Ανακυκλωμένων Αδρανών για Παραγωγή Δομικών Στοιχείων"*, Πιπερίδη Χριστίνα, Πολυτεχνείο Κρήτης
- Μελέτη ΥΠΕΧΩΔΕ 2006
- Martyn S. Ray. Thermal Radiation Heat Transfer, 3rd edn, by R. Siegel and J.R. Howell, Hemisphere Publishing Corporation, USA (1992). ISBN 0-89116-271-2. Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, 2008
- M. Santamouris. Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy*
- Μωχάμεντ Μ., (1996), «Παρασκευή νέων κονιαμάτων με παραδοσιακά υλικά για εφαρμογές συντήρησης ενετικών μνημείων-Μελέτη της συμβατότητας των δομικών λίθων, της αντοχής και της θαλάσσιας διάβρωσής τους», Μεταπτυχιακή Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων. Χανιά.
- Μαρίνος Α, Μπατής Γ, Κατσιώτη Μ., Μελέτη της ανθεκτικότητας κονιαμάτων με μετακαολίνη υπό αέρια συντήρηση, 10ο Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Πάτρα 2015.
- M. Santamouris, A. Synnefa, D. Kolokotsa, V. Dimitriou, and K. Apostolakis. Passive cooling of the built environment - Use of innovative reflective materials to fight heat islands and decrease cooling needs. *International Journal of Low Carbon Technologies*
- Middendorf, B., Hughes, J., Callebaut, K., Baronio, G., & Papayanni, I., 'Investigative Methods for the Characterization of Historic Mortars- part 1: Mineralogical Characterization', *Material and Structure* Vol. 38 (2005)
- Πρακτικά 4^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου για την Αξιοποίηση των Βιομηχανικών Παραπροϊόντων στη Δόμηση, ΕΒΙΠΑΡ, Θεσσαλονίκη 11-12 Ιουνίου 2015, *"Διερεύνηση της Δυνατότητας παραγωγής δομικών στοιχείων από λατομική παμπάλη και ανακυκλωμένα αδρανή προερχόμενα από απόβλητα εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών"*. Μ. Γαλετάκης, Α. Βασιλείου, Χ. Πιπερίδη, Α. Σουλτάνα, Κ. Κομνιτσάς, Ε.Στειακάκης, Μ. Γκίνος

- Περυσινάκη Δ. Παρασκευή, “Διερεύνηση των οικολογικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολύτεχνειο
- Παγώνα Μαραβελάκη, σημειώσεις μαθήματος
- Ronnen Levinson, Paul Berdahl, and Hashem Akbari. Solar spectral optical properties of pigments -Part II: Survey of common colorants.Solar Energy Materials and Solar Cells.
- R.V. Silvia, J.de Brito, R.K. Dhir, ‘Performance of cementitious renderings and masonry mortars containing recycled aggregates from construction and demolition waste’, Construction and Building Materials
- Sarah E. Bretz and Hashem Akbari. Long-term performance of high-albedo roof coatings.Energy and Buildings, jan 1997.
- Τομπά Χρ. (2005). Δομικά Υλικά Φιλικά προς το Περιβάλλον. Διπλωματική Εργασία, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Εξειδίκευσης ‘Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός Πόλεων και Κτιρίων’. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα.
- Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013
- UNI-EN 15886:2010, Conservation of Cultural property - Test methods – Colour measurements of surfaces.
- Χατζής Ε., Ξανθόπουλος Γ. και Λαμπρινός Γρ. 2005, Ποιοτική Αξιολόγηση Μαρουλιού με χρήση Χρωματομέτρου και Επεξεργασία Ψηφιακής Εικόνας, Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Εταιρίας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδας, Αθήνα.
- 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ, Αθήνα, 21-23 Μαΐου, 2008 “Χαρακτηρισμός Κονιαμάτων με Χρήση Της Φασματοσκοπικής Μεθόδου FT-IR, (Fast Fourier Infrared Spectroscopy)

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- <https://www.nbmcw.com/tech-articles/concrete/29107-influence-of-marble-powder-mortar-and-concrete-mix.html>
- <https://www.dino-lite.eu/>
- <https://el.wikipedia.org>
- http://webmineral.com/MySQL/xray.php?ed1=4.73&minmax=2#.WuWucJe-m_g
- <http://portal.tee.gr>
- www.eedsa.gr- Ελληνική Εταιρία Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων
- <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=51>
- <http://www.recycling-center.gr/benefits-of-recycling.html>
- Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης- www.eoan.gr

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρατίθενται αναλυτικά οι Πίνακες του χρωματόμετρου που οδήγησαν στα τελικά αποτελέσματα και συμπεράσματα της εξέτασης.

Ασβεστοκονίαμα-LMRmr

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,77	0,01	0,07

LMRmr			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	76,71	1,31	7,11
STDEV	0,25	0,01	0,03

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-LMRmr				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-13,75	-0,03	2,3	13,94
STDEV	0,004	0,004	0,016	0,004

Ασβεστοκονίαμα-WcLRmr

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,772	0,0165	0,073

WcLRmr			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	69,33	1,37	6,81
STDEV	0,374	0,021	0,063

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-WcLRmr				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-22,55	0,03	2,06	22,64
STDEV	0,035	0,007	0,042	0,035

Ασβεστοκονίαμα-YLRmr

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,772	0,016	0,073

YLRmr			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	72,45	1,45	6,09
STDEV	0,225	0,015	0,05

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-YLRmr				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-18,01	0,10	1,29	18,05
STDEV	0,08	0,005	0,015	0,085

Ασβεστοκονίαμα-YLR

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,772	0,016	0,073

YLR			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	73,62	1,25	5,75
STDEV	0,115	0,01	0,055

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-YLR				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-18,26	-0,09	0,99	18,29
STDEV	0,175	0,01	0,025	0,175

Ασβεστοκονίαμα-LMR

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,772	0,016	0,073

LMR			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	76,18	1,15	5,68
STDEV	0,015	0,01	0,07

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-LMR				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-15,70	0,01	0,92	15,73
STDEV	0,305	0,19	0,01	0,3

Ασβεστοκονίαμα-WcLR

Ασβεστοκονίαμα			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	91,17	1,34	4,78
STDEV	0,77	0,01	0,07

WcLR			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	71,12	1,36	6,26
STDEV	0,18	0,015	0,055

ΑΣΒΕΣΤΟΚΟΝΙΑΜΑ-WcLR				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-20,77	0,02	1,50	20,82
STDEV	0,11	0,005	0,025	0,11

YLR-YLRmr

YLR			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	73,55	1,38	5,82
STDEV	0,16	0,015	0,05

YLRmr			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	76,72	1,55	7,33
STDEV	0,15	0,01	0,06

	YLR-YLRmr			
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	3,18	0,16	1,51	3,52
STDEV	0,01	0,005	0,015	0,015

LMR-LMRmr

	LMR		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	77,58	1,02	5,29
STDEV	0,22	0,02	0,055

	LMRmr		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	77,35	1,07	5,46
STDEV	0,215	0,02	0,05

	LMR-LMRmr			
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-0,22	0,05	0,17	0,28
STDEV	0,005	0	0,01	0,005

WcLR-WcLRmr

	WcLR		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	65,06	1,85	7,28
STDEV	0,225	0,01	0,04

	WcLRmr		
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	72,57	1,46	6,43
STDEV	0,15	0,03	0,055

	WcLR-WcLRmr			
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-7,50	0,39	0,85	7,56
STDEV	0,075	0,015	0,01	0,075

LMRmr-LMRmr 35 days

LMRmr			
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	80,14	1,03	6,52
STDEV	1,834	0,190	0,542

LMRmr 35 days			
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	79,21	1,15	6,12
STDEV	2,433	0,191	0,687

LMRmr-LMRmr 35 days				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-1,8	0,22	-0,76	3,18
STDEV	3,043	0,201	0,881	1,969

YLRmr-YLRmr 35 days

YLRmr			
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	80,69	0,99	6,52
STDEV	2,071	0,127	0,647

YLRmr 35 days			
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	73,62	1,25	5,75
STDEV	0,115	0,01	0,055

LYRmr-YLRmr 35d				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-0,08	0,26	-0,27	2,42
STDEV	2,757	0,328	0,958	1,699

WcLRmr-WcLRmr 35 days

WcLRmr			
	$L^*(D65)$	$a^*(D65)$	$b^*(D65)$
AVERAGE	79,20	1,02	6,14
STDEV	1,181	0,168	0,725

WcLRmr 35 days			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	80,05	1,08	5,93
STDEV	-1,628	-0,152	-0,611

WcLRmr-WcLRmr 35 days				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	1,70	0,11	-0,42	2,34
STDEV	2,08	0,196	0,660	1,554

WcRCu-WcRCu 35 days

WcRCu			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	69,7	-8,00	0,40
STDEV	3,989	0,340	0,364

WcRCu 35 days			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	70,36	7,85	0,71
STDEV	3,052	0,430	0,434

WcRCu-WcRCu 35 days				
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	1,31	0,31	0,61	3,74
STDEV	4,227	0,594	0,282	2,550

LMRCu- LMRCu 35 days

LMRCu			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	73,17	-5,64	1,34
STDEV	2,174	0,792	0,636

LMRCu 35 days			
	L*(D65)	a*(D65)	b*(D65)
AVERAGE	71,69	-5,76	1,09
STDEV	2,98	0,621	0,556

	LMRCu-LMRCu 35 days			
	$\Delta L^*(D65)$	$\Delta a^*(D65)$	$\Delta b^*(D65)$	$\Delta E^*_{ab}(D65)$
AVERAGE	-3,40	-0,26	-0,45	3,70
STDEV	3,49	0,675	0,664	3,204