



Πολυτεχνείο
Κρήτης

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Εργαστηριακή Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης
ανακυκλωμένων αδρανών για παραγωγή δομικών στοιχείων»**

Πιπερίδη Χριστίνα



Τριμελής Επιτροπή:

Καθηγητής Γαλετάκης Μιχαήλ (Επιβλέπων)

Αναπληρωτής καθηγητής Αλεβίζος Γεώργιος

Καθηγητής Κομνίτσας Κωνσταντίνος

**Χανιά
Ιούνιος, 2017**

Αφιερωμένη

στην οικογένειά μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την εργαστηριακή διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης ανακυκλωμένων αδρανών για παραγωγή δομικών στοιχείων τύπου «τεχνητού λίθου». Η διερεύνηση περιλαμβάνει παρασκευή με χύτευση και έλεγχο εργαστηριακών δοκιμών με μίγμα παιπάλης-ανακυκλωμένων αδρανών προερχόμενων από απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)-διάφορους τύπους τσιμέντο-νερό και ειδικά χημικά πρόσμικτα. Η αρχική μελέτη της σύνθεσης των μιγμάτων παιπάλης-αδρανών-τσιμέντου-πρόσμικτων βασίστηκε στο μοντέλο στοίβαξης κόκκων κατά Andreassen-Andersen, και ακολούθησε εκτενής πειραματικός σχεδιασμός πολλαπλών σταδίων.

Στην επιτυχή ολοκλήρωση της προσπάθειας σημαντικό ρόλο διαδραμάτισε η συνεχής και αποτελεσματική συνεργασία μου με τον Καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Γαλετάκη Μιχάλη, χωρίς τη στήριξη του οποίου δε θα είχε επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα και τον ευχαριστώ θερμά.

Θα ήθελα ακόμα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αλεβίζο Γεώργιο και τον Καθηγητή κ. Κομνίτσα Κωνσταντίνο για το χρόνο που αφιέρωσαν για τη διόρθωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την κ. Όλγα Παντελάκη για τις κοκκομετρικές αναλύσεις και τις εταιρείες «FINOMIX» και «TEXNOMIETON» για την παροχή του υλικού που εξετάστηκε στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου και τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ:

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε σε εργαστηριακή κλίμακα η δυνατότητα παραγωγής δομικών στοιχείων τύπου «τεχνητού λίθου» χρησιμοποιώντας λεπτομερή λατομικά παραπροϊόντα (παιπάλη) και ανακυκλωμένα αδρανή προερχόμενα από απόβλητα εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών (ΑΕΚΚ), τσιμέντο διαφόρων τύπων και ειδικά πρόσθετα σκυροδέματος. Ως διαδικασίες παραγωγής επιλέχθηκαν η ανάμιξη των υλικών και η χύτευση σε μήτρες, λόγω της απλότητας και της μικρής απαίτησης σε ενέργεια και πρόσθετο εξοπλισμό που έχουν οι διαδικασίες αυτές.

Για το χαρακτηρισμό της παιπάλης και των ανακυκλωμένων αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν έγινε κοκκομετρική, ορυκτολογική και χημική ανάλυση, ενώ προσδιορίστηκαν ο δείκτης μορφής, η πυκνότητα και η υδατοαπορρόφηση των κόκκων, η τιμή της δοκιμής μπλε του Μεθυλενίου και η τιμή της δοκιμής micro Deval. Η αρχική μελέτη της σύνθεσης των μιγμάτων παιπάλης-αδρανών-τσιμέντου-πρόσμικτων βασίστηκε στο μοντέλο στοίβαξης κόκκων κατά Andreassen-Andersen, και ακολούθησε εκτενής πειραματικός σχεδιασμός πολλαπλών σταδίων. Διερευνήθηκε η χρήση συνήθων τύπου τσιμέντων όπως CEM II 42.5 και CEM I 52.5R αλλά και ειδικού τύπου με υψηλή τιμή Blaine (μικροτσιμέντο), ενώ ως ειδικό πρόσθετο χρησιμοποιήθηκε υπερλεπτομερής πυριτία (silicafume). Η απαιτούμενη ποσότητα νερού καθορίστηκε με βάση τη δοκιμή του κώνου εξάπλωσης του νωπού σκυροδέματος.

Μετά την παραγωγή και την ωρίμανση των δοκιμίων, έγινε έλεγχος (κατά EN) της αντοχής των σκληρυμένων δοκιμίων σε κάμψη και μονοαξονική θλίψη, μέτρηση του ειδικού βάρους και της υδαταπορρόφής τους, προσδιορισμός της ανθεκτικότητάς τους σε κύκλους ψύξης-απόψυξης, σε θερμικό πλήγμα και σε προσβολή με θειικό μαγνήσιο. Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψε ότι όλες οι συνθέσεις πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις για απλά φέροντα δομικά στοιχεία τύπου «συνθετικού λίθου», ενώ αρκετές από αυτές πληρούν τις προδιαγραφές και πιο απαιτητικών κατηγοριών κατάταξης φερόντων δομικών στοιχείων.

ABSTRACT:

This paper studies in a laboratory scale the possibility to produce building elements such as "artificial stone" using fine quarry by-products (dust) and recycled aggregates derived from excavation, construction and demolition waste materials, various types of cement and concrete additives. Mixing of the materials and casting into molds, were chosen as production procedures due to their simplicity and low energy and additional equipment requirements.

Granulometric size distribution, mineral and chemical analysis, shape index, density, grain water absorption, Methylene blue value and micro Deval test value were determined, in order to characterize the quarry by-products and the recycled aggregates used. Mixture composition was based on the Andreassen-Andersen packing model, followed by an extensive multi-stage experimental design. The use of ordinary cement such as CEM II 42.5 and CEM I 52.5R and a special type of high Blaine value (microcement) was investigated, while ultrafine silica (silica fume) was used as a special additive. The required amount of water was determined according to fresh mortar cone test.

After the production and curing processes, specimens were tested (according to EN) for their strength in bending and uniaxial compression, while specific gravity, water absorption and resistance to freeze-thaw cycles, thermal shock and magnesium sulfate attack were also measured. Resulting from the test results, all compositions meet the minimum requirements for simple load-bearing structural elements such as "composite stone", while some of them meet the requirements of the most demanding classification categories for load-bearing structural elements.

Η έγκριση της παρούσης Μεταπτυχιακής Διατριβής από τη Σχολή Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμών της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ.2)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	
Περίληψη.....	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Λατομική παιπάλη.....	1
1.2 Ορισμός και Προέλευση ΑΕΚΚ.....	3
1.2.1 Παραγωγή ΑΕΚΚ σε Ευρώπη και Ελλάδα.....	7
1.2.2 Ανακύκλωση ΑΕΚΚ και βαθμός επαναχρησιμοποίησης σε Ευρώπη και Ελλάδα...	12
1.2.3 Τεχνικές διαχείρισης ΑΕΚΚ.....	17
1.2.4 Κύριες χρήσεις ΑΕΚΚ.....	21
1.3 Χρήση ΑΕΚΚ για παραγωγή δομικών στοιχείων.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Μέθοδοι και Υλικά.....	25
2.1 Χαρακτηρισμός παιπάλης.....	26
2.1.1 Αναλύσεις παιπάλης για κοκκομετρία με laser.....	27
2.1.2 Μέτρηση ειδικής επιφάνειας (Blaine).....	28
2.1.3 Ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ.....	32
2.2 Χαρακτηρισμός αδρανών.....	33
2.2.1 Ορυκτολογική και Χημική ανάλυση.....	33

2.2.2 Ανάλυση του μεγέθους των κόκκων.....	35
2.2.3 Σχήμα, δείκτης μορφής και λόγος μεγάλης προς μικρή διάσταση κόκκων.....	36
2.2.4 Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου και δοκιμή micro Deval.....	40
2.2.5 Υδατοαπορρόφηση, πυκνότητα.....	42
2.3 Τσιμέντο – Μικροτσιμέντο – Χημικά πρόσμικτα.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Μεθοδολογία καθορισμού Συνθέσεων.....	45
3.1 Επιλογή και χαρακτηριστικά του κοκκομετρικού μοντέλου Andreassen.....	45
3.2 Καθορισμός συνθέσεων.....	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 . Παρασκευή και Εργαστηριακός έλεγχος δοκιμίων.....	51
4.1 Έλεγχος νωπού μικροσκυροδέματος.....	53
4.1.1 Η δοκιμή μικροκόνου εξάπλωσης.....	53
4.2 Έλεγχος σκληρυμένων δοκιμίων.....	56
4.2.1 Φυσικές ιδιότητες δοκιμίων.....	56
4.2.1.1 Υδατοαπορρόφηση.....	56
4.2.1.2 Πυκνότητα.....	57
4.2.2 Μηχανικές ιδιότητες δοκιμίων.....	58
4.2.2.1 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη τριών σημείων.....	59
4.2.2.2 Αντοχή σε κύκλους ψύξης - απόψυξης.....	64
4.2.2.3 Αντοχή σε θερμικό πλήγμα.....	69

4.2.2.4 Αντοχή σε θειϊκό μαγνήσιο.....	70
4.2.3 Έλεγχος μικροδομής δοκιμίων.....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Επεξεργασία αποτελεσμάτων-Συζήτηση.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις.....	82
6.1 Συμπεράσματα.....	87
6.2 Προτάσεις.....	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	89
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2.....	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Τυπική σύσταση απόβλητων κατεδαφίσεων και απόβλητων κατασκευών (ΑΚΚ).....	5
Πίνακας 2. Ποσά παραγωγής αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης (ΑΚΚ) στην Ευρώπη, από διάφορες πηγές.....	8
Πίνακας 3. Όρια παραγόμενων ποσοτήτων ΑΕΚΚ σε χώρες της Ε.Ε. (European Commission, 2011).....	9
Πίνακας 4. Ποσότητες αποβλήτων για Κύπρο και Ελλάδα	11
Πίνακας 5. Περιγραφή και κωδικοποίηση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τα ανακυκλωμένα υλικά	25
Πίνακας 6. Ειδική επιφάνεια (Blaine) δειγμάτων παιπάλης και ανακυκλωμένων υλικών.....	31
Πίνακας 7. Χημική ανάλυση ανακυκλωμένων αδρανών.....	35
Πίνακας 8. Αποτελέσματα δοκιμής TCLP (mg/L) για τα ανακυκλωμένα αδρανή	35
Πίνακας 9. Αποτελέσματα δοκιμής δείκτη Σχήματος	38
Πίνακας 10. Αποτελέσματα δοκιμής δείκτη πλακοειδούς	39
Πίνακας 11. Αποτελέσματα δοκιμής μπλε του μεθυλενίου	41
Πίνακας 12. Μέσες τιμές και εύρος τιμών των εξεταζόμενων ιδιοτήτων των ανακυκλωμένων αδρανών	42
Πίνακας 13. Συνθέσεις δοκιμίων που παρασκευάστηκαν.....	55
Πίνακας 14. Υδατοαπορρόφηση % δοκιμίων.....	57
Πίνακας 15. Υπολογισμός πυκνότητας δοκιμίων.....	58
Πίνακας 16. Αποτελέσματα μέτρησης αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θλίψη.....	61

Πίνακας 17. Αποτελέσματα μέτρησης αντοχής δοκιμίων σε κάμψη τριών σημείων.....	63
Πίνακας 18. Μάζα δοκιμίων μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης.....	66
Πίνακας 19. Μετρήσεις και υπολογισμός ταχύτητας διάδοσης V, μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης.....	68
Πίνακας 20. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά από θερμικό πλήγμα.....	69
Πίνακας 21. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά από θερμικό πλήγμα.....	69
Πίνακας 22. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά τη δοκιμή αντοχής σε θειικό μαγνήσιο.....	70
Πίνακας 23. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά τη δοκιμή αντοχής σε θειικό μαγνήσιο.....	70
Πίνακας 24. Συνθέσεις δοκιμίων και αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών.....	75
Πίνακας 25. Ελάχιστες απαιτήσεις αντοχής σε μονοαξονική θλίψη φέροντων δομικών στοιχείων και κατηγορίες κατάταξής τους (BS 3921:1965).....	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου ζωής των υλικών.....	12
Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής της ανακύκλωσης των υλικών.....	15
Σχήμα 3. Τα στάδια του κύκλου ζωής δομικού υλικού.....	18
Σχήμα 4. Καμπύλες αθροιστικά διερχόμενων μεγεθών δειγμάτων παιπάλης.....	28
Σχήμα 5. Ακτινοδιάγραμμα περίθλασης ακτίνων-X δείγματος παιπάλης.....	32
Σχήμα 6. Τυπικό διάγραμμα ορυκτολογικής ανάλυσης του δείγματος σκυροδέματος (Q: χαλαζίας SiO ₂ , C: ασβεστίτης CaCO ₃).....	34

Σχήμα 7. Κοκκομετρική ανάλυση ανακυκλωμένων αδρανών.....	36
Σχήμα 8. Κοκκομετρικές καμπύλες των μοντέλων Andreassen.....	47
Σχήμα 9. Μεταβολή του λόγου νερό/τσιμέντο σε σχέση με την περιεχόμενη παιπάλη.....	76
Σχήμα 10. Σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των συνθέσεων με εκείνες των κατηγοριών του προτύπου BS 3921:1965 για φέροντα δομικά στοιχεία.....	77
Σχήμα 11. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη σε σχέση με το λόγο νερού-τσιμέντου.....	78
Σχήμα 12. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη σε σχέση με το λόγο τσιμέντου-σύνολο αδρανών.....	79
Σχήμα 13. Μεταβολή της υδατοαπορρόφησης και της πυκνότητας σε σχέση με το λόγο νερού-τσιμέντου.....	80
Σχήμα 14. Μεταβολή της υδατοαπορρόφησης και της πυκνότητας σε σχέση με το λόγο τσιμέντου-αδρανών.....	80

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Μονάδα παραγωγής ασφαλτοσκυροδέματος.....	3
Εικόνα 2. Παιπάλη μαρμαρόσκονης.....	27
Εικόνα 3. Παχύμετρο δείκτη μορφής.....	37
Εικόνα 4. Μορφολογία κόκκων για δείγμα σοβά/τσιμέντο/τούβλα (αριστερά), κεραμίδια (κέντρο) και τσιμεντοειδή (δεξιά).....	39
Εικόνα 5. Συσκευή δοκιμής μπλε του μεθυλενίου.....	40
Εικόνα 6. Μορφή κηλίδας στο διηθητικό χαρτί.....	40
Εικόνα 7. Σχηματική αναπαράσταση της πυκνότητας στοίβαξης.....	46

Εικόνα 8. Εισαγωγή νέου υλικού στο πρόγραμμα EMMA.....	49
Εικόνα 9. Εργαστηριακός αναμικτήρας.....	51
Εικόνα 10. Τελική μορφή μίγματος.....	52
Εικόνα 11. Τράπεζα δόνησης MATEST Jolting apparatus E130 και πρισματικό καλούπι διαστάσεων 40x40x160mm ³	52
Εικόνα 12. Κώνος και μεταλλική επιφάνεια.....	54
Εικόνα 13. Μέτρηση διαμέτρου στρογγυλής επιφάνειας.....	54
Εικόνα 14. Κελί φόρτισης για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.....	59
Εικόνα 15. Μηχανή μέτρησης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη.....	62
Εικόνα 16. Κλιματικός θάλαμος.....	65
Εικόνα 17. Συσκευή υπερήχων σκυροδέματος.....	67
Εικόνα 18. Στιλβωμένες τομές δοκιμίων Συνθέσεων.....	72
Εικόνα 19. Μικροφωτογραφία στιλπνής τομής δοκιμίου την σύνθεσης C18.....	72
Εικόνα 20. Μικροφωτογραφία στιλπνής τομής δοκιμίου την σύνθεσης C7.....	73
Εικόνα 21. Οπές διαφόρων μεγεθών λόγω των φυσαλίδων αέρα σε δοκίμιο της σύνθεσης C7.....	74

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Τυπική σύσταση αποβλήτων κατεδαφίσεων.....	6
Διάγραμμα 2. Τυπική σύσταση αποβλήτων κατασκευών.....	7

Διάγραμμα 3. Παραγόμενη ποσότητα ΑΚΚ (tn) στην Ελλάδα.....	17
Διάγραμμα 4. Τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων κατεδαφίσεων.....	19
Διάγραμμα 5. Τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων κατασκευών.....	19
Διάγραμμα 6. Διαδικασία διαχείρισης ΑΚΚ σε κεντρική μονάδα ανακύκλωσης.....	21
Διάγραμμα 7. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης...	66
Διάγραμμα 8. Ταχύτητα μετάδοσης V, μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης.....	68
Διάγραμμα 9. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά την δοκιμή αντοχής σε θετικό μαγνήσιο.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.Εισαγωγή

Βιομηχανικά παραπροϊόντα όπως η λατομική παιπάλη, αλλά και τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελούν ένα σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα για τον κλάδο των κατασκευών με σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις.

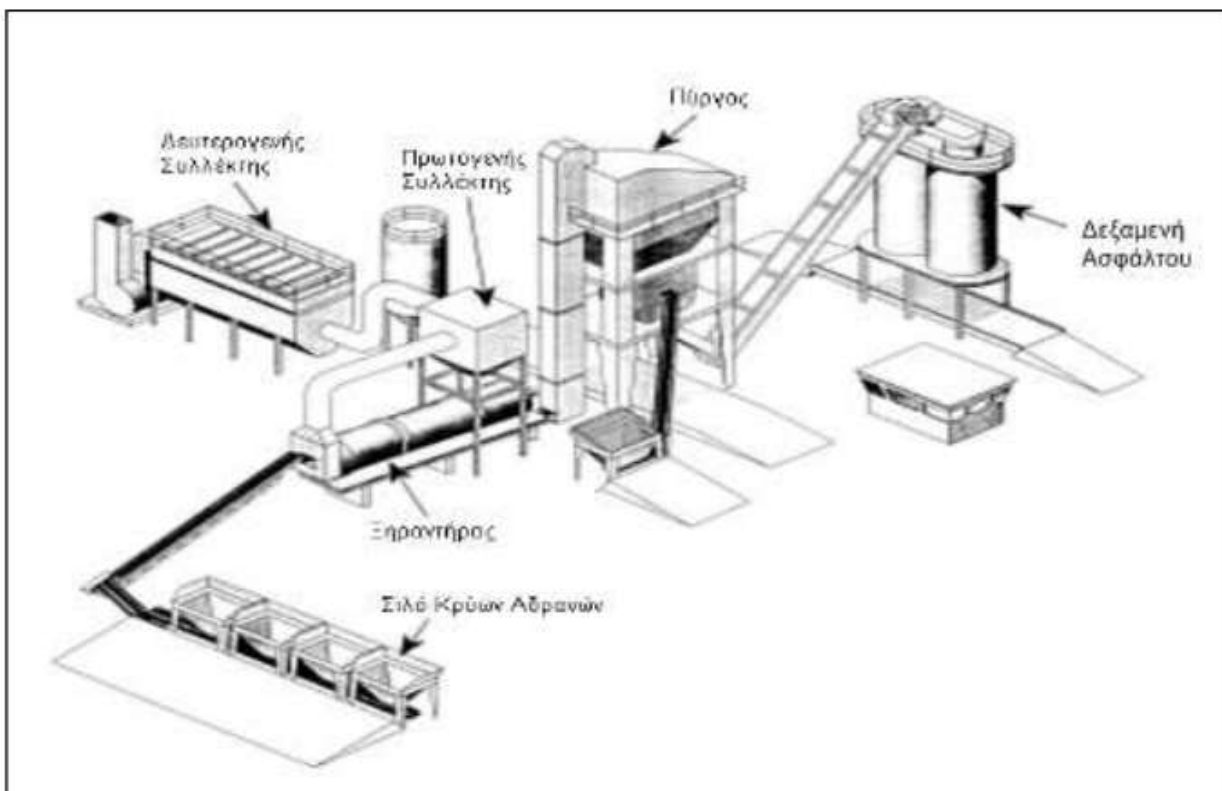
Η συσσώρευση των λατομικών υπερλεπτομερών παραπροϊόντων ($<65\mu\text{m}$), γνωστό και με το όνομα παιπάλη, που προέρχονται από την παραγωγή αδρανών υλικών είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της λατομικής βιομηχανίας, αφού αυτά μπορεί να αντιπροσωπεύουν έως και το 10-15% της συνολικής παραγωγής των αδρανών υλικών. Η απομάκρυνση σημαντικού μέρους του λεπτόκοκκου αυτού υλικού από τα αδρανή που προορίζονται για σκυρόδεμα, ασφαλομίγματα και έτοιμα κονιάματα είναι επιβεβλημένη από τους σχετικούς κανονισμούς και τις προδιαγραφές ποιότητας που καθορίζουν το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό παιπάλης ανάλογα με τη χρήση των αδρανών υλικών. Η διαχείριση της παιπάλης που απομακρύνεται αποτελεί σημαντικό περιβαλλοντικό πρόβλημα αφού πρόκειται για ιδιαίτερα λεπτόκοκκο υλικό που δημιουργεί σοβαρά προβλήματα κονιορτού (Hill et al., 2001; Harisson, 2003). Έχουν προταθεί πολλοί διαφορετικοί τρόποι για την αξιοποίηση της, όμως σε ένα μεγάλο ποσοστό παραμένει αναξιοποίητη, καθώς η απορρόφησή της από βιομηχανικούς τομείς δεν είναι πάντα εφικτή, ενώ η απόθεσή της μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα λόγω εκπομπών αερόφερτων σωματιδιακών ρύπων (Galetakis and Leventakis 2009; Galetakis et al., 2012).

Τα οικοδομικά απορρίμματα αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων στις βιομηχανικές χώρες, το οποίο αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Παράγονται κατά τη δόμηση νέων κατασκευών και κατά την ανακαίνιση και κατεδάφιση των υπαρχουσών κατασκευών. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο ετήσιος όγκος των αποβλήτων που παράγονται από τις κατασκευαστικές δραστηριότητες ανέρχεται σε 500 εκατομμύρια τόνους που αντιστοιχούν σε 1.1 τόνο ανά κάτοικο ανά έτος. Περιέχουν κυρίως (60-80%) ορυκτά απόβλητα (σκυρόδεμα, υλικά τοιχοποιίας, κεραμικά πλακίδια κ.α.), άσφαλτο, ξύλο, μέταλλα, γυψοσανίδες, και άλλα υλικά σε μικρότερες ποσότητες. Η ανακύκλωση και αξιοποίηση των απορριμμάτων αυτών στη δόμηση, θα μπορούσε να συνεισφέρει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευών και στην ελαχιστοποίηση των υλικών που αποτίθενται στο περιβάλλον (Galetakis et al., 2014).

1.1 Λατομική παιπάλη

Ως παιπάλη ή filler, κατά το πρότυπο ASTM, ορίζεται το λεπτόκοκκο κλάσμα το οποίο διέρχεται από το κόσκινο No200 (0,075mm) και προσδιορίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο ΣΚ-305. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN-12620 ως παιπάλη ορίζεται το διαβαθμισμένο λεπτομερές αδρανές υλικό με μέγιστο κόκκο 2 mm, και το οποίο διέρχεται σε ποσοστό 70 – 100% από το κόσκινο 0,063mm. Η παιπάλη είναι ανεπιθύμητη πάνω από τα καθορισμένα όρια, επειδή παρουσιάζει μεγάλη ειδική επιφάνεια (cm^2/g) και αυξάνει την ποσότητα του νερού που απαιτείται, το οποίο έχει σαν συνέπεια τη μείωση της αντοχής του σκυροδέματος.

Η παιπάλη λαμβάνεται ως παραπροϊόν κατά τη διαδικασία παραγωγής ασφαλτοσκυροδέματος. Τα αδρανή με τη φυσική υγρασία τους μεταφέρονται από τα σιλό με τη βοήθεια μεταφορικής ταινίας και εισέρχονται στον ξηραντήρα, που είναι ένας περιστροφικός κλίβανος, ο οποίος θερμαίνεται με καυστήρα μαζούτ ή αερίου. Στο χώρο αυτό, τα αδρανή ξηραίνονται και αποκτούν την επιθυμητή θερμοκρασία. Τα θερμά αδρανή μεταφέρονται στη μονάδα διαχωρισμού με κατακόρυφο σύστημα κάδων, όπου διαχωρίζονται σε κλάσματα και αποθηκεύονται προσωρινά σε θαλάμους. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με μία σειρά από κόσκινα, τα οποία είναι τοποθετημένα ακριβώς επάνω από τους θαλάμους αποθήκευσης. Από τους θαλάμους προσωρινής αποθήκευσης λαμβάνονται διαδοχικά ποσότητες αδρανών, οι οποίες αφού ζυγιστούν ανακατεύονται για καθορισμένο χρόνο στον αναμικτήρα με ήδη προζυγισθείσα άσφαλτο. Σημαντικό ρόλο στη δημιουργία της παιπάλης παίζει ο ξηραντήρας. Ο ξηραντήρας αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο μεταλλικό κύλινδρο και έναν καυστήρα πετρελαίου ή αερίου. Ο καυστήρας στο συγκρότημα παραγωγής ανά παρτίδες, είναι τοποθετημένος στο κατώτατο άκρο του τυμπάνου, δηλαδή στο άκρο της εξόδου.



Εικόνα 1. Μονάδα παραγωγής ασφαλτοσκυροδέματος

Στο αντίθετο άκρο του τυμπάνου από αυτό που βρίσκεται ο καυστήρας, είναι προσαρτημένο το σύστημα απαγωγής σκόνης (κονιοσυλλέκτης), για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται σε σειρά ειδικά φίλτρα, τα οποία κατακρατούν το μεγαλύτερο μέρος της σκόνης. Αποτέλεσμα της κίνησης της σκόνης από τον ξηραντήρα στον πρωτογενή συλλέκτη και από εκεί στο δευτερογενή συλλέκτη, είναι η παραγωγή παιπάλης.

1.2 Ορισμός και προέλευση ΑΕΚΚ

Ο όρος "Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων" (ΑΕΚΚ), αναφέρεται σε κάθε υλικό ή αντικείμενο από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις που θεωρείται απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 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. 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 υλικών. Τα ΑΕΚΚ αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα σε όγκο ρεύματα αποβλήτων και η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους προκαλεί αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις όπως είναι η ρύπανση του εδάφους και της ατμόσφαιρας και η αισθητική υποβάθμιση της περιοχής όπου διατίθενται. Ωστόσο, η σύγχρονη τάση εναλλακτικής διαχείρισης και επαναχρησιμοποίησης συμβάλλει στον περιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων αλλά και στη δημιουργία νέων προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας.

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από έντονη περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση των πολιτών, οι οποίοι είτε δρώντας μεμονωμένα ως καταναλωτές είτε αναπτύσσοντας συλλογικές δράσεις (φορείς, οργανισμούς κ.ά.) ασκούν σημαντική επιρροή στη θέσπιση <<κανόνων>>, σχετικών με τη βιώσιμη ανάπτυξη. Σήμερα, οι επιχειρήσεις καλούνται να ανταποκριθούν άμεσα στις απαιτήσεις των πολιτών, εφαρμόζοντας φιλικές προς το περιβάλλον πολιτικές. Στα πλαίσια αυτά, οι επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται στον κατασκευαστικό κλάδο οφείλουν να ανταποκριθούν άμεσα στις ανάγκες της σύγχρονης εποχής. Ο κατασκευαστικός κλάδος, παρά την οικονομική ύφεση που παρατηρείται το τελευταίο χρονικό διάστημα, διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο σε παγκόσμιο επίπεδο, αποτελώντας έναν από τους σημαντικότερους τομείς δραστηριότητας της παγκόσμιας οικονομίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται από το μεγάλο αριθμό τεχνικών έργων που εκτελούνται σε όλο τον κόσμο και σε συνεχή βάση. Η εκτέλεση των τεχνικών έργων έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, γνωστά και ως απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ). Η επιλογή της κατάλληλης πολιτικής διαχείρισης των αποβλήτων με γνώμονα την επαναχρησιμοποίηση και ανακύκλωση των δομικών υλικών αποτελεί σημαντικό ζήτημα σε όλο το εύρος της εφοδιαστικής αλυσίδας του κατασκευαστικού τομέα, που περιλαμβάνει τα στάδια του σχεδιασμού, κατασκευής νέων τεχνικών έργων, συντήρησης/ανακαίνισης υφιστάμενων κατασκευών και κατεδάφισης κατασκευών που βρίσκονται στο τέλος της ωφέλιμης ζωής τους.

Τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ) ανήκουν στην κατηγορία των ειδικών και βιομηχανικών αποβλήτων. Ο όρος <<απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων>> είναι αρκετά γενικός και καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα υλικών. Οι κατηγορίες στις οποίες μπορούν να χωριστούν είναι:

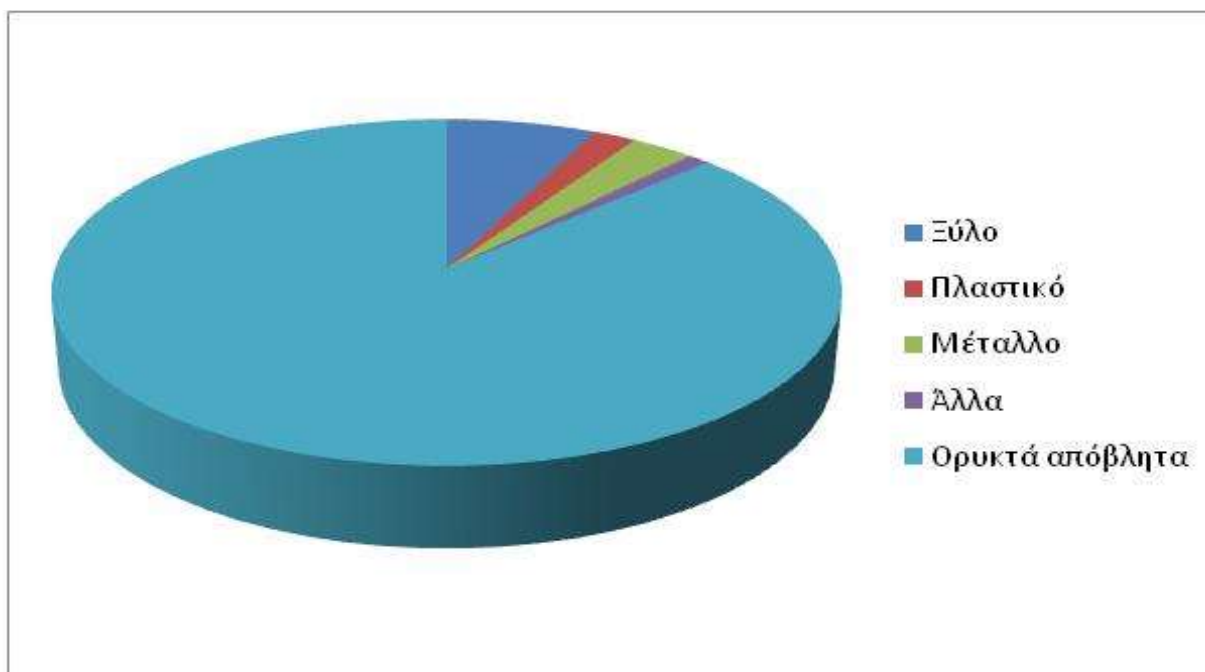
- Οικοδομικές εργασίες κάθε είδους, όπως ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις, επισκευές, περιφράξεις κατοικιών, επαγγελματικών χώρων και γενικότερα κτιριακών συγκροτημάτων.
- Έργα τεχνικών υποδομών, όπως κατεδαφίσεις, κατασκευές ή επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σιηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων, καθώς και αναπλάσεις χώρων κ.α.
- 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 και στο Διάγραμμα 1 και Διάγραμμα 2, φαίνεται η τυπική σύσταση των αποβλήτων που προέρχονται από κατεδαφίσεις και κατασκευές (www.uest.gr).

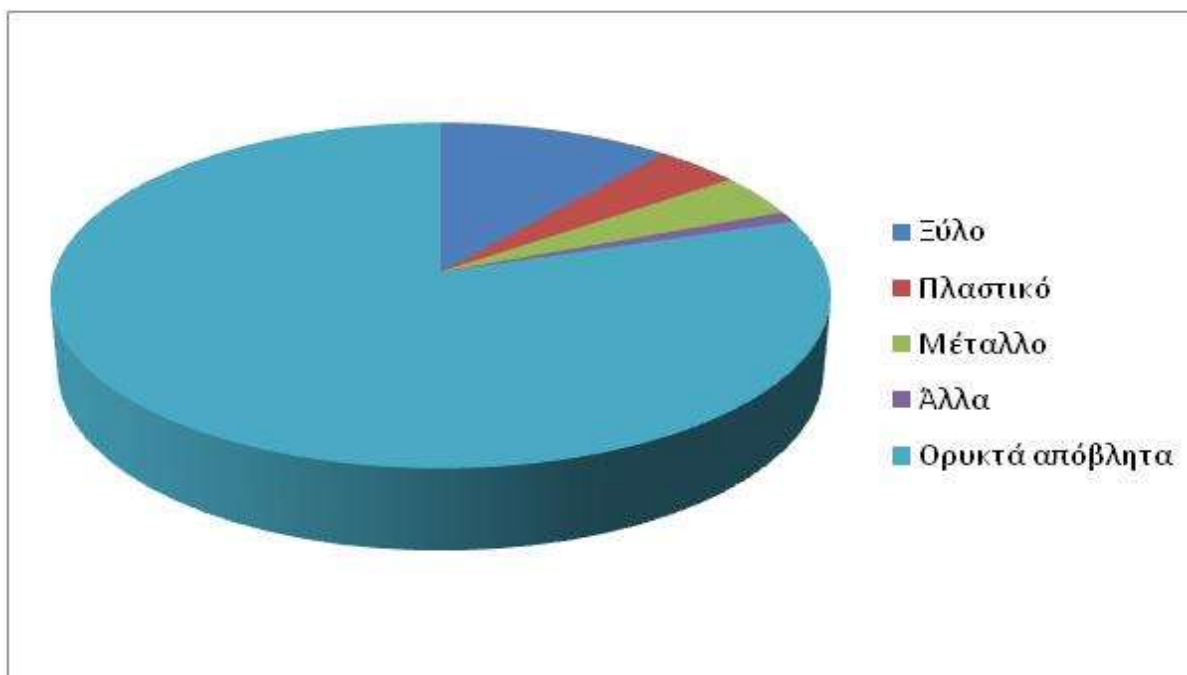
Πίνακας 1. Τυπική σύσταση απόβλητων κατεδαφίσεων και απόβλητων κατασκευών (ΑΚΚ) (www.uest.gr).

Συστατικό	Ποσοστό %	
	Απόβλητα κατεδαφίσεων	Απόβλητα κατασκευών
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
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	100,00	100,00



Διάγραμμα 1. Τυπική σύσταση αποβλήτων κατεδαφίσεων



Διάγραμμα 2. Τυπική σύσταση αποβλήτων κατασκευών

1.2.1 Παραγωγή ΑΕΚΚ σε Ευρώπη και Ελλάδα

Στην Ε.Ε. εκτιμάται ότι παράγονται ετησίως 3 δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων, εκ των οποίων 90 εκατομμύρια τόνοι (3%) αποτελούν επικίνδυνα απόβλητα, σύμφωνα με εκτιμήσεις της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission, 2015). Αυτό αντιστοιχεί σε 6 τόνους αποβλήτων ετησίως ή ~16,4 κιλά αποβλήτων ημερησίως ανά κάτοικο.

Πίνακας 2. Ποσά παραγωγής αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης (ΑΚΚ) στην Ευρώπη, από διάφορες πηγές.

Source Πηγή	Total C&D waste arising Συνολικό ποσό ΑΚΚ (million tonnes)	C&D waste per capita ΑΚΚ ανά κάτοικο <small>(Στοιχεία πληθυσμού από EUROSTAT 2010)</small>
[WBCSD 2009] (2002 data)	510	1.1
[ETC/RWM 2009] (2004 data)	866	1.8
[EUROSTAT 2010] (2006 data)	970	2.0

WBCSD: World Business Council for Sustainable Development

ETC/RWM: European Topic Centre on Resource and Waste Management

EUROSTAT : European Statistics

Όσον αφορά στις ποσότητες των ΑΕΚΚ, τα Κράτη – Μέλη αναφέρουν ότι παράγονται πολύ μεγάλες ποσότητες, οι οποίες εκτιμούνται σε 25-30% της συνολικής ποσότητας των παραγόμενων αποβλήτων στην Ε.Ε., σύμφωνα με εκτιμήσεις της Γενικής Διεύθυνσης Περιβάλλοντος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Το 2011, το WRAP (Waste and Resources Action Programme) εκτιμά ότι κάθε χρόνο στην Αγγλία δημιουργούνται πάνω από 100 εκατομμύρια τόνοι αδρανών αποβλήτων κατασκευών, κατεδαφίσεων και εκσκαφών (www.wrap.org.uk). Λόγω ελλিপών στοιχείων και διαφορετικών συστημάτων καταγραφής μεταξύ των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η παραγωγή ΑΕΚΚ στις χώρες αυτές, εκτιμάται κατά προσέγγιση (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Όρια παραγόμενων ποσοτήτων ΑΕΚΚ σε χώρες της Ε.Ε. (European Commission, 2011).

	Ελάχιστο	Μέγιστο
Ετήσια κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΚΚ (t)	0,63	1,42
Ετήσια κατά κεφαλήν παραγωγή ΑΕΚΚ (t)	2,74	5,9
Συνολική παραγωγή ΑΚΚ (Mt)	309	697
Συνολική παραγωγή ΑΕΚΚ (Mt)	1346	2898

Οι αιτίες που οδηγούν στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων κατασκευαστικών και οικοδομικών αποβλήτων είναι πολλές. Η άνοδος του βιοτικού επιπέδου, η πρόοδος του πολιτισμού και της τεχνολογίας, η τουριστική ανάπτυξη, οι κατεδαφίσεις και η ανακατασκευή παλαιών κτιρίων ή άλλων τεχνικών έργων πολιτισμού είναι οι κύριες αιτίες που οδήγησαν σε αύξηση της παραγωγής τους. Σε γενικές γραμμές η παραγωγή των ΑΕΚΚ ανά κάτοικο ακολουθεί την πορεία του ΑΕΠ, δηλαδή η παραγωγή ΑΕΚΚ σχετίζεται με την οικονομική δραστηριότητα κάθε χώρας. Οι ποσότητες των αποβλήτων αγγίζουν το 74% του συνολικού όγκου αποβλήτων που παράγονται στα 27 κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Tiess και Χαλκιοπούλου, 2011). Σε μελέτη του Τμήματος Χημικών Μηχανικών του Ε.Μ.Π. («Generation and management of construction and demolition waste in Greece - an existing challenge») υπολογίστηκε με βάση τον ετήσιο αριθμό των αδειών και κατεδαφίσεων, ότι η χώρα μας παράγει περίπου 2,2 εκατ. τόνους άχρηστων υλικών το χρόνο. Αν στον αριθμό αυτό προστεθούν τα υλικά από τα μεγάλα έργα υποδομών και ανάπτυξης (οδικά έργα, γέφυρες κ.λ.π.), η ποσότητα των οικοδομικών απορριμμάτων ξεπερνά τα 3,9 εκατομμύρια τόνους. Καθώς ένας μεγάλος αριθμός κτιρίων στην Ελλάδα θεωρείται πλέον γηρασμένος, προβλέπεται ότι στο μέλλον θα απαιτηθεί ένας σημαντικός αριθμός εργασιών επισκευής ακόμη και κατεδαφίσεων, ο οποίος αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τον όγκο των οικοδομικών απορριμμάτων. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ένα οργανωμένο δίκτυο συλλογής και αξιοποίησής τους, η διαχείριση των υλικών αυτών σήμερα γίνεται αποσπασματικά, δημιουργώντας μεγάλα προβλήματα στο περιβάλλον εξαιτίας της ανεξέλεγκτης διάθεσής τους (www.minenv.gr). Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας & Κλιματικής Αλλαγής, 6,5 εκατομμύρια τόνοι υλικών εκσκαφών, κατασκευών και

κατεδαφίσεων απορρίπτονται ανεξέλεγκτα σε χωματερές, λατομεία και ρέματα σε ετήσια βάση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ρυπαίνεται το περιβάλλον και να χάνονται πολύτιμες πρώτες ύλες. Μόνο στο λεκανοπέδιο της Αττικής, παράγονται ημερησίως 5.000 τόνοι αδρανών, ποσότητα συγκρίσιμη με την παραγωγή οικιακών απορριμμάτων (Παπαδάκη, 2013). Για την εκτίμηση της ποσότητας των ΑΕΚΚ που παράγονται από τις κατασκευές εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι, κάθε μία από τις οποίες χρησιμοποιεί διαφορετικές υποθέσεις και παραμέτρους για την εκτίμηση των ΑΕΚΚ. Η Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ έχει αναπτύξει υπολογιστικό μοντέλο για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων ΑΕΚΚ, βάση ανάλυσης στατιστικών στοιχείων που περιέχει. Οι παράμετροι που λαμβάνει υπόψη το μοντέλο για την εκτίμηση των παραγόμενων ποσοτήτων των ΑΚΚ είναι:

- Επιφάνεια νέων κατασκευών και προσθηκών / επεκτάσεων
- Εκτίμηση όγκου παραγόμενων ΑΚΚ ανά 100 m²
- Πυκνότητα αποβλήτων (σχέση όγκου / βάρους).

Η παραγόμενη ποσότητα αποβλήτων κατασκευής υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$CW = [NC + EX] * VW * D$$

όπου:

CW: Απόβλητα κτηριακών κατασκευών σε τόνους

NC: Εμβαδόν νέων κατασκευών

EX: Προσθήκες σε υφιστάμενες οικοδομές

VW: Όγκος παραγόμενου αποβλήτου ανά εμβαδόν νέας οικοδομής

D: Πυκνότητα αποβλήτου

Η εξίσωση για τα **απόβλητα κατεδαφίσεων** έχει τη μορφή:

$$DW = ND * SD * WD * D$$

όπου:

DW: Απόβλητα κατεδαφίσεων σε τόνους

ND: Αριθμός κατεδαφίσεων

SD: Μέσο εμβαδόν των κτηρίων

WD: Παραγόμενο απόβλητο για κάθε κατεδάφιση

D: Πυκνότητα παραγόμενου αποβλήτου

Η εξίσωση για τα **απόβλητα εκσκαφών** είναι:

$$EW = ND * ES * ED * D$$

όπου:

EW: Απόβλητα εκσκαφών σε τόνους

ND: Αριθμός αδειών νέων κατασκευών

ES: Μέση επιφάνεια εκσκαφής

ED: Μέσο βάθος εκσκαφής

D: Πυκνότητα παραγόμενου αποβλήτου

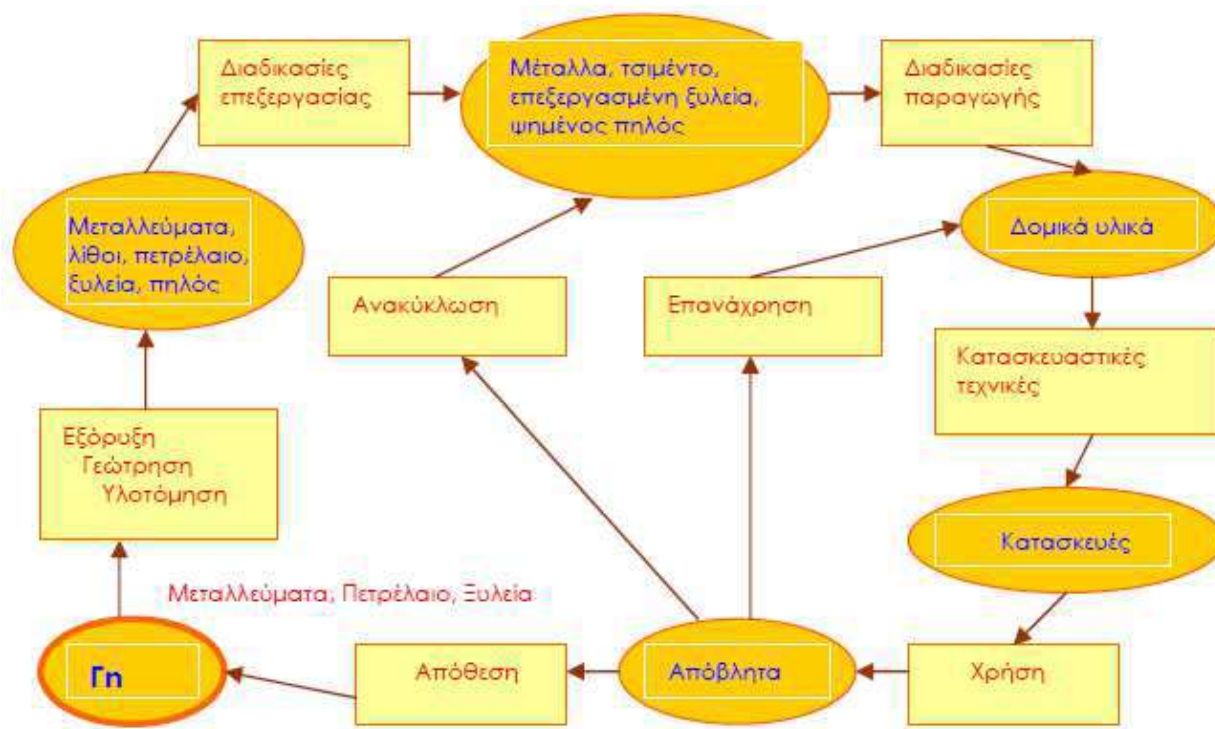
Στον Πίνακα 4 απεικονίζεται η εκτίμηση των παραπάνω παραμέτρων για την περίπτωση της Κύπρου και της Ελλάδας το 2011. Για τον υπολογισμό της ποσότητας των αποβλήτων απαιτούνται επιπλέον στοιχεία αναφορικά με τον αριθμό των κατεδαφίσεων και των ανεγέρσεων νέων οικοδομών (www.eedsa.gr).

Πίνακας 4. Ποσότητες αποβλήτων για Κύπρο και Ελλάδα (www.eedsa.gr).

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΥΠΡΟΣ	ΕΛΛΑΔΑ
Όγκος Αποβλήτων Κατασκευών ανά εμβαδόν νέας οικοδομής	0,1 m ³ / m ²	0,06 m ³ / m ²
Πυκνότητα Αποβλήτων Κατασκευών	1,2 tn/m ³	1,6 tn/m ³
Μέσο εμβαδόν Κτηρίων	370 m ²	260 m ²
Μέσος Αριθμός Ορόφων ανά κτήριο	1,5	2
Όγκος Αποβλήτων Κατεδαφίσεων ανά εμβαδόν οικοδομής	1,5 m ³ / m ²	0,8 m ³ / m ²
Πυκνότητα Αποβλήτων Κατεδαφίσεων	1,5 tn/m ³	1,6 tn/m ³
Μέση Επιφάνεια Εκσκαφής	250 m ²	130 m ²
Μέσο Βάθος Εκσκαφής	2 m	3 m
Πυκνότητα Αποβλήτου Εκσκαφών	1,4 tn/m ³	1,4 tn/m ³

1.2.2 Ανακύκλωση ΑΕΚΚ και βαθμός επαναχρησιμοποίησης σε Ευρώπη και Ελλάδα

Ανακύκλωση υλικών ή ανακύκλωση είναι η ειδική επεξεργασία χρησιμοποιημένων και φαινομενικά άχρηστων υλικών ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν (με κυκλικό τρόπο επανάκτηση-επαναχρησιμοποίηση των μη ανανεώσιμων αγαθών όπως είναι το μέταλλο, το χαρτί, το γυαλί, το νερό των αποβλήτων κ.ά.). Σήμερα το πρόβλημα της εξάντλησης πολύτιμων φυσικών πόρων αποτελεί ένα από τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Οι πρώτες ύλες των οικοδομικών υλικών προέρχονται από φυσικούς πόρους του εδάφους και υπεδάφους τα γνωστά μας πετρώματα και τα μεταλλεύματα που αποτελούν τμήμα των μη ανανεώσιμων πόρων της γης. Η ανακύκλωση των υλικών αυτών μπορεί, όπως φαίνεται παραστατικά στο Σχήμα 1, να συμβάλλει σημαντικά στην εξοικονόμηση πρωτογενών πρώτων υλών (Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013).



Σχήμα 1. Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου ζωής των υλικών (Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013).

Η κατασκευαστική βιομηχανία είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής ακατέργαστων πρώτων υλών μετά τη βιομηχανία τροφίμων (Berge, 2000). Μία 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.

Τα φυσικά μη ανανεούμενα υλικά πρέπει να χρησιμοποιούνται με μέτρο ώστε να συνεχίσουν να υφίστανται. Οι ποσότητες των φυσικών πόρων που υπάρχουν στη γη, παρόλο που για την ανθρώπινη κλίμακα φαίνονται μεγάλες ώστε να θεωρούνται ανεξάντλητες, είναι σαφώς περιορισμένες. Επιπλέον, ο παράγοντας που περιορίζει καθοριστικά τη 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. Τα τμήματα αυτά ονομάζονται αποθέματα των φυσικών πόρων, τα οποία είναι περιορισμένες και εξαντλήσιμες ποσότητες του συνόλου των φυσικών πόρων. Η αύξηση των αποθεμάτων είναι δυνατή (Γεωργιάδου, 1996):α) με τον εντοπισμό σε προσιτές περιοχές, νέων, μεγάλων αποθεμάτων που δεν ήταν γνωστά, αν και οι πιθανότητες είναι μικρές, καθώς οι έρευνες έχουν προχωρήσει με την πρόοδο της τεχνολογίας των γεωλογικών ερευνών.

β) με την εξέλιξη της εξορυκτικής τεχνολογίας μπορεί να γίνει καλύτερη εκμετάλλευση των κοιτασμάτων.

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 άνθρωπο (Γεωργιάδου, 1996).

Όσον αφορά τα αποθέματα των πετρωμάτων δεν υπάρχει οξύ πρόβλημα εξάντλησης, παρόλο ότι για ορισμένα από αυτά παρατηρείται αξιοσημείωτη μείωση π.χ. για τα ασβεστολιθικά πετρώματα που αποτελούν το 80% της μάζας του σκυροδέματος (Γεωργιάδου, 1996). Υλικά που

υπάρχουν σε αφθονία στην κλίμακα του τοπικού περιβάλλοντος μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπό τον όρο ότι η εξόρυξή τους δεν προκαλεί αισθητική υποβάθμιση. Οι εξορύξεις άμμου και η παραγωγή σκύρων για την οικοδομική δραστηριότητα το 1950 πλησίαζαν τα 17 εκατ. τόνους στη Γαλλία, και το 2000 ξεπέρασαν τα 400 εκατ. τόνους, προκαλώντας σημαντική αισθητική υποβάθμιση του φυσικού τοπίου (Gauzin-Muller, 2003 στην Τομπά, 2005).

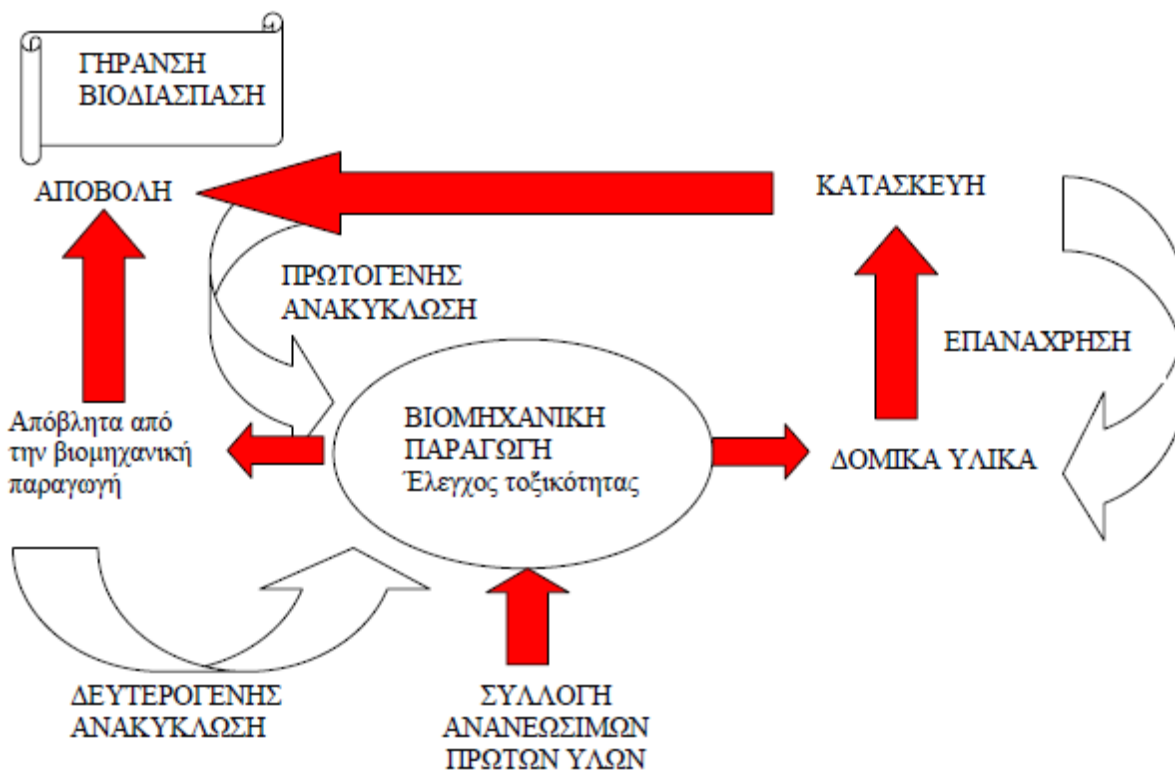
Σε περιπτώσεις οργανωμένης εκμετάλλευσης, η αποκατάσταση του τοπίου θα πρέπει να είναι συνεχής και να μη γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να αλλοιώνει το τοπικό οικοσύστημα της αποκαταστημένης περιοχής. Η υπερβολική εκμετάλλευση οδηγεί συνήθως σε μεγάλη περιβαλλοντική υποβάθμιση και αλλαγή του τοπίου. Μονάδες παραγωγής δομικών υλικών που παράγουν όχι μόνο για τοπική χρήση αλλά και για εξαγωγές, δημιουργούν προβλήματα περιβαλλοντικής υποβάθμισης. 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, κλπ. (Τομπά, 2005).

Η ανακύκλωση είναι μία απόπειρα να μιμηθεί ο άνθρωπος τους κύκλους της φύσης, οι οποίοι γενικά αποτελούν θετικά παραδείγματα αποτελεσματικής λειτουργίας και σταθερότητας. Πραγματικά οι φυσικοί κύκλοι δε χρειάζονται τροφοδότηση με πρώτες ύλες και δε δημιουργούν απόβλητα. Είναι λοιπόν υποδείγματα τέλει ανακύκλωσης.

- Ανακυκλωμένα πρωτογενώς είναι τα προϊόντα που ανακτώνται από τα υλικά <<απορρίμματα>>-κατεδάφισης.
- Ανακυκλωμένα δευτερογενώς είναι τα υλικά που προκύπτουν ως παραπροϊόντα άλλων διεργασιών (εξορυκτική βιομηχανία, σκωρίες, πριονίδι).

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; Πολλές φορές προκύπτει ένα υλικό να απαιτεί μεγαλύτερο κόστος και ενέργεια να το ανακυκλώσουμε ή να το επαναχρησιμοποιήσουμε παρά να το παράγουμε εξ' αρχής. Εδώ προκύπτει η ηθική πλευρά της ανακύκλωσης η οποία οφείλει να επιβάλλεται. Γενικά ισχύει η αρχή ότι τα υλικά που έχουν μικρή διαδικασία βιομηχανικής παραγωγής ανακυκλώνονται εύκολα. Δηλαδή σε υλικά που έχει επέμβει σημαντικά ο ανθρώπινος

παράγοντας με πολύπλοκες διαδικασίες (υψηλές θερμοκρασίες και σύνθετες χημικές αντιδράσεις) είναι δύσκολο όταν υποστούν γήρανση να ανακυκλωθούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της ιδιότητας αυτής αποτελούν τα πλαστικά. Φυσικά, υλικά που βιοδιασπώνται είναι τα καλύτερα και γηράσκουν ομαλά, ακολουθώντας τη ροή και τους χρόνους της φύσης.



Σχήμα 2. Διάγραμμα ροής της ανακύκλωσης των υλικών (Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013).

Σήμερα πολλές φορές η κατασκευή γίνεται αποδέκτης υλικών <<απορριμμάτων>> και τα υλικά που εντάσσονται μέσα σε αυτή έχουν προκύψει από κάποια άλλη παραγωγική διαδικασία. Μέχρι σήμερα έχουν αξιοποιηθεί σημαντικά τα πριονίδια του ξύλου για την παραγωγή ινοσανίδων και μοριοσανίδων ενώ έχουν αξιοποιηθεί και άλλα περισσότερο ευφάνταστα υλικά όπως τα πτίλα (πούπουλα) που χρησιμοποιούνται στην παρασκευή αερικού σκυροδέματος. Επίσης γίνονται προσπάθειες να απορροφηθούν και άλλα υλικά στο κτήριο έτσι ώστε το κτήριο να αποτελέσει επί της ουσίας μία αποθήκη <<άχρηστων>> υλικών και να μην απαιτείται εξόρυξη ή παραγωγή νέων υλικών. Στις ΗΠΑ εφαρμόζονται ήδη δομικά στοιχεία από άχυρα για την κατασκευή ακόμα και φερόντων στοιχείων.

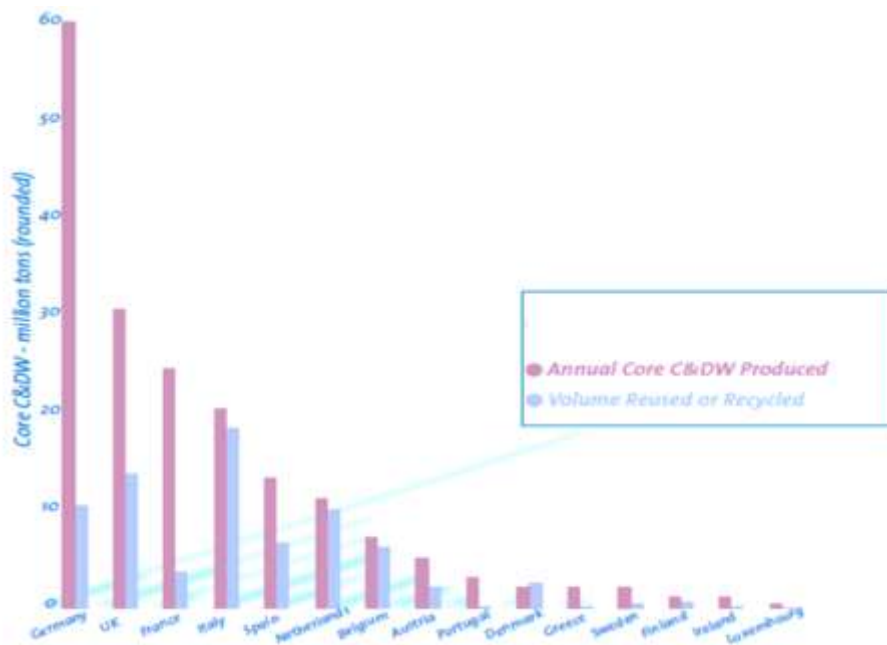
Στην Ελλάδα γίνεται χρήση της ιπτάμενης τέφρας η οποία προκύπτει ως απόβλητο από εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμο λιγνίτη. Η ιπτάμενη τέφρα χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα και έχει αρχίσει να έχει ευρεία εφαρμογή. Η τοξικότητά της περιορίζει τη χρήση της σε κατασκευές που δεν είναι σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο (δεχρησιμοποιείται σε σκυρόδεμα στην κατασκευή κτηρίων). Στην Ελλάδα το έτος 1998 κατασκευάστηκε το μεγαλύτερο φράγμα στον κόσμο από RCC (σκυρόδεμα με ιπτάμενη τέφρα) στη θέση Πλατανόβρυση στο Νέστο. Παράλληλα υπάρχουν προτάσεις για την εφαρμογή του υλικού αυτού στην οδοποιία.

Όσον αφορά στις υπάρχουσες κατασκευές τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν είναι:

- Δομικά στοιχεία από λίθους χωρίς κονίαμα (ξερολιθιά).
- Ορισμένα μονωτικά (εφ' όσον δεν έχουν υποστεί γήρανση και είναι σε καλή κατάσταση).
- Ξυλεία φέροντος οργανισμού κ.λ.π.
- Προϊόντα γύψου (γυψοσανίδες κ.λ.π.)
- Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν δομικά 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. Είναι δυνατή όμως η επεξεργασία τους και η επαναχρησιμοποίησή τους σαν υλικά οδοποιίας είτε σαν αδρανή υλικά ή και σαν ειδικά δομικά υλικά . Η επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να μειώσει κατά 95% την ενσωματωμένη ενέργεια των υλικών η οποία διαφορετικά θα χανόταν ως απόβλητο.

Ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης των ΑΕΚΚ ποικίλει σε μεγάλο βαθμό σε ολόκληρη την Ε.Ε. από λιγότερο από 10% έως και πάνω από 90%. Στο Διάγραμμα 3, φαίνεται η ετήσια παραγωγή ΑΕΚΚ ανά Ευρωπαϊκή χώρα καθώς και ο βαθμός επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης (EUROPEAN Commission, 2011).



Διάγραμμα 3. Ετήσιο μέγεθος παραγωγής ΑΕΚΚ και βαθμός επαναχρησιμοποίησης ανά Ευρωπαϊκή χώρα(European Commission, 2011).

1.2.3. Τεχνικές διαχείρισης ΑΕΚΚ

Ο κύκλος ζωής ενός οικοδομικού υλικού όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3, περιέχει τα εξής στάδια:

- Συλλογή-εξόρυξη
- Βιομηχανική παραγωγή-επεξεργασία
- Κατασκευή
- Χρήση της κατασκευής
- Κατεδάφιση
- Επανάχρηση, ανακύκλωση, βιοδιάσπαση

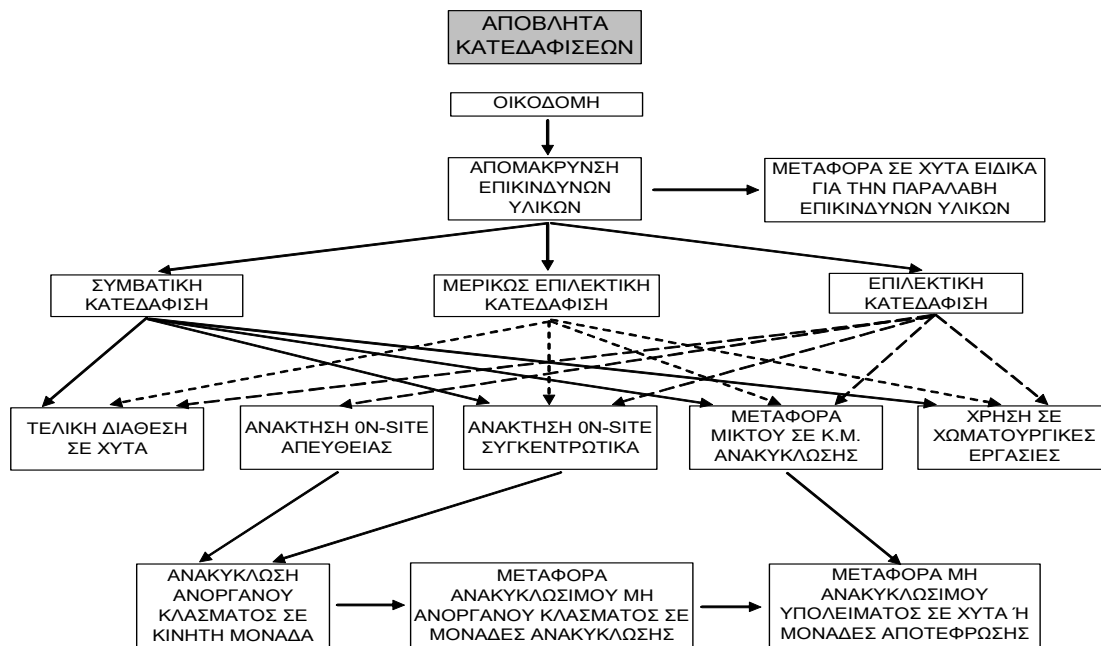


Σχήμα 3. Τα στάδια του κύκλου ζωής δομικού υλικού (Τεχνική έκθεση DURECOBEL, 2013).

Τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων κατεδαφίσεων

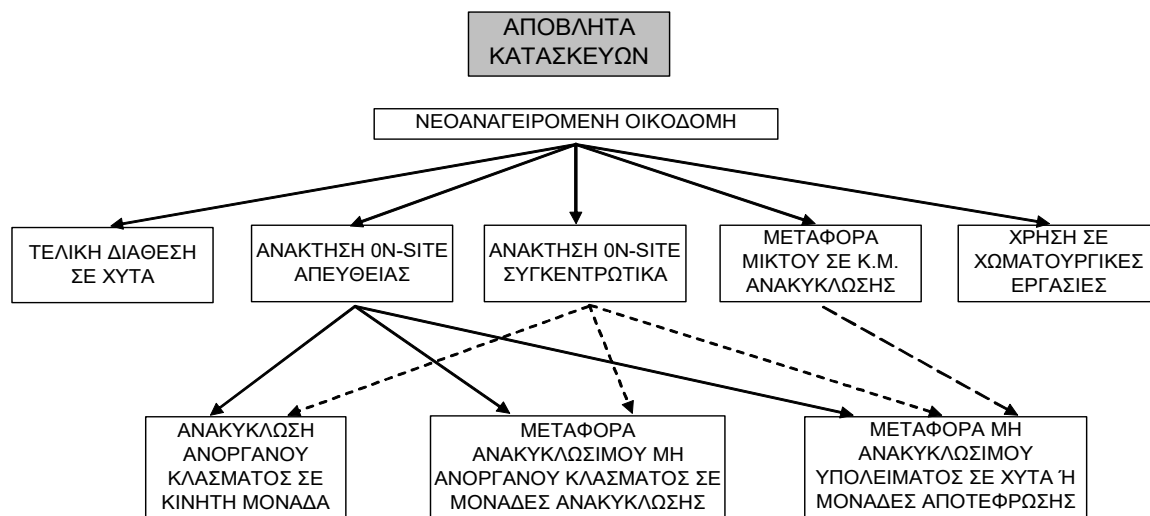
Οι παρακάτω ενέργειες θα πρέπει να λαμβάνουν χώρα κατά τη κατεδάφιση ενός κτιρίου (Διάγραμμα 4):

- ✓ Απομάκρυνση των εναπομεινάντων επίπλων και υπαρχόντων.
- ✓ Απομάκρυνση όλων των αποβλήτων που απαιτούν ιδιαίτερη επεξεργασία, όπως ο αμίαντος, χημικά απόβλητα κ.λπ.
- ✓ Απομάκρυνση υλικών που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, όπως πόρτες, παράθυρα και πατώματα. Απομάκρυνση της γύψου και των μονωτικών υλικών.
- ✓ Αποσυναρμολόγηση της κατασκευής της οροφής και απομάκρυνση των υλικών με στόχο την επαναχρησιμοποίηση.
- ✓ Κατεδάφιση των τοίχων και διαλογή των μπαζών.
- ✓ Διαχωρισμός των μπαζών από ακαθαρσίες όπως χαρτιά, ξύλο και πλαστικά



Διάγραμμα 4. Τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων κατεδαφίσεων (Πηγή:<http://www.uest.gr/>)

Στο Διάγραμμα 5, παρουσιάζονται οι τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων που προέρχονται από κατασκευές.



Διάγραμμα 5. Τεχνικές διαχείρισης αποβλήτων κατασκευών (Πηγή:<http://www.uest.gr/>)

Μια βασική διαφορά ανάμεσα στα απόβλητα που προκύπτουν από τα εργοτάξια όπου λαμβάνει χώρα κατασκευαστική δραστηριότητα και στα απόβλητα από κατεδαφίσεις είναι ότι ο εργολάβος στο εργοτάξιο γνωρίζει (ή οφείλει να γνωρίζει) ακριβώς τη σύσταση των υλικών που χρησιμοποιούνται. Έχει τη δυνατότητα να οργανώσει καλύτερα τη διαχείριση των αποβλήτων που προκύπτουν, καθώς και να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν κατά το σχεδιασμό διαχείρισης. Ο εργολάβος οφείλει να διατηρεί αποθέματα υλικών για την αποφυγή τυχόν καθυστερήσεων στην ολοκλήρωση της κατασκευής. Στα εργοτάξια που λαμβάνει χώρα κατασκευαστική δραστηριότητα, εξαιτίας των δύσκολων εργασιακών συνθηκών, κάποια δομικά υλικά αναπόφευκτα καταστρέφονται. Σε αυτή την περίπτωση ο εργολάβος οφείλει να προμηθευτεί νέα ποσότητα υλικών αλλά και να διαχειριστεί τα κατεστραμμένα υλικά που χαρακτηρίζονται ως απόβλητα.

Επεξεργασία μίγματος ΑΚΚ

Σε μία κεντρική μονάδα ανακύκλωσης, το μίγμα των ΑΚΚ υφίσταται χειροδιαλογή προτού οδηγηθεί στο μαγνητικό διαχωριστή και στο κόσκινο για πρώτη φορά. Ακολουθεί εκ νέου διαχωρισμός για την απομάκρυνση των πλαστικών, ξύλων, χαρτιών και των μη σιδηρούχων μεταλλικών αποβλήτων. Τα μικτά απόβλητα από κατασκευές και κατεδαφίσεις οδηγούνται στη συνέχεια σε ειδικούς θραυστήρες με σιαγόνες (jaw crusher) και ακολούθως σε μαγνητικό διαχωριστή πριν περάσουν από τον αεροδιαχωριστή (air separator) ο οποίος απομακρύνει τα ελαφρά υλικά (μικρά κομμάτια χαρτιού και πλαστικού) που δεν απομακρύνθηκαν από τον προηγούμενο διαχωρισμό και το κλάσμα των αδρανών υλικών 0-4mm (Διάγραμμα 6). Το κλάσμα των 4-45mm δύναται να κοσκινιστεί με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε για τα πλακάκια, τα τούβλα και το σκυρόδεμα. Κάποιες εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις διαθέτουν ακόμα και μονάδες κομποστοποίησης και επεξεργασίας ξύλου (<http://www.eedsa.gr/>)



Διάγραμμα 6. Διαδικασία διαχείρισης ΑΚΚ σε κεντρική μονάδα ανακύκλωσης (ΕΕΔΣΑ, 2010)

1.2.4. Κύριες χρήσεις ΑΕΚΚ

Τα υλικά που λαμβάνονται συνήθως κατά τη διαδικασία διαχείρισης των ΑΚΚ είναι κυρίως:

- Μέταλλο
- Αλουμίνιο
- Πλαστικό
- Χαρτί
- Γυαλί

Τα πλαστικά παραπροϊόντα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε:

- Προϊόντα πλαστικής ξυλείας (π.χ. παγκάκια, έπιπλα κήπου κ.ά.)
- Διαχωριστικά αυτοκινητοδρόμων (new jersey barriers)
- Κώνοι ρύθμισης της κυκλοφορίας

Το γυαλί μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για:

- Παραγωγή ινών γυαλιού για την κατασκευή ηχομονωτικών και θερμομονωτικών υλικών.
- Κεραμικά πλακάκια από 100% ανακυκλωμένο γυαλί, τα οποία παρουσιάζουν εξαιρετικά ανακλαστική επιφάνεια μετά το γυάλισμα.

Το ανακυκλωμένο ξύλο έχει εφαρμογή σε:

- Κατασκευή MDF (συμπιεσμένα φύλλα μεσαίας πυκνότητας από ίνες μαλακής ξυλείας).
- Παραγωγή προϊόντων όπως ξύλινα δάπεδα ή σανίδες κόντρα πλακέ.
- Χρήση σε συνδυασμό με ανακυκλωμένα πλαστικά για τη δημιουργία εξαιρετικά αποτελεσματικών, υψηλής απόδοσης, συνθετικών υλικών. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σε συσκευασίες, σε εξαρτήματα αυτοκινήτων ή σε διάφορες εξωτερικές κατασκευές (π.χ. παγκάκια).

Εκτός από τα παραπάνω υλικά, λαμβάνονται και ορυκτά απόβλητα. Τα ορυκτά απόβλητα για χρήση σε οικοδομικές εργασίες είναι:

- Σκυρόδεμα
- Τούβλα, σοβάδες
- Πλακάκια

Το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- Ως αδρανές υλικό, αντικαθιστώντας το χαλίκι και την άμμο.
- 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 χρησιμοποιηθούν:

- Ως υπόβαση 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.

1.3 Χρήση ΑΕΚΚ για παραγωγή δομικών στοιχείων

Όσον αφορά τη διαδικασία χύτευσης ελεύθερης ροής, μόνο πρόσφατα η χρήση παιπάλης έχει ερευνηθεί ως πρόσθετο για την παραγωγή κοινού αυτοσυμπυκνούμενου σκυροδέματος (SCC) (Bosiljkov, 2003; Felekoglu, 2007). Ωστόσο, αυτά τα σκυροδέματα προορίζονταν για διαφορετικές χρήσεις από την παραγωγή δομικών στοιχείων, όπως προτείνεται στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία. Επιπλέον, καμία από τις παραπάνω ερευνητικές μελέτες δεν αξιολόγησε τη χρήση της σκόνης λατομείων (παιπάλη) και των αδρανών / άμμου που παράγονται από τα ΑΕΚΚ, ως το κύριο συστατικό των χυτεύσιμων μιγμάτων με βασική συνδετική ύλη το τσιμέντο. Η έλλειψη ευρέως αποδεκτών μοντέλων για την αξιολόγηση της σύνθεσης αυτών των μιγμάτων είναι επίσης εμφανής. Σε αυτή την εργασία, θα αναπτυχθούν και θα δοκιμαστούν νέες διαδικασίες σχεδιασμού συνθέσεων, που συνδυάζουν υπάρχοντα θεωρητικά μοντέλα και στατιστικά σχεδιασμένο πειραματισμό.

Τα τελευταία χρόνια, έχουν διερευνηθεί διάφορες ιδιότητες των ανακυκλωμένων αδρανών (RA) που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σκυροδέματος. Σήμερα, η χρήση αυτών των υλικών διερευνάται ως αποτέλεσμα διεθνούς νομοθεσίας και προδιαγραφών, όπως BS-8500 και DIN 4226.100, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και να μειωθεί η ποσότητα φυσικών αδρανών που χρησιμοποιούνται κυρίως σε παραγωγή σκυροδέματος. Στις μεσογειακές χώρες, όπως η Ελλάδα, η Ισπανία, η Πορτογαλία και η Ιταλία, τα αρχιτεκτονικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται κυρίως στα κτίρια περιέχουν κεραμικά στοιχεία σε συνδυασμό με κονίαμα και σκυρόδεμα, συμπεριλαμβανομένων μερικές φορές γύψου σε εσωτερικές επιφάνειες. Επομένως, δεν είναι ασυνήθιστο να ανιχνεύονται μεγάλα κεραμικά σωματίδια σε

ανακυκλωμένα αδρανή προερχόμενα από ΑΕΚΚ (Angulo, S.C., et al., 2010). Επιπλέον, τα ανακυκλωμένα αδρανή περιέχουν μικρές ποσότητες άλλων υλικών, όπως γύψο και άσφαλτο, τα οποία θεωρούνται ακαθαρσίες λόγω της αρνητικής τους επίδρασης στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Η περιεκτικότητα αυτών των ακαθαρσιών εξαρτάται από την προέλευση των αποβλήτων καθώς και από τη διαδικασία που ακολουθείται στην εγκατάσταση ανακύκλωσης και κυμαίνεται μεταξύ 0% και 35% για σωματίδια ασφάλτου και 0-5% για γύψο. Η χρήση του λεπτού κλάσματος συνήθως αποκλείεται, λόγω της υψηλότερης ικανότητας απορρόφησης και της παρουσίας ακαθαρσιών που γενικά επιδεινώνουν τις φυσικές ιδιότητες του ανακυκλωμένου σκυροδέματος, όπως η απορρόφηση και η ενανθράκωση του νερού. Μόνο μερικές εφαρμογές στον τομέα των μη δομικών σκυροδέματος έχουν αναφερθεί με τη χρήση μικτών ανακυκλωμένων αδρανών, κυρίως λόγω της έλλειψης διεθνών κανονισμών και της χαμηλής ποιότητας των ανακυκλωμένων αδρανών. Ωστόσο, σε αντίθεση με το συμβατικό σκυρόδεμα (CC), δεν έχουν αναφερθεί μεγάλες εφαρμογές σκυροδέματος από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα και εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη γνώσεων όσον αφορά την παραγωγή και τις επιδόσεις του ανακυκλωμένου αδρανούς σκυροδέματος (Fonseca, N., et al., 2011).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Μέθοδοι και Υλικά

Τα δείγματα που συλλέχτηκαν χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τη λατομική παιπάλη και τα ανακυκλωμένα αδρανή από ΑΕΚΚ. Τα δείγματα της λατομικής παιπάλης προέρχονται από το σύστημα ξήρανσης και αποκονίωσης μαρμαρόσκονης που αποτελεί το βασικό αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται σε έτοιμα κονιάματα, της εταιρίας FINOMIX. Τα δείγματα αυτά προέρχονταν από σιλό και ήταν ομογενοποιημένα.

Τα δείγματα των ανακυκλωμένων αδρανών προέρχονταν από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, τσιμεντοειδή προϊόντα (κυβόλιθους και πλακίδια) και υπολείμματα έτοιμου σκυροδέματος, τούβλα και κονιάματα από κατεδάφιση τοιχοποιιών, κεραμικά πλακάκια, κεραμίδια, λεκάνες, κεραμικές μπανιέρες κλπ, από την κατεδάφιση κτιρίων. Η δειγματοληψία έγινε στις εργοταξιακές εγκαταστάσεις επεξεργασίας των ΑΕΚΚ όπου έγινε αρχικός διαχωρισμός των υλικών με χειροδιαλογή. Από τους σωρούς των ανακυκλωμένων αδρανών που παρήχθησαν ελήφθη με διαδικασίες τετραμερισμού βάρους περίπου 30 κιλών για κάθε διαφορετικό υλικό. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα ανακυκλωμένα υλικά που ελήφθησαν, οι κωδικοί των δειγμάτων και πληροφορίες σε σχέση με το είδος των υλικών και την προέλευση τους.

Πίνακας 5. Περιγραφή και κωδικοποίηση των δειγμάτων που ελήφθησαν από τα ανακυκλωμένα υλικά.

Κωδικός Δείγματος	Περιγραφή δείγματος
QC6	Υλικό κατεδάφισης προερχόμενο από αφαίρεση κεραμικών πλακιδίων τοίχου (πλακίδια, συνδετική κονία). Προέλευση: Αποκατάσταση εξοφλημένου λατομείου Καλορούματος, Ακρωτηρίου Χανίων
QC7	Υλικό κατεδάφισης προερχόμενο από καθαίρεση τοίχου οπτοπλίνθων (κεραμικά τούβλα, επιχρίσματα, συνδετική κονία). Προέλευση: Αποκατάσταση εξοφλημένου λατομείου Κλορούματος, Ακρωτηρίου Χανίων
QC8	Υλικό κατεδάφισης προερχόμενο από καθαίρεση οικοδομικών στοιχείων σκυροδέματος . Προέλευση: Αποκατάσταση εξοφλημένου λατομείου Καλορούματος, Ακρωτηρίου Χανίων
QC9	Παιπάλη ασβεστολίθου λατομικής προέλευσης (ΛΑΧΟΡ ΑΕ) προϊόν αέριας συλλογής εντός του ξηραντήρα

QC10	Παιπάλη ασβεστολίθου λατομικής προέλευσης (ΛΑΧΟΡ ΑΕ) προϊόν αέριας συλλογής εντός του κλιβάνου παρασκευής ασφαλτομίγματος
QC11	Παιπάλη μαρμάρου λατομικής προέλευσης (ΛΑΧΟΡ ΑΕ) προϊόν αέριας συλλογής εντός του ξηραντήρα (παιπάλη μαρμάρου ξηραντήρα)
QC19	Πολυσυλλεκτικό δείγμα υλικών κατεδάφισης αποτελούμενο από επιχρίσματα, απορριφθέν σκυροδέμα ("επιστροφές") και οπτοπλίνθους (κεραμικά τούβλα). Έχει υποστεί θραύση. Προέλευση: Σταθμός ετοιμού σκυροδέματος εταιρείας TEXNOMPIETON.
QC20	Υπολείμματα απόρριψης σκυροδέματος ("επιστροφές"). Έχει υποστεί θραύση. Προέλευση: Σταθμός ετοιμού σκυροδέματος εταιρείας TEXNOMPIETON (ανακυκλωμένο σκυρόδεμα).
QC21	Πολυσυλλεκτικό δείγμα αποτελούμενο από απορριφθέν σκυρόδεμα, κυβόλιθους, πλάκες πεζοδρομίου και κράσπεδα. Έχει υποστεί θραύση. Προέλευση: Σταθμός ετοιμού σκυροδέματος εταιρείας TEXNOMPIETON (τσιμεντοειδή).
QC22	Ανακυκλωμένα κεραμίδια TEXNOMPIETON
QC24	Παιπάλη μαρμάρου λατομικής προέλευσης (ΛΑΧΟΡ ΑΕ) προϊόν αέριας συλλογής απαγωγών κατά τη γραμμή παραγωγής (παιπάλη μαρμάρου φίλτρου)
QC28	Υλικό κατεδάφισης προερχόμενο από αφαίρεση κεραμικών πλακιδίων τοίχου (πλακίδια, συνδετική κονία). Προέλευση: Αποκατάσταση εξοφλημένου λατομείου Καλορούματος, Ακρωτηρίου Χανίων, 2η παρτίδα
QC29	Ανακυκλωμένα κεραμίδια TEXNOMPIETON, 2η παρτίδα
QC30	Υπολείμματα απόρριψης σκυροδέματος ("επιστροφές"). Έχει υποστεί θραύση. Προέλευση: Σταθμός ετοιμού σκυροδέματος εταιρείας TEXNOMPIETON (ανακυκλωμένο σκυρόδεμα), 2η παρτίδα

2.1 Χαρακτηρισμός παιπάλης

Η παιπάλη που χρησιμοποιήθηκε προέρχεται από το σύστημα ξήρανσης και αποκονίωσης μαρμαρόσκονης που αποτελεί το βασικό αδρανές υλικό που χρησιμοποιείται σε έτοιμα κονιάματα (Εικόνα 2). Το υπερλεπτομερές κλάσμα της μαρμαρόσκονης (παιπάλη) απομακρύνεται με τη χρήση ρεύματος αέρα και μέσω συστήματος σακκόφιλτρων συλλέγεται

και συγκεντρώνεται σε σιλό. Η απομάκρυνση της παιπάλης από τη μαρμαρόσκονη επιβάλλεται από τις προδιαγραφές κοκκομετρίας των αδρανών υλικών των ετοιμών κονιαμάτων. Η ποσότητα της παιπάλης που απομακρύνεται αποτελεί σημαντικό ποσοστό της χρησιμοποιούμενης μαρμαρόσκονης (~25%). Από τα σιλό αποθήκευσης της παιπάλης πάρθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα (παιπάλη ασβεστολίθου προϊόν αέριας συλλογής εντός του ξηραντήρα QC9, παιπάλη μαρμάρου ξηραντήρα QC11, παιπάλη μαρμάρου φίλτρου QC24) και προσδιορίστηκε η κοκκομετρία, η ειδική επιφάνεια και η ορυκτολογική-χημική της σύσταση. Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων laser, μετρήθηκε η ειδική επιφάνεια κατά Blaine και η ορυκτολογική ανάλυση με περίθλαση ακτίνων-X.

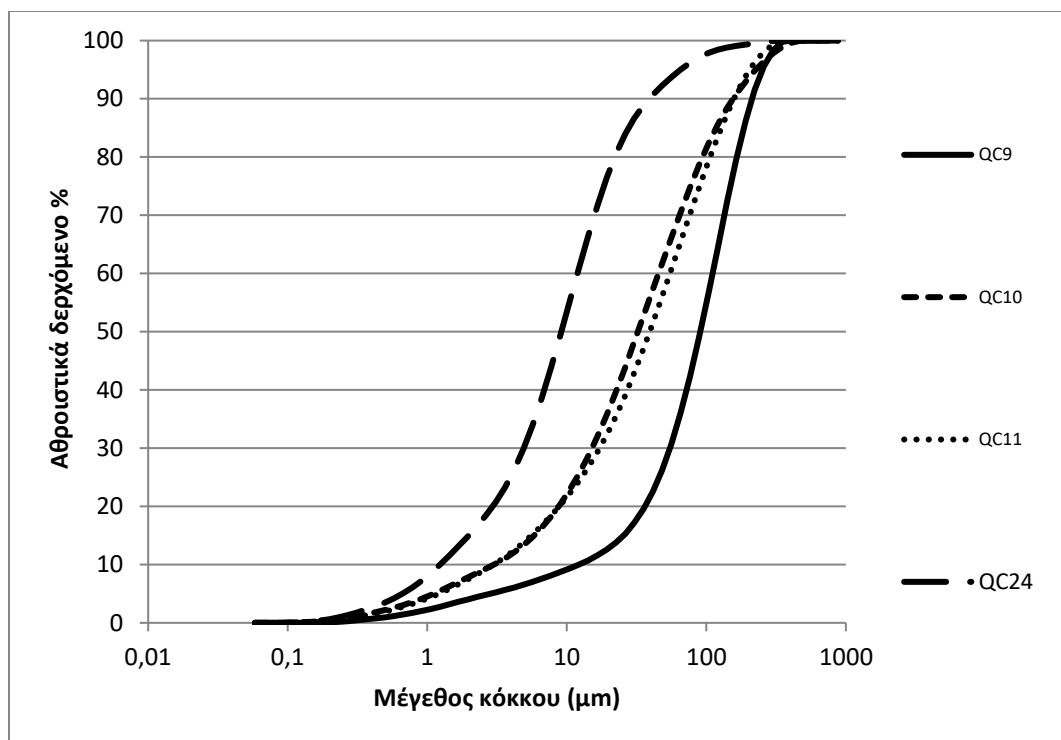


Εικόνα 2. Παιπάλη μαρμαρόσκονης

2.2.1 Αναλύσεις παιπάλης για κοκκομετρία με laser

Η κοκκομετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο περίθλασης ακτίνων laser, με την βοήθεια του συστήματος “Mastersizer S” του οίκου Malvern instruments. Με τη μέθοδο περίθλασης των ακτίνων laser μετράται η ισοδύναμη διάμετρος σφαίρας με όγκο ίσο με αυτόν του σωματιδίου (dv) και το εύρος μεγεθών που μετρείται περιλαμβάνει πολύ λεπτά σωματίδια (από 1000μm - 0.1μm) που δεν υπολογίζονται εύκολα με τις άλλες μεθόδους. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη διάχυση και διάθλαση των ακτίνων από αιωρούμενα σωματίδια. Καθώς η ακτίνα laser διέρχεται από το προς ανάλυση δείγμα ανακλάται σχηματίζοντας ένα μεγάλο εύρος γωνιών σε σχέση με τον ανιχνευτή που βρίσκεται απέναντι. Το εύρος των γωνιών ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος των σωματιδίων που εξετάζονται. Εκτός από το μέγεθος των σωματιδίων, η διέλευση της ακτίνας laser εξαρτάται και από την πυκνότητά τους.

Οι καμπύλες αθροιστικά διερχόμενων μεγεθών φαίνονται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Καμπύλες αθροιστικά διερχόμενων μεγεθών δειγμάτων παιπάλης.

Η κοκκομετρική ανάλυση, έδειξε ότι το απομακρυνόμενο υπερλεπτομερές κλάσμα της μαρμαρόσκονης από το σύστημα ξήρανσης-αποκονίωσης είναι αδρομερέστερο από εκείνο της συμβατικά οριζόμενης παιπάλης, εφόσον σημαντικό ποσοστό του (~30%) υπερβαίνει τα 63 μm.

Στο Παράρτημα 1 παρατίθεται πίνακας , όπου περιέχει τα αθροιστικώς διερχόμενα ποσοστά για τις παιπάλες που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

2.1.2 Μέτρηση της ειδικής επιφάνειας (Blaine)

Η ειδική επιφάνεια κατά Blaine μετράται παρακολουθώντας το χρόνο που απαιτείται για να διέλθει μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα μέσα από ένα στρώμα λεπτόκοκκου υλικού συγκεκριμένων διαστάσεων και πορώδους. Σε κανονικές συνθήκες, η ειδική επιφάνεια του υλικού είναι ανάλογη του \sqrt{t} , όπου t είναι ο απαιτούμενος χρόνος για να περάσει μια δεδομένη ποσότητα αέρα μέσα από ένα στρώμα υλικού. Ο αριθμός και οι διαστάσεις των μεμονωμένων πόρων μέσα στο συγκεκριμένο στρώμα προσδιορίζονται σύμφωνα με την κατανομή των

διαστάσεων των σωματιδίων του υλικού που καθορίζουν τον απαιτούμενο χρόνο για τη διέλευση του αέρα. Η μέθοδος είναι συγκριτική και όχι απόλυτη, και για αυτόν το λόγο, για τη βαθμονόμηση της συσκευής, είναι απαραίτητο ένα δείγμα αναφοράς γνωστής ειδικής επιφάνειας.

Η διαδικασία είναι η εξής:

1. Ζυγίζουμε ποσότητα υλικού m_1 για να διαμορφωθεί ένα στρώμα με πορώδες $e=0.500$.
2. Τοποθετούμε το διάτρητο δίσκο στην κάτω βάση του κελιού και πάνω από το δίσκο ένα χάρτινο φίλτρο.
3. Πιέζουμε ελαφρά με μια μικρή ράβδο ώστε να βεβαιωθούμε ότι ο διάτρητος δίσκος και το φίλτρο έχουν τοποθετηθεί σωστά μέσα στο κελί και βρίσκονται σε επίπεδη θέση.
4. Τοποθετούμε τη ζυγισμένη ποσότητα m_1 πάνω από το χάρτινο φίλτρο μέσα στο κελί προσπαθώντας να σχηματίζεται ένα όσο το δυνατόν επίπεδο στρώμα και στη συνέχεια τοποθετούμε άλλο ένα χάρτινο φίλτρο.
5. Τοποθετούμε με ελαφριά πίεση το έμβολο μέσα στο κελί μέχρι να έρθει σε επαφή με το φίλτρο. Περιστρέφοντας αργά, ανασηκώνουμε κατά 5mm περίπου το έμβολο, το στρέφουμε κατά 90° και ξαναπιέζουμε ελαφρά. Το στρώμα του υλικού είναι έτοιμο για τη δοκιμή. Αποσύρουμε το έμβολο.
6. Προσέχοντας να μη διαταραχτεί το στρώμα του υλικού, τοποθετούμε το κελί στην ειδική υποδοχή του μανομέτρου.
7. Κλείνουμε το άνω τμήμα του κυλίνδρου με κατάλληλο καπάκι.
8. Ανοίγουμε την κάνουλα και με μια ελαφριά αναρρόφηση ανεβάζουμε το επίπεδο του μανομετρικού υγρού μέχρι την ανώτερη χαραγμένη γραμμή. Κλείνουμε την κάνουλα. Το λάδι πρέπει να παραμένει σε σταθερό επίπεδο. Αν όχι, ξαναφτιάχνουμε τη σύνδεση κελί-μανόμετρο και ελέγχουμε την κάνουλα μέχρι το ερμητικό κλείσιμο να επιτρέπει ένα σταθερό επίπεδο στο υγρό.
9. Ανοίγουμε την κάνουλα και με μια ελαφριά αναρρόφηση ανεβάζουμε το επίπεδο του υγρού στην άνω χαραγμένη γραμμή. Κλείνουμε την κάνουλα. Αφαιρούμε το καπάκι από το άνω τμήμα του κυλίνδρου. Το μανομετρικό υγρό συνεχίζει να ρέει. Ξεκινάμε το χρονόμετρο μόλις το υγρό φτάσει στη δεύτερη χαραγμένη γραμμή και το σταματάμε μόλις

φτάσει στην τρίτη χαραγμένη γραμμή. Καταγράφουμε το χρόνο t με ακρίβεια 0.2 sec και τη θερμοκρασία με ακρίβεια 1°C.

10. Επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία στο ίδιο στρώμα και καταγράφουμε τις νέες τιμές t και θ .
11. Ετοιμάζουμε ένα νέο στρώμα από το ίδιο υλικό ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία και καταγράφουμε δύο φορές t και θ .

Υπολογισμός της ειδικής επιφάνειας

Η ειδική επιφάνεια S του υλικού που υποβάλλεται στη δοκιμή μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη σχέση :

$$S = \frac{\rho_0}{\rho} \times \frac{(1-e_0)}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{e^3}}{\sqrt{e_0^3}} \times \frac{\sqrt{0.1\eta_0}}{\sqrt{0.1\eta}} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t_0}} \times S_0 \text{ (cm}^2\text{/g)} \quad (1.1)$$

Όπου S_0 , η ειδική επιφάνεια του υλικού αναφοράς

e , το πορώδες του στρώματος του υλικού που υποβάλλεται στη δοκιμή

e_0 , το πορώδες του στρώματος του υλικού αναφοράς

t , ο χρόνος που καταγράφεται για το υλικό της δοκιμής

t_0 , ο μέσος όρος των τριών χρόνων που μετρούνται για το υλικό αναφοράς

ρ , η πυκνότητα του υλικού της δοκιμής

ρ_0 , η πυκνότητα του υλικού αναφοράς

η , το ιξώδες του αέρα στη θερμοκρασία της δοκιμής

η_0 , το ιξώδες του αέρα από το μέσο όρο των τριών θερμοκρασιών του υλικού αναφοράς.

Το εργαστήριο στο οποίο θα διεξαχθεί η δοκιμή της διαπερατότητας του αέρα πρέπει να διατηρείται σε θερμοκρασία $20 \pm 2^\circ\text{C}$ και η σχετική υγρασία δεν πρέπει να ξεπερνά το 65%. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τα υλικά της δοκιμής και η συσκευή, πρέπει να βρίσκονται σε θερμοκρασία εργαστηρίου και κατά τη διάρκεια της συντήρησης /διατήρησης πρέπει να προστατεύονται από την απορρόφηση υγρασίας από την ατμόσφαιρα.

Η σχέση (1.1) απλοποιείται αφού $e=e_o=0.5$ για τις παραπάνω συνθήκες εργαστηρίου. Για τολόγο αυτό ισχύει $\eta=\eta_o$.

Η ειδική επιφάνεια κατά Blaine των δειγμάτων της παιπάλης που εξετάστηκε κυμάνθηκε από 1500 έως 1580 cm^2/g , με μέση τιμή 1540 cm^2/g , τυπική απόκλιση 30 cm^2/g και σχετική τυπική απόκλιση 1.92%. Η σχετική διακύμανση είναι πολύ μικρή, γεγονός που δείχνει ότι η παιπάλη είναι ομοιογενής όσον αφορά την κοκκομετρική της σύνθεση, αφού η ειδική επιφάνεια κατά Blaine εξαρτάται άμεσα από την κοκκομετρία του υλικού.

Στον Πίνακα 6 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τιμές της ειδικής επιφάνειας (Blaine) για όλα τα δείγματα υλικών (παιπάλη και ανακυκλωμένα υλικά) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.

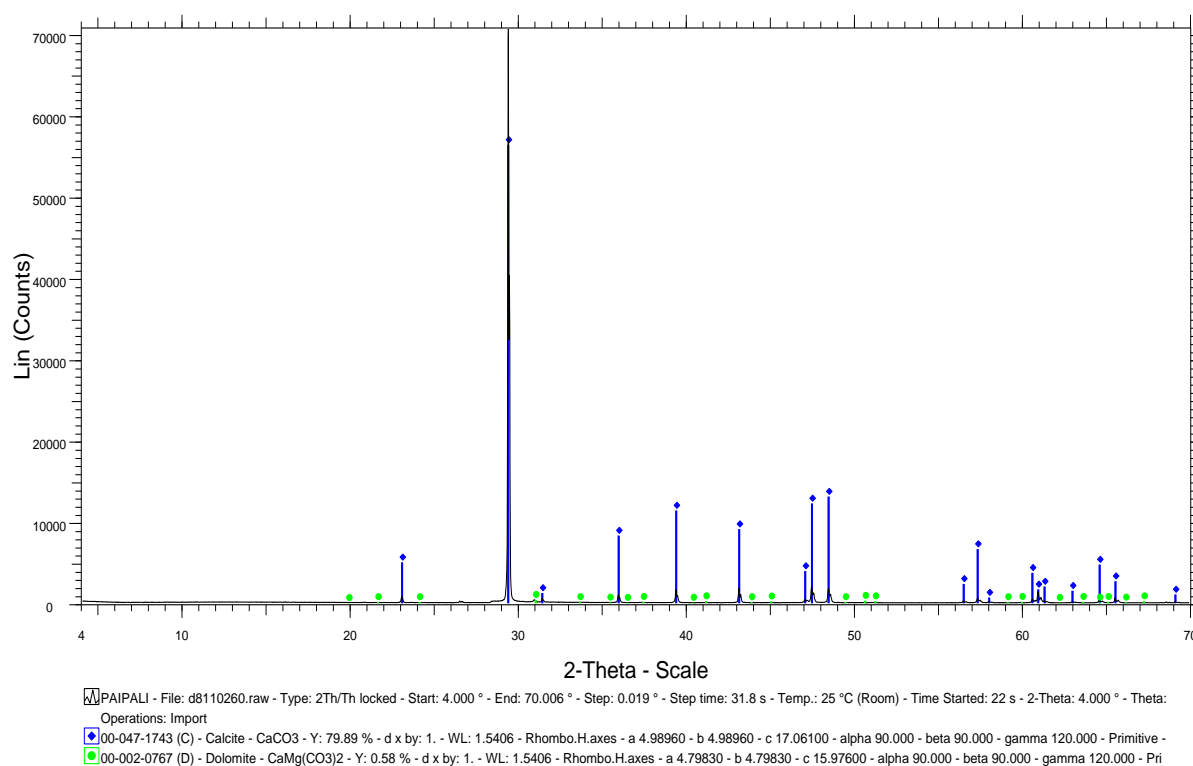
Πίνακας 6. Ειδική επιφάνεια (Blaine) δειγμάτων παιπάλης και ανακυκλωμένων υλικών.

Κωδικός δείγματος -63 μm	Blaine (cm^2/g)
QC 6	3156
QC 7	3697
QC 8	2445
QC 9	1692
QC 10	3194
QC 11	3276
QC 19	3827
QC 20	4411
QC 21	4343
QC 22	2848
QC 23	4343
QC 24	5000

2.1.3 Ορυκτολογική ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων X

Οι ορυκτολογικές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-Ray Diffraction), χρησιμοποιώντας το σύστημα αυτόματης περιθλασιμετρίας ακτίνων-X τύπου D8-Advance της εταιρείας BrukerAXS. Η ακτινοσκόπηση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε με χρήση λυχνίας Cu, καταμετρητή LynxEye και φίλτρο νικελίου, τάση $U=35\text{KV}$ και ένταση $I=35\text{mA}$, ενώ οι συνθήκες μέτρησης ήταν $4-70^\circ 2\theta$, βήμα $0,02^\circ$ και χρόνο $0,2 \text{ sec/βήμα}$.

Στο σχήμα 5 φαίνεται τυπικό ακτινοδιάγραμμα δείγματος παιπάλης.



Σχήμα 5. Ακτινοδιάγραμμα περίθλασης ακτίνων-X δείγματος παιπάλης.

Η ορυκτολογική ανάλυση με βάση τα ακτινοδιάγραμματα περίθλασης ακτίνων-X έδειξε ότι το βασικό ορυκτολογικό συστατικό της παιπάλης είναι ο ασβεστίτης (CaCO_3) σε ποσοστό 97%, ενώ σε μικρή ποσότητα (3%) εμφανίζεται δολομίτης $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

2.2 Χαρακτηρισμός αδρανών

Τα ανακυκλωμένα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από διαφορετικά σημεία απόθεσης οικοδομικών αποβλήτων των νομών της Κρήτης και της ευρύτερης περιοχής του νομού Κοζάνης. Για τη δειγματοληψία και την προετοιμασία των δειγμάτων ακολουθήθηκε το πρότυπο EN 932-1. Η ποσότητα των υλικών που λήφθηκε από κάθε θέση δειγματοληψίας ήταν περίπου 40-50kg. Αρχικά έγινε in situ θραύση του υλικού και περαιτέρω θραύση του στο εργαστήριο σε σιαγωνωτό σπαστήρα στα -32mm. Λήφθηκε μια τελική ποσότητα 20 kg από κάθε αρχικό δείγμα προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για τις εργαστηριακές δοκιμές. Η προέλευση του υλικού που συλλέχθηκε ήταν

- Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, τσιμεντοειδή προϊόντα (κυβόλιθους και πλακίδια) και υπολείμματα έτοιμου σκυροδέματος,
- τούβλα και κονιάματα από κατεδάφιση τοιχοποιιών,
- κεραμικά πλακάκια, κεραμίδια, λεκάνες, μπανιέρες κλπ, από την κατεδάφιση κτιρίων.

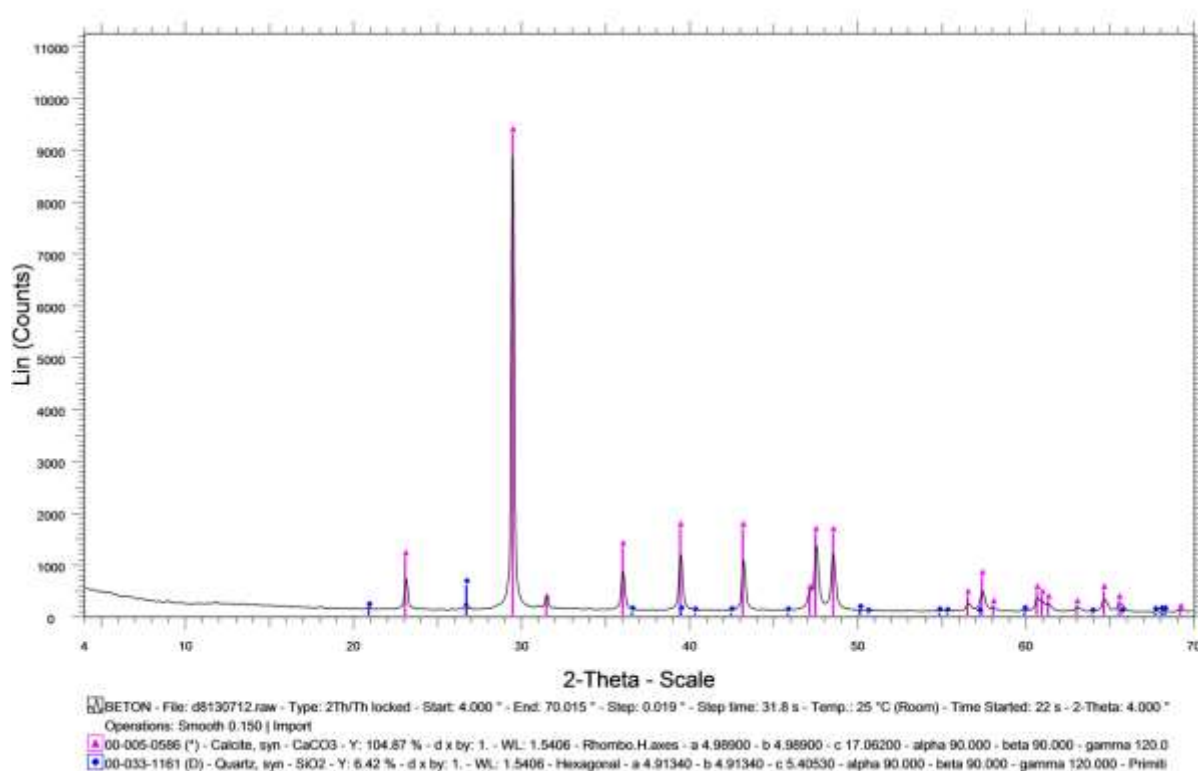
Αντιπροσωπευτικά δείγματα των παραπάνω υλικών (αδρομερές -32 + 0,063mm) και λεπτομερές κλάσμα (-63μm), εξετάστηκαν σύμφωνα με ευρωπαϊκά πρότυπα. Ειδικότερα στις δοκιμές που διεξήχθησαν περιλαμβάνονται οι ακόλουθες αναλύσεις:

- Ορυκτολογική και χημική ανάλυση των αποβλήτων, σύμφωνα με το πρότυπο EN 1744.
- Ανάλυση του μεγέθους των κόκκων, με κοσκίνισμα, σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-1, με περίθλαση ακτίνων λέιζερ και με δοκιμή υδρομέτρου.
- Το σχήμα και ο δείκτης μορφής, καθώς και ο λόγος μεγάλης προς μικρή διάσταση κόκκων των αδρομερών κλασμάτων σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-4 και EN 933-3.
- Η τιμή του μπλε του μεθυλενίου και της δοκιμής micro Deval του λεπτόκοκκου και χονδρόκοκκου κλάσματος, σύμφωνα με τα EN 933-9 και EN 1097-1.
- Η υδατοαπορρόφηση και η πυκνότητα των χονδρομερών κλασμάτων.

2.2.1 Ορυκτολογική και χημική ανάλυση

Η ορυκτολογική και χημική ανάλυση περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των κύριων συστατικών καθώς και την παρουσία επικίνδυνων ουσιών. Η ορυκτολογική ανάλυση των υλικών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση περιθλασίμετρου ακτίνων-X (D8-Advance της εταιρείας BrukerAXS), όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η χημική σύνθεση των δειγμάτων προσδιορίστηκε με φασματομέτρο φθορισμού ακτίνων X (τύπου Bruker AXS-S2 Range), ενώ οι επικίνδυνες ουσίες προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο TCLP (Διαδικασία έκπλυσης τοξικών χαρακτηριστικών).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα δείγματα από υλικά σκυροδέματος αποτελούνται κυρίως από ασβεστίτη με μικρές ποσότητες χαλαζία και ίχνη περίκλαστου. Τα κύρια συστατικά των τούβλων / θραυσμάτων κονιάματος είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, ο αιματίτης, ο διοψίδιος και ο αλβίτης ενώ ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης, η γύψος και το ορθόκλαστο εμφανίζονται στα πλακάκια (Σχήμα 6). Η χημική ανάλυση των ανακυκλωμένων αδρανών φαίνεται στον Πίνακα 7.



Σχήμα 6. Τυπικό διάγραμμα ορυκτολογικής ανάλυσης του δείγματος σκυροδέματος (χαλαζίας SiO₂, ασβεστίτης CaCO₃).

Πίνακας 7. Χημική ανάλυση ανακυκλωμένων αδρανών.

	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	LOI*
Σκυρόδεμα	0.57	4.21	1.26	65.42	0.01	0.75	1.49	5.81	0.73	0.82	0.03	21.59
Τούβλα	1.03	4.75	2.80	8.79	0.05	6.00	14.95	57.79	0.23	-	0.85	1.89
Πλακάκια	-	4.46	1.37	8.78	0.06	5.39	9.80	70.54	-	-	0.77	0.23
* LOI=Απώλεια πύρωσης στους 1050°C												

Τα αποτελέσματα της δοκιμής TCLP παρουσιάζονται στον Πίνακα 8. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι οι μετρώμενες τιμές δεν ξεπερνούν τα μέγιστα επιτρεπτά όρια.

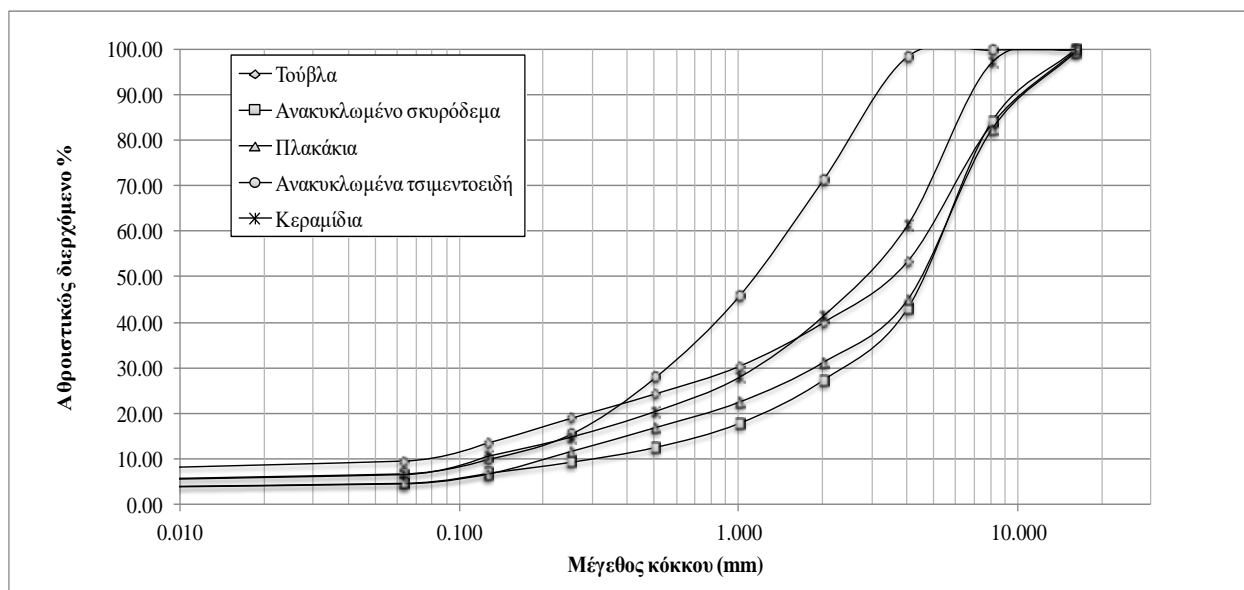
Πίνακας 8. Αποτελέσματα δοκιμής TCLP (mg/L) για τα ανακυκλωμένα αδρανή.

	Mn	Cu	Cr _{ολ}	Zn	Ni	Pb	Fe	Cd	SO ₄	PO ₄
Σκυρόδεμα	0.14	0.04	0.2	0.14	0.31	0	0.28	0.38	3	0.8
Τούβλα	1.47	0.09	0.23	0.31	0.55	0.1	0.05	0.68	3	1
Πλακάκια	1.4	0.03	0.18	0.12	0.34	0.2	0.1	0.32	3	1.3
Μέγιστα Επιτρεπτά Όρια	-	-	5.0	-	-	5.0	-	1.0	-	-

2.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Για την ανάλυση του μεγέθους των κόκκων έγινε κοσκίνηση εν ξηρώ για το χονδρομερές κλάσμα του υλικού σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-1. Τα μετρούμενα κλάσματα ήταν: -32 + 16 mm, -16 + 8 mm, -8 + 4 mm, -4 + 2 mm, -2 + 1 mm, -1 + 0,5 mm, -0.5 + 0,25 mm, -0,25 + 0,125 mm, -0,125 + 0,0063 mm. Η κοκκομετρία του λεπτομερούς υλικού που περνά από το κόσκινο των 63μm προσδιορίστηκε με την περίθλαση λέιζερ (Malvern Instruments, Mastersizer-S) και τη μέθοδο του υδρομέτρου (Bouyoucos, 1962).

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης του μεγέθους των κόκκων των εξετασθέντων υλικών φαίνονται στο Σχήμα 7. Είναι προφανές ότι το κλάσμα που παράγεται από το σκυρόδεμα είναι αδρομερέστερο από εκείνο που παράγεται από κεραμίδια, τούβλα / κονιάματα και τσιμεντοειδή προϊόντα. Το κλάσμα -63μm για τα τούβλα / κονιάματα είναι μεγαλύτερο από 10%.



Σχήμα 7. Κοκκομετρική ανάλυση ανακυκλωμένων αδρανών.

Στο Παράρτημα 1 παρουσιάζεται πίνακας με τις κοκκομετρίες όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην πειραματική διαδικασία.

2.2.3 Σχήμα, δείκτης μορφής και λόγος μεγάλης προς μικρή διάσταση κόκκων

Οι επιμήκεις και πεπλατυσμένοι κόκκοι πρέπει να αποφεύγονται επειδή είναι δυνατόν να υπάρχει ανομοιόμορφη κατανομή τάσεων λόγω σχήματος, με αποτέλεσμα τον κίνδυνο θραύσης των αδρανών. Επιπλέον το κυβικό σχήμα επιτυγχάνει τη βέλτιστη γεωμετρική κατανομή των κόκκων με αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή συμπίκνωση.

Η δοκιμή του δείκτη σχήματος εφαρμόστηκε σε κλάσματα μεγέθους $-16 + 8 \text{ mm}$ και $-8 + 4 \text{ mm}$, σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-4. Τα μεμονωμένα σωματίδια σε ένα δείγμα χονδρόκοκκων αδρανών ταξινομούνται με βάση την αναλογία του μήκους τους L προς το πάχος E χρησιμοποιώντας ένα παχύμετρο δείκτη μορφής (Εικόνα 3). Ο δείκτης σχήματος υπολογίζεται ως η μάζα των σωματιδίων με αναλογία διαστάσεων L / E περισσότερο από 3 εκφρασμένη ως ποσοστό της συνολικής ξηρής μάζας των σωματιδίων που εξετάζονται.



Εικόνα 3. Παχύμετρο δείκτη μορφής.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

1. Αρχικά έγινε ξήρανση του δείγματος σε θερμοκρασία 110 ± 5 °C.
2. Έγινε λήψη υλικού με κοσκίνηση και πάρθηκαν κλάσματα μεγέθους $-16 + 8$ mm και $-8 + 4$ mm.
3. Σημειώθηκε η μάζα του δείγματος (**Mo**).
4. Η δοκιμή έγινε σε κάθε μέρος του υλικού από d_i/D_i όπου $D_i \leq 2d_i$ (D_i = το κόσκινο από το οποίο διέρχεται το υλικό (οπή μεγαλύτερου κοσκίνου), d_i = το κόσκινο στο οποίο παραμένει το υλικό (οπή μικρότερου κοσκίνου)).
5. $D \leq 2d$: Διαχωρίστηκε το υλικό σε μέρη για τα οποία ισχύει $D_i \leq 2d_i$ με κοσκίνηση. Αφαιρέθηκαν τα τεμάχια που είναι μικρότερα από d_i και μεγαλύτερα από D_i και καταγράφηκε το βάρος των τεμαχίων που έμειναν (d_i/D_i) ως M_1 (Η ποσότητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 100 τεμάχια).
6. Χρησιμοποιώντας το παχύμετρο δείκτη μορφής διαχωρίζονται τα τεμάχια που έχουν λόγο $L/E > 3$ (L = μέγιστη διάσταση τεμαχίου, E = ελάχιστη διάσταση τεμαχίου) και τα

οποία θεωρούνται ως μη «κυβικά». Ζυγίζεται το σύνολο αυτών των τεμαχίων και καταγράφεται η ένδειξη ως M_2 .

7. Υπολογισμοί:

a. $D \leq 2d$: $SI = (M_2/M_1) \times 100$ στον πλησιέστερο ακέραιο

b. $D > 2d$: $SI = (\sum M_{2i} / \sum M_{1i}) \times 100$

Ο δείκτης σχήματος SI (Shape Index) εκφράζεται σε ποσοστό % και το όριο κυμαίνεται από 0 έως 55%.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τα δείγματα αδρανών παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9. Αποτελέσματα δοκιμής δείκτη σχήματος.

Δείκτης σχήματος (SI%)								
Κωδικός υλικού	Κοκκομετρικό κλάσμα -16 +8mm				Κοκκομετρικό κλάσμα -8 +4mm			
	M_0 (g) (Αρχική μάζα κλάσματος)	M_1 (g) (Μάζα 100 κόκκων)	M_2 (g) (Μάζα κόκκων $L/E > 3$)	SI % (Δείκτης σχήματος)	M_0 (g) (Αρχική μάζα κλάσματος)	M_1 (g) (Μάζα 100 κόκκων)	M_2 (g) (Μάζα κόκκων $L/E > 3$)	SI % (Δείκτης σχήματος)
QC 6	473,93	97,13	36,09	37	1037,70	36,21	11,70	32
QC 7	465,44	85,54	25,16	29	863,60	27,84	7,50	27
QC 8					1199,70	36,11	2,98	8
QC 19					203,29	21,26	4,22	20
QC 20					255,51	28,27	4,13	15
Επεξήγηση Συμβόλων								
QC6: Ανακυκλωμένα πλακάκια (1 ^η παρτίδα)					QC19: Ανακυκλωμένα σοβάς, τσιμέντο, τούβλα			
QC7: Ανακυκλωμένα κεραμικά τούβλα, επιχρίσματα, κονία					QC20: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα (1 ^η παρτίδα)			
QC8: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα								

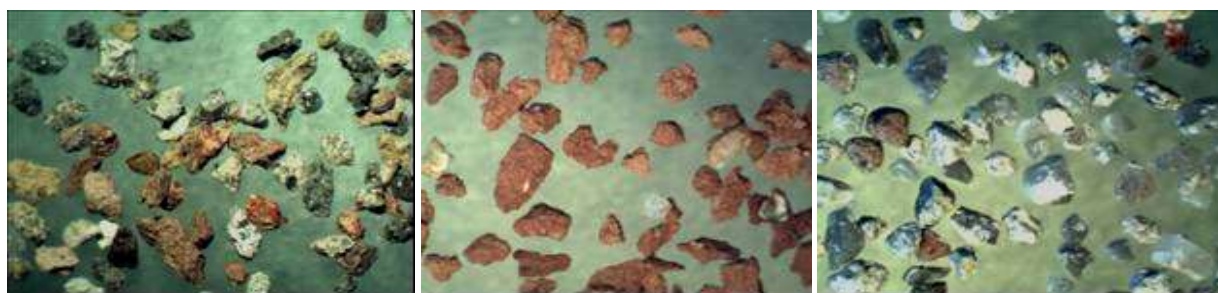
Η δοκιμή του δείκτη μορφής (δείκτη πλακοειδούς) εφαρμόστηκε σε κλάσματα μεγέθους -16 + 8 mm και -8 + 4 mm, -4 + 2 mm σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-3. Τα μεμονωμένα σωματίδια σε ένα δείγμα χονδρόκοκκων αδρανών ταξινομούνται με βάση την αναλογία του μήκους τους L προς το πάχος E χρησιμοποιώντας ένα παχύμετρο δείκτη μορφής, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Ο δείκτης μορφής υπολογίζεται ως η μάζα των σωματιδίων με αναλογία διαστάσεων L / E περισσότερο από 2 εκφρασμένη ως ποσοστό της συνολικής ξηρής μάζας των σωματιδίων που

εξετάζονται. Ο λόγος διαστάσεων του κλάσματος $-2 + 1 \text{ mm}$ μετρήθηκε με τεχνικές ανάλυσης εικόνας (Εικόνα 4) με τη βοήθεια του προγράμματος Image Pro (Wojnar et al., 2000).

Ο δείκτης πλακοειδούς FI (Flakiness Index) εκφράζεται σε ποσοστό % και το όριο κυμαίνεται από 0 έως 50%. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Πίνακας 10. Αποτελέσματα δοκιμής δείκτη πλακοειδούς

Δείκτης πλακοειδούς (FI%)							
Κοκκομετρικά κλάσματα	QC6	QC7	QC8	QC19	QC20	QC21	QC22
-16+8 mm	-	4,17%	8,33%	9,09%	-	-	-
-8+4 mm	-	7,89%	11,43%	4,55%	2,04%	0%	9,26%
-4+2 mm	-	13,41%	10%	7,45%	7,83%	0%	8,79%
-2+1 mm	-	-	14,81%	3,52%	9,84%	3,01%	19,83%
-1+0,5 mm	0%	0%	16,67%	8,33%	16,67%	6,25%	14,28%
-500+250 μm	14,28%	3,45%	8,16%	6,67%	10,20%	0%	8,16%
-250+125 μm	2,94%	5,55%	18,75%	8,16%	17,65%	0%	3,70%
-125+63 μm	20%	8,33%	5,55%	2,94%	0%	5,56%	3,45%
Επεξήγηση Συμβόλων							
QC6: Ανακυκλωμένα πλακάκια (1 ^η παρτίδα)				QC19: Ανακυκλωμένα σοβάς, τσιμέντο, τούβλα			
QC7: Ανακυκλωμένα κεραμικά τούβλα, επιχρίσματα, κονία				QC20: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα (1 ^η παρτίδα)			
QC8: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα				QC21: Ανακυκλωμένα τσιμεντοειδή			
				QC22: Ανακυκλωμένα κεραμίδια (1 ^η παρτίδα)			



Εικόνα 4. Μορφολογία κόκκων για δείγμα σοβά/τσιμέντο/τούβλα (αριστερά), κεραμίδια (κέντρο) και τσιμεντοειδή (δεξιά). Το μήκος της κάθε εικόνας είναι 9 mm.

Παρατηρούμε ότι οι κόκκοι του δείγματος από ανακυκλωμένα τσιμεντοειδή έχουν καλύτερο σχήμα και είναι πιο στρογγυλεμένοι σε σχέση με τα άλλα δύο δείγματα οι κόκκοι των οποίων είναι επιμήκεις και πεπλατυσμένοι.

2.2.4 Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου και δοκιμή micro Deval

Η δοκιμή του μπλε του μεθυλενίου χρησιμοποιείται για την εξακρίβωση των ενεργών αργιλικών ορυκτών στα αδρανή. Τα ενεργά αργιλικά ορυκτά, σε αντίθεση με τα μη ενεργά, έχουν την τάση να διογκώνονται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε νερό. Η διόγκωση αυτή έχει καταστροφικές συνέπειες τόσο για το ασφαλτόμιγμα, όσο και στις υποβάσεις του οδοστρώματος. Ο έλεγχος βασίζεται στην αρχή της προσρόφησης επί της ενεργής επιφάνειας των αργιλικών ορυκτών, των μορίων του μπλε του μεθυλενίου.

Η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-9. Μικρές ποσότητες του διαλύματος κυανού του μεθυλενίου (5ml) προστίθενται διαδοχικά σε αιώρημα του δείγματος σε απιονισμένο νερό. Η απορρόφηση του διαλύματος από το αδρανές ελέγχεται μετά από κάθε προσθήκη διαλύματος διεξάγοντας δοκιμή κηλίδας σε διηθητικό χαρτί για την ανίχνευση της παρουσίας της ελεύθερης χρωστικής (Εικόνα 5). Η δοκιμή κηλίδας περιγράφεται, σαν το σχηματισμό από μία σταγόνα διαλύματος και πάνω σε διηθητικό χαρτί, μιας κηλίδας που αποτελείται από μια κεντρικά αποτιθέμενη ουσία με στερεό μπλε χρώμα που περιβάλλεται από μια άχρωμη ζώνη. Η δοκιμή θεωρείται θετική όταν σχηματιστεί περιφερειακά της κεντρικής απόθεσης μια στεφάνη από ένα συνεχή δακτύλιο χρώματος ανοιχτού μπλε, περίπου 1 mm (Εικόνα 6). Όταν επιβεβαιωθεί η παρουσία της ελεύθερης χρωστικής η τιμή κυανού του μεθυλενίου (MBF) υπολογίζεται και εκφράζεται ως γραμμάρια χρωστικής που προσροφώνται ανά χιλιόγραμμο του κλάσματος μεγέθους που εξετάστηκε. Η δοκιμή μπλε του μεθυλενίου εφαρμόστηκε σε κλάσματα μεγέθους $-16 + 8 \text{ mm}$ και $-8 + 4 \text{ mm}$. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 11.



Εικόνα 5. Συσκευή δοκιμής μπλε του μεθυλενίου



Εικόνα 6. Μορφή κηλίδας στο διηθητικό χαρτί

Πίνακας 11. Αποτελέσματα δοκιμής μπλε του μεθυλενίου.

Δοκιμή μπλε του μεθυλενίου			
Κωδικός υλικού	Μάζα δείγματος (g)	Όγκος χρωστικού διαλύματος (ml)	MB_f (g/Kg)
QC 6	6,0	9	15,0
QC 7	6,0	10	16,7
QC 8	6,0	5	8,3
QC 9	6,0	3	5,0
QC 10	6,0	4	6,7
QC 11	6,0	3	5,0
QC 19	6,0	8	13,3
QC 20	6,0	7	11,7
QC 21	6,0	4	6,7
QC 22	6,0	6	10,0
QC 23	6,0	5	8,3

Η δοκιμή micro Deval είναι μια δοκιμή των λεπτόκοκκων αδρανών υλικών για τον προσδιορισμό της απώλειας τριβής με την παρουσία του νερού και ενός μέσου λειοτρίβησης (χαλύβδινες σφαίρες). Τα αποτελέσματα των δοκιμών είναι χρήσιμα για την αξιολόγηση της σκληρότητας/ αντίστασης στην τριβή των λεπτόκοκκων αδρανών που υπόκεινται σε τριβή. Η δοκιμή micro Deval εφαρμόστηκε σε κλάσμα -14 + 10 mm. Το αποτέλεσμα μετά τη διάρκεια περιστροφής του δοκιμίου, είναι οι κόκκοι μετά την τριβή και την μεταξύ τους κρούση, να παρουσιάσουν φθορά (ελάττωση της διαμέτρου των κόκκων), η οποία υπολογίζεται με την ποσότητα (βάρος - ποσοστό του δοκιμίου) των κόκκων που πρόεκυψαν μετά τη δοκιμή με διάμετρο κάτω από 1,6 mm. Ο υπολογισμός γίνεται από το ποσοστό που συγκρατείται από το κόσκινο 1,6 mm. Με βάση το ποσοστό του συγκρατούμενου υλικού σε διαμέτρημα κόκκων 1,6 mm, προκύπτει (αντίστοιχο εκατοστιαίο) ο δείκτης micro-Deval. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

2.2.5 Υδατοαπορρόφηση και πυκνότητα

Η πυκνότητα και η υδατοαπορρόφηση των υλικών μετρήθηκαν σύμφωνα με το πρότυπο EN 1097-6. Τα κλάσματα των σωματιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή υδατοαπορρόφησης ήταν $-16 + 8 \text{ mm}$ και $-8 + 4 \text{ mm}$. Η πυκνότητα μετρήθηκε για σωματίδια μεταξύ $0,063 \text{ mm}$ και 4 mm με τη μέθοδο του πυκνόμετρου. Στον Πίνακα 12 παρουσιάζονται αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών.

Πίνακας 12. Μέσες τιμές και εύρος τιμών των εξεταζόμενων ιδιοτήτων των ανακυκλωμένων αδρανών.

Τύπος υλικού	Πυκνότητα (g/cm ³)	Micro Deval	Υδατοαπορρόφηση %	Μπλε του Μεθυλενίου (g/Kg)	Blaine (cm ² /g)	Δείκτης σχήματος %	Δείκτης πλακοειδούς %
Σκυροδέμα	2.54	42.8	3.88	10	3428	9,66	10.45
	(2.48-2.66)		(2.18-5.59)	(8.3-11.7)	(2445-4411)	(6-15)	(9.18-11.71)
Τούβλα	2.7	-	19.45	11.7	3698	38,5	9.32
	(2.60-2.80)		(16.24-22.66)	(6.7-16.7)	(3568-3827)	(20-78)	(9-9.64)
Πλακάκια	2.6	-	13.52	10.85	2463	31,66	6.17
	(2.54-2.66)		(9.37-17.67)	(6.7-15)	(1769-3156)	(26-37)	(6.11-6.34)
EN προδιαγραφές		<40	6-7 για ανακυκλωμένα αδρανή, 2-3 για αδρανή σκυροδέματος	<10 για αδρανή σε ασφαλτομίγματα		<55	<50

2.3 Τσιμέντο – Μικροτσιμέντο – Χημικά πρόσμικτα

Το τσιμέντο είναι μια λεπτόκοκκη υδραυλική κονία που χρησιμοποιείται τόσο για την παρασκευή τσιμεντοκονιάματος (προϊόν ανάμιξης άμμου, τσιμέντου και νερού), όσο και για την παρασκευή σκυροδέματος. Το τσιμέντο αποτελεί το συνδετικό υλικό των αδρανών, που έχει την ιδιότητα να σκληρύνεται υπό την παρουσία νερού. Ο κλασσικός τύπος είναι το τσιμέντο τύπου Portland. Το τσιμέντο πρέπει να διατηρεί σταθερό τον όγκο του και να έχει συγκεκριμένη

αντοχή σε θλίψη 28 ημέρες μετά την παρασκευή του. Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμών είναι το λευκό τσιμέντο τύπου CEM I 52.5R, το κοινό τσιμέντο τύπου CEM II 42.5 και τσιμέντο ειδικού τύπου με υψηλή τιμή Blaine (μικροτσιμέντο), ενώ ως ειδικό πρόσθετο χρησιμοποιήθηκε υπερλεπτομερής πυριτία (silica fume).

Τα μικροτσιμέντα (microcement και ultra fine cement) είναι ένα εξαιρετικά λεπτόκοκκα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται για τη σφράγιση εξαιρετικά λεπτών ρωγμών μεγέθους μικρότερων και ίσων με 100μm. Υπάρχουν τρεις τύποι μικροτσιμέντου ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων τους. Αυτοί είναι: το Injektering 30 με το 95% των κόκκων να έχουν μέγεθος μικρότερο από 30μm, το Ultra Fine 16 με το 95% των κόκκων να είναι μικρότεροι από 16μm και το Ultra Fine 12 με το 95% των κόκκων του να έχουν μέγεθος μικρότερο από 12μm. Να σημειωθεί ότι στο κοινό τσιμέντο το 95% των κόκκων είναι μικρότεροι από 100μm. Το μικροτσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε για την παρασκευή των δοκιμών στην εργασία αυτή είναι το Ultra Fine 12. Τα πρόσμικτα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή του μικροσκυροδέματος είναι τα εξής:

- **Υπερρευστοποιητής τύπου Melflux 2651F**

Είναι σε μορφή κιτρινωπής σκόνης και έχει ως βάση του τα πολυκαρβοξύλια. Αυξάνει την πλαστικότητα του μίγματος και βοηθά στη μείωση της ποσότητας του απαιτούμενου νερού δίνοντας έτσι αυξημένες αντοχές στο μικροσκυρόδεμα. Έχει πυκνότητα 300 – 600 kg/m³ και η δοσολογία του κυμαίνεται από 0,05 - 1,00 % του βάρους του συνδετικού υλικού (τσιμέντου).

- **Επιβραδυντής τύπου Tartaric acid**

Το tartaric acid (τρυγικό οξύ ή παλαιότερα ταρταρικό οξύ) είναι ένα φυσικό οργανικό καρβοξυλικό οξύ με χημικό τύπο C₄H₆O₆. Είναι οπτικά ενεργός χημική ένωση, δηλαδή στρέφει το επίπεδο του πολωμένου φωτός κατά συγκεκριμένη γωνία ανάλογα με τη δομή του στο χώρο. Είναι στερεό, άχρωμο και άοσμο κρυσταλλικό σώμα ή σε μορφή λευκής σκόνης. Ανήκει στην οικογένεια των δι-καρβοξυλικών οξέων και είναι πολύ εύκολα διαλυτό στο νερό και στις αλκοόλες.

- **Microsilica ή Silica Fume**

Το microsilica (πυριτική παιπάλη) που χρησιμοποιήθηκε είναι το microsilica 920D της εταιρείας Elkem Materials. Το microsilica είναι σκόνη διοξειδίου του πυριτίου και είναι

υποπροϊόν της παραγωγής του πυριτίου (silicon) και των κραμάτων σιδηροπυριτίου (ferrosilicon). Είναι λεπτόκοκκη σκόνη που αποτελείται από σφαιρικά σωματίδια ή μικροσφαιρίδια με μέση διάμετρο περίπου 0,15μm με μια πολύ υψηλή ειδική επιφάνεια (15,000-25,000 m²/Kg). Περιέχει τουλάχιστον 85% κατά μάζα μη κρυσταλλικό SiO₂. Η περιεκτικότητα σε αλκάλια είναι μικρή (<1%).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

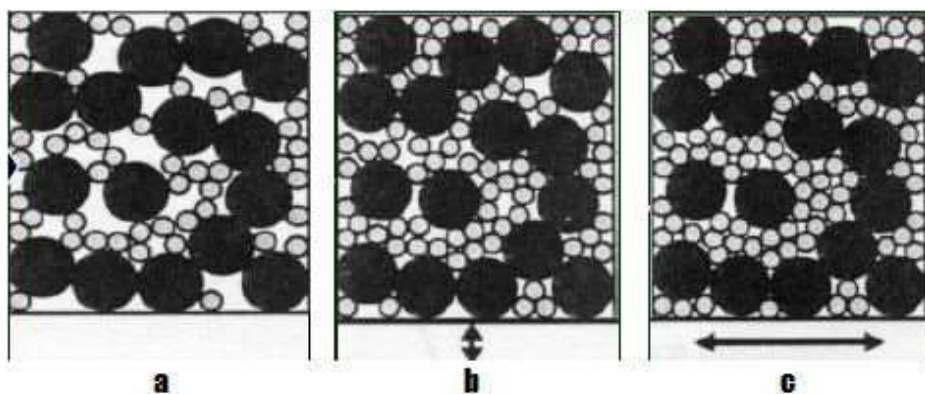
3. Μεθοδολογία καθορισμού συνθέσεων

3.1 Επιλογή και χαρακτηριστικά του κοκκομετρικού μοντέλου Andreassen

Για τον καθορισμό των συνθέσεων χρησιμοποιήθηκε συμπληρωματικά το πρόγραμμα EMMA (Elkem materials) το οποίο επιτρέπει τη βελτιστοποίηση μιας σύνθεσης με βάση το μοντέλο στοίβαξης κόκκων κατά Andreassen (Andreassen and Andersen, 1930). Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η ρεολογία του νωπού μίγματος και η αντοχή του σκληρυμένου υλικού (βασικές παράμετροι σχεδιασμού μια σύνθεσης με βασικό συνδετικό υλικό το τσιμέντο) εξαρτώνται από την πυκνότητα στοίβαξης των κόκκων των αδρανών στο μίγμα. Οι κόκκοι των αδρανών υλικών στηρίζονται ο ένας πάνω στο άλλον, αλλά λόγω του ακανόνιστου πολυγωνικού σχήματος που έχουν, δεν εφάπτονται απόλυτα μεταξύ τους και αφήνουν ενδιάμεσα κενά. Τα κενά αυτά γεμίζουν με συνδετικό υλικό (κονίαμα) που συνδέει με αυτό τον τρόπο τους κόκκους σε ένα συμπαγές υλικό. Για το λόγο αυτό η ποσότητα του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τα μεταξύ των κόκκων κενά. Επειδή το κονίαμα είναι περισσότερο πορώδες και λιγότερο ανθεκτικό από το πέτρωμα των αδρανών, όσο λιγότερα είναι τα παραπάνω κενά τόσο μεγαλώνει η αντοχή και η πυκνότητα του σκυροδέματος (Οικονόμου, 1993).

Όταν το κυρίαρχο κριτήριο σχεδιασμού είναι η ρεολογική ικανότητα του τελικού μίγματος, τότε απαιτείται αραιότερη πυκνότητα στοίβαξης, δηλαδή αύξηση των κενών μεταξύ των κόκκων των αδρανών (Εικόνα 7). Η αύξηση όμως αυτή, των κενών μεταξύ των κόκκων των αδρανών, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των μηχανικών αντοχών του τελικού σκυροδέματος.

Η πυκνότητα στοίβαξης εξαρτάται και από την κατανομή του μεγέθους των κόκκων των αδρανών που λαμβάνουν μέρος στη σύνθεση (Kwan and Fung, 2009). Όταν τα αδρανή που χρησιμοποιούνται χαρακτηρίζονται από ευρεία κατανομή μεγέθους κόκκων, αυτό συμβάλλει στη μεγιστοποίηση των μηχανικών αντοχών του σκληρυμένου σκυροδέματος, λόγω της μείωσης των κενών στο νωπό σκυρόδεμα.



Εικόνα 7. Σχηματική αναπαράσταση της πυκνότητας στοίβαξης. α) Σύνθεση με αραιότερη κοκκομετρική διαβάθμιση, β, γ) Συνθέσεις με πυκνή κοκκομετρική διαβάθμιση. Οι μαύρες σφαίρες αναπαριστούν τους μεγάλους κόκκους αδρανών και οι γκρι σφαίρες τους μικρότερους σε μέγεθος κόκκους (Διαμαντώνης, 2008).

Επίσης, το σχήμα και η μορφή των κόκκων επηρεάζει, άσχετα από την επιρροή του μεγέθους, κατά ποικίλους τρόπους τις ιδιότητες του σκυροδέματος (Οικονόμου, 1993). Κόκκοι σφαιρικού σχήματος εξυπηρετούν μείωση της εσωτερικής τριβής και καλύτερη εργασιμότητα του υλικού. Όσο η μορφή των κόκκων απομακρύνεται από τη σφαιρική, τόσο αυξάνεται η εσωτερική τριβή και μειώνεται η εργασιμότητα του υλικού, αλλά αντίθετα βελτιώνεται η στήριξη των κόκκων μεταξύ τους και η αύξηση της επιφάνειας επαφής τους με το κονίαμα. Κατά τον ίδιο τρόπο και οι κυβοειδείς και πλακοειδείς κόκκοι συντελούν στη μηχανική αντοχή του σκυροδέματος, λόγω καλύτερης εδράσεως αυτών.

Το πρόγραμμα EMMA βασίζεται στο κοκκομετρικό μοντέλο Andreassen και προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα στην εξίσωση Andreassen και στην τροποποιημένη εξίσωση Andreassen (www.elkem.com). Το μοντέλο αυτό είναι κατάλληλο για το σχεδιασμό συνθέσεων στις οποίες συμμετέχουν πολύ λεπτόκοκκα υλικά όπως η παιπάλη και τα υπερλεπτομερή πυριτικά (microsilica). Για τον καθορισμό των συνθέσεων στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή χρησιμοποιήθηκε η τροποποιημένη εξίσωση Andreassen, στην οποία λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο και το ελάχιστο μέγεθος κόκκου και η παράμετρος q που εκφράζει την πυκνότητα στοίβαξης. Η εξίσωση αυτή παρίσταται ως καμπύλη σε λογαριθμική κλίμακα (Σχήμα 8). Με τη χρήση της εξίσωσης Andreassen γίνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της βέλτιστης κοκκομετρικής διαβάθμισης. Η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση επιτυγχάνεται όταν η

καμπύλη της κοκκομετρικής διαβάθμισης όλων των υλικών της σχεδιαζόμενης σύνθεσης προσεγγίζει κατά το μέγιστο δυνατό βαθμό την πρότυπη καμπύλη της εξίσωσης Andreassen.

Ο τύπος της τροποποιημένης εξίσωσης Andreassen είναι:

$$CPFT = \left(\frac{d^q - d_m^q}{D^q - d_m^q} \right) \times 100$$

Όπου:

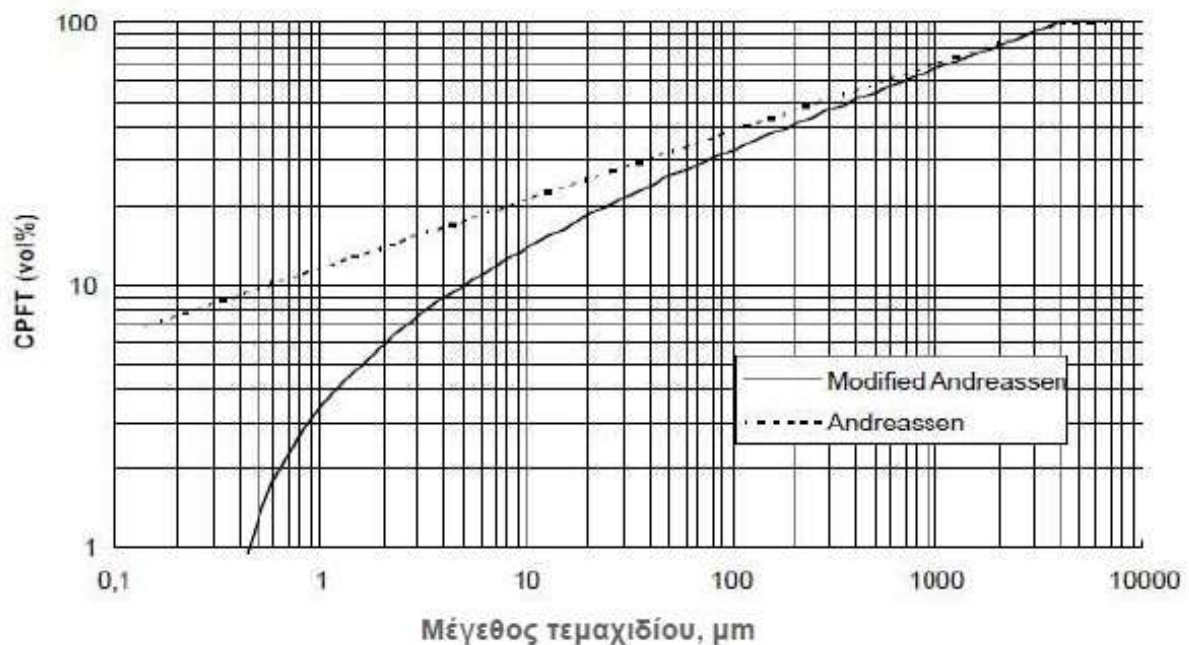
CPFT (Cumulative Percent Finer Than) = το αθροιστικό ποσοστό του υλικού με διάμετρο μικρότερη από d

d = μέγεθος κόκκου

d_m = ελάχιστο μέγεθος κόκκου στο μίγμα

D = μέγιστο μέγεθος κόκκου στο μίγμα

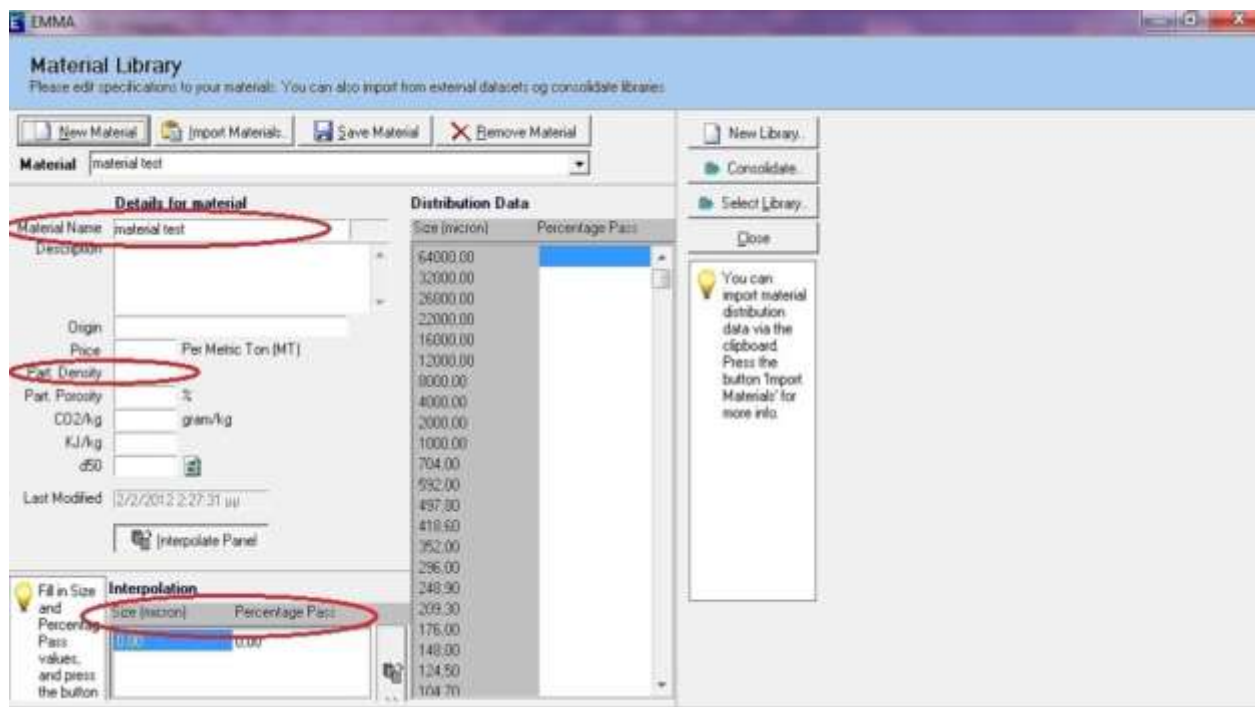
q = παράμετρος μορφής της κοκκομετρικής καμπύλης



Σχήμα 8. Κοκκομετρικές καμπύλες των μοντέλων Andreassen.

Το πρόγραμμα EMMA με τη χρήση του μοντέλου Andreassen, βοηθά στον καθορισμό της ποσότητας κάθε υλικού της σύνθεσης χωριστά, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη κοκκομετρική διαβάθμιση. Τα άνω και κάτω όρια της κοκκομετρίας, εκφράζονται ως μέγιστος και ελάχιστος κόκκος, δηλαδή ως μέγεθος κόκκου με διερχόμενο το 99% και με συγκρατούμενο το 99% της κοκκομετρίας της εκάστοτε σύνθεσης αντίστοιχα. Η παράμετρος q , που όπως αναφέρθηκε παραπάνω εκφράζει την πυκνότητα στοίβαξης, εξαρτάται άμεσα από την ιδιότητα που έχει επιλεχθεί να χαρακτηρίζει το προς παρασκευή σκυρόδεμα. Για σκυρόδεμα υψηλών αντοχών η παράμετρος q παίρνει τιμές μεγαλύτερες από 0,36. Για σκυρόδεμα υψηλής ρεολογικής ικανότητας η παράμετρος q παίρνει τιμές μικρότερες από 0,30 ενώ αν είναι επιθυμητό το σκυρόδεμα που θα παρασκευαστεί να έχει ρεολογική ικανότητα και ικανοποιητικές τιμές αντοχών επιλέγεται q μεταξύ 0,30 και 0,36. Για κάθε συνδυασμό των παραμέτρων q , dm , D , αντιστοιχεί και μια διαφορετική πρότυπη καμπύλη.

Το πρόγραμμα EMMA παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να χρησιμοποιήσει πλήθος εμπορικών υλικών που οι κοκκομετρικές καμπύλες τους βρίσκονται στη βιβλιοθήκη του προγράμματος. Αν ο χρήστης θέλει να χρησιμοποιήσει κάποιο άλλο εμπορικό υλικό, υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθεί η κοκκομετρία, το όνομα και η πυκνότητα του υλικού αυτού στη βιβλιοθήκη και να εμφανιστεί από το πρόγραμμα η κοκκομετρική καμπύλη του, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 8. Εισαγωγή νέου υλικού στο πρόγραμμα EMMA

3.2 Καθορισμός Συνθέσεων

Ο καθορισμός των συνθέσεων έγινε με γνώμονα να επιτευχθεί η μικρότερη δυνατή απόκλιση της καμπύλης της σύνθεσης από την πρότυπη καμπύλη Andreassen και με βάση περιορισμούς ως προς την ποσότητα των χημικών πρόσμικτων ώστε τα παραχθέντα δοκίμια να έχουν όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος παραγωγής.

Για τον υπολογισμό της βέλτιστης σύνθεσης με βάση το μοντέλο Andreassen ακολουθήθηκαν τα παρακάτω:

1. Εισήχθηκαν τα δεδομένα των κοκκομετρικών αναλύσεων και των πυκνοτήτων όλων των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν για τις συνθέσεις στη βάση δεδομένων του λογισμικού EMMA.
2. Καθορίστηκε το ποσοστό του τιμέντου στο μίγμα. Με δεδομένο την έλλειψη προτύπων για τέτοια υλικά, η επιλογή βασίστηκε σε οικονομικά κριτήρια και στην υπάρχουσα γνώση από την τεχνολογία του συμβατικού σκυροδέματος. Σημείο ιδιαίτερης προσοχής είναι η αναλογία του

νερού στο τσιμέντο (W/C) αφού επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος γιατί η περίσσεια νερού (αυτό που δε συμμετέχει στις χημικές αντιδράσεις) αφήνει πόρους αέρα που το αδυνατίζουν.

3. Καθορίστηκαν οι παράμετροι του μοντέλου Andreassen: D , d_{\min} και q . Να διευκρινιστεί εδώ ότι μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου q έχουν σαν επίδραση την σύνθεση καλύτερα κατανομημένων κοκκομετρικών καμπυλών, άρα και καλύτερης «στοίβαξης» (packing) των κόκκων, με συνακόλουθη αύξηση των τελικών αντοχών. Αποτελεί στην ουσία ένα συμβιβασμό ανάμεσα στην επίτευξη μέγιστων μηχανικών αντοχών και της καλύτερης ρεολογικής συμπεριφοράς. Για καλή ρεολογική συμπεριφορά και καλές μηχανικές αντοχές επιλέχθηκε q μεταξύ 0,35 με 0,47.

4. Υπολογίστηκε η βέλτιστη σύνθεση (ποσοστό παιπάλης, ανακυκλωμένων αδρανών καθώς και τσιμέντου) με διαδοχικές δοκιμές, συγκρίνοντας την κοκκομετρική καμπύλη της εκάστοτε προκύπτουσας σύνθεσης με εκείνη της πρότυπης. Ως βέλτιστη επιλέχθηκε εκείνη που παρουσίαζε τη μικρότερη απόκλιση από την πρότυπη. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην ταύτιση των καμπυλών στα μικρότερα κοκκομετρικά κλάσματα. Μετά τον υπολογισμό των αναλογιών των υλικών καθορίστηκαν οι ποσότητες του νερού και των ειδικών χημικών πρόσμικτων που θα χρησιμοποιηθούν. Για τα χημικά πρόσθετα συνήθως υπάρχουν κάποιες προτεινόμενες τιμές από τον κατασκευαστή τους που αναφέρονται στη συνήθη και τη μέγιστη επιτρεπόμενη δοσολογία.

Στη παρούσα μεταπτυχιακή εργασία τα χημικά πρόσμικτα που χρησιμοποιήθηκαν είναι ένας υπερρευστοποιητής (melflux) και ένας επιβραδυντής (τρυγικό οξύ, tartaric acid) όπως αναφέρθηκαν και παραπάνω. Το melflux αυξάνει την εργασιμότητα και μειώνει το λόγο νερού/τσιμέντου, γεγονός που οδηγεί σε αύξηση των μηχανικών αντοχών. Το τρυγικό οξύ, επιβραδύνει τη σκλήρυνση του μικροσκυροδέματος και βοηθά στον περιορισμό της έκλυσης θερμότητας επομένως και της δημιουργίας ρωγμών.

Σε όλες τις συνθέσεις ορίστηκε η ποσότητα των αδρανών και της παιπάλης στο μίγμα να είναι 1700g περίπου. Ο κώνος εξάπλωσης ορίστηκε στα 11cm και η απαιτούμενη ποσότητα νερού καθορίστηκε κατά τη διάρκεια παρασκευής των μιγμάτων με βάση την τιμή αυτή του κώνου εξάπλωσης του νωπού σκυροδέματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Παρασκευή και Εργαστηριακός έλεγχος δοκιμίων

Αρχικά, συγκεντρώθηκαν όλες οι ποσότητες των πρώτων υλών που θα χρησιμοποιούνταν και έγινε η αναγωγή των περιεκτικοτήτων σε γραμμάρια. Στη συνέχεια ακολούθησε η επιμέρους ζύγιση της ποσότητας κάθε υλικού. Λόγω των μικρών ποσοτήτων όλων των υλικών είναι απαραίτητη η ακρίβεια όλων των ζυγίσεων μέχρι το εκατοστό του g, ακρίβεια που προσέφερε η ζυγαριά που χρησιμοποιήθηκε. Μετά τη ζύγιση, όλα τα υλικά μαζί με τα χημικά πρόσμικτα, αναμείχθηκαν εν ξηρώ.

Στη συνέχεια τοποθετήθηκαν στον εργαστηριακό αναμκτήρα (Εικόνα 9). Η ανάμιξη στον εργαστηριακό αναμκτήρα MATEST Mortar mixer E094 έγινε με τη συνήθη ταχύτητα περιστροφής (το πτερύγιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του με συχνότητα 285 στροφών το λεπτό και περιμετρικά του δοχείου με συχνότητα 125 στροφών το λεπτό).



Εικόνα 9. Εργαστηριακός αναμκτήρας

Όταν το μίγμα είχε τον επιθυμητό κώνο εξάπλωσης (Εικόνα 10), τοποθετήθηκε σε πρισματικές μήτρες διαστάσεων 40x40x160mm³ (Εικόνα 11).



Εικόνα 10. Τελική μορφή μίγματος

Η χύτευση του μίγματος στα καλούπια έγινε σε δύο στρώσεις και συμπακνώθηκε σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιώντας μια τράπεζα δόνησης όπου πραγματοποιήθηκαν 60 χτυπήματα σε κάθε μία στρώση. Την επόμενη μέρα τα δοκίμια απομακρύνονταν από τις μήτρες και ακολουθούσε η διαδικασία της ωρίμανσης.



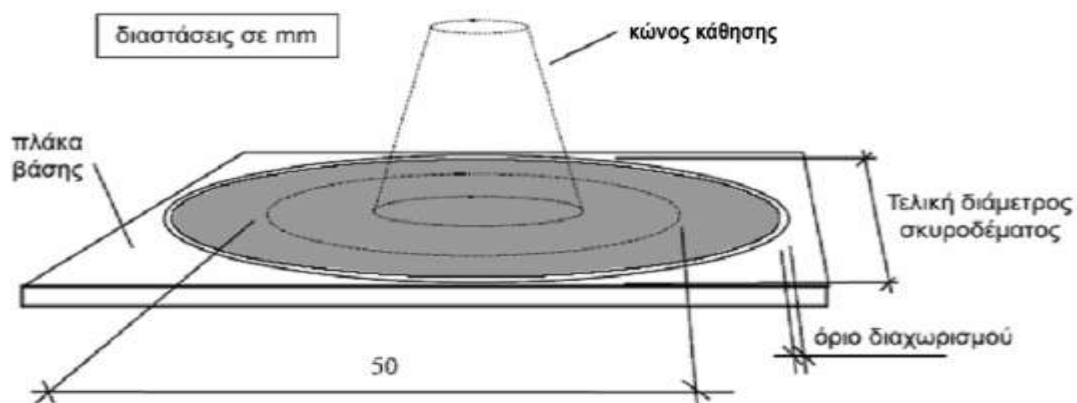
Εικόνα 11. Τράπεζα δόνησης MATEST Jolting apparatus E130 και πρισματικό καλούπι διαστάσεων $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$

Η ωρίμανση των δοκιμίων έγινε σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος σε εργαστηριακό θάλαμο ωρίμανσης της εταιρείας MATEST Curing chamber E139, σε θερμοκρασία $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και υγρασία κατ' ελάχιστο 95% για 27 ημέρες. Έπειτα, παρέμειναν σε συνθήκες περιβάλλοντος για 1 ημέρα, προ της διεξαγωγής των εργαστηριακών δοκιμών.

4.1 Έλεγχος νωπού μικροσκυροδέματος

4.1.1 Η δοκιμή μικροκώνου εξάπλωσης

Η ποσότητα νερού που εισήχθη στο μίγμα, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, καθορίστηκε από την τιμή της δοκιμής του μικροκώνου εξάπλωσης. Με βάση το μέτρο εξάπλωσης εκτιμάται συνήθως η ικανότητα πλήρωσης του μίγματος που παρασκευάζεται. Για να γίνει η μέτρηση χρειάζεται ένας κώνος κάθισης και μια μεταλλική επιφάνεια (Εικόνα 12). Ο κώνος γεμίζει σε μια στρώση και στη συνέχεια αφού σκουπιστεί τριγύρω για τυχόν υπολείμματα, ανασηκώνεται αφήνοντας το σκυρόδεμα να εξαπλωθεί. Λόγω της ρευστότητας του μίγματος σχηματίζεται μια στρογγυλή επιφάνεια (Εικόνα 13). Υπολογίζοντας το μέσο όρο των μετρήσεων δύο κάθετων μεταξύ τους διαμέτρων της επιφάνειας αυτής, καθορίζεται η τιμή της δοκιμής.



Για να γίνει ο απαραίτητος έλεγχος ώστε να προσδιοριστεί η απαιτούμενη ποσότητα νερού για να επιτευχθεί το επιθυμητό μέτρο εξάπλωσης, χρειάζεται ο κατάλληλος κώνος. Ο κώνος που χρησιμοποιήθηκε έχει διαστάσεις 21mm η μικρή διάμετρος, 40mm η μεγάλη διάμετρος και 60mm το ύψος του κώνου.



Εικόνα 12. Κώνος και μεταλλική επιφάνεια

Όταν το μέτρο εξάπλωσης που είχε προσδιοριστεί πριν την έναρξη της παρασκευής του μίγματος, ήταν το επιθυμητό, σταματούσε η προσθήκη του νερού στο μίγμα.



Εικόνα 13. Μέτρηση διαμέτρου στρογγυλής επιφάνειας

Η ποσότητα του νερού καθορίστηκε από τη διάμετρο του κώνου εξάπλωσης που απαιτούνταν. Η χύτευση στα καλούπια έγινε με τη συσκευή δόνησης MATEST Jolting apparatus E130, σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1. Στον Πίνακα 13 παρουσιάζονται όλες οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι συνθέσεις και ο αριθμός των δοκιμών που παρασκευάστηκαν για κάθε σύνθεση.

Πίνακας 13. Συνθέσεις των μιγμάτων που παρασκευάστηκαν.

Κωδικός σύνθεσης	ΣΥΝΘΕΣΗ									ΧΗΜΙΚΑ ΠΡΟΣΘΕΤΑ								Στεγανωτή ς μάζας
	Παυτάλη		Αδρανή		Τσιμέντο				Νερό/Στερεά %	Υπερρευσ- τ.	Διαβρέχτη ς	Αντιαφριστικό		Επιβραδυντής		Microsilica /Τσιμέντο		
	Είδος	Ποσοστό %	Είδος	Ποσοστό %	Είδος	Κωδικός	Ποσοστό %	Συνολικό ποσοστό %		Ποσοστό %	Ποσοστό %	Είδος	Ποσοστό %	Είδος	Ποσοστό %	Ποσοστό %		
C1	QC 11	20	QC 22	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	16,60	0,004				Tartaric acid	0,05	0,05		
	QC 24	10																
C4	QC 11	20	QC 20	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	12,76	0,004				Tartaric acid	0,5	0,05		
	QC 24	10																
C6	QC 11	20	QC 22	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	16,29	0,004						0,05		
	QC 24	10																
C7	QC 11	20	QC 22	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	15,18	0,008						0,05		
	QC 24	10																
C8	QC 11	10	QC 21	65	CEM I 52,5	CEM I	15	15	7,53	0,008						0,05		
	QC 24	10																
C9	QC 11	20	QC 22	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	15,23	0,008	0,075	Agitan P803	0,002			0,05		
	QC 24	10																
C10	QC 11	20	QC 20	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	11,70	0,008	0,075	Agitan P803	0,002			0,05		
	QC 24	10																
C11	QC 11	20	QC 19	60	CEM I 52,5	CEM I	15	15	12,88	0,008	0,075	Agitan P803	0,002			0,05		
	QC 24	5																
C12	QC 11	10	QC 21	65	CEM I 52,5	CEM I	15	15	9,33	0,008	0,1	Agitan P803	0,002			0,05		
	QC 24	10																
C14	QC 11	20	QC 19	65	CEM II 42,5	CEM II M	8	10	17,65	0,008	0,1	Agitan P803	0,005	tartaric acid	0,5	0,05		
	QC 24	5			MICROCEMENT	MC	2											
C15	QC 11	20	QC 20	63	CEM II 42,5	CEM II M	11	12	12,00	0,008	0,1	Agitan P803	0,005	artaric acid	0,5	0,05		
	QC 24	5			MICROCEMENT	MC	1											
C16	QC 11	10	QC 21	65	CEM I 52,5	CEM I	15	15	8,35	0,008		Agitan P840	0,5			0,05		
	QC 24	10																
C17	QC 11	20	QC 22	60	CEM II 42,5	CEM II M	10	12	17,18	0,008	0,1	Agitan P840	0,5	Citric acid	0,1	0,05		
	QC 24	8			MICROCEMENT	MC	2											
C18	QC 11	15	QC 21	65	CEM II 42,5	CEM II M	8	10	9,82	0,008	0,1	Agitan P840	0,5	Citric acid	0,1	0,05		
	QC 24	10			MICROCEMENT	MC	2											
C19	QC 11	15	QC 21	65	CEM II 42,5	CEM II	10	10	10,41	0,008	0,1	Agitan P840	0,5	Citric acid	0,1	0,05		
	QC 24	10																
C20	QC 11	23	QC 22	57	CEM II 42,5	CEM II	10	10	16,76	0,008	0,1	Agitan P803	0,5	Citric acid	0,1	0,05		
	QC 24	10																
C21	QC 11	8	QC 20	72	CEM II 42,5	CEM II	10	10	18,24	0,008	0,1	Agitan P840	0,5	Citric acid	0,1	0,05		
	QC 24	10																
C22			QC 20	30	CEM II 42,5	CEM II	10	10	12,76	0,008						0,05		
			QC 6	10														
			QC 19	50														
C23			QC 20	30	CEM II 42,5	CEM II	10	10	13,12	0,008						0,05		
			QC 6	5														
			QC 22	5														
C24	QC 9	90			CEM II 42,5	CEM II	10	10	23,92									
C25	QC 9	90			CEM II 42,5	CEM II	10	10										
C26	QC 11	10	QC 6	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	12,00	0,008						0,05		
	QC 9	20																
C27	QC 11	20	QC 22	60	CEM II 42,5	CEM II	10	10	14,47	0,008						0,05		
	QC 24	10																
C28	QC 11	10	QC 21	65	CEM II 42,5	CEM II	10	10	9,12	0,008						0,05		
	QC 24	15																
C29			QC 20	30	CEM II 42,5	CEM II	10	10	13,59	0,008						0,05		
			QC 6	10														
			QC 19	50														
C30			QC 20	30	CEM II 42,5	CEM II	10	10	13,76	0,008						0,05		
			QC 6	5														
			QC 22	5														
			QC 19	50														
C31	QC 11	20	QC 29	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	12,94	0,008						0,05	0,30	
	QC 24	10																
C32	QC 11	20	QC 29	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	14,12	0,008						0,05	0,30	
	QC 24	10																
C33	QC 11	20	QC 30	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	11,76	0,008						0,05	0,30	
	QC 24	10																
C34	QC 11	10	QC 28	55	CEM I 52,5	CEM I	15	15	12,00	0,008						0,05	0,30	
	QC 9	20																
C35	QC 11	10	QC 21	65	CEM I 52,5	CEM I	15	15	8,83	0,008						0,05	0,30	
	QC 24	10																

4.2 Έλεγχος σκληρυμένων δοκιμίων

4.2.1 Φυσικές ιδιότητες δοκιμίων

Οι φυσικές ιδιότητες των σκληρυμένων δοκιμίων που μετρήθηκαν, είναι η υδατοαπορρόφηση και η πυκνότητα.

4.2.2.1 Υδατοαπορρόφηση

Ο προσδιορισμός της υδατοαπορρόφησης των δοκιμίων, δηλαδή η ικανότητα που έχει ένα δοκίμιο να απορροφά νερό, είναι σημαντικό για όλες τις κατασκευαστικές εφαρμογές.

Αντιπροσωπευτικά κομμάτια δοκιμίων από κάποιες συνθέσεις τοποθετήθηκαν σε δοχείο με απεσταγμένο νερό για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών, τα δοκίμια σκουπίστηκαν, ζυγίστηκαν και μετρήθηκε το βάρος του. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν για 24 ώρες σε φούρνο στους 105° C και αφού έμειναν σε ξηραντήρα για να κρυώσουν, ζυγίστηκαν ξανά και μετρήθηκε το βάρος τους. Για τον υπολογισμό του νερού που απορροφήθηκε γίνεται χρήση της σχέσης:

$$[(W_{H_2O} - W_{105^{\circ}C}) / W_{H_2O}] * 100$$

όπου, W_{H_2O} το βάρος του δοκιμίου μετά από 24 ώρες στο νερό και $W_{105^{\circ}C}$ το βάρος του δοκιμίου σε ξηρή κατάσταση μετά την παραμονή του εντός του φούρνου.

Στον πίνακα 14 παρουσιάζονται τα βάρη και τις τιμές της υδατοαπορρόφησης για τα δοκίμια των συνθέσεων που μετρήθηκαν.

Πίνακας 14. Μετρήσεις υδατοαπορρόφησης.

Κωδικός	Βάρος (g) δοκιμίου μετά από 24 ώρες στο νερό (W_{H_2O})	Βάρος (g)δοκιμίου μετά από 24 ώρες στους 105° C ($W_{105^{\circ}C}$)	Υδατοαπορρόφηση %
C1	149,04	137,92	8,06
C2	132,82	116,71	13,80
C3	114,02	106,56	7,00
C4	131,90	121,94	8,17
C5	121,42	109,86	10,52
C6	127,54	119,06	7,12
C7	140,56	132,60	6,00
C8	164,63	159,05	3,51
C9	109,82	102,98	6,64
C10	157,79	147,09	7,27
C16	103,47	98,77	4,76
C17	105,07	94,56	11,11
C18	99,23	93,50	6,13
C19	70,95	66,63	6,48
C20	107,85	96,66	11,58
C21	115,92	101,21	14,53
C27	69,40	62,48	11,08
C28	83,39	78,36	6,42
C29	89,80	81,18	10,62
C30	71,08	63,92	11,20

4.2.1.2 Πυκνότητα

Η πυκνότητα του κάθε δοκιμίου υπολογίστηκε από τον τύπο $\rho = m/V$, όπου ρ είναι η πυκνότητα του δοκιμίου, m είναι η μάζα του και V ο όγκος του. Η μάζα του κάθε δοκιμίου μετρήθηκε σε ζυγαριά ενώ ο όγκος του υπολογίστηκε από τον πολλαπλασιασμό των διαστάσεών του (μήκος, πλάτος, ύψος).

Στον πίνακα 15 δίνονται οι διαστάσεις κάθε δοκιμίου όλων των συνθέσεων καθώς και η πυκνότητά τους.

Πίνακας 15. Υπολογισμός πυκνότητας δοκιμίων.

κωδικός δοκιμίου	ΥΨΟΣ (cm)	ΠΛΑΤΟΣ (cm)	ΜΗΚΟΣ (cm)	ΒΑΡΟΣ (g)	V (cm ³)	d (g/cm ³)
C1	4,14	4,00	16,00	558,73	264,96	2,11
C4	4,11	4,00	16,00	570,65	263,04	2,17
C5	4,07	4,00	16,00	560,99	260,46	2,15
C6	4,19	4,00	16,00	544,45	268,27	2,03
C7	4,27	4,00	16,00	569,06	273,32	2,08
C8	4,19	4,00	16,00	625,77	267,84	2,34
C9	4,32	4,00	16,00	575,56	276,39	2,08
C10	4,21	4,00	16,00	593,12	269,38	2,20
C11	4,27	4,00	16,00	587,67	273,32	2,15
C12	4,12	4,00	16,00	606,91	263,49	2,30
C14	3,92	4,00	16,00	500,58	250,56	2,00
C16	4,12	4,00	16,00	600,85	263,36	2,28
C17	4,20	4,00	16,00	528,52	268,54	1,97
C18	4,12	4,00	16,00	586,65	263,94	2,22
C19	4,12	4,00	16,00	580,57	263,62	2,20
C20	4,12	4,00	16,00	520,18	263,38	1,97
C21	4,04	4,00	16,00	526,70	258,54	2,04
C22	4,15	4,00	16,00	561,12	265,45	2,11
C23	4,08	4,00	16,00	544,21	261,06	2,08
C26	4,02	4,00	16,00	553,85	256,96	2,16
C27	4,27	4,00	16,00	524,97	273,17	1,92
C28	4,13	4,00	16,00	590,93	264,09	2,24
C29	4,13	4,00	16,00	546,89	264,04	2,07
C30	4,14	4,00	16,00	546,69	264,75	2,06
C31	4,20	4,00	16,00	558,39	268,48	2,08
C33	4,22	4,00	16,00	555,18	269,76	2,06
C34	4,13	4,00	16,00	544,90	264,26	2,06
C35	4,10	4,00	16,00	591,80	262,59	2,25

4.2.2 Μηχανικές ιδιότητες δοκιμίων

Οι μηχανικές ιδιότητες των σκληρυμένων δοκιμίων που μετρήθηκαν είναι η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη τριών σημείων, η αντοχή τους σε κύκλους ψύξης – απόψυξης, η αντοχή σε θερμικό πλήγμα και η αντοχή σε θετικό μαγνήσιο.

4.2.2.1 Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη τριών σημείων

Μετά το πέρας των 28 ημερών, έγινε η μέτρηση των διαστάσεων (ύψος, μήκος, πλάτος) και του βάρους καθενός δοκιμίου και ακολούθησε η διαδικασία της δοκιμής αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, σύμφωνα με το Πρότυπο EN 196-1. Για κάθε μία σύνθεση έγινε θραύση τριών δοκιμίων και υπολογίστηκε η μέση τιμή της αντοχής τους.

Η δοκιμή μονοαξονικής θλίψης έγινε σε μηχανή C 123N (Εικόνα 15) με σταθερό ρυθμό φόρτισης μεταξύ 0,5 – 1,0 MPa/s. Η συσκευή περιλαμβάνει παράλληλες πλάκες φόρτισης για τη μεταφορά του φορτίου στο δοκίμιο και σφαιρική κεφαλή έδρασης στο πάνω μέρος του δοκιμίου, ο άξονας της οποίας πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με τον άξονα του δοκιμίου και το κέντρο της πλάκας φόρτισης (Εικόνα 14). Η επιβολή του φορτίου και η καταγραφή φορτίου και μετατόπισης γίνεται από ηλεκτρονικό σύστημα. Τα δεδομένα επεξεργάζονται και η αντοχή σε μονοαξονική θλίψη C_o προκύπτει από τη σχέση $C_o = F_{max}/A$, όπου F_{max} το μέγιστο φορτίο (δύναμη) που δέχθηκε το δοκίμιο μέχρι να αστοχήσει και A η επιφάνεια που υπολογίζεται από τη μέση διάμετρο του δοκιμίου (Αγιουτάντης, 2002).



Εικόνα 14. Κελί φόρτισης για δοκιμή μονοαξονικής θλίψης.

Η συσκευή που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη των πρισματικών δοκιμίων πρέπει να είναι κατάλληλης δυναμικότητας και να έχει ακρίβεια $\pm 1\%$ του καταγραφόμενου φορτίου σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 7500-1. Η συσκευή παρέχει ρυθμό φόρτισης $2400 \pm 200 \text{ N/s}$. Τοποθετούμε το δοκίμιο στη συσκευή και αυξάνουμε ομαλά το ρυθμό φόρτισης στα $2400 \pm 200 \text{ N/s}$ μέχρι να γίνει η θραύση του δοκιμίου.

Η αντοχή σε θλίψη των δοκιμίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Όπου:

R_c : η αντοχή σε θλίψη, σε MPa

F_c : το μέγιστο φορτίο τη στιγμή της θραύσης, σε N

1600: η επιφάνεια του δοκιμίου ($40\text{mm} \times 40\text{mm}$), σε mm^2

Καταγράφουμε το αποτέλεσμα ως το μέσο όρο των 6 μετρήσεων για κάθε σετ 3 πρισμάτων. Αν ένα από τα αποτελέσματα διαφέρει $>10\%$ διαγράφεται και υπολογίζουμε το μέσο όρο των 5 μετρήσεων. Αν κάποια από τις 5 μετρήσεις διαφέρει $>10\%$ επαναλαμβάνουμε τη δοκιμή.

Το αποτέλεσμα εκφράζεται στο πλησιέστερο 0,1MPa και παρουσιάζονται στον Πίνακα 16 που ακολουθεί. Σε κάποιες συνθέσεις δεν υπάρχουν μετρήσεις για το τρίτο δοκίμιο λόγω του ότι τα δοκίμια αυτά δεν είχαν τις κατάλληλες διαστάσεις.

Πίνακας 16. Αποτελέσματα μέτρησης αντοχής δοκιμίων σε μονοαξονική θίψη.

Κωδικός σύνθεσης	ANTOXH ΣΕ ΘΛΙΨΗ (MPa)				
	Cs 1	Cs 2	Cs 3	Μέση τιμή Cs	Τυπική απόκλιση σ_c
C1	45,12	44,27	45,89	45,09	0,66
C4	44,56	47,14	23,16	45,85	1,29
C6	40,98	39,61	41,31	40,63	0,73
C7	57,49	39,62	56,16	56,82	0,67
C8	53,21	70,61	89,78	80,20	9,58
C9	55,61	52,24	55,80	54,55	1,64
C10	34,15	52,12	44,36	48,24	3,88
C11	44,16	46,62	46,48	45,01	1,35
C12	55,54	53,90	60,80	56,74	2,94
C16	43,16	50,43	44,40	46,00	3,17
C17	20,04	22,31	22,78	21,71	1,19
C18	27,99	28,13	27,04	27,72	0,49
C19	16,96	15,62	15,41	16,00	0,68
C20	18,95	21,47	15,91	18,78	2,27
C21	11,04	11,36	12,08	11,49	0,43
C22	25,31	24,35	*	24,83	0,48
C23	26,14	25,37	26,13	25,88	0,36
C24	4,24	4,17	2,55	3,65	0,78
C25	4,29	3,37	3,88	3,85	0,38
C26	52,61	50,94	52,94	52,16	0,88
C27	34,73	34,56	34,16	34,48	0,24
C28	36,54	38,03	40,84	38,47	1,78
C29	24,12	23,70	23,93	23,92	0,17
C30	24,21	24,15	23,47	23,94	0,33
C31	41,74	41,85	*	41,79	0,05
C32	40,57	40,59	*	40,58	0,01
C33	35,29	34,17	*	34,73	0,56
C34	43,41	43,66	*	43,54	0,12
C35	59,24	61,81	*	60,52	1,28

*Δεν μετρήθηκαν λόγω ακαταλληλότητας διαστάσεων των δοκιμίων.

Δοκιμή αντοχής σε κάμψη (κάμψη τριών σημείων)

Η συσκευή που χρησιμοποιείται εφαρμόζει φορτία πάνω από 10KN με ακρίβεια $\pm 1\%$ του καταγραφόμενου φορτίου με ρυθμό φόρτισης $50 \pm 10 \text{ N/s}$. Η συσκευή έχει ενσωματωμένους δύο χαλύβδινους κυλίνδρους διαμέτρου $10 \pm 0,5 \text{ mm}$ και η μεταξύ τους απόσταση είναι $100 \pm 0,5 \text{ mm}$ και ένα τρίτο χαλύβδινο κύλινδρο ίδιας διαμέτρου που είναι τοποθετημένος στο μέσο της απόστασης των άλλων δύο. Η απόσταση μεταξύ των τριών κυλίνδρων είναι 45-50mm. Τοποθετούμε το πρισματικό δοκίμιο στη συσκευή (Εικόνα 15) και εφαρμόζουμε κατακόρυφο φορτίο αυξάνοντάς το ομαλά σε $50 \pm 10 \text{ N/s}$ μέχρι την θραύση.



Εικόνα 15. Μηχανή μέτρησης αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη.

Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times I}{b^3}$$

Όπου:

R_f : η αντοχή σε κάμψη, σε MPa

b : η πλευρά της τετραγωνικής διατομής του πρίσματος, σε mm

F_f : το φορτίο που εφαρμόζεται στο μέσο του πρίσματος κατά τη θραύση

I : η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων, σε mm

Το αποτέλεσμα εκφράζεται στο πλησιέστερο 0,1MPa και παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί.

Πίνακας 17. Αποτελέσματα μέτρησης αντοχής δοκιμίων σε κάμψη τριών σημείων.

Κωδικός σύνθεσης	ANTOXH ΣΕ ΚΑΜΨΗ (MPa)				
	Fs 1	Fs 2	Fs 3	Μέση τιμή Fs	Τυπική απόκλιση σ_x
C1	6,42	5,19	4,96	5,52	0,78
C4	5,18	2,81	5,46	5,32	0,14
C6	5,72	7,69	5,75	6,39	0,65
C7	3,52	4,77	6,17	4,82	1,08
C8	8,53	6,48	4,81	7,50	1,03
C9	4,28	4,53	5,03	4,61	0,31
C10	4,36	5,40	4,44	4,74	0,47
C11	6,59	5,16	3,73	5,16	1,17
C12	6,49	5,52	8,88	6,00	1,71
C16	6,95	8,37	7,82	7,71	0,59
C17	4,46	5,43	4,97	4,95	0,39
C18	7,11	5,46	6,24	6,27	0,67
C19	6,48	5,90	5,78	6,06	0,31
C20	4,83	4,85	4,80	4,83	0,02
C21	2,40	2,67	2,64	2,57	0,12
C22	5,99	5,48	5,65	5,70	0,21
C23	6,64	5,26	5,16	5,69	0,68
C24	1,82	3,19	2,93	3,06	0,13
C25	1,24	1,63	1,75	1,54	0,21
C26	9,56	7,42	8,16	8,38	0,89
C27	8,25	8,09	7,68	8,01	0,24
C28	9,66	10,60	9,86	10,04	0,40
C29	6,22	6,43	6,07	6,24	0,15
C30	6,55	6,51	6,35	6,47	0,09
C31	6,89	6,79	*	6,84	0,05
C32	5,79	*	6,99	6,39	0,59
C33	4,58	4,89	*	4,73	0,15
C34	5,90	6,13	*	6,01	0,11
C35	5,83	6,51	*	6,17	0,34

*Δεν μετρήθηκαν λόγω ακαταλληλότητας διαστάσεων των δοκιμίων.

4.2.2.2 Αντοχή σε κύκλους ψύξης - απόψυξης

Επιλεγμένα δοκίμια δοκιμάστηκαν σε σειρά κύκλων ψύξης – απόψυξης σύμφωνα με το πρότυπο EN 1367-1. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει ψύξη των πρισματικών δοκιμίων στους $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε ειδικό κλιματικό θάλαμο (Εικόνα 16) και στη συνέχεια απόψυξη σε δοχείο με απιονισμένο νερό στους $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ο κλιματικός θάλαμος είναι μία συσκευή που παρέχει τη δυνατότητα να εξομοιώνει συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Για τη συγκεκριμένη εργασία οι δοκιμές τεχνητής γήρανσης έγιναν σε κλιματικό θάλαμο του εργαστηρίου CBC SERIES CLIMATIC CHAMBER.

Μετά την ολοκλήρωση των κύκλων ψύξης – απόψυξης, τα δοκίμια εξετάστηκαν για τυχόν αλλαγές (ρωγμές, μείωση μάζας, αλλαγή σε αντοχές). Τα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε δοκιμή αντοχής σε κύκλους ψύξης – απόψυξης είναι δοκίμια των συνθέσεων C31, C33, C34 και C35. Για κάθε μία από τις συνθέσεις αυτές έχουν παρασκευαστεί εννέα συνολικά δοκίμια με συμπληρωματική ονομασία κωδικού από το a έως το i. Έτσι, τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή αυτή έχουν κωδικούς C31f, C31g, C33a, C33b, C34e, C34f, C35c και C35d.

Η διαδικασία κύκλου ψύξης – απόψυξης περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια θερμοκρασιακών προφίλ:

Στάδιο ψύξης

1. Μειώνουμε τη θερμοκρασία του κλιματικού θαλάμου που περιέχει τα δοκίμια από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χώρου του εργαστηρίου ($20 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$) στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε χρόνο $150 \pm 30\text{ min}$ και τη διατηρούμε στους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ για $210 \pm 30\text{ min}$.
2. Μειώνουμε τη θερμοκρασία από τους $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ στους $-17,5 \pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε χρόνο $180 \pm 30\text{ min}$ και τη διατηρούμε στους $-17,5 \pm 2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ για τουλάχιστον 240 min .
3. Η θερμοκρασία δεν πρέπει να πέσει κάτω από τους $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Στάδιο απόψυξης

4. Μετά την ολοκλήρωση του κύκλου ψύξης, για την απόψυξη, βγάζουμε τα δοχεία με τα δείγματα από τον κλιματικό θάλαμο και τα τοποθετούμε σε λεκάνη με νερό σε θερμοκρασία περίπου 20°C . Η απόψυξη θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί όταν η θερμοκρασία του νερού στα δοχεία με τα δείγματα φτάσει στους $20 \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Μετά την ολοκλήρωση της φάσης απόψυξης, διατηρούμε τα δοχεία στο νερό σε θερμοκρασία $20 \pm 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ για μέγιστο χρόνο 10 h. Κάθε κύκλος ψύξης-απόψυξης πρέπει να ολοκληρώνεται σε χρονικό διάστημα 24 h.

Τα δοκίμια υποβλήθηκαν αρχικά σε 12 κύκλους ψύξης – απόψυξης και στη συνέχεια σε 28 κύκλους, μετά το πέρας των οποίων, μετρήθηκε η απώλεια μάζας τους καθώς και η ταχύτητα διάδοσης διαμήκους κύματος ήχου (sound velocity).



Εικόνα 16. Κλιματικός θάλαμος

Το ποσοστό της απώλειας μάζας των δοκιμίων μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής ψύξης – απόψυξης υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$F = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Όπου:

M1: η αρχική μάζα του δοκιμίου μετά την ξήρανση (στους $105 \text{ }^{\circ}\text{C}$) σε g

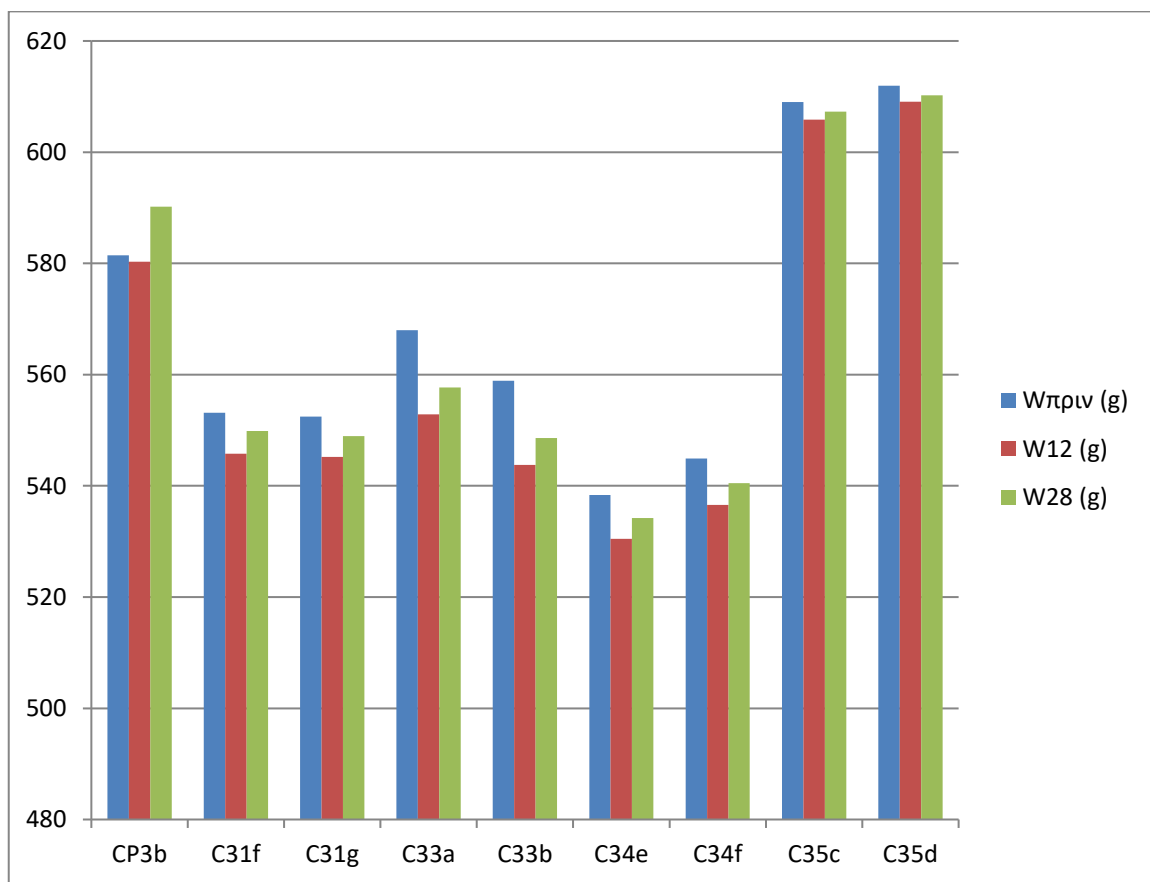
M2: η τελική μάζα του δοκιμίου μετά την ξήρανση, σε g

F: το ποσοστό της απώλειας μάζας των δοκιμίων μετά τους κύκλους ψύξης - απόψυξης

Τα αποτελέσματα της απώλειας μάζας των δοκιμίων για τους κύκλους ψύξης – απόψυξης παρουσιάζονται στον Πίνακα 18 και στο Διάγραμμα 7.

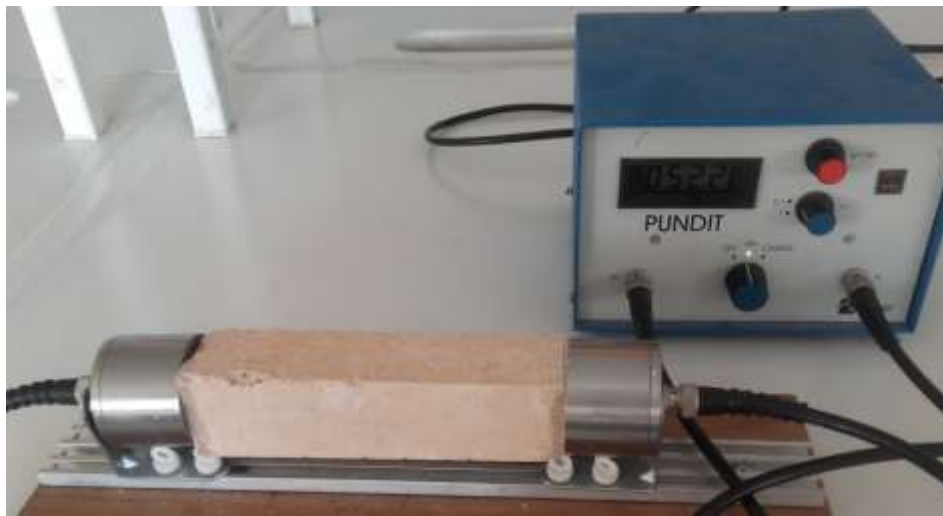
Πίνακας 18. Μάζα δοκιμίων μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης - απόψυξης

Κωδικός δοκιμίου	$W_{\text{πριν}}$ (g)	W_{12} (g)	W_{28} (g)
CP3b	581,48	580,28	590,18
C31f	553,15	545,75	549,85
C31g	552,45	545,21	548,95
C33a	567,97	552,84	557,7
C33b	558,87	543,77	548,59
C34e	538,34	530,45	534,24
C34f	544,92	536,55	540,48
C35c	609,02	605,85	607,29
C35d	611,97	609,06	610,25



Διάγραμμα 7. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης - απόψυξης

Ο έλεγχος για μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων λόγω δημιουργίας μικρορωγμών στα δοκίμια μετά τη δοκιμή αντοχής τους σε κύκλους ψύξης-απόψυξης πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή υπερήχων σκυροδέματος που βασίζεται στον προσδιορισμό της ταχύτητας μετάδοσης των διαμηκών κυμάτων του ήχου (sound velocity) μέσα από το σκυρόδεμα. Αναλυτικά, με τη μέθοδο αυτή, ελέγχεται η ομοιομορφία και η σχετική ποιότητα του σκυροδέματος, εντοπίζεται η ύπαρξη κενών και ρωγμών και αξιολογείται η αποτελεσματικότητα επισκευής των ρωγμών μετά από εργασίες επισκευής σκυροδέματος. Η διάταξη της συσκευής που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17. Συσκευή υπερήχων σκυροδέματος

Ένας πομπός, σε επαφή με το δοκίμιο του σκυροδέματος, δημιουργεί ηχητικά κύματα, που ταξιδεύουν μέσα στο σκυρόδεμα και ανιχνεύονται μετά από χρόνο t από ένα δέκτη που βρίσκεται και αυτός σε επαφή με το σκυρόδεμα σε απόσταση L από τον πομπό. Η ταχύτητα του ήχου υπολογίζεται διαιρώντας L/t .

Η ταχύτητα μετάδοσης V , των διαμηκών κυμάτων στη μάζα του σκυροδέματος εξαρτάται από τις ελαστικές ιδιότητες και την πυκνότητα του σκυροδέματος:

$$V = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}}$$

Όπου:

E = δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

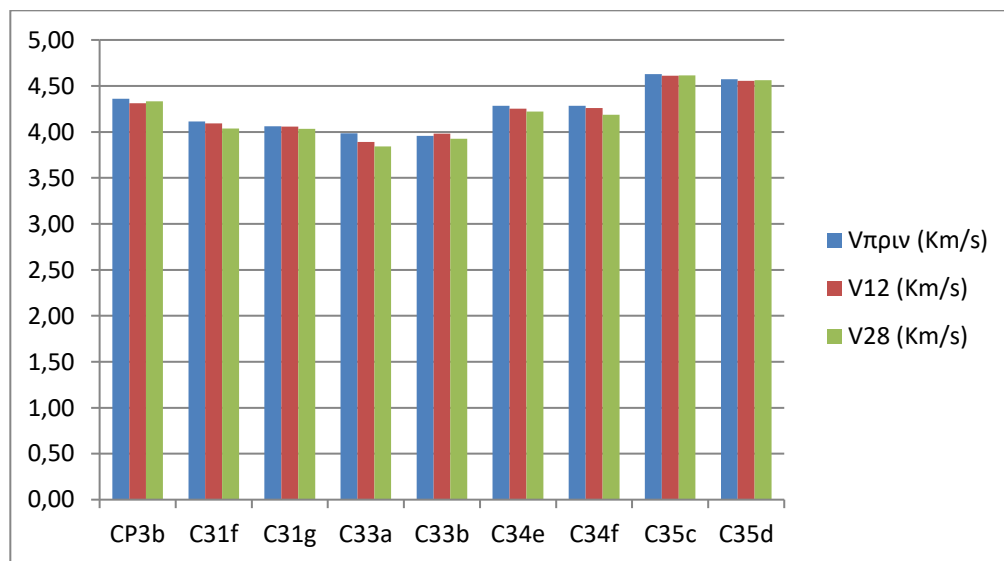
μ = δυναμικός λόγος Poisson's (Ο λόγος της πλευρικής προς την αξονική παραμόρφωση)

ρ = πυκνότητα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων των δοκιμίων πριν υποβληθούν στη διαδικασία ψύξης-απόψυξης, μετά από 12 και μετά από 28 κύκλους, παρουσιάζονται στον Πίνακα 19 και στο Διάγραμμα 8.

Πίνακας 19. Μετρήσεις και υπολογισμός ταχύτητας διάδοσης V του ήχου, πριν, μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης.

Κωδικός δοκιμίου	$t_{\text{πριν}}$ (μs)	t_{12} (μs)	t_{28} (μs)	L (mm)	$V_{\text{πριν}}$ (Km/s)	V_{12} (Km/s)	V_{28} (Km/s)
CP3b	36,7	37,1	36,93	160	4,36	4,31	4,33
C31f	38,9	39,1	39,63	160	4,11	4,09	4,04
C31g	39,4	39,43	39,67	160	4,06	4,06	4,03
C33a	40,17	41,13	41,63	160	3,98	3,89	3,84
C33b	40,43	40,2	40,77	160	3,96	3,98	3,92
C34e	37,35	37,63	37,9	160	4,28	4,25	4,22
C34f	37,35	37,57	38,23	160	4,28	4,26	4,19
C35c	34,57	34,7	34,67	160	4,63	4,61	4,61
C35d	35	35,13	35,07	160	4,57	4,55	4,56



Διάγραμμα 8. Ταχύτητα μετάδοσης V , μετά από 12 και 28 κύκλους ψύξης – απόψυξης.

4.2.2.3 Αντοχή σε θερμικό πλήγμα

Ο προσδιορισμός της αντοχής των δοκιμίων σε θερμικό πλήγμα έγινε σύμφωνα με το EN 14066. Τα δοκίμια που υποβλήθηκαν σε δοκιμή αντοχής σε θερμικό πλήγμα είναι τα C31e, C33f, C34c και C35f. Πραγματοποιήθηκαν 20 θερμικοί κύκλοι. Αρχικά έγινε ξήρανση των επιλεγμένων δοκιμίων στους $(40 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ για μία εβδομάδα πριν τους κύκλους. Στη συνέχεια στον κάθε κύκλο γινόταν ξήρανση των δοκιμίων στους $(70 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ για χρόνο $(18 \pm 1)\text{h}$ και απευθείας εμβάπτιση σε νερό στους $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ για χρόνο $(6 \pm 0,5)\text{h}$.

Μετά το πέρας των 20 κύκλων, μετρήθηκε η απώλεια μάζας των δοκιμίων καθώς και η ταχύτητα διάδοσης κύματος (sound velocity). Τα αποτελέσματα για την απώλεια μάζας των δοκιμίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 20 και για την ταχύτητα διάδοσης κύματος στον Πίνακα 21.

Πίνακας 20. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά από θερμικό πλήγμα.

Thermal shock			
Κωδικός δοκιμίου	$W_{\text{πριν}}$ (g)	W_{20} (g)	Απώλεια Μάζας %
C31e	534,34	521,13	2,472209
C33f	532,59	518,33	2,677482
C34c	526,60	516,46	1,925560
C35f	589,54	576,28	2,249211

Πίνακας 21. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά από θερμικό πλήγμα.

Κωδικός δοκιμίου	$t_{\text{πριν}}$ (μs)	t_{20} (μs)	L (mm)	$V_{\text{πριν}}$ (Km/s)	V_{20} (Km/s)	V (Km/s)
C31e	40,60	42,50	160	3,94	3,76	4,471
C33f	41,70	44,20	160	3,84	3,62	5,656
C34c	38,63	39,95	160	4,14	4,01	3,304
C35f	38,37	37,00	160	4,17	4,32	3,703

4.2.2.4 Αντοχή σε θειικό μαγνήσιο

Για τη δοκιμή αντοχής σε θειικό μαγνήσιο χρησιμοποιήθηκε διάλυμα περιεκτικότητας 1500g/L MgSO_4 πυκνότητας $1,292 \pm 0,008 \text{ g/ml}$. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή αυτή είναι τα C31h, C34h και C35h. Για τη δοκιμή πραγματοποιήθηκαν 8 κύκλοι. Ο κάθε κύκλος αποτελούταν από τέσσερα βήματα. Στο πρώτο βήμα γινόταν εμβαπτισμός των πρισματικών δοκιμίων για χρονικό διάστημα 24h στο διάλυμα του θειικού μαγνησίου σε θερμοκρασία $20 \pm ^\circ\text{C}$. Στο δεύτερο βήμα γινόταν ξήρανση των δοκιμίων στους 65°C για 24h. Στο τρίτο βήμα τα δοκίμια εμβαπτίζονταν σε νερό για 24h και τέλος στο τέταρτο βήμα γινόταν ξήρανση των δοκιμίων στους 65°C για 24h. Ο κάθε κύκλος κρατούσε τέσσερις μέρες και έγιναν μετρήσεις μετά από 3, 4, 5, 6, 7 και 8 κύκλους. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στους Πίνακες 22, 23 και στο Διάγραμμα 9.

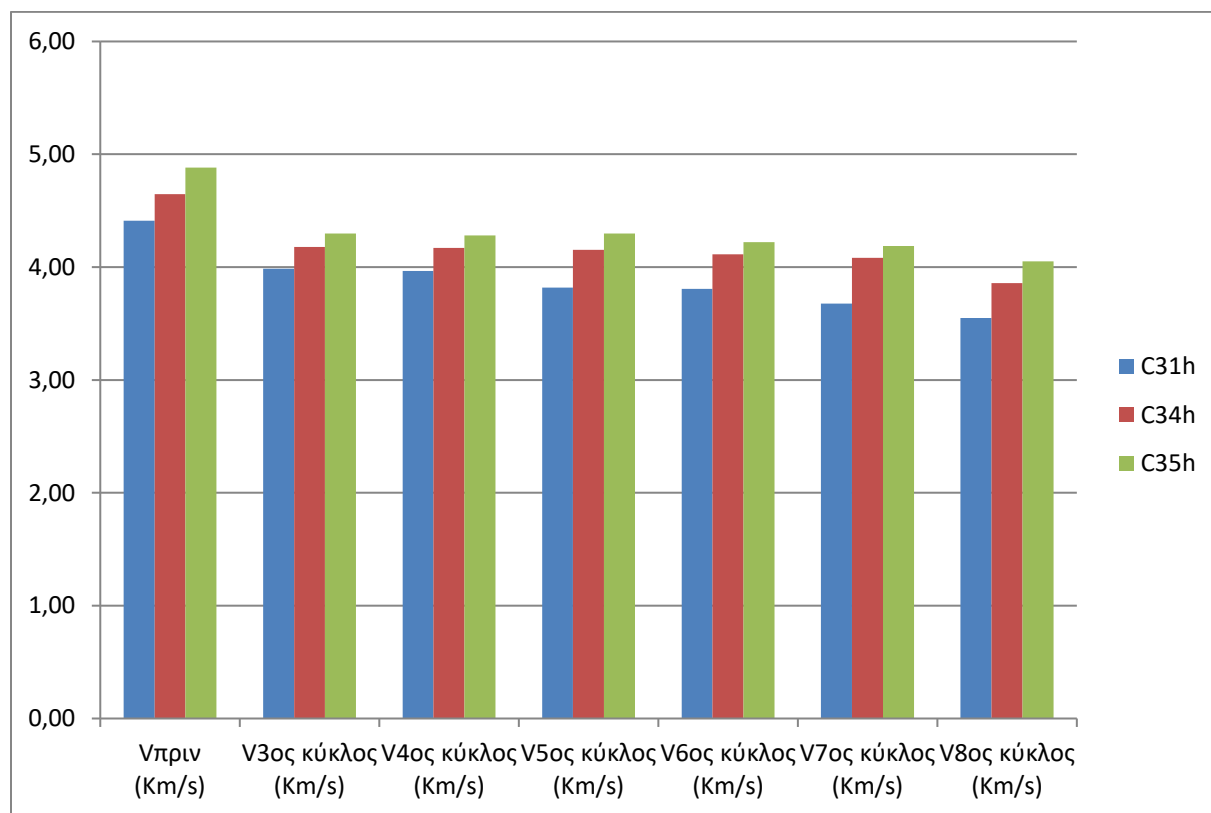
Πίνακας 22. Απώλεια μάζας δοκιμίων μετά τη δοκιμή αντοχής σε θειικό μαγνήσιο.

Κωδικός δοκιμίου	$W_{\text{πριν την εναρξη της δοκιμής (g)}}$	$W_{30\text{ος κύκλος (g)}}$	$W_{40\text{ος κύκλος (g)}}$	$W_{50\text{ος κύκλος (g)}}$	$W_{60\text{ος κύκλος (g)}}$	$W_{70\text{ος κύκλος (g)}}$	$W_{80\text{ος κύκλος (g)}}$	Απώλεια μάζας %
C31h	540,02	537,83	537,5	537,06	534,98	534,35	534,02	1,11107
C34h	533,5	533,55	533,74	533,12	533,95	532,37	532	0,281162
C35h	598,73	594,09	593,24	592,17	591,47	591,02	590,98	1,294406

Πίνακας 23. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά τη δοκιμή αντοχής σε θειικό μαγνήσιο.

	Δοκίμια		
	C31h	C34h	C35h
	Χρόνος διάδοσης ήχου		
$t_{\text{πριν}} (\mu\text{s})$	36,27	34,43	32,77
$t_{30\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	40,13	38,30	37,23
$t_{40\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	40,33	38,37	37,37
$t_{50\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	41,90	38,53	37,23
$t_{60\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	42,03	38,90	37,90
$t_{70\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	43,50	39,20	38,20
$t_{80\text{ος κύκλος}} (\mu\text{s})$	45,07	41,47	39,50
	Μήκος δοκιμίων L (mm)		
	160,00	160,00	160,00

	Ταχύτητα ήχου		
$V_{\text{πριν}}$ (Km/s)	4,41	4,65	4,88
$V_{3\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,99	4,18	4,30
$V_{4\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,97	4,17	4,28
$V_{5\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,82	4,15	4,30
$V_{6\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,81	4,11	4,22
$V_{7\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,68	4,08	4,19
$V_{8\text{ος κύκλος}}$ (Km/s)	3,55	3,86	4,05



Διάγραμμα 9. Ταχύτητα διάδοσης κύματος V, μετά τη δοκιμή αντοχής σε θεικό μαγνήσιο.

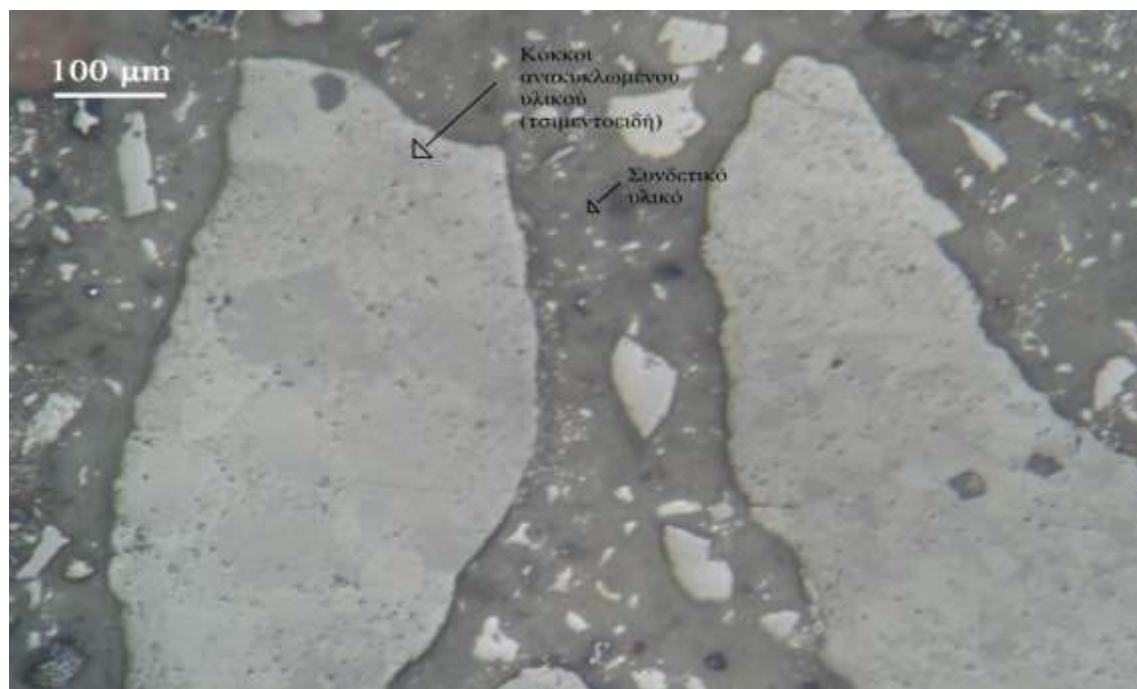
4.2.3 Έλεγχος μικροδομής δοκιμίων

Η μικροδομή των σκληρυμένων δοκιμίων εξετάστηκε με πολωτικό μικροσκόπιο σε ανακλώμενο φως. Για την εξέταση της δομής με το πολωτικό μικροσκόπιο, κατασκευάστηκαν στιλβωμένες τομές (Εικόνα 18) από τα δοκίμια τα οποία εξετάστηκαν.

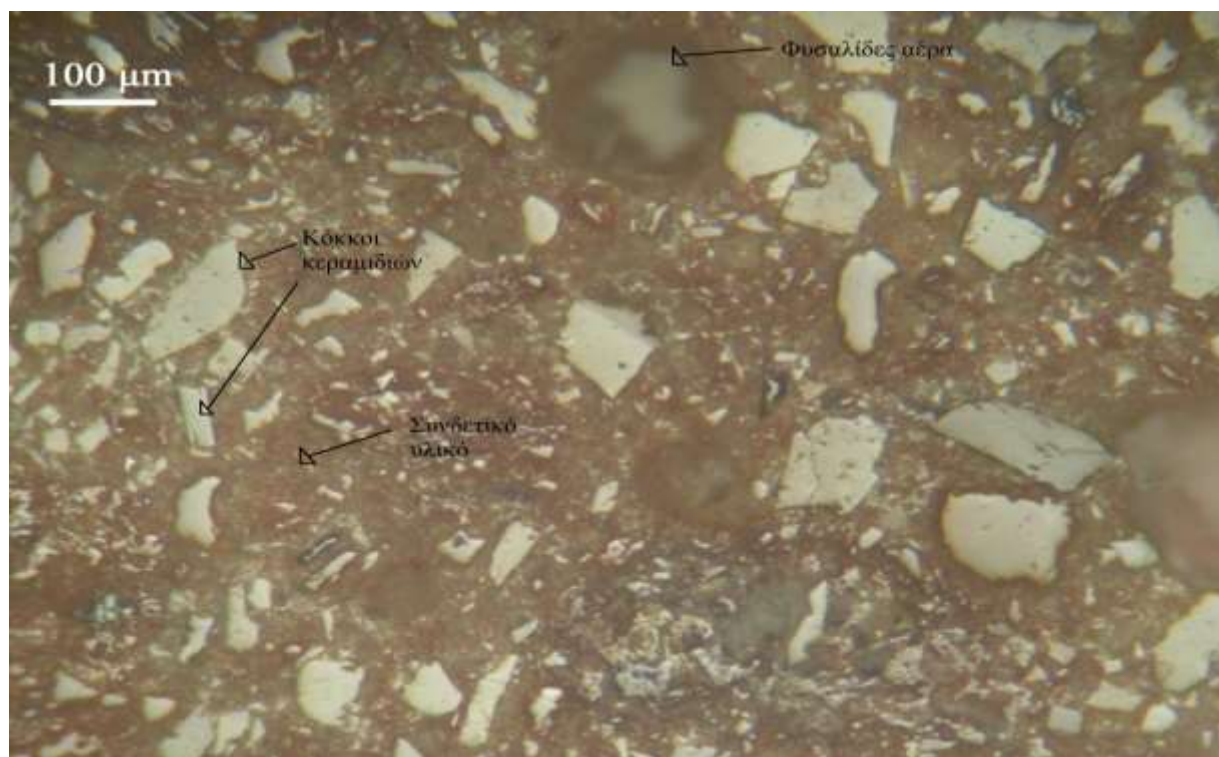


Εικόνα 18. Στιλβωμένες τομές δοκιμίων συνθέσεων

Τυπικές μικροφωτογραφίες της δομής των εξετασθέντων δειγμάτων των συνθέσεων C17 και C18 φαίνονται στις εικόνες 19 και 20.



Εικόνα 19. Μικροφωτογραφία στιλπνής τομής δοκιμίου της σύνθεσης C18. Οι κόκκοι των ανακυκλωμένων τσιμεντοειδών είναι διεσπαρμένοι ομοιόμορφα εντός του συνδετικού υλικού. Ανακλώμενο φως, //Nicols.



Εικόνα 20. Μικροφωτογραφία στιλπής τομής δοκιμίου της σύνθεσης C7. Οι κόκκοι των ανακυκλωμένων κεραμιδιών είναι επιμήκεις και διεσπαρμένοι ομοιόμορφα εντός του συνδετικού υλικού. Οι κυκλικές οπές είναι φυσαλίδες εγκλωβισμένου αέρα. Ανακλώμενο φως, //Nicols.

Από τις μικροφωτογραφίες των Εικόνων 19 και 20, παρατηρούμε ότι οι κόκκοι των ανακυκλωμένων κεραμιδιών είναι πιο επιμήκεις σε σχέση με τους κόκκους των ανακυκλωμένων τσιμεντοειδών υλικών και οι κόκκοι της παιπάλης είναι ακανόνιστου σχήματος, γωνιώδεις, πρισματικοί και η μορφή τους σχετίζεται άμεσα με την κρυσταλλική δομή (ρομβοεδρική) του βασικού ορυκτολογικού της συστατικού του ασβεστίτη. Παρατηρείται επίσης ομοιογενής διασπορά των διαφόρων μεγεθών των κόκκων εντός του συνδετικού υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Φαίνονται επίσης, κενά-φυσαλίδες αέρα σε διάφορα μεγέθη που οφείλονται κυρίως στον εγκλωβισμένο αέρα εντός του μίγματος. Τα κενά αέρα φαίνονται και μακροσκοπικά στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21. Οπές διαφόρων μεγεθών λόγω των φυσαλίδων αέρα σε δοκίμιο της σύνθεσης C7.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Επεξεργασία αποτελεσμάτων-Συζήτηση

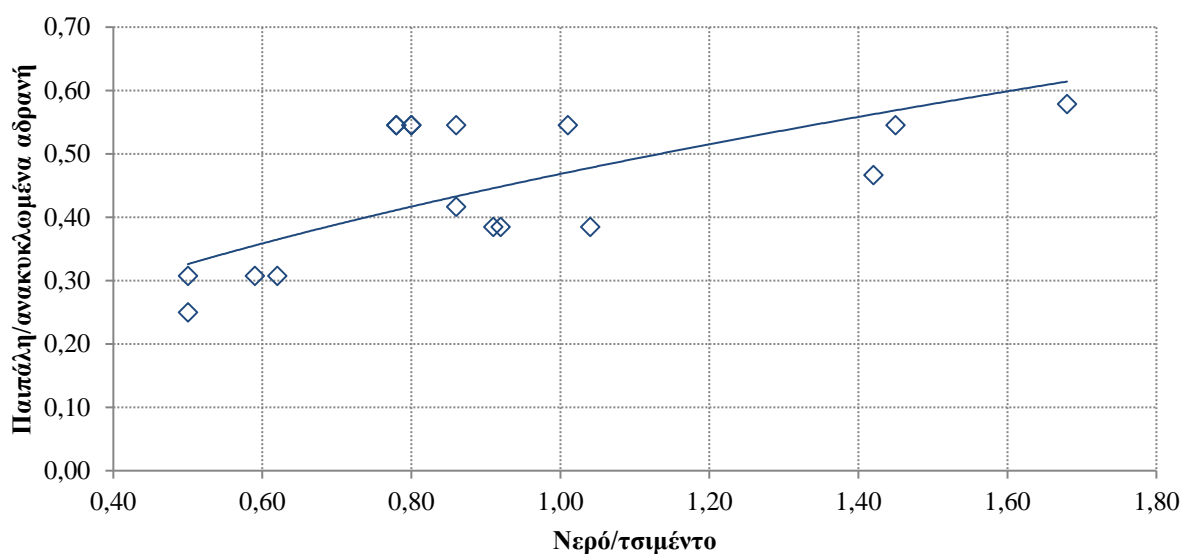
Οι αναλογίες των συνθέσεων που παρασκευάστηκαν καθώς και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών ελέγχων των σκληρυμένων δοκιμίων μετά την ωρίμανση δίνονται στον Πίνακα 24.

Πίνακας 24. Συνθέσεις δοκιμίων και αποτελέσματα εργαστηριακών δοκιμών.

Κωδικός σύνθεσης	ΣΥΝΘΕΣΗ							ΛΟΓΟΙ				ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ		ANTOXH (MPa)	
	Παιπάλη		Αδρανή		Τσιμέντο			Νερό/ Τσιμέντο	Τσιμέντο/ Παιπάλη	Τσιμέντο/ Σύνολο αδρανών	Παιπάλη/ Αδρανή	Πυκνότητα d (g/cm ³)	Υδαταπορ ρόφηση %	Μέση τιμή Fs	Μέση τιμή Cs
	Είδος	Ποσοστό %	Είδος	Ποσοστό %	Κωδικός	Ποσοστό %	Συνολικό ποσοστό %								
C7	QC 11	20	QC 22	55	CEM I	15	15	1,01	0,50	0,18	0,55	2,08	6,02	4,82	56,82
	QC 24	10													
C8	QC 11	10	QC 21	65	CEM I	15	15	0,50	0,75	0,18	0,31	2,34	3,57	7,50	80,20
	QC 24	10													
C10	QC 11	20	QC 20	55	CEM I	15	15	0,78	0,50	0,18	0,55	2,20	7,75	4,74	48,24
	QC 24	10													
C11	QC 11	20	QC 19	60	CEM I	15	15	0,86	0,60	0,18	0,42	2,15		5,16	45,01
	QC 24	5													
C12	QC 11	10	QC 21	65	CEM I	15	15	0,62	0,75	0,18	0,31	2,30		6,00	56,74
	QC 24	10													
C17	QC 11	20	QC 22	60	CEM II	10	12	1,42	0,43	0,14	0,47	1,97	11,11	4,95	21,71
	QC 24	8			MC	2									
C18	QC 11	15	QC 21	65	CEM II	8	10	0,92	0,40	0,11	0,38	2,22	6,13	6,27	27,72
	QC 24	10			MC	2									
C19	QC 11	15	QC 21	65	CEM II	10	10	1,04	0,40	0,11	0,38	2,20	6,48	6,06	16,00
	QC 24	10													
C20	QC 11	23	QC 22	57	CEM II	10	10	1,68	0,30	0,11	0,58	1,98	11,63	4,83	18,78
	QC 24	10													
C21	QC 11	8	QC 20	72	CEM II	10	10	1,82	0,56	0,11	0,25	2,04	14,60	2,57	11,49
	QC 24	10													
C26	QC 11	10	QC 6	55	CEM I	15	15	0,80	0,50	0,18	0,55	2,16	7,75	8,38	52,16
	QC 9	20													
C27	QC 11	20	QC 22	60	CEM II	10	10	1,45	0,33	0,11	0,55	1,92	10,67	8,01	34,48
	QC 24	10													
C28	QC 11	10	QC 21	65	CEM II	10	10	0,91	0,40	0,11	0,38	2,24	6,45	10,04	38,47
	QC 24	15													
C29			QC 20	30	CEM II	10	10	1,36		0,11		2,07	10,60	6,24	23,92
			QC 6	10											
			QC 19	50											
C30			QC 20	30	CEM II	10	10	1,38		0,11		2,07	11,18	6,47	23,94
			QC 6	5											
			QC 22	5											
			QC 19	50											
C31	QC 11	20	QC 29	55	CEM I	15	15	0,86	0,50	0,18	0,55	2,08	7,26	6,84	41,79
	QC 24	10													
C33	QC 11	20	QC 30	55	CEM I	15	15	0,78	0,50	0,18	0,55	2,06	8,30	4,73	34,73
	QC 24	10													
C34	QC 11	10	QC 28	55	CEM I	15	15	0,80	0,50	0,18	0,55	2,06	6,12	6,01	43,54
	QC 9	20													
C35	QC 11	10	QC 21	65	CEM I	15	15	0,59	0,75	0,18	0,31	2,25	5,05	6,17	60,52
	QC 24	10													
Επεξήγηση συμβόλων															
QC 6: Ανακυκλωμένα πλακάκια (1η παρτίδα)						QC 22: Ανακυκλωμένα κεραμίδια (1η παρτίδα)						CEM I: Λευκό τσιμέντο τύπου 52,5R			
QC 11: Παιπάλη μαρμάρου ξηραντήρα						QC 24: Παιπάλη μαρμάρου φίλτρου						CEM II: Τσιμέντο κοινό τύπου 42,5			
QC 19: Ανακυκλωμένα σοβάς, τσιμέντο, τούβλα						QC 28: Ανακυκλωμένα πλακάκια FINOMIX (2η παρτίδα)						MC: Μικροτσιμέντο			
QC 20: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα (1η παρτίδα)						QC 29: Ανακυκλωμένα κεραμίδια FINOMIX (2η παρτίδα)									
QC 21: Ανακυκλωμένα τσιμεντοειδή						QC 30: Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα FINOMIX (2η παρτίδα)									

Ο σχεδιασμός των συνθέσεων του Πίνακα 24, όπως ήδη αναφέρθηκε, έγινε με χρήση του λογισμικού EMMA (Elkem Material Mixture Analyzer) και λαμβάνοντας υπόψη περιορισμούς σχετικούς με το κόστος των απαιτούμενων συνδετικών κονιών (τσιμέντο διαφόρων τύπων) και ειδικών πρόσθετων (υπερευστοποιητής, silica fume) καθώς και με την εκτιμώμενη διαθεσιμότητα των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών. Ο λόγος παιπάλης προς ανακυκλωμένα αδρανή κυμάνθηκε από 0,25 έως 0,55 και ο λόγος τσιμέντο προς αδρανή από 0,1 έως 0,15. Αν και χρησιμοποιήθηκε υπερευστοποιητής κατά την παρασκευή των μιγμάτων, ο λόγος νερό προς τσιμέντο που απαιτήθηκε για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ρευστότητας στο μίγμα κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα από 0,50 έως 1,68.

Οι μεγάλες τιμές του λόγου νερό προς τσιμέντο οφείλονται στο υψηλό ποσοστό της περιεχόμενης παιπάλης στα μίγματα όπως φαίνεται και στο Σχήμα 9, που δείχνει τη μεταβολή του λόγου νερό προς τσιμέντο σε σχέση με το λόγο παιπάλη προς ανακυκλωμένα αδρανή.



Σχήμα 9. Μεταβολή του λόγου νερό/τσιμέντο σε σχέση με την περιεχόμενη παιπάλη.

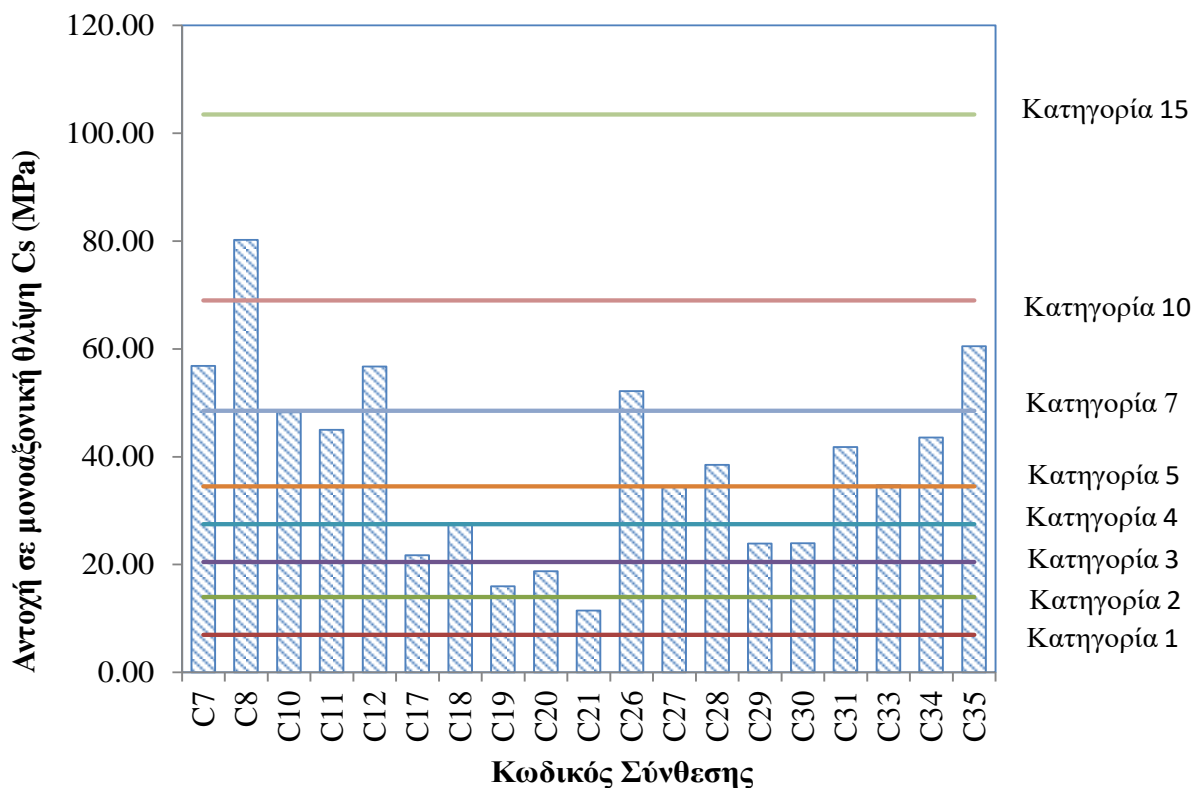
Οι τιμές για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη και την υδατοαπορρόφηση των σκληρυμένων δοκιμίων στις 28 ημέρες κυμαίνονται από 11,49-80,20 MPa και από 3,57-14,60% αντίστοιχα. Με βάση τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN196/01 και EN13755 που ορίζουν τις απαιτήσεις όσον αφορά τις φυσικομηχανικές ιδιότητες για εμφανή φέροντα δομικά στοιχεία τύπου τεχνητού δομικού λίθου, οι περισσότερες συνθέσεις πληρούν τις απαιτήσεις για την αντοχή σε

μονοαξονική θλίψη ($C_s > 12\text{MPa}$) και την υδατοαπορρόφηση ($< 10\%$). Σύμφωνα με το πρότυπο BS 3921:1965, που αναφέρεται σε πολλαπλές κατηγορίες δομικών λίθων (Πίνακας 25), όλες οι συνθέσεις πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις του προτύπου για την κατηγορία I, όλες εκτός μιας για την κατηγορία 2, ενώ η πλειονότητα κυμαίνεται μεταξύ των κατηγοριών 5 και 7. Μια σύνθεση (C8) πληροί τις προδιαγραφές της απαιτητικής κατηγορίας 10.

Πίνακας 25. Ελάχιστες απαιτήσεις αντοχής σε μονοαξονική θλίψη φέροντων δομικών στοιχείων και κατηγορίες κατάταξής τους (BS 3921:1965).

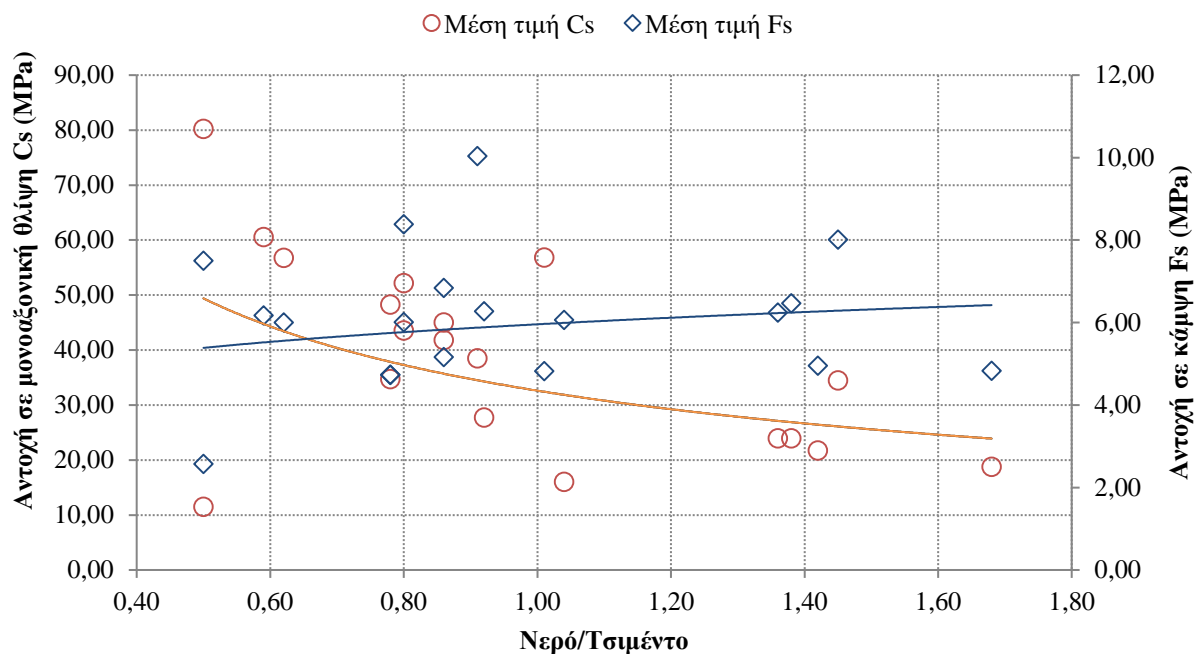
Κατηγορίες φέροντων δομικών στοιχείων	1	2	3	4	5	7	10	15
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη (MPa)	7,0	14,0	20,5	27,5	34,5	48,5	69,0	103,5

Η κατανομή των δοκιμών των συνθέσεων, με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη, στις διάφορες κατηγορίες φερόντων δομικών του προτύπου BS 3921:1965 παρουσιάζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 10.

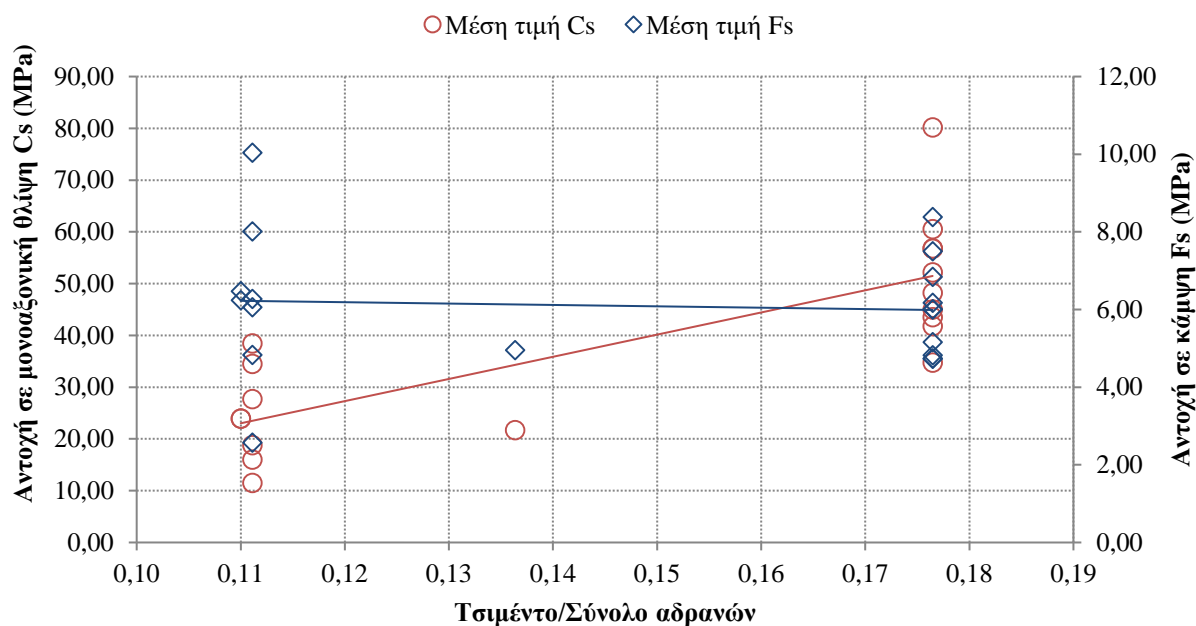


Σχήμα 10. Σύγκριση των τιμών της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη των συνθέσεων με εκείνες των κατηγοριών του προτύπου BS 3921:1965 για φέροντα δομικά στοιχεία.

Η συσχέτιση των τιμών της αντοχής σε κάμψη και θλίψη, της υδατοαπορρόφησης και της πυκνότητας με τις παραμέτρους των συνθέσεων έδειξε ότι ο λόγος νερό προς τσιμέντο κατά κύριο λόγο και σε μικρότερο βαθμό ο λόγος τσιμέντο προς αδρανή επηρεάζουν τις επιτυγχανόμενες τιμές. Η μείωση του λόγου νερού προς τσιμέντο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11, οδηγεί σε σημαντική αύξηση της C_s και σε μικρότερο βαθμό και της F_s . Η αύξηση του λόγου τσιμέντο προς αδρανή, όπως φαίνεται στο Σχήμα 12, οδηγεί σε αύξηση της C_s , ενώ η επίδραση στην F_s είναι αμελητέα.

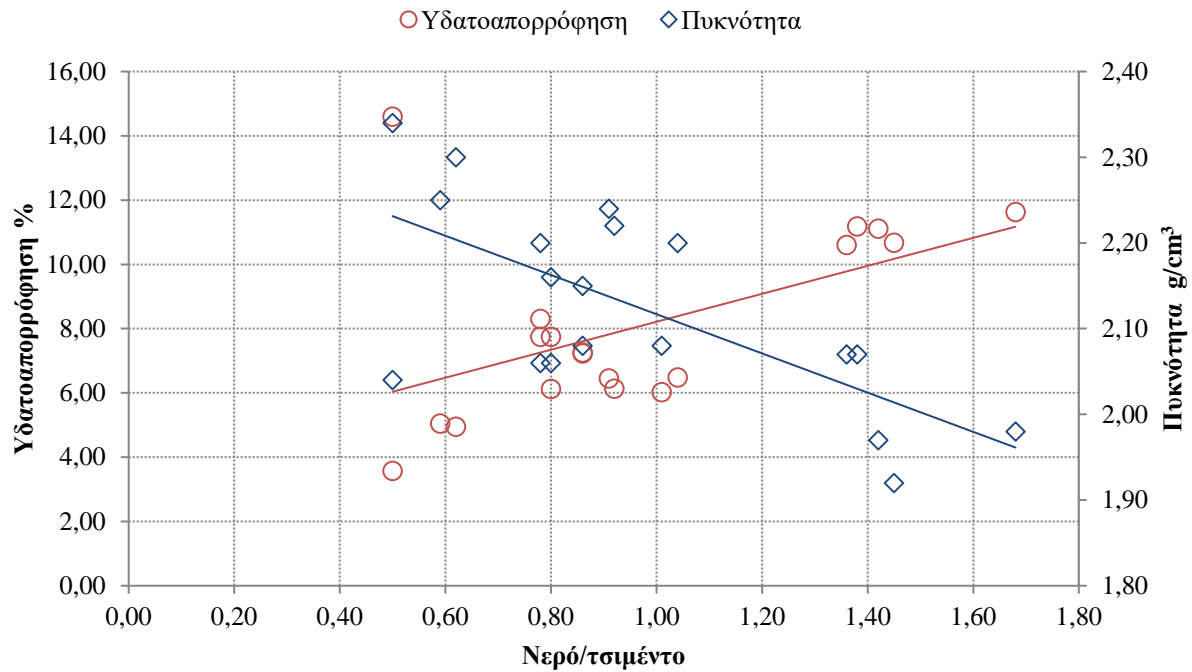


Σχήμα 11. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη σε σχέση με το λόγο νερού-τσιμέντου.

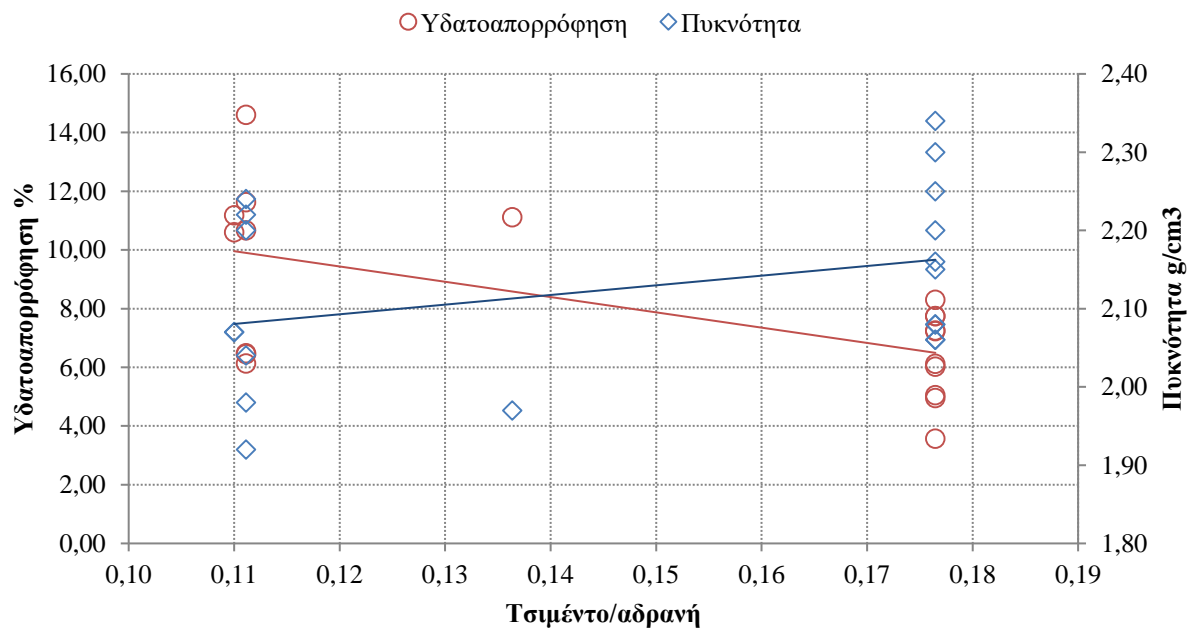


Σχήμα 12. Μεταβολή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη και κάμψη σε σχέση με το λόγο τσιμέντου-σύνολο αδρανών.

Όσον αφορά στην υδατοαπορρόφηση και στην πυκνότητα, αύξηση του λόγου νερού προς τσιμέντο οδηγεί σε σημαντική αύξηση της υδατοαπορρόφησης και μείωση της πυκνότητας. Η αύξηση του λόγου τσιμέντο προς αδρανή οδηγεί αντίθετα σε μείωση της υδατοαπορρόφησης και αύξηση της πυκνότητας (Σχήματα 13-14).



Σχήμα 13. Μεταβολή της υδατοαπορρόφησης και της πυκνότητας σε σχέση με το λόγο νερού-τσιμέντου.



Σχήμα 14. Μεταβολή της υδατοαπορρόφησης και της πυκνότητας σε σχέση με το λόγο τσιμέντου-αδρανών.

Σε επιλεγμένες συνθέσεις (C31, C33, C34, C35) έγιναν δοκιμές για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητάς τους σε σειρά κύκλων ψύξης-απόψυξης σύμφωνα με το EN 12371 (28 κύκλοι), στη καταπόνηση με θερμικό πλήγμα σύμφωνα με το EN 14066, και στην αντοχή σε θειικό μαγνήσιο. Ο αριθμός των κύκλων για τη δοκιμή αντοχής σε κύκλους ψύξης – απόψυξης επιλέχθηκε με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδας. Ως δείκτες μεταβολής των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμών κατά τη διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν η ταχύτητα διάδοσης του ήχου (μέτρηση σύμφωνα με το πρότυπο EN 14579) και η απώλεια μάζας. Οι μετρήσεις πριν και μετά τους 28 κύκλους ψύξης-απόψυξης έδειξαν μια μικρή μείωση της ταχύτητας που κυμάνθηκε από 0,01-1,3% ενώ η απώλεια μάζας των δοκιμών ήταν 0,28-1,83%. Η υποβολή των δοκιμών σε θερμικό πλήγμα (20 κύκλοι) έδειξε μικρή μείωση της ταχύτητας διάδοσης του ήχου που κυμάνθηκε από 3,3-5,6% και απώλεια μάζας από 1,92-2,6%. Η απώλεια μάζας των δοκιμών κατά τη δοκιμή αντοχής στο θειικό μαγνήσιο ήταν μικρή και κυμάνθηκε από 0,28-1,29% μετά το τέλος του 8^{ου} κύκλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα-Προτάσεις

6.1 Συμπεράσματα

Η διερεύνηση της δυνατότητας παραγωγής δομικών στοιχείων από παιπάλη και ανακυκλωμένα αδρανή προερχόμενα από απόβλητα εκσκαφών-κατεδαφίσεων-κατασκευών έδειξε ότι όσον αφορά στις φυσικομηχανικές ιδιότητες για εμφανή φέροντα δομικά στοιχεία τύπου τεχνητού δομικού λίθου, η πλειοψηφία των συνθέσεων που εξετάστηκαν πληρούν τις απαιτήσεις για την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη ($>12\text{MPa}$) και την υδατοαπορρόφηση ($<10\%$). Όλες οι συνθέσεις που παρασκευάστηκαν πληρούν τις γενικές απαιτήσεις για αντοχή σε μονοαξονική θλίψη για φέροντα δομικά στοιχεία κατηγορίας 1, 2 και 3 ενώ κάποιες από αυτές πληρούν τις προδιαγραφές πιο απαιτητικών κατηγοριών.

Από τη συσχέτιση των παραμέτρων σχεδιασμού των μιγμάτων με τις επιτυγχανόμενες τιμές των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων φάνηκε ότι καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει ο λόγος νερό προς τσιμέντο και λιγότερο κρίσιμο ο λόγος τσιμέντο προς αδρανή.

Η συμπεριφορά των συνθέσεων που υποβλήθηκαν σε δοκιμές τεχνητής γήρανσης (κύκλοι ψύξης-απόψυξης, θερμικό πλήγμα και προσβολή με θειικό μαγνήσιο) κρίθηκε ικανοποιητική με βάση τη μεταβολή της ταχύτητας διάδοσης του ήχου και της απώλειας μάζας που μετρήθηκε.

6.2 Προτάσεις

Προκειμένου να γίνει μια πλήρης διερεύνηση των δοκιμών που παρασκευάστηκαν όσον αφορά την καταλληλότητά τους για παραγωγή δομικών στοιχείων, θα πρέπει να γίνουν δοκιμές ανθεκτικότητας στο χρόνο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και να συσχετιστεί η συμπεριφορά τους με το ποσοστό περιεχόμενου αέρα. Επίσης, πρέπει να παρασκευαστούν δοκίμια μεγαλύτερων διαστάσεων και να διερευνηθεί το κατά πόσο η χρήση ταχείας ανάμιξης επιτυγχάνει την καλύτερη αποσυσσωμάτωση και διασπορά των κόκκων του τσιμέντου εντός των αδρανών σε σύγκριση με τη συνήθη ανάμιξη. Επιπλέον θα μπορούσε να προστεθεί μία διαδικασία απαέρωσης, εφόσον οι μετρήσεις του περιεχόμενου αέρα δείξουν ότι ο

εγκλωβισμένος αέρας είναι πάνω από το επιτρεπτό ποσοστό. Τέλος να διερευνηθεί η δυνατότητα διαμόρφωσης των δομικών στοιχείων με τεχνικές εξώθησης αντί για χύτευσης σε μήτρες.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Andreasen, A.H.M. and Andersen, J., (1930). 'Ueber die Beziehung zwischen Kornabstufung und Zwischenraum in Produkten aus losen Körnern (mit einigen Experimenten)', *Kolloid-Zeitschrift* 50: 217-228.
- Angulo, S.C., Carrijo, P.M., Figueiredo, A.D., Chaves, A.P., John, V.M. (2010). On the classification of mixed construction and demolition waste aggregate by porosity and its impact on the mechanical performance of concrete S.C., *Mater Struct*; 43: 519–28.
- Berge B. 2000. 'Ecology of Building Materials'. Oxford: Architectural Press.
- Bosiljkov, V. (2003). SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler, *Cement Concrete Res* 2003; 33: 1279–86.
- Bouyoucos, G.J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54:464-465.
- DIN 4226-100, mineral aggregates for concrete and mortar – part. 100: recycled aggregates; 2000.
- European Commission (2011). DG ENV Final Report, Task 2 – Management of C&D Waste.
- Felekoglou, B. (2007). Effects of PSD and surface morphology of micro-aggregates on admixture requirement and mechanical performance of micro-concrete, *Cement and Concrete composites*, 29(6): 481-489.
- Fonseca, N., De Brito, J., Evangelista, L. (2011). The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste, *Cement Concrete Comp* ; 33: 637-43.

- Galetakis M., Alevizos G. and Leventakis K. (2012). Evaluation of fine limestone quarry by-products, for the production of building elements – An experimental approach. *Construction and Building Materials*, 26:122–130.

- Galetakis M., Komnitsas K., Leventakis K., Vasiliou A., Piperidi C., Zaharaki D., Stavroulakis N. and Ginos M. (2014). Assessment of Construction and Demolition Wastes as raw material for the building industry, 4th International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management, Chania, Crete, Greece (2-5 September, 2014).

- Galetakis M., Leventakis K. (2009). Characterisation of quarry fines for construction recycling uses. In: Agioutantis Z, Komnitsas K, editors. *Proc of 3rd Int symposium on Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology*: 131–137.

- Harrison, D. J. (2003). From waste to wealth: developing saleable mineral products from quarry waste. In: *Recycling and Reuse of Waste Materials*. Eds Dhir, R.K., Newlands, M.D., Halliday, J.E. pp.281-286

- Hill R., Dawson R. and Mundy M., (2001). Utilisation of aggregate materials in road construction and bulk fill. *Resources, Conservation and Recycling*, 32:305-320.

- International Conference on Management of Priority Waste Streams (2006). LIFE 03/TCY/CY/018, Κύπρος. <http://www.uest.gr/Life-KYPROS/life-kypros.htm>

- Kwan and Fung, (2009). Packing density measurement and modeling of fine aggregate and mortar. Department of Civil Engineering, University Hong Kong, China: 349-356.

- Wojnar L. & Kurzydłowski K.J. et al. (2000). Practical Guide to Image Analysis, ASM International, pp 157-160, ISBN 0-87170-688-1.
- Αγιουτάντης, Ζ. (2002). Μηχανική Πετρωμάτων, Πανεπιστημιακές σημειώσεις, σελ.99-105, Χανιά.
- Γεωργιάδου Ε. (1996). Καθαρές τεχνολογίες δόμησης, Κεφ. IV, στο: Βιοκλιματικός Σχεδιασμός - Καθαρές Τεχνολογίες Δόμησης. Ν.Ε.Λ.Ε. Θεσ/νίκης-ΤΕΕ/ΤΚΜ-Ανέλιξη-ΧVII Γεν. Διευθ. για την Ενέργεια, Θεσ/νίκη: Παρατηρητής.
- Διαμαντώνης, Νικόλαος (2008). Ιδιότητες πάστας τσιμέντου σε αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, σελ.73.
- Οικονόμου, Μ.Χ., (1993). Τεχνολογία του Σκυροδέματος, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη.
- Παπαδάκη Μ, (2013). Βιώσιμη διαχείριση αδρανών υλικών. Μελέτη περίπτωσης: Κρήτη. Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Σχολή Θετικών Επιστημών, Πρόγραμμα Σπουδών: Διαχείριση Αποβλήτων. Πάτρα.
- Πασχάλη-Μάνου, Κ., Τσομπανίδης, Χ., Λουκά, Γ., Ταβουλάρης, Γ. και Χατζηαυγουστής, Θ. (2005). Αδρανή απόβλητα, ανακύκλωση και διάθεση: η εφαρμογή στη διαχειριστική μελέτη στερεών αποβλήτων στη Ν. Λέσβο. Heleco '05, Αθήνα. http://library.tee.gr/digital/m2045/m2045_pashali.pdf
- 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). Έρευνα αγοράς. Ανακύκλωση λατομικής παιπάλης, οικοδομικών απορριμμάτων και υλικών κατεδαφίσεων για την παραγωγή καινοτόμων οικολογικών δομικών στοιχείων (11ΣΥΝ_8_584)
- Tiess G., Χαλκιοπούλου Φ., (2011). Βιώσιμη Διαχείριση για την Παραγωγή Αδρανών και Βιώσιμη Προμήθεια Αδρανών από διάφορες πηγές σε Περιφερειακό, Εθνικό και Διακρατικό επίπεδο. Εγχειρίδιο. Επεξεργασία ελληνικού κειμένου: Φ., Χαλκιοπούλου. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- www.eedsa.gr (τελευταία επίσκεψη 8-5-2017)
- <http://www.eedsa.gr/library/Downloads/docs/Documents/ΑΠΟΒΛΗΤΑ/ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ%20&%20ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ/calculation.doc> (τελευταία επίσκεψη 7-6-2017)
- <http://www.eedsa.gr/Contents.aspx?CatId=79&lang=gr> (τελευταία επίσκεψη 3-4-2017)
- www.elkem.com (τελευταία επίσκεψη 1-2-2017)
- www.eu-smr.eu/cdw (τελευταία επίσκεψη 15-3-2017)
- www.eurostat.ec.europa.eu (τελευταία επίσκεψη 7-6-2017)
- www.minenv.gr (τελευταία επίσκεψη 7-12-2015)
- www.minenv.gr/anakyklosi (τελευταία επίσκεψη 7-12-2015)
- www.minenv.gr/anakyklosi/v.menu/aekk/aekk.html (τελευταία επίσκεψη 7-12-2015)
- www.sarmaproject.eu (τελευταία επίσκεψη 13-2-2016)
- www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE (τελευταία επίσκεψη 7-4-2016)
- www.uest.gr/LifeKYPROS/proodos/greek_KYPROS/deliverable_4/senaria_diaxeirisis.doc (τελευταία επίσκεψη 20-5-2016)

- www.wbcsd.org (τελευταία επίσκεψη 17-2-2016)
- www.wrap.org.uk (τελευταία επίσκεψη 16-2-2016)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΕΣ ΠΑΠΑΛΗΣ

SIZES	Παιπάλη Ασφαλτικού	Παιπάλη Μάρμαρο	Παιπάλη Ξηραντήρα
0,0582	0,0016	0,0005	0,00001
0,0679	0,00546	0,00201	0,00009
0,0791	0,01359	0,00589	0,00041
0,0921	0,02817	0,01419	0,00153
0,1073	0,05049	0,02906	0,00456
0,125	0,08037	0,05191	0,01107
0,1456	0,1169	0,08355	0,02306
0,1697	0,15979	0,12539	0,04337
0,1977	0,20836	0,17831	0,0754
0,2303	0,25714	0,23656	0,11769
0,2683	0,29276	0,28106	0,15356
0,3125	0,30686	0,29628	0,16402
0,3641	0,31757	0,30354	0,16633
0,4242	0,35025	0,33461	0,18865
0,4941	0,39631	0,37629	0,21795
0,5757	0,44594	0,41548	0,23992
0,6707	0,52116	0,4828	0,28324
0,7813	0,59697	0,54997	0,3209
0,9103	0,65928	0,62236	0,35773
1,0604	0,71166	0,6897	0,39142
1,2354	0,74891	0,75096	0,41885
1,4393	0,76594	0,80001	0,43069
1,6767	0,7667	0,83634	0,42519
1,9534	0,76619	0,87034	0,41302
2,2757	0,77927	0,91062	0,4009
2,6512	0,81994	0,96596	0,39422
3,0887	0,903	1,04929	0,40275
3,5983	1,03222	1,16	0,42604
4,192	1,20635	1,29374	0,46191
4,8837	1,41498	1,43519	0,50149
5,6895	1,64358	1,56888	0,53506
6,6283	1,88492	1,69182	0,56007
7,7219	2,14891	1,82333	0,58679
8,996	2,43643	1,97384	0,62057

10,4804	2,74191	2,14998	0,66671
12,2096	3,06405	2,36549	0,73744
14,2242	3,39105	2,62435	0,84389
16,5712	3,7024	2,919	0,9969
19,3055	3,97954	3,23926	1,21134
22,4909	4,20384	3,56581	1,5015
26,2019	4,36575	3,87937	1,88371
30,5252	4,46298	4,16128	2,37346
35,5618	4,49976	4,39547	2,98031
41,4295	4,4855	4,56984	3,70172
48,2654	4,42868	4,67654	4,51506
56,2292	4,33719	4,7165	5,36114
65,507	4,22424	4,69905	6,18151
76,3157	3,97463	4,64503	6,89389
88,9077	3,64188	4,46674	7,42123
103,5775	3,24915	4,22477	7,75174
120,6678	2,83487	3,90678	7,94535
140,578	2,43822	3,48816	7,40051
163,7733	2,09949	2,97527	6,49481
190,7959	1,83203	2,39731	5,32813
222,2773	1,61691	1,81935	4,044
258,953	1,40121	1,24139	2,75986
301,6802	1,1178	0,66343	1,47573
351,4575	0,72892	0	0,19159
409,4479	0,34003	0	0
477,0068	0	0	0
555,713	0	0	0
647,4056	0	0	0
754,2275	0	0	0
878,675	0	0	0

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΕΣ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ονομασία δείγματος	Ανακυκλωμένα τούβλα QC7
Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	2849
Βάρος δειγματος ξηρό στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$ σε g	2820
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	29
Βάρος παιπάλης	205,42

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	8,94	8,94	2847,87	99,69	0,31
8,000	464,25	473,19	2383,62	83,44	16,56
4,000	860,72	1333,91	1522,90	53,31	46,69
2,000	382,69	1716,6	1140,21	39,91	60,09
1,000	274,5	1991,1	865,71	30,30	69,70
0,500	173,12	2164,22	692,59	24,24	75,76
0,250	153,17	2317,39	539,42	18,88	81,12
0,125	155,84	2473,23	383,58	13,43	86,57
0,063	112,35	2585,58	271,23	9,49	90,51
0,000	271,23	2856,81	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2856,81				

Ονομασία δείγματος	Ανακυκλωμένο σκυρόδεμα - μπετόν QC8
Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	3012
Βάρος δείγματος ξηρό στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$ σε g	2898
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	114
Βάρος παιπάλης	133,08

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	0	0	2898,00	100,00	0,00
8,000	462,14	462,14	2435,86	84,05	15,95
4,000	1191	1653,14	1244,86	42,96	57,04
2,000	454,7	2107,84	790,16	27,27	72,73
1,000	275,37	2383,21	514,79	17,76	82,24
0,500	153,44	2536,65	361,35	12,47	87,53
0,250	93,95	2630,6	267,40	9,23	90,77
0,125	71,09	2701,69	196,31	6,77	93,23
0,063	63,23	2764,92	133,08	4,59	95,41
0,000	133,08	2898	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2898				

Ονομασία δείγματος	Ανακυκλωμένα Πλακάκια QC6
Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	2785
Βάρος δείγματος ξηρό στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$ σε g	2761
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	24
Βάρος παιπάλης	126,18

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	15	15	2746,00	99,46	0,54
8,000	472,11	487,11	2273,89	82,36	17,64
4,000	1033	1520,11	1240,89	44,94	55,06
2,000	377,74	1897,85	863,15	31,26	68,74
1,000	241,34	2139,19	621,81	22,52	77,48
0,500	155,04	2294,23	466,77	16,91	83,09
0,250	144,36	2438,59	322,41	11,68	88,32
0,125	138,51	2577,1	183,90	6,66	93,34
0,063	57,72	2634,82	126,18	4,57	95,43
0,000	126,18	2761	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2761				

Ονομασία δείγματος

Προδιαλογή παλαιά QC12

Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	5127
Βάρος δείγματος ξηρό στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$ σε g	4966
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	161
Βάρος παιπάλης	1009,9

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	773,8	773,8	4192,20	84,42	15,58
8,000	367,03	1140,83	3825,17	77,03	22,97
4,000	929,4	2070,23	2895,77	58,31	41,69
2,000	624,4	2694,63	2271,37	45,74	54,26
1,000	429,4	3124,03	1841,97	37,09	62,91
0,500	268,83	3392,86	1573,14	31,68	68,32
0,250	184,01	3576,87	1389,13	27,97	72,03
0,125	185,23	3762,1	1203,90	24,24	75,76
0,063	194	3956,1	1009,90	20,34	79,66
0,000	1009,9	4966	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	4966				

Ονομασία δείγματος

Προδιαλογή νέα QC13

Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	4434
Βάρος δείγματος ξηρό στους $110 \pm 5^\circ \text{C}$ σε g	4397
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	37
Βάρος παιπάλης	501,29

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	1,37	1,37	4395,63	99,97	0,03
8,000	143,53	144,9	4252,10	96,70	3,30
4,000	1322,1	1467	2930,00	66,64	33,36
2,000	983,4	2450,4	1946,60	44,27	55,73
1,000	643,8	3094,2	1302,80	29,63	70,37
0,500	327,95	3422,15	974,85	22,17	77,83
0,250	167,05	3589,2	807,80	18,37	81,63
0,125	145,09	3734,29	662,71	15,07	84,93
0,063	161,42	3895,71	501,29	11,40	88,60
0,000	501,29	4397	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	4397				

**Ανακυκλωμένα προϊόντα κατεδαφίσεων
(σοβάς τσιμεντοκονία τούβλα). Προέλευση
εταιρεία "ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ" QC19**

Ονομασία δείγματος	
Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	2105,2
Βάρος δείγματος ξηρό στους 110 ± 5° C σε g	2090,7
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	14,5
Βάρος παιπάλης	319,64

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	0	0	2090,70	100,00	0,00
8,000	15,25	15,25	2075,45	99,27	0,73
4,000	202,81	218,06	1872,64	89,57	10,43
2,000	463,77	681,83	1408,87	67,39	32,61
1,000	391,31	1073,14	1017,56	48,67	51,33
0,500	261,32	1334,46	756,24	36,17	63,83
0,250	193,68	1528,14	562,56	26,91	73,09
0,125	138,47	1666,61	424,09	20,28	79,72
0,063	104,45	1771,06	319,64	15,29	84,71
0,001	319,64	2090,7	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2090,7				

**Προϊόν θράυσης απορριφθέντος
σκυροδέματος. Προέλευση εταιρεία
"ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ" QC20**

Ονομασία δείγματος	
Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g	2355,1
Βάρος δείγματος ξηρό στους 110 ± 5° C σε g	1969,9
Βάρος φυσικής υγρασίας σε g	385,2
Βάρος παιπάλης	198,84

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	0	0	1969,90	100,00	0,00
8,000	15,25	15,25	1954,65	99,23	0,77
4,000	202,81	218,06	1751,84	88,93	11,07
2,000	463,77	681,83	1288,07	65,39	34,61
1,000	391,31	1073,14	896,76	45,52	54,48
0,500	261,32	1334,46	635,44	32,26	67,74
0,250	193,68	1528,14	441,76	22,43	77,57

0,125	138,47	1666,61	303,29	15,40	84,60
0,063	104,45	1771,06	198,84	10,09	89,91
0,001	198,84	1969,9	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	1969,9				

**Ανακυκλωμένα προϊόντα κατεδαφίσεων
(απορριφθέν σκυρόδεμα, κυβόλιθοι, πλάκες
πεζοδρομίου, κράσπεδα). Προέλευση
εταιρεία «ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ» QC21**

Ονομασία δείγματος

Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g 2239,8

Βάρος δείγματος ξηρό στους 110 ± 5° C σε g 2206,8

Βάρος φυσικής υγρασίας σε g 33

Βάρος παιπάλης 151,05

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	0	0	2206,80	100,00	0,00
8,000	0	0	2206,80	100,00	0,00
4,000	32,47	32,47	2174,33	98,53	1,47
2,000	597,94	630,41	1576,39	71,43	28,57
1,000	564,02	1194,43	1012,37	45,88	54,12
0,500	395,55	1589,98	616,82	27,95	72,05
0,250	273,96	1863,94	342,86	15,54	84,46
0,125	123,29	1987,23	219,57	9,95	90,05
0,063	68,52	2055,75	151,05	6,84	93,16
0,001	151,05	2206,8	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2206,8				

**Ανακυκλωμένα προϊόντα κατεδαφίσεων
(κεραμίδια). Προέλευση εταιρεία
«ΤΕΧΝΟΜΠΕΤΟΝ» QC22**

Ονομασία δείγματος

Βάρος δείγματος με φυσική υγρασία σε g 2198,8

Βάρος δείγματος ξηρό στους 110 ± 5° C σε g 2190,1

Βάρος φυσικής υγρασίας σε g 8,7

Βάρος παιπάλης 139,67

Κόσκινο σε mm	Παραμένον g	Αθροιστικά παραμένον g	Αθροιστικά διερχόμενο	Αθροιστικά διερχόμενο %	Αθροιστικά παραμένον %
16,000	0	0	2147,05	100,00	0,00
8,000	58,63	58,63	2088,42	97,27	2,73
4,000	769,6	828,23	1318,82	61,42	38,58
2,000	429,36	1257,59	889,46	41,43	58,57
1,000	289,65	1547,24	599,81	27,94	72,06

0,500	161,5	1708,74	438,31	20,41	79,59
0,250	121,24	1829,98	317,07	14,77	85,23
0,125	91,8	1921,78	225,27	10,49	89,51
0,063	85,6	2007,38	139,67	6,51	93,49
0,001	139,67	2147,05	0,00	0,00	100,00
Σύνολο g	2147,05				

Κόσκινο σε μm	QC 28 Ανακυκλωμένα πλακάκια Finomix
16000	100
8000	100
4000	93,31
2000	65,178
1000	42,801
500	29,364
250	20,752
125	12,118
63	6,552
28,30559	4,2588
15,35685	1,91646
8,584771	0,5748
3,630106	0,08622
2,293933	0,0086

Κόσκινο σε μm	QC 29,Ανακυκλωμένα κεραμίδια Finomix
16000	100
8000	100
4000	99,182
2000	89,322
1000	69,335
500	41,022
250	18,661
125	11,105
63	7,423
28,30559	4,823
15,35685	2,169

8,584771	0,6507
3,630106	0,0975
2,293933	0,0097

Κόσκινο σε μm	QC 30,σκυρόδεμα finomix
16000	100
8000	100
4000	97,429
2000	77,062
1000	48,114
500	29,224
250	16,076
125	8,761
63	4,832
30	3,36
14,23946	1,68
8,11888	0,588
3,86474	0,1176
2,69464	0,01755

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΠΟΥ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΤΗΚΑΝ

Κωδικός Σύνθεσης:		C1
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C1a, C1b, C1c)

Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		2/12/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		14/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		15/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		2000g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	300
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	400
QC 24	10	200
QC 22	55	1100
microsilica	0,05	15
melflux	0,004	8
tartaric acid	0,05	1
Νερό		332 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		12,5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		20 min
w/c		1,11
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> τα δοκίμια έβγαλαν νερό στην πάνω επιφάνεια,είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα, ο επιβραδυντής είχε μπει στο νερό, ικανοποιητική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		5.52 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		45.09 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		8,06%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.11 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.12 g/cm ³
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα και γκρι κρούστα στην επιφάνεια		

Κωδικός Σύνθεσης:		C2
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C2a, C2b, C2c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		13/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		17/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		17/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 22	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,004	6,8
tartaric acid	0,5	8,5
Νερό		314 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		12,5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		1,23
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> τα δοκίμια είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα, ο επιβραδυντής είχε μπει στο νερό, ικανοποιητική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		0.53 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		2.72 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα και γκρι κρούστα στην επιφάνεια		

Κωδικός Σύνθεσης:		C3
Αριθμός δοκιμών:		3 (C3a, C3b, C3c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		13/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		17/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμών:		18/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1600g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	240
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	160
QC 24	10	160
QC 21	65	1040
microsilica	0,05	12
melflux	0,004	6,4
tartaric acid	0,5	8
Νερό		157 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		13.2 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,65
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: δεν έφτασε η ποσότητα του μίγματος να γεμίσει πλήρως το τρίτο καλούπι, το νερό ήταν πολύ		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμών		
Αντοχή σε κάμψη:		0.68 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		6.89 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα		

Κωδικός Σύνθεσης:		C4
Αριθμός δοκιμών:		3 (C4a, C4b, C4c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.18$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		14/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		17/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμών:		18/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 20	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,004	6,8
tartaric acid	0,5	8,5
Νερό		217 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		13.5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,85
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> το μίγμα είχε πολύ καλή ροή		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμών		
Αντοχή σε κάμψη:		5.32 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		45.85 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		8,17%
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.15 g/cm ³
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.17 g/cm ³

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα

Κωδικός Σύνθεσης:		C5
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C5a, C5b, C5c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.20$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		17/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		19/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		18/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	5	85
QC 19	60	1020
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,004	6,8
tartaric acid	0,05	8,5
Νερό		230 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		11,5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		20 min
w/c		0,9
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα κατά τη χύτευση στα καλούπια, ικανοποιητική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		0.56 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		3.10 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		
Φαινόμενη πυκνότητα:		
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα και γκρι κρούστα στην επιφάνεια

Κωδικός Σύνθεσης:		C6
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C6a, C6b, C6c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		17/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		19/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		18/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 22	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,004	6,8
tartaric acid		
Νερό		277 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		11,5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		1,08
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: ικανοποιητική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.39 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		45.09 Mpa

Υδατοαπορρόφηση:	7,50%
Φαινόμενη πυκνότητα:	2.03 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη	2.10 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα	

Κωδικός Σύνθεσης:		C7
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C7a, C7b, C7c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		19/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		21/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		21/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 22	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
tartaric acid		
Νερό		258 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		12 cm
Χρόνος ανάδευσης:		20 min
w/c		1,01
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: Δύσκολη ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		4.82 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		56.82 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		76,02%

Φαινόμενη πυκνότητα:	2.08 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη	2.10 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: πολύ σκληρά δοκίμια, είχαν μικρές φυσαλίδες αέρα πιθανόν λόγω χύτευσης	

Κωδικός Σύνθεσης:		C8
Αριθμός δοκιμών:		3 (C8a, C8b, C8c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		19/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		21/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμών:		21/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	170
QC 24	10	170
QC 21	65	1105
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
tartaric acid		
Νερό		128 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8.2 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,5
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: πολύ καλή ροή μίγματος, δεν έφτασε η ποσότητα να γεμίσει πλήρως το τρίτο καλούπι		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμών		
Αντοχή σε κάμψη:		7.50 Mpa

Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:	80.20 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:	3,57%
Φαινόμενη πυκνότητα:	2.34 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη	2.39 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: η επιφάνεια των δοκιμίων ήταν τραχιά και είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα	

Κωδικός Σύνθεσης:		C9
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C9a, C9b, C9c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		19/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		21/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		21/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	170
QC 24	10	170
QC 21	65	1105
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
tartaric acid		
Νερό		128 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8.2 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,5
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: πολύ καλή ροή μίγματος, δεν έφτασε η ποσότητα να γεμίσει πλήρως το τρίτο καλούπι		

Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων	
Αντοχή σε κάμψη:	7.50 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:	80.20 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:	3,57%
Φαινόμενη πυκνότητα:	2.34 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη	2.39 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: η επιφάνεια των δοκιμίων ήταν τραχιά και είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα	

Κωδικός Σύνθεσης:		C10
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C10a, C10b, C10c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.18, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		27/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		28/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		28/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 20	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
	0,2	3,4
	0,075	1,27
Νερό		199 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κόνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,78

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα κολλούσε και ήταν σαν τσίχλα αλλά δε φαινόταν να έχει εγκλωδισμένο αέρα, μέτρια ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		4.74 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		48.24 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		7,75%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.20 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.24 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μεγάλα κενά πιθανόν λόγο χύτευσης		

Κωδικός Σύνθεσης:		C11
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C11a, C11b, C11c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		27/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		28/2/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		28/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	5	85
QC 20	60	1020
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
	0,2	3,4
	0,075	1,27
Νερό		219 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8.5 cm

Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,86
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: καλή ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		5.16 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		45.01 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.15 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρά κενά αέρα		

Κωδικός Σύνθεσης:		C12
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C12a, C12b, C12c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.18, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		28/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		3/1/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		31/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1800g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	270
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	180
QC 24	10	180
QC 21	65	1170
microsilica	0,05	13,5
melflux	0,008	14,4
tartaric acid	-	-
agitan	0,2	3,6
metolat	0,1	1,8
Νερό		168 ml

Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,62
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε μορφή τσίχλας και δύσκολη ροή		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.00 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		56.74 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.30 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν κενά αέρα		

Κωδικός Σύνθεσης:		C13
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C13a, C13b, C13c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.18, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		28/2/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		-
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		-
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	270
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	180
QC 24	10	180
QC 20	65	1170
microsilica	0,05	13,5
melflux	0,008	14,4
tartaric acid	-	-
agitan	0,2	3,6

metolat	0,1	1,8
Νερό		168 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8 cm
Χρόνος ανάδευσης:		15 min
w/c		0,62
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε μορφή τσίχλας και δύσκολη ροή, δεν έγινε καλή ανάμειξη των υλικών, ξεχάσαμε να βάλουμε στην αρχή το τσιμέντο		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		-
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		-
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:		

Κωδικός Σύνθεσης:		C14
Αριθμός δοκιμίων:		2 (C14a, C14b)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		3/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		3/10/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		4/8/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	8	136
MICROCEMENT	2	34
QC 11	20	340
QC 24	5	85
QC 19	65	1105
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	0,5	8,5

agitan	0,5	8,5
metolat	0,1	1,7
Νερό		300 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		10 cm
Χρόνος ανάδευσης:		3 min
w/c		1,76
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε πολύ καλή ροή, πολύ νερό, πολλές φυσαλίδες αέρα και έβγαλε νερό μετά τη χύτευση στα καλούπια		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		-
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		-
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		1.33 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: στα δοκίμια παρατηρήθηκε μικρή συρρίκνωση, ήταν πολύ μαλακά ακόμα και τη μέρα που μπήκαν στο θάλαμο ωρίμανσης (5 μέρες μετά), δεν είχαν κενά αέρα		
Κωδικός Σύνθεσης:		C15
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C15a, C15b, C15c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣH
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		3/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		3/7/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		4/4/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	11	187
MICROCEMENT	1	17
QC 11	20	340
QC 24	5	85
QC 20	63	1071
microsilica	0,05	9,43
melflux	0,008	13,6

tartaric acid	0,5	8,5
agitan	0,5	8,5
metolat	0,1	1,7
Νερό		204 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		8.5 cm
Χρόνος ανάδευσης:		3 min
w/c		1,08
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> το μίγμα είχε ικανοποιητική ροή		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		2.84 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		-
Υδατοαπορρόφηση:		4,51%
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.32 g/cm ³
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> τα δοκίμια δε φαινόταν να έχουν κενά αέρα		

Κωδικός Σύνθεσης:		C16
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C16a, C16b, C16c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		3/7/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		3/10/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		4/8/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	170
QC 24	10	170
QC 21	65	1105
microsilica	0,05	12,75

melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	0,5	8,5
metolat	-	-
Νερό		142 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		3 min
w/c		0,55
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε δύσκολη ροή και δε φαινόταν να έχει φυσαλίδες αέρα		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		7.71 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		46.00 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		5,01%
Φαινόμενη πυκνότητα:		1.52 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.32 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν πολλά κενά αέρα πιθανόν λόγο χύτευσης, το τρίτο δοκίμιο δεν είχε τις απαιτούμενες διαστάσεις λόγω έλλειψης αρκετής ποσότητας μίγματος		
Κωδικός Σύνθεσης:		C17
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C17a, C17b, C17c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		3/11/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		13/3/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		4/8/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	2	34
QC 11	20	340
QC 24	8	135
QC 22	60	1020

microsilica	0,05	10,2
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	0,1	1,7
agitan	0,5	8,5
metolat	0,1	1,7
Νερό		292 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		7 cm
Χρόνος ανάδευσης:		4 min
w/c		1,42
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε μέτρια ροή και είχε μικρές φυσαλίδες αέρα		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		4.95 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		21,71
Υδατοαπορρόφηση:		11,11%
Φαινόμενη πυκνότητα:		1.97 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.04 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρά κενά αέρα		
Κωδικός Σύνθεσης:		C18
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C18a, C18b, C18c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		3/11/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		13/3/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		4/8/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	2	34
QC 11	20	340
QC 24	8	135

QC 22	60	1020
microsilica	0,05	10,2
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	0,1	1,7
agitan	0,5	8,5
metolat	0,1	1,7
Νερό		292 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		7 cm
Χρόνος ανάδευσης:		4 min
w/c		1,42
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε μέτρια ροή και είχε μικρές φυσαλίδες αέρα		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		4.95 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		21,71
Υδατοαπορρόφηση:		11,11%
Φαινόμενη πυκνότητα:		1.97 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.04 g/cm ³
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: τα δοκίμια είχαν μικρά κενά αέρα		
Κωδικός Σύνθεσης:		C22
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C22a, C22b, C22c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		22/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		23/5/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		19/6/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	-	-
QC 6	10	170

QC 19	50	850
QC 20	30	510
microsilica	0,05	8,5
melflux	-	-
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		217 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		7 cm
Χρόνος ανάδευσης:		4 min
w/c		1,27
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		5.70 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		24.83 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> Τα δοκίμια είχαν πολλές φυσαλίδες αέρα		

Κωδικός Σύνθεσης:		C23
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C23a, C23b, C23c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.24$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		23/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		26/5/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		23/6/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170

MICROCEMENT	-	-
QC 6	5	85
QC 19	50	850
QC 20	30	510
QC 22	5	85
microsilica	0,05	8,5
melflux	-	-
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		223 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		7 cm
Χρόνος ανάδευσης:		5 min
w/c		1,31
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> το μίγμα ήθελε περισσότερο νερό		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		5.69 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		25.88 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.08 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> Τα δοκίμια είχαν πολλές μεγάλες φυσαλίδες αέρα πιθανόν λόγω χύτευσης		

Κωδικός Σύνθεσης:		C24
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C24a, C24b, C24c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34

Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:	21/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:	22/5/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:	18/6/2014
1ο ΣΤΡΩΜΑ	
Συνολική ποσότητα στερεών:	1500 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %
QC 9	90
CEM II 42,5	10
Νερό	394 ml
2ο ΣΤΡΩΜΑ	
Συνολική ποσότητα στερεών:	500 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %
CEM I 52,5R	15
QC 11	20
QC 24	10
QC 22	55
microsilica	0,05
melflux	0,08
tartaric acid	-
agitan	-
metolat	-
Νερό	76 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος	
Κώνος εξάπλωσης:	7 cm
Χρόνος ανάδευσης:	5 min
w/c	1,31
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>	
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων	
Αντοχή σε κάμψη:	3.06 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:	3.65 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:	-
Φαινόμενη πυκνότητα:	-
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη	-
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>	

Κωδικός Σύνθεσης:		C25
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C25a, C25b, C25c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.24$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		22/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		23/5/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		19/6/2014
1ο ΣΤΡΩΜΑ		
Συνολική ποσότητα στερεών:		1200 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
QC 9	90	1080
CEM II 42,5	10	120
Νερό		283 ml
2ο ΣΤΡΩΜΑ		
Συνολική ποσότητα στερεών:		1000 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	150
QC 11	10	100
QC 6	10	550
QC 9	55	200
microsilica	0,05	7,5
melflux	0,08	8
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		149 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		

Κώνος εξάπλωσης:		7 cm
Χρόνος ανάδευσης:		5 min
w/c		0,99
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		1.54 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		3.85 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		-
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		

Κωδικός Σύνθεσης:		C26
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C26a, C26b, C26c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:	Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.24$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34	
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:	23/5/2014	
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:	26/5/2014	
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:	13/6/2014	
Συνολική ποσότητα στερεών:	1700 g	

ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 6	55	935
QC 9	20	340
QC 11	10	170
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		204 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,8
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> το μίγμα είχε ικανοποιητική ροή		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		8.38 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		52.16 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		-
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.16 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-

Κωδικός Σύνθεσης:		C27
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C27a, C27b, C27c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		8/1/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		8/4/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		9/1/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g

ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	-	-
QC 24	10	170
QC 22	60	1020
QC 11	20	340
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		246 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		1,45
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		8.01 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		34.48 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		10,67%
Φαινόμενη πυκνότητα:		1.92 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		1.95 g/cm ³
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Κωδικός Σύνθεσης:		C28
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C28a, C28b, C28c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		8/1/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		8/4/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		9/1/2014

Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	-	-
QC 24	15	255
QC 21	65	1105
QC 11	10	170
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		155 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κόνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,91
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		10.04 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		38.47 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		6,45%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.24 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.26 g/cm ³
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Κωδικός Σύνθεσης:		C29
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C29a, C29b, C29c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		8/1/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		8/4/2014

Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		9/1/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	-	-
QC 19	50	850
QC 20	30	510
QC 6	10	170
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		231 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κόνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		1,36
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> σαν να μην έχει γίνει καλή ανάδευση του microsilica		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.24 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		23.92 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		10,60%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.07 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.14g/cm ³
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Κωδικός Σύνθεσης:		C30
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C30a, C30b, C30c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.24, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		8/1/2014

Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		8/4/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		9/1/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	-	-
CEM II 42,5	10	170
MICROCEMENT	-	-
QC 19	50	850
QC 20	30	510
QC 6	5	85
QC 22	5	85
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
tartaric acid	-	-
agitan	-	-
metolat	-	-
Νερό		234 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κόστος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		1,38
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.47 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		23.94 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		11,33%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.07 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		2.13g/cm ³

Κωδικός Σύνθεσης:		C31
Αριθμός δοκιμίων:		9 (C31a,b,c,d,e,f,g,h,i)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		XYTEYΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen q=0.22, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34

Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		11/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		11/6/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		12/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 22	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
Στεγανοποιητής μάζας	0,3	5,1
Νερό		220 ml
Ιδιότητες νοπού σκυροδέματος		
Κόνος εξάπλωσης:		
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,86
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> Ιδανική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.84 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		41.79 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		7,26%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.08 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> μικρές φυσαλίδες αέρα πιθανόν λόγω χύτευσης		

Κωδικός Σύνθεσης:		C32
Αριθμός δοκιμίων:		3 (C32a, C32b, C32c)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ

Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		11/5/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		11/6/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		12/3/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 22	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
Στεγανοποιητής μάζας	0,3	5,1
Νερό		240 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,94
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> Ιδανική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.39 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		40.58 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		
Φαινόμενη πυκνότητα:		
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> μικρές φυσαλίδες αέρα πιθανόν λόγω χύτευσης		

Κωδικός Σύνθεσης:		C33
Αριθμός δοκιμίων:		9 (C33a,b,c,d,e,f,g,h,i)

Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.18$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		11/6/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		11/7/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		12/4/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	20	340
QC 24	10	170
QC 20	55	935
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
Στεγαν. μάζας	0,3	5,1
Νερό		200 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,78
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u> ιδανική ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		4.73 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		34.73 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		8,30%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.06 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		
<u>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:</u>		

Κωδικός Σύνθεσης:		C34
Αριθμός δοκιμίων:		9 (C34a,b,c,d,e,f,g,h,i)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.24$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		11/11/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		11/12/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		12/9/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1700 g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 6	55	935
QC 9	20	340
QC 11	10	170
microsilica	0,05	8,5
melflux	0,008	13,6
Στεγαν. μάζας	0,3	5,1
Νερό		204 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κόστος εξάπλωσης:		-
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,8
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: το μίγμα είχε ικανοποιητική ροή		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.01 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		43.54 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		6,12%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.06 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		-
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:		

Κωδικός Σύνθεσης:		C35
Αριθμός δοκιμίων:		9 (C35a,b,c,d,e,f,g,h,I,)
Τεχνολογία παρασκευής μίγματος:		ΧΥΤΕΥΣΗ
Κοκκομετρικό μοντέλο Σύνθεσης:		Τροποποιημένο μοντέλο Andreassen $q=0.22$, μέγιστο μέγεθος κόκκου=4000, ελάχιστο μέγεθος κόκκου=0.34
Ημερομηνία παρασκευής μίγματος:		11/12/2014
Ημερομηνία εισαγωγής σε θάλαμο ωρίμανσης:		13/11/2014
Ημερομηνία θραύσης δοκιμίων:		12/10/2014
Συνολική ποσότητα στερεών:		1800g
ΥΛΙΚΑ	Ποσοστό %	Ποσότητα (g)
CEM I 52,5R	15	255
CEM II 42,5	-	-
MICROCEMENT	-	-
QC 11	10	170
QC 24	10	170
QC 21	65	1105
microsilica	0,05	12,75
melflux	0,008	13,6
Στεγαν. μάζας	0,3	5,4
Νερό		159 ml
Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος		
Κώνος εξάπλωσης:		
Χρόνος ανάδευσης:		2 min
w/c		0,59
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: πολύ καλή ροή μίγματος		
Ιδιότητες σκληρυμένων δοκιμίων		
Αντοχή σε κάμψη:		6.17 Mpa
Αντοχή σε μονοαξονική θλίψη:		60.52 Mpa
Υδατοαπορρόφηση:		5,05%
Φαινόμενη πυκνότητα:		2.25 g/cm ³
Πυκνότητα με αρχή Αρχιμήδη		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:		

