



**ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Δασκαλή Βασιλική

**ΜΕΛΕΤΗ ΠΗΞΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΣΕ ΚΟΝΙΑΜΑ
ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ**

ΙΩΑΝΝΙΝΑ, 2021

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στην εξειδίκευση:

Υλικά Κατασκευών & Δομές - Σύνθετα Υλικά

που απονέμει το Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Εγκρίθηκε την 18/02/2021 από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΒΑΘΜΙΑ

- | | |
|--------------------------------|---|
| 1. Θεόδωρος Ματίκας, Επιβλέπων | Καθηγητής του ΤΜΕΥ της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων |
| 2. Νικόλαος Ε. Ζαφειρόπουλος | Καθηγητής του ΤΜΕΥ της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων |
| 3. Δημήτριος Αναγνωστόπουλος | Αναπληρωτής Καθηγητής του ΤΜΕΥ της Πολυτεχνικής Σχολής του Παν/μίου Ιωαννίνων |

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

"Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διατριβή εκπονήθηκε κάτω από τους διεθνείς ηθικούς και ακαδημαϊκούς κανόνες δεοντολογίας και προστασίας της πνευματικής ιδιοκτησίας. Σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς, δεν έχω προβεί σε ιδιοποίηση ξένου επιστημονικού έργου και έχω πλήρως αναφέρει τις πηγές που χρησιμοποίησα στην εργασία αυτή."

(Υπογραφή υποψηφίου)



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος «Προηγμένα Υλικά» στο Εργαστήριο του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ματίκα Θεόδωρο, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Επιστήμης Υλικών του Παν/μίου Ιωαννίνων, για την καθοδήγηση του και τις πολύτιμες συμβουλές του καθ' όλη την διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Μπαλάσκα Αναστάσιο, Διδάκτορα του ΤΜΕΥ, ο οποίος ανέλαβε την εποπτεία αυτής της εργασίας στηρίζοντάς με σε κάθε βήμα. Η συμβολή του στην περάτωση αυτής της διπλωματικής ήταν πολύ σημαντική και θα ήθελα να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη για όλο το χρόνο που διέθεσε, την υποστήριξη και την βοήθεια του.

Νιώθω επίσης την ανάγκη να ευχαριστήσω την Κορδάτου Θεοδότη, Υποψήφια Διδάκτωρ του ΤΜΕΥ, η οποία διέθεσε τις γνώσεις της και την εμπειρία της για την απόκτηση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ και σε όλους τους Υποψήφιους Διδάκτορες του Εργαστηρίου Μηχανικής, Ευφών Αισθητήρων και Μη Καταστροφικής Αξιολόγησης Υλικών που με βοήθησαν και με στήριξαν σε διάφορα στάδια αυτής της προσπάθειας.

Ευχαριστώ πολύ την εταιρεία GEOTEST και ιδιαίτερα τον κ. Ζωΐδη Νικόλαο, καθώς ένα σημαντικό μέρος των πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί στα εργαστήρια της εταιρείας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την συνεχή συμπαράσταση και υποστήριξη καθώς και την πίστη τους σε εμένα και τις δυνατότητες μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σκυροδέμα είναι το πιο διαδεδομένο υλικό κατασκευών παγκοσμίως εδώ και πολλά χρόνια, καθώς είναι ανθεκτικό και αποτελεσματικό και χρησιμοποιεί εγχώριες πρώτες ύλες, καθιστώντας το οικονομική λύση. Δυστυχώς όμως, η κατασκευαστική βιομηχανία του σκυροδέματος είναι απαιτητική τόσο σε ότι αφορά τις πηγές πρώτων υλών, όσο και στην κατανάλωση ενέργειας και την παραγωγή ρύπων. Για να αντισταθμιστεί αυτό το αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο, μία λύση είναι η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων που προκύπτουν από οικοδομικά απορρίμματα και κατεδαφίσεις ως ανακυκλωμένα αδρανή για την κατασκευή σκυροδέματος. Στην παρούσα διπλωματική, εξετάστηκε η χρήση λεπτόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών για την παρασκευή κονιαμάτων. Αρχικά, συντέθηκε ένα δοκίμιο τσιμεντόπαστας και δύο πρότυπα κονιάματα: ένα με χρήση φυσικής άμμου πυριτικής προέλευσης και ένα με χρήση φυσικής θραυστής άμμου ασβεστολιθικής προέλευσης. Η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων μετρήθηκε και καταγράφηκε κατά την πρώιμη ηλικία των τριών αυτών δοκιμίων. Στη συνέχεια, ανακυκλωμένα αδρανή που προέκυψαν από κατεδάφιση ενός κτιρίου οικιακής χρήσης, χωρίστηκαν σε 4 ομάδες με βάση το χώρο του κτιρίου από τον οποίο προήλθαν και μετά υποβλήθηκαν σε κατάλληλη επεξεργασία και προσδιορισμό των βασικών τους ιδιοτήτων. Κάθε ομάδα περιελάμβανε αδρανή που προήλθαν από χώρους του κτιρίου με διαφορετική χρήση και επομένως περιείχαν, πέραν του σκυροδέματος, διαφορετικές συγκεντρώσεις και από άλλα οικοδομικά υλικά. Για κάθε ομάδα παρασκευάστηκαν δύο κονιάματα όπου το 20 % της συνολικής ποσότητας άμμου που απαιτείται αντικαταστάθηκε από τα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή ενώ το υπόλοιπο 80% στην μία περίπτωση ήταν φυσική πυριτική άμμος ενώ στο άλλο θραυστή ασβεστολιθική. Στη συνέχεια, κατά την πήξη του κάθε δοκιμίου μετρήθηκε η ταχύτητα διάδοσης υπερήχων δια μέσου της μάζας του. Σκοπός των πειραμάτων αυτών ήταν η καταγραφή της ταχύτητας υπερήχων σε συνάρτηση με το χρόνο σε νωπό κονίαμα. Μέσω των διαγραμμάτων ταχύτητας – χρόνου, εξήχθησαν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την επίδραση του είδους των ανακυκλωμένων αδρανών στην ποιότητα, έμμεσα συμπεράσματα για την αντοχή των κονιαμάτων και για το ρυθμό πήξης.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used construction material in the world for many years now, since it is durable and effective and uses local raw materials, rendering it an affordable solution. Unfortunately, the construction industry of concrete is demanding as far as the source of raw materials, the energy consumption and the greenhouse gas emissions are concerned. To counterbalance this negative environmental impact, the re-use of construction and demolition waste as recycled aggregates in the production of concrete is suggested. In this thesis research, the use of fine recycled aggregates for the production of mortar was investigated. Firstly, a cement paste specimen and two types of reference mortar were composed: the first using natural siliceous sand and the second using crushed limestone sand. The propagation speed of ultrasound waves was measured and recorded during the early age of these three specimens. After that, recycled aggregates originated from the demolition of a housing structure were separated into 4 groups based on the space of the building from which they derived and then they underwent proper process and determination of their properties. Each group consisted of aggregates that originated from different parts of the building and therefore consisted, apart from concrete, from different proportions of other construction materials. For each group two mortars were made, in which the 20% of the amount of sand required was replaced with fine recycled aggregates while the remaining 80% was natural siliceous sand in the first case and crushed limestone sand in the second. Then, during the setting phase of each specimen the propagation speed of ultrasound waves was recorded. The aim of these experiments was to record the ultrasound wave speed with respect to time for fresh mortar. From the speed vs. time diagrams useful conclusions were drawn, regarding the influence of different types of recycled aggregates on the quality, as well as indirect conclusions for the strength of the mortars and their setting pace.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	viii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	4
1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	6
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	7
2.1. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ	7
2.1.1 Γενικά	7
2.1.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση	12
2.1.3 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα.....	13
2.1.4 Διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων.....	14
2.1.5 Μονάδες διαχείρισης ΑΕΚΚ – Μεθοδολογία διαχωρισμού.....	17
2.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ	20
2.2.1 Γενικά	20
2.2.2 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων αδρανών.....	21
2.2.3 Σύγκριση ιδιοτήτων μεταξύ ανακυκλωμένων και φυσικών αδρανών.....	23
2.3. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ.....	24
2.3.1 Γενικά	24
2.3.2 Ιδιότητες κονιαμάτων	25
2.3.3 Παραγωγή κονιαμάτων.....	27
2.3.4 Διεργασίες πήξης και σκλήρυνσης	27
2.3.5 Χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σε εφαρμογές κονιαμάτων	29
2.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ.....	31
2.4.1 Γενικά	31
2.4.2 Πειραματική διάταξη.....	32
2.4.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με βασικές ιδιότητες των δοκιμίων.....	34
3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	35
3.1. ΥΛΙΚΑ	35
3.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	37
3.2.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών	38

3.2.2.	Επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος.....	39
3.2.3.	Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδατοαπορροφητικότητας	41
3.2.4.	Σύνθεση κονιαμάτων	45
3.2.5.	Πειραματική διάταξη πειράματος υπερήχων	46
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	50
4.1.	Ανάλυση 1	51
4.2.	Ανάλυση 2	52
4.3.	Ανάλυση 3	54
4.4.	Ανάλυση 4	56
4.5.	Ανάλυση 5	59
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	61
5.1.	Σύνοψη.....	61
5.2.	Συμπεράσματα.....	64
5.3.	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	65
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Συνολική παραγωγή αποβλήτων EU-27 κατά οικονομική δραστηριότητα το 2008 [NACE Rev.2) 2008. EUROSTAT] [1].....	7
Εικόνα 2: Ποσοστιαία κατανομή προέλευσης οικοδομικών αποβλήτων για τις χώρες της ΕΕ [14].8	
Εικόνα 3: Ποσοστά των υλικών στο σύνολο των ΑΚΚ για την Ελλάδα [17 – τροποποίηση ίδια]...9	
Εικόνα 4: Παραγωγή ΑΕΚΚ κατά κεφαλήν στην Ευρωπαϊκή Ένωση	10
Εικόνα 5: Αρχές διαχείρισης στερεών αποβλήτων [20]	14
Εικόνα 6: Αυτοφερόμενο συγκρότημα διαχωρισμού αδρανών και πλύσεως άμμου τριών βαθμίδων για την παραγωγή καναλέτων λεπτού τοιχώματος. Ελληνική κατασκευή, Χ.Ι. Εφραιμίδης, ΕΔΟΚ-ΕΤΕΡ, Αρδευτικά έργα Αλφειού [22].....	18
Εικόνα 7: Μόνιμο συγκρότημα διαχείρισης ΑΕΚΚ.....	18
Εικόνα 8: Διάγραμμα Ροής Διαχείρισης Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων [23]	19
Εικόνα 9: Σχηματική περιγραφή της πήξης και σκλήρυνσης του κονιάματος [36– τροποποίηση ίδια].....	28
Εικόνα 10: Κονίαμα επιχρίσματος (σοβάς)	29
Εικόνα 11: Τσιμεντοκονιάματα εξισωτικής στρώσης	30
Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης δοκιμής υπερήχων [40]	32
Εικόνα 13: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων [24]	33
Εικόνα 14: Ανακυκλωμένα αδρανή και περιεχόμενα σε αυτά υλικά	36
Εικόνα 15: Κόσκινα αμερικανικής σειράς (βάσει του ASTM E11).....	38
Εικόνα 16: Αδρανή διερχόμενα από το κόσκινο Νο16 και συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο20	39
Εικόνα 17: Διαδικασία τετραμερισμού (Ρούτουλας, 2012).....	40
Εικόνα 18: Καταστάσεις απορρόφησης υγρασίας αδρανών [25].....	41
Εικόνα 19: Πλήρωση μεταλλικού κώνου με άμμο κατά την δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας	42
Εικόνα 20: Συμπύκνωση της άμμου κατά τη δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας.....	43
Εικόνα 21: Κορεσμένη άμμος	43
Εικόνα 22: Αυτοσχέδιο καλούπι.....	47
Εικόνα 23: Τοποθέτηση μίγματος κονιάματος στο καλούπι : α) διάστρωση με χρήση σπάτουλας, και β) άσκηση πίεσης για απομάκρυνση φυσαλίδων αέρα.....	47
Εικόνα 24: Στεγάνωση του δοκιμίου με χρήση μονωτικής ταινίας.....	48
Εικόνα 25: Τοποθέτηση κατάλληλης ποσότητας λιπαντικής ουσίας στην επιφάνεια των αισθητήρων.....	48
Εικόνα 26: Πειραματική διάταξη πειράματος υπερήχων	49
Εικόνα 27: Διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου για το κονίαμα πρότυπης άμμου και την τσιμεντόπαστα	51
Εικόνα 28: Διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου για το κονίαμα πρότυπης άμμου και το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου	52
Εικόνα 29: Αποτελέσματα δοκιμής υπερήχων ανά ζεύγος κονιαμάτων στα οποία χρησιμοποιήθηκε η ίδια ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών	54
Εικόνα 30: Αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχου για κονιάματα που περιέχουν πρότυπη άμμο: για όλη τη διάρκεια της δοκιμής (πάνω), για το αρχικό (κάτω αριστερά) και το τελικό στάδιο (κάτω δεξιά).....	56
Εικόνα 31: Αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχου για κονιάματα που περιέχουν ασβεστολιθική άμμο: για όλη τη διάρκεια της δοκιμής (πάνω), για το αρχικό (κάτω αριστερά) και το τελικό στάδιο (κάτω δεξιά).....	59

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ποσότητες παραγόμενων ΑΚΚ στην Ευρώπη [18]	10
Πίνακας 2: Συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ [21].....	16
Πίνακας 3: Ιδιότητες φυσικών και ανακυκλωμένων αδρανών [30]	23
Πίνακας 4: Ομάδες ανακυκλωμένων αδρανών στην παρούσα έρευνα	36
Πίνακας 5: Τιμές υδατοαπορροφητικότητας και ειδικού βάρους για τα αδρανή	45
Πίνακας 6: Μελέτες σύνθεσης των κονιαμάτων	46

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Η βιομηχανική ανάπτυξη, που ξεκίνησε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, σηματοδότησε μια επανάσταση στην κοινωνία, την παραγωγή και την διεθνή οικονομία. Η μεταφορά του χώρου παραγωγής από τον αγροτικό τομέα και τις παραδοσιακές μεθόδους σε εργοστασιακές μονάδες που κάνουν χρήση νέων τεχνολογικών επιτευγμάτων οδήγησε σε μία δραματική αύξηση της παραγωγικότητας και συνακόλουθα του πληθυσμιακού δυναμικού με αποτέλεσμα αυξημένες απαιτήσεις ενέργειας [1]. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε μία σταδιακά εντεινόμενη εκμετάλλευση της φύσης και των φυσικών πόρων ως πηγές ενέργειας. Τα τελευταία 40 χρόνια όμως, έγινε αντιληπτό ότι το περιβάλλον πλήττεται ανεπανόρθωτα από το γεγονός αυτό καθώς η φρενήρης εξέλιξη της τεχνολογίας και η υπερεκμετάλλευση της φύσης οδηγεί στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος θέτοντας τον πλανήτη μας σε κίνδυνο, όπως φαίνεται από φαινόμενα σαν την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Είναι πλέον εμφανές ότι φύση δεν είναι ικανή να ανακάμψει από κάθε πλήγμα που δέχεται και ότι οι φυσικοί πόροι δεν είναι ανεξάντλητοι.

Η συνειδητοποίηση αυτή οδήγησε τα τελευταία χρόνια, στις ολοένα και πιο έντονες προσπάθειες για άσκηση κάθε τύπου παραγωγικής δραστηριότητας με γνώμονα την αειφορία. Με τον όρο αειφορία περιγράφεται η ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων ώστε να καλύπτονται οι ανθρώπινες ανάγκες του παρόντος χωρίς να υπονομεύεται η κάλυψη μελλοντικών αναγκών [2]. Στο πλαίσιο αυτό, η αειφόρος (ή βιώσιμη) ανάπτυξη κρίνεται επιτακτική ανάγκη, ειδικά για τον κατασκευαστικό τομέα ο οποίος είναι ένας από τους μεγαλύτερους τομείς βιομηχανικής δραστηριότητας.

Η έννοια της αειφόρου ή βιώσιμης ανάπτυξης περιλαμβάνει τρεις βασικές πτυχές: κοινωνική, οικονομική και περιβαλλοντική. Η περιβαλλοντική είναι ευκολότερο να μετρηθεί και να ποσοτικοποιηθεί συγκριτικά με τις άλλες δύο για αυτό και αποτελεί το κυριότερο κριτήριο μέτρησης της απόδοσης ενός αειφόρου σχεδιασμού [3].

Συγκεκριμένα για τον κατασκευαστικό τομέα υπάρχει ένας κύκλος οικοδομικής δραστηριότητας που σχετίζεται με τα περιβαλλοντικά προβλήματα και περιλαμβάνει τα εξής στάδια: την παραγωγή οικοδομικών υλικών, την κατασκευή του κτιρίου, τη χρήση του και την κατεδάφισή του [4].

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80, η φάση χρήσης του κτιρίου θεωρούνταν κατεξοχήν υπαίτια για το μεγαλύτερο μέρος της περιβαλλοντικής ζημίας που επέφερε ο κατασκευαστικός τομέας. Ωστόσο, από τις αρχές της δεκαετίας του '90, έγιναν εμφανείς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των υπόλοιπων τριών σταδίων και ξεκίνησε μια ολιστική θεώρηση για την περιβαλλοντική συμπεριφορά των κτιρίων και των επιπτώσεων της οικοδομικής δραστηριότητας στο περιβάλλον [4].

Η φάση παραγωγής των οικοδομικών υλικών είναι υπεύθυνη για ένα μεγάλο ποσοστό της περιβαλλοντικού φορτίου σε τοπικό, εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο, καθώς η

κατασκευαστική βιομηχανία του σκυροδέματος είναι απαιτητική ως προς τις πηγές πρώτων υλών, καταναλώνει μεγάλα ποσά ενέργειας και παράγει σημαντικά ποσά ρύπων. Ειδικά οι βιομηχανίες παραγωγής έτοιμου σκυροδέματος, που έχουν δημιουργηθεί λόγω της μεγάλης ζήτησης, συμβάλλουν στην ρύπανση του περιβάλλοντος παράγοντας καθημερινά μεγάλη ποσότητα παραπροϊόντων που συνίστανται από το επιστρεφόμενο νωπό σκυρόδεμα και το νερό έκπλυσης των ειδικών σιλοφόρων οχημάτων μεταφοράς έτοιμου σκυροδέματος και επιπλέον, εκπέμποντας επιβλαβή αέρια στην ατμόσφαιρα όπως CO, NO_x, VOC, PM. Επίσης, για τη σύνθεση του σκυροδέματος καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών (αδρανών υλικών, τσιμέντου, νερού) αλλά και πρόσθετων υλικών και υλικών συντήρησης (γράσα, ορυκτέλαια) ενώ απαιτούνται και σημαντικά ποσά ενέργειας (ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο κίνησης) [5]. Όσον αφορά τα φυσικά αδρανή υλικά, (όπως το αμμοχάλικο και τα θραυστά πετρώματα) που αποτελούν πρώτες ύλες του σκυροδέματος, θεωρούνται σημαντικοί μη ανανεώσιμοι πόροι. Στην Ελλάδα, ο αριθμός των δημόσιων, δημοτικών/κοινοτικών και ιδιωτικών λατομείων αδρανών υλικών που βρίσκονται σε λειτουργία ανέρχεται σε 195 ενώ υπάρχουν και λατομεία που λειτουργούν χωρίς την απαιτούμενη άδεια καθιστώντας των ακριβή υπολογισμό τους δυσχερή [6]. Παρόλα αυτά, έστω και κατά προσέγγιση, ο αριθμός αυτός δείχνει ότι η ποσότητα των αδρανών που εξορύσσονται στην χώρα μας για την κατασκευή δομικών έργων και έργων υποδομής είναι αρκετά μεγάλη, γεγονός ανησυχητικό αν ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι πρόκειται για μη ανανεώσιμους πόρους. Το στάδιο της κατεδάφισης αποτελεί επίσης περιβαλλοντική απειλή λόγω της έλλειψης χώρων απόθεσης οδηγώντας στην συχνή απόρριψή τους στο προαστιακό περιβάλλον.

Από τα παραπάνω είναι εμφανές ότι πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις εξαιτίας της παραγωγής οικοδομικών υλικών και της διαχείρισης των αποβλήτων λόγω κατεδαφίσεων. Μία ολοένα και πιο δημοφιλής λύση είναι η ανακύκλωση, δηλαδή η επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων που προκύπτουν από οικοδομικά απορρίμματα και κατεδαφίσεις, ώστε μετά από κατάλληλη επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί ως αδρανές στην παραγωγή σκυροδέματος [7]. Αυτή η μέθοδος παραγωγής σκυροδέματος πληροί τις απαιτήσεις για βιώσιμη ανάπτυξη, διαφύλαξη του φυσικού πλούτου και αποτελεσματική διαχείριση των απορριμμάτων [8].

Προκειμένου να πιστοποιηθεί η ασφαλής αξιοποίηση των στερεών αποβλήτων ως ανακυκλωμένα αδρανή είναι απαραίτητο να διενεργηθεί επαρκής έρευνα βασισμένη σε πειράματα χρήσης τους σε μίγματα σκυροδέματος και σε αποτελέσματα και πρακτικές πρότερον ερευνών διεθνούς βεληνεκούς. Συμπεράσματα τέτοιων ερευνητικών προγραμμάτων συμβάλλουν επίσης και στην διαμόρφωση σχετικών νομοθεσιών για την ορθή χρήση των ανακυκλωμένων αδρανών στον κατασκευαστικό τομέα.

Εκ των στερεών αποβλήτων μπορούν να προκύψουν τόσο χονδρόκοκκα όσο και λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή. Σε πολλές χώρες, ενώ η χρήση των χονδρόκοκκων για την σύνθεση σκυροδέματος ενθαρρύνεται, δεν συμβαίνει το ίδιο και για τα λεπτόκοκκα των οποίων η χρήση είναι περιορισμένη, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές αλλαγές στις ιδιότητες του σκυροδέματος. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία

χρόνια σημειώνεται διεθνώς ένα αυξημένο ενδιαφέρον ως προς την αξιοποίηση τους στο σκυροδέμα, κυρίως λόγω οικονομικών προβλημάτων που προκαλούνται από ελλείψεις φυσικής άμμου κατάλληλης για την σύνθεση σκυροδέματος και της προσπάθειας για πλήρη αξιοποίηση αυτού του είδους απορριμμάτων [9]. Αυτή η διπλωματική εργασία εστιάζει στα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή, για αυτό και διενεργούνται πειράματα σε δοκίμια κονιαμάτων στα οποία έχει αντικατασταθεί ένα ποσοστό της φυσικής άμμου με λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή, ώστε να αξιολογηθεί το αντίκτυπο από τη χρήση τους στην ποιότητα, την αντοχή και τον χρόνο πήξης του κονιάματος.

Για να γίνει δυνατή αυτή η αξιολόγηση διενεργήθηκε δοκιμή υπερήχων, μίας μη καταστροφική μέθοδος ελέγχου των δομικών στοιχείων, σε δοκίμια νωπού κονιάματος, στα οποία έγινε αντικατάσταση του 20% της άμμου με ανακυκλωμένα λεπτόκοκκα αδρανή. Τέσσερις διαφορετικές προελεύσεις ανακυκλωμένων αδρανών εξετάστηκαν σε αυτή την έρευνα. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων συγκρίθηκαν μεταξύ τους αλλά και με τα αποτελέσματα αντίστοιχων πειραμάτων στα οποία υποβλήθηκαν πρότυπα κονιάματα, όπου χρησιμοποιήθηκε εξ ολοκλήρου φυσική άμμος και έδωσαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την επίδραση των ανακυκλωμένων αδρανών στο νωπό κονίαμα.

1.2. ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εξετάζει την χρήση λεπτόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών στη σύνθεση κονιαμάτων, με απώτερο στόχο να βγουν συμπεράσματα ως προς την ποιότητα, την αντοχή και τις ιδιότητες τέτοιων δομικών στοιχείων που ενδέχεται να ενσωματωθούν πιο συστηματικά τα επόμενα χρόνια στην οικοδομική δραστηριότητα στα πλαίσια της επιδιωκόμενης αειφόρου ανάπτυξης. Τα πειράματα που έγιναν αφορούσαν τις ιδιότητες των νωπών κονιαμάτων. Συντέθηκαν επομένως κονιάματα με τη χρήση διαφορετικών αδρανών τα οποία αμέσως μετά την ανάμιξη υποβλήθηκαν σε δοκιμή υπερήχων που διήρκησε περίπου δύο ημέρες ώστε να παρακολουθηθεί πλήρως η φάση της πήξης.

Στην πρώτη φάση αυτής της έρευνας, συγκεντρώθηκαν τα αδρανή που εξετάστηκαν (ανακυκλωμένα και φυσικά). Στις φυσικές άμμους χρησιμοποιήθηκε πρότυπη άμμος πυριτικής προέλευσης και θραυστή άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης. Τα ανακυκλωμένα αδρανή προήλθαν από κατεδάφιση ιδιωτικής οικίας και χωρίστηκαν σε 4 ομάδες ανάλογα από το χώρο από τον οποίο προήλθαν: υπόγειο, μπάνιο, ενδιάμεσο και τελευταίο όροφο. Η εξέταση των αποβλήτων από την κατεδάφιση διαφορετικών χώρων του ίδιου κτιρίου αποσκοπούσε στην σύγκριση των ανακυκλωμένων αδρανών με διαφορετική αναλογία συμμετοχής των διαφορετικών υλικών (σκυρόδεμα, κεραμικά, ξυλεία, γυαλί κλπ.) χωρίς να επηρεάζει τα αποτελέσματα η αντοχή και το είδος του τσιμέντου που ήταν κοινό για όλους τους χώρους. Για κάθε ομάδα, τα αδρανή χωρίστηκαν σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα. Είναι γνωστό ότι το λεπτόκοκκο κλάσμα δεν ενδείκνυται για χρήση λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης ενυδατωμένου τσιμέντου και γύψου. Για αυτό, το λεπτόκοκκο κλάσμα που χρησιμοποιήθηκε στην έρευνα αυτή προέκυψε από θραύση των χονδρόκοκκων και στη συνέχεια κοσκίνισμά τους ώστε να απομονωθεί το επιθυμητό κλάσμα. Το ίδιο κλάσμα απομονώθηκε μέσω κοσκίνισματος και από τις φυσικές άμμους. Ένα μόνο κλάσμα χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να μην επηρεάσει η ανομοιομορφία στο μέγεθος των κόκκων την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Στη συνέχεια, έγινε επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος από κάθε ομάδα ανακυκλωμένης άμμου, ώστε να γίνουν πειράματα προσδιορισμού βασικών ιδιοτήτων τους. Έτσι, προσδιορίστηκε το ποσοστό συμμετοχής των διάφορων υλικών (γυαλί, πλακάκια κλπ) αλλά και οι τιμές της υδατοαπορροφητικότητας και του ειδικού βάρους που είναι απαραίτητες για τη μελέτη σύνθεσης που ακολούθησε στην επόμενη φάση.

Έπειτα, υπολογίστηκε και υλοποιήθηκε η σύνθεση των κονιαμάτων. Πρώτα, συντέθηκαν τα δύο πρότυπα κονιάματα, όπου χρησιμοποιήθηκε στην μία περίπτωση εξ' ολοκλήρου φυσική άμμος πυριτικής προέλευσης και στην άλλη περίπτωση φυσική θραυστή άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης. Μετά, για κάθε ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών παρασκευάστηκαν δύο κονιάματα όπου το 20% της συνολικής ποσότητας άμμου αντικαταστάθηκε από τα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή ενώ το υπόλοιπο 80% στην μία περίπτωση ήταν φυσική πυριτική άμμος και στην άλλη θραυστή ασβεστολιθική.

Αμέσως μετά την ανάμιξη κάθε κονιάματος ακολούθησε η δοκιμή των υπερήχων. Η ταχύτητα των υπερήχων καταγράφηκε και μετά από κατάλληλη επεξεργασία δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα ταχύτητας υπερήχων - χρόνου για κάθε κονίαμα.

Σκοπός της δοκιμής ήταν η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων ώστε να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τις επιπτώσεις χρήσης των ανακυκλωμένων αδρανών στα παραγόμενα κονιάματα. Από την σύγκριση των κονιαμάτων για τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ανακυκλωμένα αδρανή, αξιολογήθηκε η επίδραση που έχουν στην ποιότητα και την αντοχή οι διαφορετικές συγκεντρώσεις ακατάλληλων υλικών. Τέλος, προσδιορίστηκε ο ρυθμός πήξης για κάθε δοκίμιο, μία πληροφορία πολύ σημαντική από πρακτική σκοπιά αφού καθορίζει το χρονικό διάστημα στο οποίο μπορεί το κονίαμα να διαστρωθεί αλλά και το χρόνο που απαιτείται μέχρι να πήξει το υλικό και να μπορέσουν να συνεχίσουν οι οικοδομικές εργασίες.

1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή αποτελείται από πέντε κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή και έχει σκοπό να παρουσιάσει το γενικότερο πλαίσιο της έρευνας. Αρχικά, γίνεται μία ανασκόπηση των προβλημάτων που προκαλούνται από την αύξηση των οικοδομικών αποβλήτων και στη συνέχεια παρουσιάζεται η λύση της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησής τους στην παραγωγή σκυροδέματος και κονιαμάτων. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται ο επιδιωκόμενος στόχος αυτής της έρευνας και το βασικό αντικείμενο μελέτης. Τέλος, στην παρούσα παράγραφο περιγράφεται πως αναπτύσσεται η εργασία ανά κεφάλαιο.

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι το κεφάλαιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης. Για αρχή, γίνεται αναφορά στα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) και δίνονται οι λόγοι για τους οποίους υπάρχει ανάγκη ανακύκλωσής τους. Ακόμη, παρουσιάζεται η σχετική νομοθεσία και περιγράφονται τα συστήματα διαχείρισής τους. Έπειτα, αναλύονται τα χαρακτηριστικά, οι φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων αδρανών. Στην επόμενη παράγραφο δίνεται έμφαση στις εφαρμογές χρήσης των λεπτόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών και δίνονται σχετικά παραδείγματα. Το κεφάλαιο κλείνει με μία αναλυτική περιγραφή της μεθόδου των υπερήχων αναλύοντας τόσο το τεχνικό όσο και το θεωρητικό υπόβαθρο της και παρουσιάζει η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με την ποιότητα, την αντοχή και τις ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος ή/και κονιάματος.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται αναλυτικά οι απαραίτητες πληροφορίες για τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Πρώτα, παρουσιάζονται οι ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά των αδρανών που εξετάζονται. Μετά, η πειραματική διαδικασία περιγράφεται βήμα προς βήμα όπως διενεργήθηκε για κάθε δοκιμή που έγινε.

Το τέταρτο κεφάλαιο είναι αυτό στο οποίο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Παράλληλα με την παρουσίαση, πραγματοποιείται και αξιολόγηση τους με βάση τα όσα γνωρίζουμε από προηγούμενες έρευνες αλλά και σύγκρισή τους για την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μία ανακεφαλαίωση όσων παρουσιάστηκαν και μία σύνοψη των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων. Επίσης, βάση των παραπάνω παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

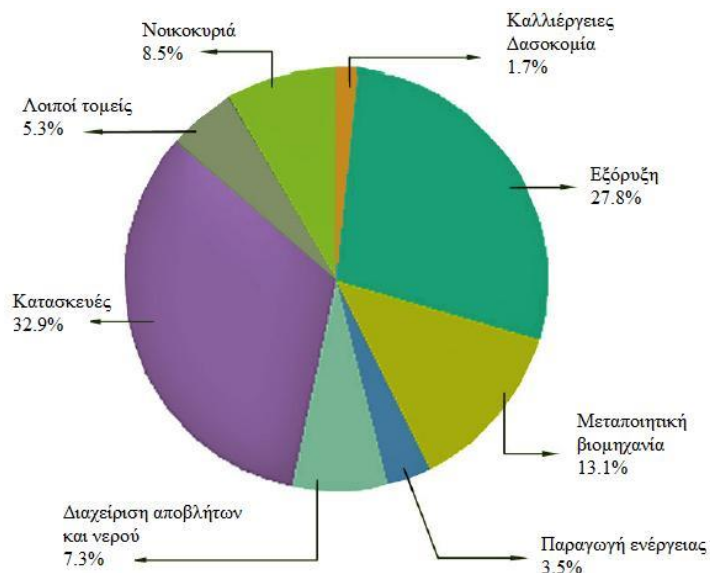
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1. ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ

2.1.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, από την βιομηχανική επανάσταση και μετά η ανάπτυξη της τεχνολογίας και η αύξηση της παραγωγής οδήγησε σε ραγδαία αύξηση του πληθυσμού που συνεχίζεται και σήμερα, πράγμα που σημαίνει διογκούμενες ανάγκες σε παραγωγή ανθρώπινων αγαθών. Παρόλα αυτά, είναι σαφές πως κάθε παραγωγικός τομέας δαπανά ενέργεια για την απόκτηση αγαθών άμεσης ή έμμεσης κατανάλωσης με αποτέλεσμα να παράγει και ένα σημαντικό ποσό αποβλήτων. Έτσι, ανακύπτει σήμερα το σοβαρότατο πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω ρύπανσης.

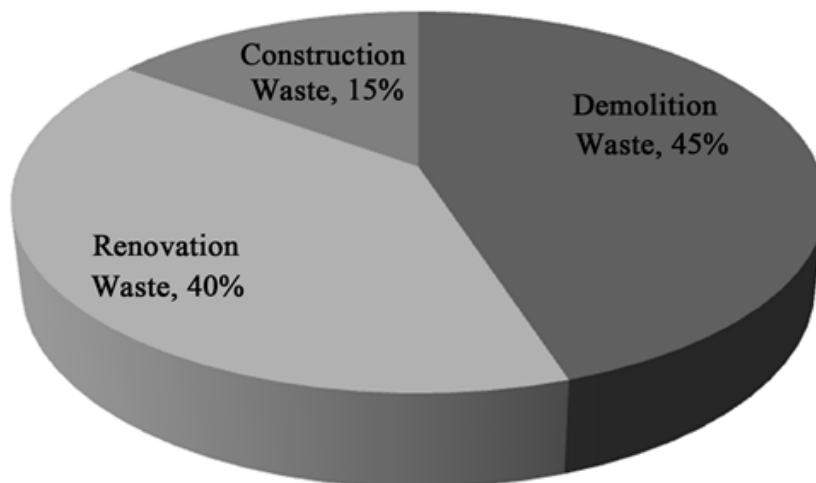
Ένας από τους σημαντικότερους τομείς από την άποψη των παραγόμενων αποβλήτων είναι ο κατασκευαστικός τομέας. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η ποσοστιαία κατανομή παραγόμενων αποβλήτων στην Ευρώπη για το έτος 2008, όπου φαίνεται πως το ποσό των οικοδομικών αποβλήτων αντιστοιχούσε σε 859 εκατομμύρια τόνους ή 32,9% του συνόλου (Εικόνα 1) [1]. Προκειμένου ο κατασκευαστικός τομέας να συμβαδίσει με τις ανθρώπινες ανάγκες που αλλάζουν διαρκώς, παράγει μεγάλα ποσά αποβλήτων από κατεδαφίσεις, εκσκαφές και κατασκευές που ξεπερνούν ετησίως τα 900 εκατομμύρια τόνους για την Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες και την Ιαπωνία, ενώ σε άλλα μέρη του κόσμου οι ποσότητες των αποβλήτων είναι απροσδιόριστες [10]. Στην Ελλάδα η παραγωγή ΑΕΚΚ ανέρχεται σε περισσότερους από 4 εκ. τόνους ετησίως [11,12,13].



Εικόνα 1: Συνολική παραγωγή αποβλήτων EU-27 κατά οικονομική δραστηριότητα το 2008 [NACE Rev.2) 2008. EUROSTAT] [1]

Ως οικοδομικά απόβλητα ορίζονται τα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ). Τα απόβλητα αυτά εμπίπτουν στην εφαρμογή των διατάξεων του άρθρου 2 (στοιχείο α) της υπ. αριθ. 50910/2003 ΚΥΑ σε συνδυασμό με την παράγραφο 4 του άρθρου 2 του Ν. 2939/2001 και περιλαμβάνεται στο Παράρτημα Ι του άρθρ. 17 του Διατάγματος ΦΕΚ Β'1312/24/08/2010 [1].

Ανάλογα με την προέλευσή τους (κατασκευή, κατεδάφιση, εκσκαφή), τα οικοδομικά απόβλητα διαφέρουν ως προς τα χαρακτηριστικά, τις ποσότητες, τη σύνθεση και τις δυνατότητες ανάκτησης. Τα απόβλητα κατασκευών για παράδειγμα, είναι λιγότερο μικτά και μολυσμένα διευκολύνοντας την ανάκτησή τους ενώ αντιστοιχούν σε μικρότερα ποσοστά των συνολικών ΑΕΚΚ. Τα απόβλητα προερχόμενα από κατεδαφίσεις ή αποκαταστάσεις από την άλλη, αντιστοιχούν σε μεγαλύτερα ποσοστά των οικοδομικών αποβλήτων αλλά δυσχεραίνουν τη διαδικασία ανάκαμψης λόγω του ότι είναι πιο μολυσμένα και μικτά. Η διάκριση των αποβλήτων ως προς την προέλευση θα ήταν επομένως χρήσιμη για την διαδικασία διαχείρισης ή και αξιοποίησης τους όμως τα σημερινά στοιχεία δεν επιτρέπουν μια διάκριση σε παγκόσμια κλίμακα [1]. Παρόλα αυτά, έχουν γίνει προσπάθειες για την ποσοτικοποίηση της προέλευσης των οικοδομικών αδρανών, όπως αυτή που διεξήχθη από την εταιρεία Symonds group Ltd το 1999 και εστιάζει στην κατηγοριοποίηση των αποβλήτων κατασκευών, ανακαινίσεων και κατεδαφίσεων για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο διαχωρισμός του συνόλου των αποβλήτων ως προς την προέλευση απεικονίζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2: Ποσοστιαία κατανομή προέλευσης οικοδομικών αποβλήτων για τις χώρες της ΕΕ [14]

Ενδεικτικές δραστηριότητες που οδηγούν σε παραγωγή ΑΕΚΚ είναι οι ακόλουθες [15]:

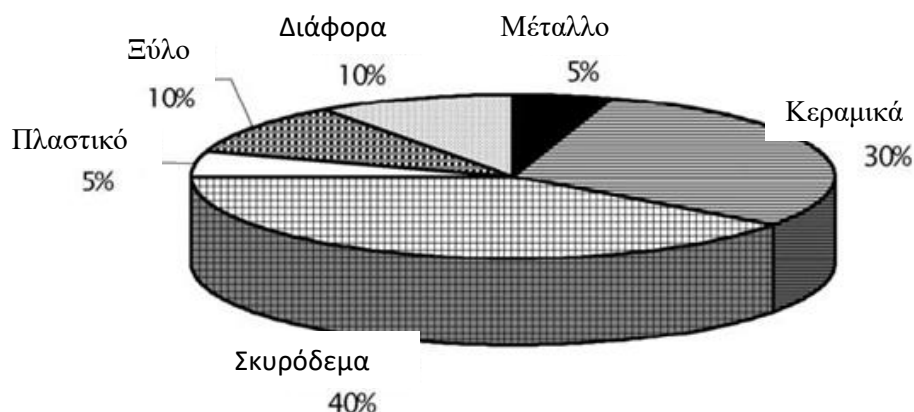
- Οικοδομικές εργασίες: ανεγέρσεις, κατεδαφίσεις, ανακαινίσεις, επισκευές, περιφράξεις και περιστοιχίσεις μεμονωμένων οικιών- κτιρίων και κτιριακών συγκροτημάτων.
- Τεχνικά έργα υποδομών: κατεδαφίσεις, κατασκευές ή και επιδιορθώσεις δρόμων, γεφυρών, σηράγγων, αποχετευτικών δικτύων, πεζοδρομίων, αναπλάσεις χώρων, κ.α.
- Φυσικές/τεχνολογικές καταστροφές: σεισμοί, πλημμύρες, κατολισθήσεις, δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες και λοιπές καταστροφές οικοδομών.

Εξαιτίας της προέλευσης τους τα ΑΕΚΚ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε μία από τις παρακάτω περιπτώσεις [1]:

- i. Κατεστραμμένα υλικά.
- ii. Επιπλέον υλικά που απομένουν στο τέλος των εργασιών.
- iii. «Ενδιάμεσα» απόβλητα τα οποία χρησιμοποιούνται για να αποτελέσουν ένα υλικό.
- iv. Τα απορρίμματα συσκευασίας (πχ. ξύλο, μέταλλο, χαρτόνι, πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο και άλλα).

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε απορρίμματα προερχόμενα κυρίως από κατεδαφίσεις ένα ποσοστό απορριμμάτων είναι επικίνδυνα. Αυτά χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής στη απομάκρυνσή τους από τα υπόλοιπα απορρίμματα.

Ως προς τη σύσταση αποτελούνται από διάφορα υλικά, όπως σκυρόδεμα, γύψο, τούβλα, κεραμικά, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, διαλυτικά, αμίαντο, άσβεστο και χώματα εκσκαφής [16]. Στην Εικόνα 3 δίνονται ενδεικτικά τα ποσοστά των υλικών στο σύνολο των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΚΚ) για την Ελλάδα, όπως προτάθηκαν από τη βιβλιογραφία [17].



Εικόνα 3: Ποσοστά των υλικών στο σύνολο των ΑΚΚ για την Ελλάδα [17 – τροποποίηση ίδια]

Η καταμέτρηση των οικοδομικών αποβλήτων σε παγκόσμιο, ευρωπαϊκό ακόμη και εγχώριο επίπεδο είναι ένα δύσκολο και ποικιλόμορφο έργο. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει ενδεικτικά τα ποσά παραγωγής ΑΚΚ στην Ευρώπη από διάφορες πηγές και για διαφορετικές χρονολογίες.

Πίνακας 1: Ποσότητες παραγόμενων ΑΚΚ στην Ευρώπη [18]

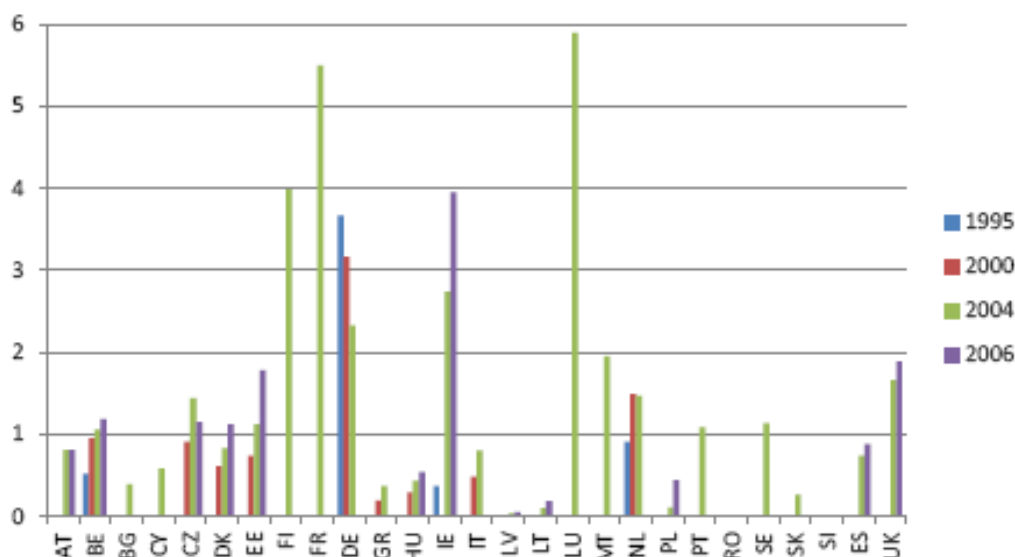
Πηγή	Συνολικό ποσό ΑΚΚ (εκατομμύρια τόνοι)	ΑΚΚ ανά κάτοικο
[WBCSD 2009*] (2002 data)	510	1,1
[ETC/RWM** 2009] (2004 data)	866	1,8
[EUROSTAT*** 2010] (2006 data)	970	2,0

*WBCSD: World Business Council for Sustainable Development

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

***EUROSTAT : European Statistics

Για να κατανοήσουμε σε κάποιο βαθμό και να μπορέσουμε να συγκρίνουμε την παραγωγή αποβλήτων μεταξύ των διαφόρων χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η σύγκριση μεταξύ χωρών πρέπει να γίνεται ανάλογα με το πληθυσμιακό δυναμικό της. Έτσι τα ποσά υπολογίζονται κατά κεφαλήν (per capita). Για τα κράτη/μέλη για τα οποία υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την περίοδο 1995-2006 σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Θεματικό Κέντρο για τη διαχείριση Πόρων και Αποβλήτων (European Topic Centre on Resource and Waste Management), υπολογίστηκε η ετήσια παραγωγή ΑΕΚΚ σε τόνους ανά κάτοικο και τα αποτελέσματα συνοψίζονται στην Εικόνα 4 [12].



Εικόνα 4: Παραγωγή ΑΕΚΚ κατά κεφαλήν στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, για όλες τις χώρες με εξαίρεση τη Γερμανία παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής κατά κεφαλήν για την περίοδο 1995 έως 2006 [12].

Φυσικά οι υψηλές γεωγραφικές διακυμάνσεις που παρατηρούνται, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές παραγόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ. Σύμφωνα με τους ειδικούς, οι κυριότεροι λόγοι είναι αφενός ότι η καταγραφή των οικοδομικών αποβλήτων δεν είναι συστηματική και ολοκληρωμένη για πολλές από τις χώρες της ΕΕ, αφετέρου ότι υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ελέγχου και αναφοράς αποβλήτων στα μέλη/κράτη, καθώς και διαφορές στους ορισμούς και τους μηχανισμούς υποβολής στατιστικών εκθέσεων των κρατών. Η ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων είναι ως εκ τούτου το βασικό ζήτημα στην εκτίμηση των ποσοτήτων ΑΕΚΚ [1].

Επιπλέον, κυρίαρχο ρόλο στην παραγωγή των ΑΕΚΚ παίζει το επίπεδο της κατασκευαστικής δραστηριότητας. Από το 1998 περίπου, η παραγωγή δομικών κατασκευών στην Ευρώπη είχε αυξηθεί αρκετά σταθερά. Αλλά με την οικονομική και χρηματοπιστωτική κρίση το 2007 η παραγωγή άρχισε να μειώνεται αρκετά εντυπωσιακά. Μέσα σε 3 χρόνια το επίπεδο του συνόλου των κατασκευών στο χώρο της Ευρώπης ΕΕ17 ή ΕΕ27 στον οποίο ανήκει η Ελλάδα, μειώθηκε στο επίπεδο που είχε φθάσει το 1999, δηλαδή 8 χρόνια πριν την κρίση. Η κρίση αυτή έπληξε όλες τις ΕΕ-27 χώρες, αν και σε διαφορετικό βαθμό. Όλες οι χώρες παρουσίασαν μείωση της παραγωγής άλλες απότομα και άλλες σε σταθερά επίπεδα. Το μεγαλύτερο ποσοστό ύφεσης παρουσίασαν η Ελλάδα μαζί με την Ιρλανδία. Το μειωμένο ποσοστό παραγωγής οικοδομικών αποβλήτων που παρατηρήθηκε στην Ελλάδα ήταν αναμενόμενο σε σχέση με τις υπόλοιπες χώρες καθώς οφείλεται στην μεγάλη μείωση της οικοδομικής δραστηριότητας [1].

2.1.2 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Λόγω του μεγάλου ποσοστού αποβλήτων του κατασκευαστικού τομέα συγκριτικά με το σύνολο των παραγόμενων αποβλήτων, τα απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων έχουν αναγνωριστεί ως ένα κρίσιμο ζήτημα από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Γι' αυτό δίνεται ιδιαίτερη σημασία στις πολιτικές και τα μέτρα που εφαρμόζονται για την αύξηση της ανακύκλωσης των αποβλήτων αυτών. Πιο συγκεκριμένα, η ισχύουσα νομοθεσία σχετικά με τη διαχείριση τους έχει διαμορφωθεί από τις παρακάτω αποφάσεις και οδηγίες [1]:

- Απόφαση 2008/400/ΕΚ της 16ης Ιουνίου 2008 για τις Δημόσιες Συμβάσεις για ένα καλύτερο περιβάλλον.
- ΟΔΗΓΙΑ 2008/98/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 19ης Νοεμβρίου 2008 για τα απόβλητα και την κατάργηση ορισμένων οδηγιών.
- ΟΔΗΓΙΑ 2006/12/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 5ης Απριλίου 2006 για τα απόβλητα.
- ΟΔΗΓΙΑ 2001/118/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 16ης Ιανουαρίου 2001 για τροποποίηση της απόφασης 2000/532/ΕΚ όσον αφορά για το κατάλογο αποβλήτων.
- ΟΔΗΓΙΑ 2000/76/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 4ης Δεκεμβρίου 2000 για την αποτέφρωση αποβλήτων.
- ΟΔΗΓΙΑ 2000/532/ΕΚ ΤΗΣ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ της 3ης Μαΐου 2000 κατάλογος αποβλήτων και επικίνδυνων αποβλήτων.
- ΟΔΗΓΙΑ 1999/31/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ της 26ης Απριλίου 1999 περί διάθεση των αποβλήτων σε χωματερές (στερεά-επικίνδυνα-κλπ).

Ο μακροπρόθεσμος στόχος αυτής της προσπάθειας είναι να καταστεί η Ευρώπη μια κοινωνία ανακύκλωσης, αποφεύγοντας την δημιουργία αποβλήτων και προωθώντας τη χρησιμοποίηση αναπόφευκτων αποβλήτων, ως πόρων, όπου είναι δυνατόν ή εξασφαλίζοντας την ασφαλή διάθεσή τους [1].

Κάθε τρία χρόνια, προβλέπεται τα κράτη μέλη να υποβάλλουν στην Επιτροπή έκθεση σχετικά με τις επιδόσεις τους όσον αφορά την επίτευξη των στόχων. Εάν οι στόχοι δεν έχουν εκπληρωθεί, η έκθεση αυτή περιλαμβάνει τους λόγους της αποτυχίας και τις δράσεις που το κράτος μέλος προτίθεται να αναλάβει για να εκπληρώσει τους στόχους [1].

Σύμφωνα με την οδηγία πλαίσιο 2008/98/ΕΚ ο ποσοτικός στόχος που τίθεται είναι ο εξής: «μέχρι το 2020, η προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, η ανακύκλωση και η ανάκτηση άλλων υλικών, συμπεριλαμβανομένων των εργασιών υγειονομικής ταφής, χρησιμοποιώντας απόβλητα για την υποκατάσταση άλλων υλικών, μη επικίνδυνων αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων εξαιρουμένων των υλικών που απαντούν στη φύση και τα οποία ορίζονται στην κατηγορία 17 05 04 του καταλόγου αποβλήτων, πρέπει να αυξηθεί κατά 70% τουλάχιστον ως προς το βάρος» [1].

2.1.3 Νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα

Το νομικό πλαίσιο που διέπει τη διαχείριση των αποβλήτων στην Ελλάδα καθορίζεται πλέον από [19]:

- το Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/Α/06.08.2001) «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών άλλων προϊόντων – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και άλλων Προϊόντων (ΕΟΕΔΣΑΠ) και άλλες διατάξεις», όπως τροποποιήθηκε με το Ν. 3854/10 (ΦΕΚ 94/Α/23.06.2010) «Τροποποίηση της νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων και τον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π.) και άλλες διατάξεις» και το Ν.4042/2012,
- το Ν.4042/2012 (ΦΕΚ 24/Α/13-2-2012) «Ποινική Προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» που ενσωματώνει στο εθνικό δίκαιο την οδηγία-πλαίσιο 2008/98/ΕΕ για τα απόβλητα,
- καθώς και από τις ειδικές προβλέψεις του Ν. 4014/11 (ΦΕΚ 209/Α/21-9-11) «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» όπως τροποποιήθηκε και ισχύει.

Στο εθνικό δίκαιο έχουν επίσης ενσωματωθεί βασικές οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τα απόβλητα, όπως:

- η ΚΥΑ 29407/3508/2002 (ΦΕΚ 1572 Β) «Μέτρα και όροι για την υγειονομική ταφή των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 1999/31/ΕΚ, και
- η ΚΥΑ 22912/1117/2005 (ΦΕΚ 759 Β) «Μέτρα και όροι για την πρόληψη και τον περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την αποτέφρωση των αποβλήτων», προς ενσωμάτωση της Οδηγίας 2000/76/ΕΚ,

ενώ έχει άμεση ισχύ ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ), σύμφωνα με το Παράρτημα της Απόφασης 2002/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει.

Για τη ρύθμιση επιμέρους θεμάτων έχει εκδοθεί σειρά κοινών υπουργικών αποφάσεων, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι:

- ΚΥΑ με αρ. 50910/2727/2003 «Μέτρα και Όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων. Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012
- ΚΥΑ 13588/725/2006 «Μέτρα, όροι και περιορισμοί για την διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 91/689/ΕΟΚ «για τα επικίνδυνα απόβλητα» του Συμβουλίου της 12ης Δεκεμβρίου 1991», όπως έχει τροποποιηθεί με το Ν. 4042/2012 και

- ΚΥΑ με αρ. Κ.Υ.Α. 146163//2012 «Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Αποβλήτων Υγειονομικών Μονάδων 1991», που εκδόθηκε κατ' εξουσιοδότηση του άρθρου 38, παρ. 7 του ν. 4042/2012.

2.1.4 Διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, με σκοπό να βοηθήσει τους αρμόδιους φορείς στην κατάστρωση σχεδίων διαχείρισης των στερεών αποβλήτων, έχει δημοσιεύσει έναν οδηγό μεθοδολογίας, ο οποίος προωθεί τις πιο σωστές πρακτικές εφαρμογής σχεδίων διαχείρισης στερεών αποβλήτων σε συμμόρφωση με την σχετική Ευρωπαϊκή νομοθεσία. Στον οδηγό αυτό προσβέβεται ότι ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός διαχείρισης των στερεών αποβλήτων αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για κάθε εθνική, περιφερειακή ή τοπική πολιτική διαχείρισης στερεών αποβλήτων, η οποία πρέπει να βασίζεται στις εξής αρχές, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5:



Εικόνα 5: Αρχές διαχείρισης στερεών αποβλήτων [20]

Πιο συγκεκριμένα, βασικές αρχές στις οποίες πρέπει να στηρίζεται η διαχείριση των στερεών αποβλήτων είναι οι εξής [20]:

1. Αρχή της πρόληψης ή και μείωσης των παραγόμενων αποβλήτων: Βασικό ζήτημα της πρόληψης παραγωγής απορριμμάτων αποτελεί η εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο της εξαγωγής παρθένων πρώτων υλών, της επεξεργασίας, μεταποίησης, μεταφοράς και χρήσης.
2. Αρχή επαναχρησιμοποίησης των υλικών: Ο κατασκευαστής οφείλει να εξασφαλίζει τα μέσα, όχι μόνο για να περιορίσει τη δημιουργία αποβλήτων, αλλά και για τη δημιουργία προϊόντων ώστε να διευκολύνεται η επαναχρησιμοποίηση και ανάκτησή τους.
3. Αρχή ανακύκλωσης και αξιοποίησης των υλικών: Η ανάκτηση από τα απορρίμματα αποτελεί τον πυρήνα κάθε αειφόρου πολιτικής διαχείρισής τους. Αυτό σημαίνει ότι σε περιπτώσεις όπου η δημιουργία τους δεν μπορεί να αποφεύγεται, θα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται ή να υποβάλλονται σε διαδικασίες ανάκτησης υλικών. Βασική διαδικασία για την ανάκτηση των υλικών, είναι ο διαχωρισμός τους στην πηγή. Σημαντική

επίσης προϋπόθεση αποτελεί για την οικονομική βιωσιμότητα συστημάτων ανακύκλωσης και η δημιουργία αγορών για τα προϊόντα που θα προκύψουν.

4. Αρχή ανάκτησης ενέργειας: Στις περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών λόγω τεχνικών περιορισμών, θα πρέπει να οδηγούνται τα απόβλητα με σημαντικό θερμικό περιεχόμενο σε μονάδες καύσης με στόχο την ανάκτηση ενέργειας, ώστε να διατεθεί τελικώς μόνο το κλάσμα που δεν δύναται να αξιοποιηθεί.

5. Αρχή της ασφαλούς διάθεσης: Η απόρριψη στερεών αποβλήτων σε χώρους διάθεσης έχει βαρύτερες επιπτώσεις στο περιβάλλον και θα πρέπει να επιλέγεται ως έσχατη λύση. Χρησιμοποιείται εκτενώς μιας και είναι η οικονομικότερη λύση, αλλά οι πρόσφατες νομοθετικές διατάξεις έχουν ως μεσοπρόθεσμο στόχο να καταλήγουν σε χώρους διάθεσης μόνο τα μη ανακτήσιμα και αδρανή απόβλητα.

Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, η κοινοτική νομοθεσία (Οδηγία 1999/31) απαγορεύει τη διάθεση αδρανών υλικών και εν γένει μπαζών στους ΧΥΤΑ και επιβάλλει τη διάθεση τους σε ανεξάρτητους χώρους ταφής αδρανών. Το θεσμικό πλαίσιο καθορίζεται όπως έχει αναφερθεί ήδη από το Ν. 2939/2001, όπως αυτός τροποποιήθηκε με το Ν. 3854/10 και την ΚΥΑ 36259/2010.

Στο πλαίσιο αυτό προβλέπεται η δημιουργία συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης στον ευρύτερο κλάδο των κατασκευών, οι οποίες θα αναλαμβάνουν τη συλλογή, ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση των μπαζών και λοιπών υλικών. Οι εταιρείες αυτές θα πρέπει να πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές και για τον λόγο αυτό αδειοδοτούνται από το κράτος.

Το 2011 εγκρίθηκε το πρώτο συλλογικό σύστημα εναλλακτικής διαχείρισης (ΣΣΕΔ) που εξυπηρετούσε τους νομούς Θεσσαλονίκης, Πέλλας, Πιερίας, Κιλκίς, Ημαθίας και Χαλκιδικής. Τα επόμενα χρόνια και άλλα συστήματα διαχείρισης αδειοδοτήθηκαν με αποτέλεσμα σήμερα να λειτουργούν στην Ελλάδα εννέα πιστοποιημένα συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ, τα οποία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) [21].

Πίνακας 2: Συλλογικά συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ [21]

Επωνυμία	Γεωγραφική Εμβέλεια Συστήματος (περιφερειακές ενότητες)
Ανακύκλωση Αδρανών Βορείου Ελλάδος Α.Ε. «ΑΝ.Α.Β.Ε. Α.Ε.»	Θεσσαλονίκης, Πέλλας, Πιερίας, Κιλκίς, Ημαθίας, Χαλκιδικής, Δράμας, Καβάλας, Ηρακλείου, Σερρών, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου, Νάξου, Καστοριάς, Λάρισας, Λήμνου, Λέσβου, Σάμου, Φλώρινας, Τρικάλων, Μαγνησίας, Κοζάνης
Σύστημα Ανακύκλωσης Κεντρικής Ελλάδας Ε.Π.Ε. «ΣΑΝΚΕ ΕΠΕ»	Εύβοιας, Βοιωτίας, Μαγνησίας, Αρκαδίας, Αχαΐας, Κορίνθου, Κύθνου, Φωκίδας, Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Αιτωλοακαρνανίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Ηλείας, Θήρας, Λακωνίας, Μήλου, Ρεθύμνου, Ροδόπης
Εναλλακτική Διαχείριση Προϊόντων Εκσκαφών, Κατεδαφίσεων Α.Ε. «ΣΕΔΠΕΚΑΤ Α.Ε.»	Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής
Ι. Κουφίδης – Ι. Κτενίδης & ΣΙΑ Ο.Ε. «Σύστημα Συλλογικής Εναλλακτικής Διαχείρισης Χαλκιδικής Ο.Ε.»	Χαλκιδικής
Ανακύκλωση ΑΕΚΚ Κεντρικής Μακεδονίας Α.Ε. «ΑΝΑ.ΚΕ.Μ»	Αχαΐας, Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλας, Πιερίας, Σερρών, Δράμας, Καβάλας, Ξάνθης, Χανίων, Ροδόπης, Έβρου, Λέσβου, Καστοριάς, Κεφαλληνίας, Λάρισας, Φλώρινας, Χαλκιδικής, Αιτωλοακαρνανίας, Ζακύνθου, Κοζάνης, Ιωαννίνων, Λασιθίου, Φωκίδας, Χίου, Κέρκυρας, Ηρακλείου, Ρεθύμνου, Μυκόνου, όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Γρεβενών, Εύβοιας
Ψάρρας - Εναλλακτική Διαχείριση Α.Ε.Κ.Κ. Α.Μ.Κ.Ε.	Ημαθίας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Πέλλας, Πιερίας, Σερρών, Χαλκιδικής
Ανακύκλωση Αδρανών Νότιας Ελλάδας ΑΜΚΕ «Α.Α.Ν.Ε.Λ.»	Λακωνίας, Λάρισας, Μαγνησίας, Σποράδων, Μεσσηνίας, Κέρκυρας, Κεφαλληνίας, όλες οι Π.Ε. του Νομού Κυκλάδων
Αποστολάκης Εμμ. & ΣΙΑ Ο.Ε. «ΔΙΑΣ Σύστημα Ανακύκλωσης ΑΕΚΚ»	Ηρακλείου, Λασιθίου
Σύστημα Συλλογικής Εναλλακτικής Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων Ανακύκλωση Α.Ε.Κ.Κ. Αττικής Ανώνυμη Εταιρία «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε.Κ.Κ. ΑΤΤΙΚΗΣ Α.Ε.»	Όλες οι Π.Ε. της Περιφέρειας Αττικής, Ιωαννίνων

2.1.5 Μονάδες διαχείρισης ΑΕΚΚ – Μεθοδολογία διαχωρισμού

Η διαχείριση των παραγόμενων ΑΕΚΚ περιλαμβάνει αρχικά τη συλλογή των υλικών και τη μεταφορά τους στο κέντρο ανακύκλωσης και στη συνέχεια την τροφοδότησή τους στο θραυστήρα πρόθραυσης. Αυτά τα μηχανήματα θραύσεως επεξεργάζονται μόνο σκυροδέματα που είναι απαλλαγμένα από ακατάλληλα υλικά όπως άσφαλτο, ξύλα, τούβλα, χαρτιά, πλαστικά, και ακαθαρσίες που συχνά περιέχονται στα συλλεγόμενα συντρίμια σκυροδέματος. Για αυτό το λόγο προηγείται απομάκρυνση αυτών των υλικών σύμφωνα με ειδικές διατάξεις. Μέταλλα όπως κομμάτια από ράβδους οπλισμού γίνονται δεκτά, αφού μπορεί να αφαιρεθούν με μαγνήτες ή άλλες διατάξεις διαχωρισμού και στη συνέχεια να ανακυκλωθούν με τήξη για άλλες χρήσεις [22].

Ως προς τα συγκροτήματα ανακύκλωσης διακρίνονται 2 κατηγορίες, τα αυτοφερόμενα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσα στο εργοτάξιο και τα μόνιμα που είναι εγκατεστημένα σε οργανωμένες κεντρικές μονάδες [22].

Τα αυτοφερόμενα συγκροτήματα ανακύκλωσης (Εικόνα 6) είναι κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης που τοποθετούνται μέσα στο εργοτάξιο του έργου. Τα μεγάλα αυτοφερόμενα συγκροτήματα μπορούν να επεξεργαστούν μέχρι 400 m³/h μπαζών ενώ τα μικρά συγκροτήματα μέχρι 100 m³/h. Τα συγκροτήματα αυτά αποτελούνται από ένα θραυστήρα μπαζών σκυροδέματος, πλευρικό μεταφορέα απόθεσης ακατάλληλων υλικών, θραυστήρα δευτερογενούς θραύσης, συγκρότημα κοσκινίσματος, και ταινιόδρομο επαναφοράς του υπερδιάστατου υλικού από το κόσκινο στο θραυστήρα για συμπληρωματική θραύση. Καθώς επιτρέπουν τη θραύση στο εργοτάξιο συμβάλλουν στη μείωση του κόστους κατασκευής και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται από τη μεταφορά υλικών προς και από το λατομείο. Στα πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης κατάλληλων αυτοφερόμενων συγκροτημάτων ανακύκλωσης μπαζών σκυροδέματος περιλαμβάνονται οι μειωμένοι άεργοι χρόνοι (αναμονή οχημάτων, προετοιμασία προσβάσεων κ.α.), η αύξηση της παραγωγής, το μειωμένο εργατικό κόστος και το μηδενικό κόστος απομάκρυνσης των μπαζών και της μεταφοράς των αδρανών [22].



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 Τροφοδοτική αποθήκη με
δοσιμετρικό δονητικό τροφοδότη | 5 Ιμάντες στήθασεως |
| 2 Μεταφορικός ιμάντας δονητικού
κοσκίνου | 6 Ηλεκτρικός πίνακας χειρισμών |
| 3 Δονητικό κόσκινο δύο πλεγμάτων | 7 Αντλία νερού (3 bar) |
| 4 Αποστραγγιστικό κοχλίας άμμου | 8 Πλαίσιο μεταφοράς |
| | 9 Άμμος, Μικρόκοκκοι <0,5 mm |

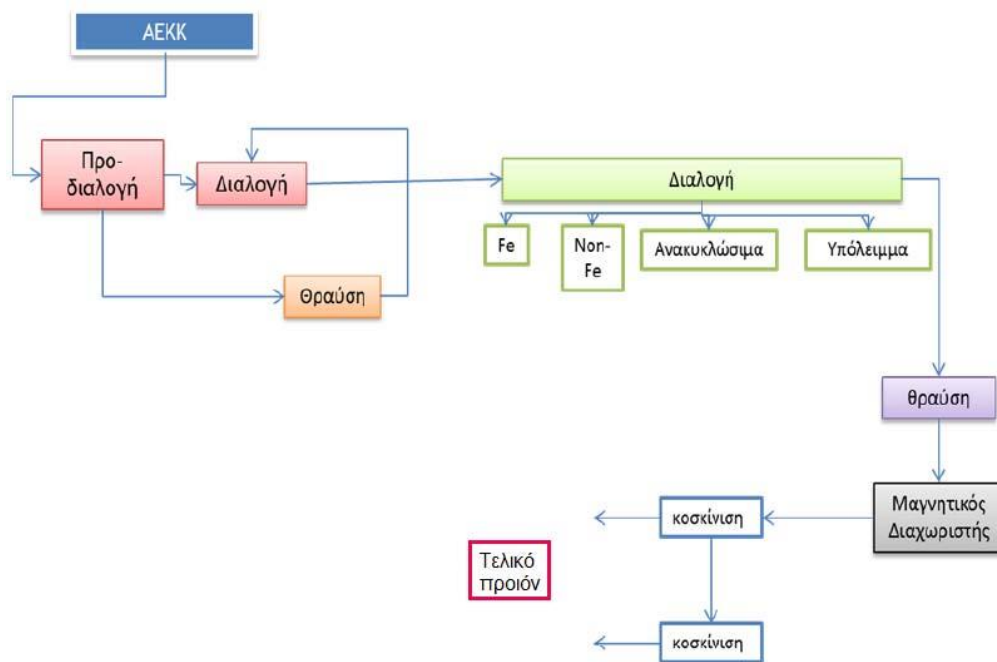
Εικόνα 6: Αυτοφερόμενο συγκρότημα διαχωρισμού αδρανών και πλύσεως άμμου τριών βαθμίδων για την παραγωγή καναλέτων λεπτού τοιχώματος. Ελληνική κατασκευή, Χ.Ι. Εφραιμίδης. ΕΛΟΚ-ΕΤΕΡ, Αρδευτικά έργα Αλφειού [22]

Τα μόνιμα συγκροτήματα των κέντρων ανακύκλωσης είναι ολοκληρωμένα εργοστάσια παραγωγής με εξελιγμένα μηχανήματα καθαρισμού, θραύσεως, μηχανικής διαλογής ή με μαγνήτες, διαχωρισμού, κοσκινίσματος, πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού και ελέγχου της παραγωγής. Το τελευταίο στάδιο, δηλαδή το πλύσιμο της άμμου, εξασφαλίζει την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων ανακυκλωμένων υλικών καθώς μειώνει το ποσοστό του ανεπιθύμητου λεπτόκοκκου υλικού σε επιθυμητά επίπεδα. Η διαλογή και απομάκρυνση των ακατάλληλων υλικών γίνεται με τη χρήση οπτικού συστήματος που κατορθώνει να εντοπίζει επιτυχώς τα ακατάλληλα υλικά και να τα διαχωρίζει [22]. Στην Εικόνα 7 φαίνεται ένα μόνιμο συγκρότημα διαχείρισης ΑΕΚΚ.



Εικόνα 7: Μόνιμο συγκρότημα διαχείρισης ΑΕΚΚ

Οι μονάδες ανακύκλωσης ΑΕΚΚ περιλαμβάνουν τις διεργασίες διαλογής, θραύσης, κοσκίνισης και μαγνητικών διαχωρισμών με στόχο τη παραγωγή υλικών σε διάφορα τελικά μεγέθη ανάλογα με την αγορά διάθεσής τους. Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής των φάσεων που μπορεί να ακολουθούν οι μονάδες διαχείρισης [23].



Εικόνα 8: Διάγραμμα Ροής Διαχείρισης Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων [23]

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω διάγραμμα οι Μονάδες επεξεργασίας ΑΕΚΚ δύνανται να περιλαμβάνουν ορισμένα ή το σύνολο των ακόλουθων σταδίων λειτουργίας [23]:

- Αρχικός οπτικός έλεγχος εισερχομένου φορτίου στη μονάδα επεξεργασίας.
- Ζύγιση με γεφυροπλάστιγγα κατά τη μεταφορά προς και από την μονάδα και διαρκής καταγραφή του τύπου και της ποσότητας των υλικών που εισέρχονται και ανακυκλώνονται στην εγκατάσταση.
- Προσωρινή αποθήκευση σε κώνους προσωρινής αποθήκευσης ομοειδών χαρακτηριστικών.
- Διαλογή υλικών, μια διαδικασία που διαχωρίζει τα ανακυκλώσιμα υλικά (π.χ. χαρτί, γυαλί, πλαστικό, ξύλο), τα οποία αποθηκεύονται σε σκαφοκοντέινερ έως ότου οδηγηθούν σε αντίστοιχες μονάδες ανακύκλωσης.
- Θραύση, όπου πραγματοποιείται διαχωρισμός ή θρυμματισμός των υλικών σε μικρότερης κοκκομετρίας υλικά.
- Μαγνητικός Διαχωρισμός των χαλύβδινων και μεταλλικών μερών (π.χ. σπλισμός σκυροδέματος).
- Κοσκίνιση και διαχωρισμός σε διάφορες κοκκομετρικές διαβαθμίσεις.
- Αποθήκευση των τελικών προϊόντων σε κώνους απόθεσης.

Στη Ελλάδα, τα τελευταία χρόνια, είναι συνηθέστερη η χρήση των μόνιμων συγκροτημάτων διαχείρισης ΑΕΚΚ. Πριν τη θέσπιση της σχετικής νομοθεσίας τα υλικά αυτά απορρίπτονταν σε χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων (ΧΑΔΑ) ή χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) [24].

2.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ

2.2.1 Γενικά

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η παραγωγή των ΑΕΚΚ αυξάνεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων αυτών προβλέπει την επαναχρησιμοποίηση ή την αξιοποίησή τους έπειτα από ανακύκλωση. Αυτό προϋποθέτει, ειδικά για την περίπτωση όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σκυροδέματος ως ανακυκλωμένα αδρανή, ερευνητική διερεύνηση των ιδιοτήτων τους με σκοπό να κατανοηθούν πλήρως τα χαρακτηριστικά τους και να πιστοποιηθεί ότι η χρήση τους είναι ασφαλής. Προς αυτή την κατεύθυνση προσανατολίζονται πολλές μελέτες στη Ελλάδα και στο εξωτερικό.

Ειδικά για την περίπτωση όπου ΑΕΚΚ χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος ως ανακυκλωμένα αδρανή, η ανάγκη διερεύνησης των ιδιοτήτων τους κρίνεται ζωτικής σημασίας. Παρ' όλα αυτά είναι δύσκολο να προσδιοριστούν οι ιδιότητες των ανακυκλωμένων αδρανών και κυρίως να διεξαχθεί ένα μοντέλο το οποίο θα τις καθορίζει και θα τις προβλέπει, λόγω της μεγάλης ετερογένειας που παρουσιάζουν τα ΑΕΚΚ και της αδυναμίας να γνωρίζουμε την προέλευσή τους. Επίσης, σημαντικό ρόλο στις ιδιότητές τους διαδραματίζει και η μεγάλη ποσότητα ακαθαρσιών που περιέχουν.

Τα απόβλητα που προκύπτουν από την κατεδάφιση κτιρίων από σκυροδέμα περιέχουν θραύσματα στα οποία ο κόκκος του αδρανούς εντοπίζεται με επικολημένες πάνω του μικρές ποσότητες από διάφορες ουσίες. Πιο συχνά, οι ουσίες αυτές είναι ενυδατωμένη τσιμεντόπαστα ή/και γύψος. Στα θραύσματα αυτά απαντώνται ποσότητες λεπτόκοκκου και χονδρόκοκκου αδρανούς. Στην περίπτωση του λεπτόκοκκου όμως υπάρχει μεγάλη ποσότητα ενυδατωμένου τσιμέντου και γύψου και συνακόλουθα κρίνεται ακατάλληλο προς χρήση για την παρασκευή νωπού σκυροδέματος. Από την άλλη πλευρά, το χονδρόκοκκο αδρανές, έστω και επικαλυμμένο με τσιμεντόπαστα μπορεί και έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πολλές εργαστηριακές και εργοταξιακές μελέτες. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα πολλών τέτοιων μελετών έχει διαπιστωθεί ότι συνθέσεις σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή μπορούν να δώσουν τουλάχιστον τα 2/3 της θλιπτικής αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας που δίνουν συνθέσεις σκυροδέματος με φυσικά αδρανή, ενώ παρουσιάζουν ικανοποιητική ανθεκτικότητα και εργασιμότητα [25].

Σημαντικό μειονέκτημα στη χρήση των υλικών κατεδαφίσεων ως αδρανή σκυροδέματος αποτελεί το κόστος διαχείρισης που απαιτείται για την επεξεργασία τους (θραύση, κοκκομετρική διαβάθμιση, έλεγχος παυπάλης και διαχωρισμός των ανεπιθύμητων συστατικών). Τα βασικά πλεονεκτήματα από την άλλη πλευρά είναι ότι αποτελούν οικονομική λύση για περιοχές που τα καλής ποιότητας φυσικά αδρανή είναι δυσεύρετα και όταν το κόστος απόρριψης των υλικών κατεδαφίσεων είναι υψηλό [25].

2.2.2 Ιδιότητες και χαρακτηριστικά των ανακυκλωμένων αδρανών

Με βάση τα αποτελέσματα πολλών ερευνών έχει πιστοποιηθεί ότι τα ανακυκλωμένα αδρανή έχουν τα ακόλουθα τεχνικά χαρακτηριστικά:

- Προσκολλημένη τσιμεντόπαστα

Τα αδρανή που προκύπτουν από θραύση στοιχείων σκυροδέματος περιβάλλονται από μία ποσότητα τσιμεντόπαστας επικολλημένη στην επιφάνειά τους, γεγονός που τα καθιστά υποδεέστερης ποιότητας [26]. Αυτό συμβαίνει διότι η τσιμεντόπαστα είναι εξαιρετικά πορώδης με αποτέλεσμα να μειώνεται η πυκνότητα και να αυξάνεται το πορώδες του αδρανούς, οδηγώντας σε μεγαλύτερη απορρόφηση νερού κατά τη χρήση του για την παρασκευή σκυροδέματος και την γενικότερη αβεβαιότητα ως προς την τελική ποιότητα [27,28]. Η ποσότητα της επικολλημένης τσιμεντόπαστας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από ιδιότητες του αρχικού σκυροδέματος όπως ο λόγος νερού/τσιμέντου, η αρχική αντοχή του και το μέγεθος των αδρανών αλλά και από τον τρόπο θραύσης. Σύμφωνα με τον Hasaba η ποσότητα είναι ανάλογη της αρχικής αντοχής του σκυροδέματος. Η ηλικία και η αντοχή του σκυροδέματος κατά τη στιγμή σύνθλιψης δεν αποτελεί επιπλέον παράγοντα [29]. Επίσης, η ποσότητα τσιμεντόπαστας ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος του κόκκου αδρανούς. Έρευνες του BCSJ έδειξαν ότι το 20% της υπάρχουσας τσιμεντόπαστας είναι προσκολλημένο στα αδρανή με μέγεθος κόκκων μεταξύ 20 και 30 mm, ενώ το φίλλερ (υλικό έως 0,3mm) αποτελείται σε ποσοστό 45 - 65% από τσιμεντόπαστα. Ο Katz (2003) αναφέρει ότι τα χονδρόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή περιέχουν περίπου 6,5% προσκολλημένη τσιμεντόπαστα ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα λεπτόκοκκα είναι περίπου 25%.

- Σχήμα και υφή

Τόσο τα χονδρόκοκκα όσο και τα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή τείνουν να είναι γωνιώδη και τραχιά καθώς για την παραγωγή τους ακολουθείται μία διαδικασία θραύσης που συνεπάγεται τη θραύση των φυσικών αδρανών και την αναπόφευκτη παρουσία τσιμεντόπαστας στην επιφάνεια τους [30].

- Υδατοαπορροφητικότητα

Η ποσότητα του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από το αδρανές είναι η λεγόμενη υδατοαπορροφητικότητα [30]. Έχει βρεθεί ότι στην περίπτωση των ανακυκλωμένων αδρανών η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 3 και 12% για τα χονδρόκοκκα και τα λεπτόκοκκα κλάσματα ενώ η ακριβής τιμή εξαρτάται από τον τύπο του σκυροδέματος από το οποίο προήλθαν τα αδρανή. Συγκρινόμενη με την τιμή της απορροφητικότητας των φυσικών αδρανών, που είναι 0,5 - 1%, είναι σαφές πως η τιμή είναι σημαντικά μεγαλύτερη για τα ανακυκλωμένα [31]. Αυτό οφείλεται στα κατάλοιπα τσιμεντοκονιάματος που ενυπάρχουν στον κόκκο του ανακυκλωμένου αδρανούς [30,31].

- Ειδικό βάρος

Λόγω της παρουσίας της τσιμεντόπαστας στο εξωτερικό περίβλημα, τα ανακυκλωμένα αδρανή παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές ειδικού βάρους σε σχέση με τα φυσικά αδρανή. Αυτό συμβαίνει διότι είναι λιγότερο πυκνά λόγω του αυξημένου πορώδους και του εγκλωβισμένου, σε αυτούς τους πόρους, αέρα. Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι τα μικρότερου μεγέθους ανακυκλωμένα αδρανή τείνουν να έχουν χαμηλότερα ειδικά βάρη σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγαλύτερου μεγέθους [30].

- Αντοχή στην τριβή

Όσον αφορά την αντοχή σε τριβή των ανακυκλωμένων αδρανών η διαθέσιμη βιβλιογραφία είναι πολύ περιορισμένη [31]. Με βάση υπάρχουσες μελέτες φαίνεται πως η απώλεια μάζας για τα ανακυκλωμένα αδρανή είναι συνήθως υψηλότερη από τα φυσικά αδρανή [30,32], ωστόσο είναι εντός των επιτρεπόμενων ορίων κατά ASTM [30]. Σύμφωνα με τους Hansen et al. (1983) βρέθηκε ότι η απώλεια μάζας κατά τη δοκιμή Los-Angeles είναι 22,4% για τα αδρανή μεγέθους κόκκων 16-32 mm και 41,4% για τα αδρανή μεγέθους κόκκων μεταξύ 4 - 8 mm [32].

- Ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση

Για να ελεγχθεί η ανθεκτικότητα σε αποσάθρωση των αδρανών μπορούν να διεξαχθούν δύο είδη δοκιμών, το πρώτο με τη χρήση θεικού νατρίου και το δεύτερο με τη χρήση θεικού μαγνησίου. Στην περίπτωση των ανακυκλωμένων αδρανών τα αποτελέσματα παρουσιάζουν την απαιτούμενη ανθεκτικότητα όταν η δοκιμή πραγματοποιείται με θεικό μαγνήσιο, ενώ συνήθως αποτυγχάνουν στην περίπτωση που χρησιμοποιείται θεικό νάτριο. Για το λόγο αυτό εγείρονται απορίες σχετικά με το αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι δοκιμές αυτές στα ανακυκλωμένα αδρανή [30].

- Περιεκτικότητα χλωριόντων

Η περιεκτικότητα σε χλωριόντα για τα ανακυκλωμένα αδρανή, ειδικά αν προέρχονται από πεζοδρόμια με μακρόχρονη έκθεση σε αλάτι αποπάγωσης, μπορεί να είναι συχνά αυξημένη σε σχέση με αυτή των φυσικών αδρανών. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει ανησυχία ότι η χρήση τους για την παρασκευή νέου σκυροδέματος θα προκαλέσει προβλήματα όπως η υποβάθμιση της αντοχής και διάβρωση του χάλυβα στον οπλισμό [30].

2.2.3 Σύγκριση ιδιοτήτων μεταξύ ανακυκλωμένων και φυσικών αδρανών

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω είναι δυνατή η σύγκριση των ανακυκλωμένων και των φυσικών αδρανών ως προς τις ιδιότητες τους. Τα ανακυκλωμένα αδρανή είναι κατά βάση γωνιώδη, με τραχιές επιφάνειες, έχουν υψηλότερη ικανότητα απορρόφησης νερού, χαμηλότερο ειδικό βάρος, υψηλότερη απώλεια μάζας σε τριβή κατά Los Angeles, συχνά παρουσιάζουν χαμηλή ανθεκτικότητα σε δοκιμή θειικού νατρίου και επαρκή σε αντίστοιχη δοκιμή θειικού μαγνησίου, ενώ μπορεί να έχουν υψηλότερα επίπεδα χλωριόντων. Όλα αυτά συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 3).

Πίνακας 3: Ιδιότητες φυσικών και ανακυκλωμένων αδρανών [30]

Ιδιότητα	Φυσικά Αδρανή	Ανακυκλωμένα Αδρανή
Σχήμα και υφή	Στρογγυλεμένα, λεία (συλλεκτά) ή γωνιώδη και τραχιά (θραυστά)	Γωνιώδη με την τραχιά επιφάνεια.
Ικανότητα απορρόφησης	0,8 – 3,7 %	3,7 – 8,7 %
Ειδικό βάρος	2,4 – 2,9	2,1 – 2,4
Δοκιμή απώλειας μάζας σε απότριψη Los Angeles	15 – 30 %	20 – 45 %
Δοκιμή απώλειας μάζας σε φθορά από θειικό άλας νατρίου	7 – 21 %	18 – 59 %
Δοκιμή απώλειας μάζας σε φθορά από άλας μαγνησίου	4 – 7 %	1 – 9 %
Περιεχόμενο χλωριόντων	0 – 1,2 kg/m ³	0,6 – 7,1 kg/m ³

2.3. ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

2.3.1 Γενικά

Ως κονίαμα ορίζεται το μίγμα που προκύπτει από την ανάμιξη κονιών (συγκολλητικού υλικού), αδρανών (άμμου) και νερού σε συγκεκριμένες αναλογίες.

Οι κονίες, που είναι συνήθως σε μορφή σκόνης, αντιδρούν όταν βρεθούν σε επαφή με τον αέρα ή το νερό και προσδίδουν στο μίγμα τις συγκολλητικές του ιδιότητες. Οι κονίες που αντιδρούν με τον αέρα ονομάζονται αερικές ενώ αυτές που πήζουν και σκληραίνουν με την παρουσία νερού ονομάζονται υδραυλικές. Υδραυλική κονία είναι και το τσιμέντο που χρησιμοποιείται στην παρούσα έρευνα.

Τα αδρανή δεν αντιδρούν με το νερό, όμως αποτελούν την ισχυρότερη φάση και κατέχουν σημαντικό ποσοστό του όγκου του κονιάματος. Η ορυκτολογική τους σύσταση επηρεάζει άμεσα το μέτρο ελαστικότητας και την αντοχή του σκληρυμένου κονιάματος ενώ το σχήμα, το μέγεθος και το πορώδες των αδρανών επηρεάζουν τις ιδιότητες του νωπού μίγματος. Επίσης, δημιουργούν διεπιφάνειες αλλάζοντας το πορώδες του κονιάματος με αποτέλεσμα την αλλαγή στην αντοχή και τις ιδιότητες του.

Τέλος, ο λόγος νερού/κονίας επηρεάζει το χρόνο πήξης, την εργασιμότητα, το πορώδες και την τελική αντοχή [33]. Ποσότητα νερού πάνω από την προβλεπόμενη θα αφήσει στο κονίαμα πόρους και τριχοειδείς κοιλότητες μετά την εξάτμισή της. Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός και το μέγεθος των πόρων αυτών, τόσο μικρότερη η αντοχή του στερεού, γιατί ο αέρας δεν έχει καμία αντοχή σε θλίψη. Μικρότερη ποσότητα δεν θα οδηγήσει σε αντίδραση νερού και κονίας και συνεπώς στη δημιουργία κονιάματος με επαρκή αντοχή.

Τα κονιάματα ανάλογα με την χρήση τους διαχωρίζονται σε [34]:

- Κονιάματα τοιχοποιίας (συγκόλλησης)
- Κονιάματα επιχρισμάτων
- Κονιάματα δαπέδων (πλήρωσης ή εξομάλυνσης)
- Επισκευαστικά αρμοκονιάματα
- Στεγανωτικά κονιάματα
- Θερμομονωτικά κονιάματα
- Πυρίμαχα κονιάματα

Τα κονιάματα που προορίζονται για τα διάφορα δομικά έργα, έχουν ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών χρήσεων, ανάλογα με τις επιδιωκόμενες ιδιότητες που εξαρτώνται από την σύνθεση και την ποσοστιαία αναλογία των πρώτων υλών αλλά και τον τρόπο παρασκευής τους. Αυτό είναι που διαφοροποιεί τα κονιάματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες δομικών προϊόντων. Στα κονιάματα και σε μικρότερο βαθμό στα σκυροδέματα, ο μηχανικός δεν καλείται να επιλέξει από μία κατηγορία παρεμφερών έτοιμων δομικών προϊόντων αυτό που καλύπτει τις ιδιότητες του έργου του, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις, συνεκτιμώντας πολλές παραμέτρους, σχεδιάζει ή επιλέγει το καταλληλότερο για την περίπτωση του. Είναι προφανές ότι ένα υλικό όπως είναι το κονίαμα, που προορίζεται για

να συνδέσει μεταξύ τους τα διάφορα στοιχεία για δημιουργία μιας ενιαίας μονολιθικής μάζας που να αντέχει σε υψηλά φορτία, είναι απαραίτητο να αναπτύσσει ικανοποιητικές αντοχές με μεγάλο συντελεστή ασφαλείας.

2.3.2 Ιδιότητες κονιαμάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω μία ιδιότητα που πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη για την ορθή παρασκευή και χρήση των κονιαμάτων είναι η μηχανική αντοχή. Πέρα από αυτή όμως, θα πρέπει να συνυπολογίζονται και άλλες σημαντικές ιδιότητες, οι οποίες καθορίζουν την ποιότητα του κονιάματος και τα πεδία εφαρμογής του. Οι επιπλέον αυτές ιδιότητες είναι η εργασιμότητα για τα νωπά κονιάματα και η πρόσφυση και η ανθεκτικότητα για τα σκληρυμένα. Πιο αναλυτικά [35]:

1. Μηχανική αντοχή

Ειδικά σε ό,τι αφορά στην μηχανική αντοχή των κονιαμάτων δόμησης θα πρέπει να αναφερθεί ότι, σε αντίθεση με τα σκυροδέματα, η μηχανική αντοχή δεν είναι γενικά απαραίτητο να είναι μεγάλη και κατά κανόνα πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή των δομικών στοιχείων με τα οποία χρησιμοποιείται. Επιπλέον, αναφέρονται στην βιβλιογραφία πολλές περιπτώσεις όπου πολλές φορές στην προσπάθεια της επίτευξης των μεγαλύτερων δυνατών αντοχών δημιουργούνται τελικώς κατώτερης ποιότητας κονιάματα. Παρόλα αυτά, η αντοχή κάθε κονιάματος χρειάζεται να είναι ικανοποιητικά επαρκής για την εφαρμογή χρήσης για την οποία προορίζεται.

2. Εργασιμότητα

Η εργασιμότητα είναι μία σύνθετη ιδιότητα και συντίθεται από την πλαστικότητα που είναι η ικανότητα να μορφοποιείται το κονίαμα χωρίς να χάνει την συνοχή του, την ρευστότητα και το αναπόμικτο που είναι η ικανότητα να διατηρεί την ομοιογένεια και να μην διαχωρίζεται σε στρώσεις διαφόρων συνθέσεων κατά την παραμονή του ή την μεταφορά του. Οι ιδιότητες που συνθέτουν την εργασιμότητα και αναφέρθηκαν προηγουμένως, επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες με αλληλοσυγκρουόμενες επιδράσεις σε σημείο που η βελτίωση της μιας ιδιότητας να συνεπάγεται επιδείνωση μιας άλλης. Αύξηση π.χ. του ποσοστού του νερού αυξάνει την ρευστότητα αλλά μειώνει το αναπόμικτο. Η ρευστότητα επηρεάζεται επίσης από το μέγεθος και το είδος των κόκκων του αδρανούς. Μεγαλύτερη αναλογία μεγάλων κόκκων, όπως και κόκκων με λεία και καμπύλη επιφάνεια αυξάνουν την ρευστότητα. Κατά κανόνα, η πλαστικότητα του κονιάματος αυξάνεται σε συνάρτηση με το ποσοστό της. Η χρησιμοποίηση τέλος χημικών προσμίκτων, των οποίων η προσθήκη προβλέπεται από τους νέους κανονισμούς (ΕΛΟΤ EN 998-1 και ΕΛΟΤ 998-2), τροποποιεί, προς την κατεύθυνση που επιδιώκεται, την εργασιμότητα.

3. Ανθεκτικότητα

Ανθεκτικότητα είναι η ικανότητα μιας κατασκευής να διατηρεί την αρχική της εμφάνιση, την αντοχή της και την ακεραιότητα της για πολλά χρόνια. Στην τοιχοποιία οι δύο πιο σημαντικές προϋποθέσεις για την εξασφάλιση της ανθεκτικότητας είναι μία αμετάβλητη σε διαστάσεις δομική μονάδα και ένα κονίαμα που να εξασφαλίζει μία μόνιμη και τέλεια πρόσφυση, καθιστώντας παράλληλα την όλη κατασκευή υδατοστεγή. Μία συνολική θεώρηση του θέματος της ανθεκτικότητας περιλαμβάνει μεταξύ άλλων αντιμετώπιση των θεμάτων της εξανθήσεως, της αυτογενούς αποκαταστάσεως μικρορωγμών, του περιεχομένου αέρα, του παγετού και της στεγανότητας.

4. Πρόσφυση

Μεταξύ των διαφόρων παραγόντων που συντελούν στην δημιουργία μιας υγιούς τοιχοποιίας, η πρόσφυση μεταξύ του κονιάματος και των λοιπών στοιχείων της τοιχοποιίας, αναγνωρίζεται από όλους ως ο σημαντικότερος παράγοντας. Είναι προφανές ότι τοιχοποιίες που χαρακτηρίζονται από ισχυρή και ανθεκτική πρόσφυση, είναι ικανοποιητικά αδιαπέραστες από την υγρασία και επαρκώς ισχυρές για να ανθίστανται στις εξωτερικές καταπονήσεις από την πίεση του ανέμου και τις σεισμικές δονήσεις, παράμετρο που ενδιαφέρει ιδιαίτερα την Ελλάδα λόγω της αυξημένης σεισμικότητας που παρουσιάζει. Η πρόσφυση μπορεί να θεωρηθεί ως το αποτέλεσμα μιας συνδυασμένης δράσης μηχανικής προσφύσεως και χημικής αντιδράσεως. Η μηχανική πρόσφυση επισυμβαίνει όταν ενυδατώνεται το συνδετικό υλικό προκειμένου να σχηματίσει πυριτικούς κρυστάλλους που εισχωρούν μέσα στις ρωγμές ή στα τριχοειδή κενά των τούβλων. Η χημική πρόσφυση λαμβάνει χώρα στην διεπιφάνεια κονιάματος και μονάδας τοιχοποιίας. Για παράδειγμα, η άσβεστος σε ένα κονίαμα δημιουργεί περιβάλλον με pH περίπου 12.4, στο οποίο οι πυριτικές και οι ενώσεις του αργιλίου διαλύονται και αντιδρούν με τα ιόντα ασβεστίου του κονιάματος για να δώσουν κατάλληλα προϊόντα που κατά κάποιο τρόπο εμπλέκουν σε ένα ιδιαίτερα σταθερό δεσμό το κονίαμα και τα τούβλα μεταξύ τους.

Οι παραπάνω ιδιότητες είναι σύνθετες και συντίθενται από άλλες επί μέρους που με την σειρά τους εξαρτώνται από παραμέτρους που σχετίζονται με τις πρώτες ύλες και τον τρόπο παρασκευής των κονιαμάτων. Πιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες των κονιαμάτων επηρεάζονται από (Παπαγιάννη , Οικονόμου, & Στεφανίδου):

- Τα αδρανή (είδος, ποσοστό, σχήμα).
- Την/ τις κονίες (δραστητικότητα, αναλογία).
- Την επιφάνεια επαφής τους.
- Το νερό ανάμιξης.
- Τις συνθήκες συντήρησης των δοκιμίων.

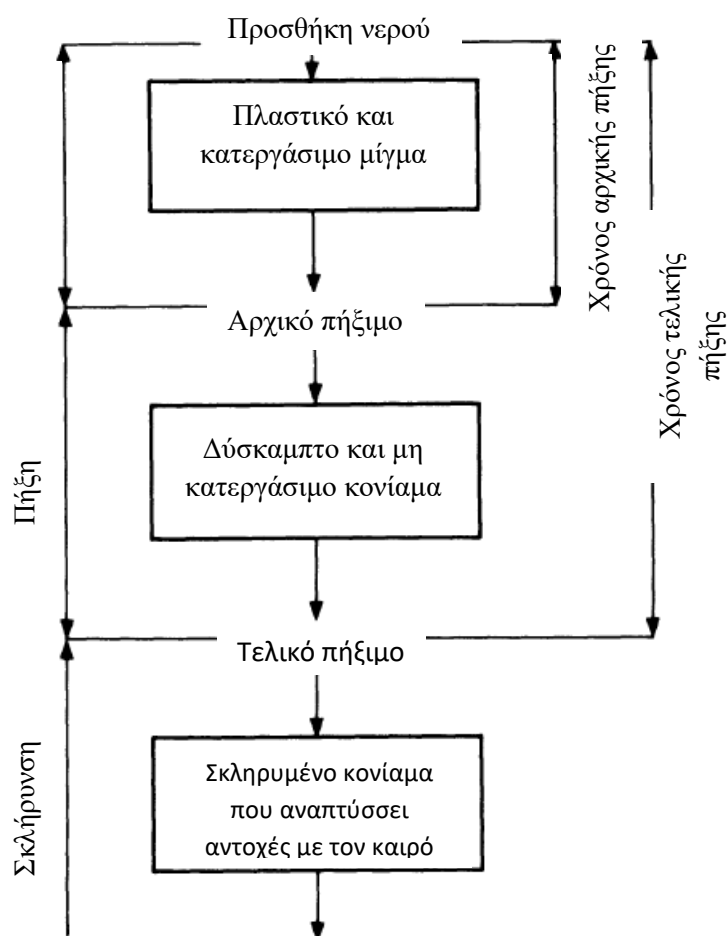
2.3.3 Παραγωγή κονιαμάτων

Στην παράγραφο 2.3.1 αναφέρθηκαν οι πρώτες ύλες που χρειάζονται για την παραγωγή κονιάματος: τσιμέντο, άμμος και νερό. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και χημικά πρόσμικτα ή/και πρόσθετα ώστε να προσδοθούν στα κονιάματα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά (π.χ. επιβραδυμένη πήξη), ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής χρήσης. Οι πρώτες ύλες πρέπει να αναμιχθούν σε συγκεκριμένες αναλογίες, ώστε να αντιδράσει πλήρως το τσιμέντο με το νερό χωρίς να επηρεαστεί αρνητικά η αντοχή, η εργασιμότητα και το αναπόμικτο του κονιάματος. Στην Ελλάδα σήμερα, εφαρμόζεται ευρέως για την σύνθεση κονιαμάτων η μεθοδολογία που περιγράφεται από το πρότυπο EN 196-1, σύμφωνα με την οποία προβλέπεται η ανάμιξη τσιμέντου, άμμου και νερού σε αναλογία 1:3:0,5. Σε κάθε περίπτωση, στην παρασκευή κονιάματος πρέπει να τηρούνται οι εξής βασικοί κανόνες [33]:

- Η κοκκομετρική διαβάθμιση της άμμου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να υπάρχει ο μικρότερος όγκος κενών.
- Χρήση της απαραίτητης ποσότητας κονιών για την πλήρωση των κενών.
- Ελεγχόμενη ποσότητα νερού.

2.3.4 Διεργασίες πήξης και σκλήρυνσης

Αμέσως μετά την ανάμιξη των υλικών (τσιμέντο, νερό, άμμος), δημιουργείται αρχικά ένα μίγμα το οποίο είναι πλαστικό και κατεργάσιμο. Τα χαρακτηριστικά αυτά διατηρούνται για μία λανθάνουσα περίοδο. Στο τέλος αυτής της περιόδου, το μίγμα παρ' όλο που είναι ακόμα μαλακό δεν είναι πια κατεργάσιμο. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται “αρχικό πήξιμο” και ο χρόνος που χρειάζεται για να φτάσει σε αυτήν την φάση ονομάζεται “χρόνος αρχικής πήξης”. Ακολουθεί μια περίοδος κατά την οποία η διαδικασία της πήξης εξελίσσεται. Η διάρκεια της πήξης εξαρτάται από τις ιδιότητες των υλικών και τις συνθήκες στις οποίες λαμβάνει χώρα (υγρασία, θερμοκρασία). Στο τελευταίο στάδιο, το μίγμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα δύσκαμπτο στερεό. Αυτή η φάση ονομάζεται τελικό πήξιμο και ο χρόνος στον οποίο συμβαίνει “χρόνος τελικής πήξης” [36]. Το στερεό σε αυτή τη φάση είναι γνωστό και ως σκληρυμένο κονίαμα. Με τον καιρό το κονίαμα συνεχίζει να σκληραίνει και να αναπτύσσει αντοχές, μία διαδικασία που ονομάζεται σκλήρυνση. Σχηματικά, οι διεργασίες αυτές περιγράφονται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Σχηματική περιγραφή της πήξης και σκλήρυνσης του κονιάματος [36– τροποποίηση ίδια]

Το πήξιμο και η σκλήρυνση είναι αποτέλεσμα της ενυδάτωσης των συστατικών του τσιμέντου. Η ενυδάτωση του τσιμέντου είναι μια διαδικασία, που συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας και περιλαμβάνει ένα σύνολο χημικών και φυσικοχημικών μεταβολών.

Οι χρόνοι αρχικής και τελικής πήξης έχουν μεγάλη πρακτική σημασία. Η αρχική πήξη καθορίζει το χρονικό διάστημα κατά το οποίο το μίγμα είναι πλαστικό και κατεργάσιμο. Αυτή η φάση είναι πολύ σημαντική γιατί ορίζει το χρονικό πλαίσιο από την ανάμιξη έως τη φάση που το κονίαμα δεν μπορεί να εφαρμοστεί πλέον [36]. Από την άλλη μεριά, ο χρόνος μέχρι την τελική πήξη είναι επιθυμητό να μην διαρκεί πολύ λίγο διότι θα σκληρύνει πριν το τέλος της εφαρμογής, ή πολύ αργά καθώς θα χαθεί πολύτιμος χρόνος που θα μπορούσε να αξιοποιηθεί για τη συνέχιση των εργασιών.

2.3.5 Χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σε εφαρμογές κονιαμάτων

Η χρήση ανακυκλωμένων αδρανών για την αντικατάσταση φυσικής άμμου σε εφαρμογές κονιαμάτων δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη, ούτε και έχει γίνει εκτενής έρευνα μέχρι στιγμής, όπως προκύπτει από τη διεθνή βιβλιογραφία. Ωστόσο παρουσιάζει ενδιαφέρον, κυρίως λόγω οικονομικών προβλημάτων που προκαλούνται από ελλείψεις κατάλληλης φυσικής άμμου σε διάφορα μέρη παγκοσμίως. Τα κονιάματα αυτά, εξαιτίας της παρουσίας τσιμεντόπαστας και άλλων υλικών, την μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε παιπάλη αλλά και του σχήματος των ανακυκλωμένων αδρανών που είναι πιο γωνιώδη λόγω του ότι έχουν προέλθει από θραύση, αναμένεται πως θα είναι υποδεέστερης ποιότητας και θα παρουσιάζουν χαμηλότερες αντοχές συγκριτικά με τα κονιάματα που περιέχουν φυσική άμμο. Επομένως, κονιάματα με ανακυκλωμένα αδρανή προτείνεται να χρησιμοποιηθούν ύστερα από κατάλληλους ελέγχους για εφαρμογές όπως:

- Κονιάματα επιχρισμάτων (σοβάδες)

Τα επιχρίσματα (σοβάδες) είναι δομικά στοιχεία (κονιάματα) βασισμένα κυρίως στο τσιμέντο μαζί με ασβέστη, ρευστοποιητές και λεπτόκοκκα αδρανή αποτελούμενα κυρίως από στρώσεις, που χρησιμοποιούνται για την επικάλυψη τοίχων και οροφών. Η χρήση τους είναι είτε ως επιπεδωτικής στρώσης για αισθητικούς λόγους, είτε ως προστατευτικού στρώματος έναντι της υγρασίας, του ψύχους, του θορύβου και της φωτιάς.



Εικόνα 10: Κονίαμα επιχρίσματος (σοβάς)

- Τσιμεντοκονιάματα εξισωτικής στρώσης

Κατά την κατασκευή δαπέδων, συνήθως εσωτερικών χώρων, απαιτείται συχνά μία ενδιάμεση εξισωτική στρώση τσιμεντοκονιάματος με ή χωρίς την προσθήκη ειδικών προσμίκτων. Στόχος είναι η εξασφάλιση μίας σταθερής, επίπεδης, λείας και ομαλής επιφάνειας, επάνω στην οποία θα εφαρμοστεί η τελική επίστρωση. Επιπλέον, ενισχύει τη θερμομόνωση και ηχομόνωση.



Εικόνα 11: Τσιμεντοκονιάματα εξισωτικής στρώσης

Προτεινόμενο ποσοστό αντικατάστασης φυσικής άμμου με ανακυκλωμένα αδρανή

Τα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή που έχουν διάμετρο κόκκου μικρότερη από 5mm αποτελούνται κατά πολύ μεγάλο ποσοστό από τσιμεντόπαστα και κομμάτια κονιαμάτων. Αυτό δημιουργεί μεγάλες απαιτήσεις σε νερό κατά τη σύνθεση των κονιαμάτων, καθώς τα υλικά αυτά είναι πορώδη. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το μεγάλο ποσοστό τσιμεντόπαστας στο μίγμα του κονιάματος αλλά και την ύπαρξη άλλων λεπτόκοκκων υλικών όπως κεραμικών και γυαλιού, οδηγεί γενικά σε χειρότερες μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα κονιάματα που περιέχουν φυσική άμμο. Έρευνες έχουν δείξει ότι η αντοχή των κονιαμάτων μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό ανακυκλωμένων αδρανών στο μίγμα [37,38]. Για το λόγο αυτό δεν προτείνεται η εξ ολοκλήρου αντικατάσταση της φυσικής άμμου, αλλά ενός ποσοστού που να επιφέρει αποδεκτές αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες του κονιάματος. Το βέλτιστο ποσοστό εξαρτάται φυσικά και από τον τύπο του ανακυκλωμένου αδρανούς που χρησιμοποιείται, για αυτό για πλήρη προσδιορισμό απαιτείται η διενέργεια περαιτέρω έρευνας. Γενικά, με βάση την βιβλιογραφία προτείνεται ένα ποσοστό αντικατάστασης 10% με 20% [38]. Στην παρούσα έρευνα, το 20% της συνολικής άμμου αντικαταστάθηκε από ανακυκλωμένα αδρανή σε όλα τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν.

2.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

2.4.1 Γενικά

Η μέθοδος των υπερήχων είναι μία μη καταστροφική μέθοδος για τον έλεγχο του σκυροδέματος. Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να ελεγχθεί η ομοιομορφία ενός δομικού στοιχείου, να ανιχνευθούν ανωμαλίες όπως ρωγμές, κοιλότητες ή πάχη στρωμάτων που έχουν υποστεί φθορά και να αποτιμηθεί το μέτρο ελαστικότητας. Ακόμη, ύστερα από κατάλληλη βαθμονόμηση μπορεί να οδηγήσει και σε εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος [39].

Κατά τη δοκιμή των υπερήχων, υπερηχητικά κύματα διαδίδονται διαμέσου του υπό εξέταση στοιχείου και η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων αυτών καταγράφεται. Η μετάδοση των κυμάτων διαμέσου του στερεού μέσου πραγματοποιείται με τρόπο ανάλογο της μετάδοσης των ηχητικών κυμάτων μέσω του αέρα. Για κάθε τύπο κύματος υπάρχει μία χαρακτηριστική ταχύτητα διάδοσης που εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα και τις ελαστικές ιδιότητες του μέσου στο οποίο διαδίδεται. Στην περίπτωση ελαστικών και ομοιογενών στερεών μέσων η ταχύτητα των υπερηχητικών παλμών προσδιορίζεται από τον τύπο [40]:

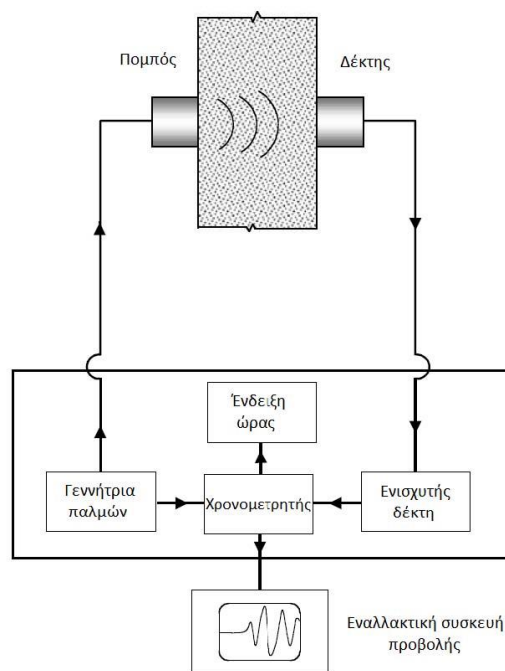
$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1)$$

,όπου: V η ταχύτητα των υπερήχων,
E το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας,
μ ο δυναμικός λόγος Poisson και
ρ η πυκνότητα του υλικού.

Το σκυροδέμα είναι ένα υλικό που μπορεί να θεωρηθεί μακροσκοπικά ομοιογενές γι' αυτό και η παραπάνω σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τη δοκιμή υπερήχων σε στοιχεία σκυροδέματος ή τσιμεντοκονιαμάτων [41].

2.4.2 Πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από δύο κρυστάλλους εκ των οποίων ο ένας λειτουργεί ως πομπός και ο άλλος ως δέκτης. Πρόκειται για κρυστάλλους πιεζοηλεκτρικών κεραμικών στοιχείων, οι οποίοι αλλάζουν μέγεθος όταν τους εφαρμόζεται ηλεκτρικό ρεύμα ή παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα όταν αλλάζουν μέγεθος. Με την επιβολή κατάλληλου ρεύματος ο κρύσταλλος – πομπός πάλλεται στη φυσική του συχνότητα και παράγει τασιικά κύματα που διαδίδονται μέσω του εξεταζόμενου στοιχείου. Ταυτόχρονα με την δημιουργία του παλμού του ηλεκτρικού ρεύματος, ένα χρονόμετρο ακριβείας τίθεται σε λειτουργία. Μόλις ο παλμός φθάσει στον δέκτη παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο σταματά το χρονόμετρο και στην οθόνη της συσκευής αναγράφεται ο αντίστοιχος χρόνος [40]. Έτσι μετράται με ακρίβεια ο χρόνος που χρειάστηκε ο παλμός για να ταξιδέψει διαμέσου του υλικού. Η διάταξη αυτή μπορεί να είναι επίσης συνδεδεμένη με ένα παλμογράφο ή άλλη συσκευή προβολής, που διακρίνει τον τύπο του λαμβανόμενου παλμού. Στην Εικόνα 12 απεικονίζεται η διάταξη της δοκιμής όπως περιγράφηκε παραπάνω.



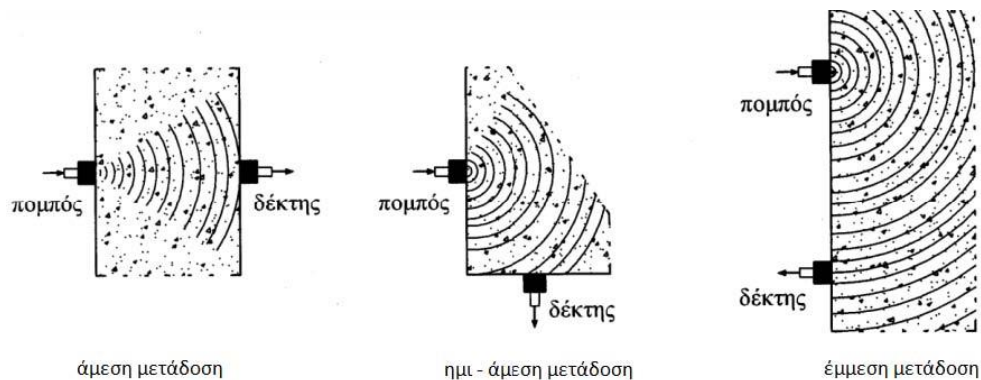
Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση της πειραματικής διάταξης δοκιμής υπερήχων [40]

Με βάση τα παραπάνω αν οριστεί το πάχος του δοκιμίου ως L και ο χρόνος που χρειάστηκε το υπερηχητικό κύμα για να το διανύσει ως T , η ταχύτητα των υπερήχων V (συνήθως σε km/s) μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο [40]:

$$V = \frac{L}{Dt} \quad (2)$$

Για τις μετρήσεις η διάταξη των κρυστάλλων μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους: α) σε αντικριστές πλευρές του προς εξέταση δοκιμίου (άμεση μετάδοση), β) σε δύο κάθετες μεταξύ τους πλευρές (ημι - άμεση μετάδοση) και γ) στην μοναδική προσιτή πλευρά του

δομικού στοιχείου (έμμεση ή επιφανειακή μετάδοση). Σχηματικά οι τρεις τρόποι απεικονίζονται στην Εικόνα 13.



Εικόνα 13: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων [24]

Εκ των τριών η άμεση μετάδοση είναι ο πιο ακριβής τρόπος μετάδοσης, διότι η συγκεκριμένη διάταξη εξασφαλίζει τη μεταφορά της μέγιστης ενέργειας από τον πομπό στον δέκτη και ταυτόχρονα επιτρέπει τη μέτρηση του μήκους που διανύει το υπερηχητικό κύμα με μεγαλύτερη ακρίβεια. Για τους παραπάνω λόγους αυτή η διάταξη επιλέχθηκε για να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη επαφή των κρυστάλλων με την επιφάνεια του στοιχείου απαιτείται μικρή ποσότητα από κάποια λιπαντική ουσία όπως γράσο, βαζελίνη ή κάποιο παράγωγο του πετρελαίου, για να καλυφθούν οι ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας και να μην υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας. Η ποσότητα πρέπει να είναι μικρή γιατί αλλιώς θα οδηγήσει σε διαφοροποιήσεις στην μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων [39]. Οι διαφοροποιήσεις αυτές οφείλονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα διαδόσεως των υπερήχων είναι διαφορετική στο σκυρόδεμα από ότι στην χρησιμοποιούμενη λιπαντική ουσία. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης, πρέπει να ασκείται συνεχής πίεση στους κρυστάλλους που βρίσκονται σε επαφή με την επιφάνεια του στοιχείου.

Στην παρούσα έρευνα, οι μετρήσεις διενεργήθηκαν από αισθητήρες (R15, PAC) οι οποίοι εμφανίζουν μέγιστη ευαισθησία περίπου 150 kHz και έχουν διάμετρο 15 mm. Για την εξέταση των διαμηκών κυμάτων, οι υπέρηχοι τροφοδοτούν τον μετατροπέα σε κύκλους των 150 kHz, ενώ το λαμβανόμενο σήμα προ-ενισχύθηκε με 40 dB και ψηφιοποιήθηκε με ένα ρυθμό δειγματοληψίας τουλάχιστον 10 MHz. Ως λιπαντική ουσία χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη ποσότητα μελιού. Πριν από κάθε μέτρηση της ταχύτητας των υπερήχων ελέγχθηκε η ένδειξη του οργάνου, λαμβάνοντας υπόψη ότι για άμεση επαφή πομπού και δέκτη, η ένδειξη πρέπει να είναι μηδέν. Το επίπεδο θορύβου ήταν χαμηλό και ως εκ τούτου, η ταχύτητα υπερήχων μετρήθηκε με την πρώτη ανιχνεύσιμη διατάραξη της κυματομορφής (έναρξη). Η ταχύτητα παλμού για κάθε δείγμα υπολογίστηκε λαμβάνοντας υπόψη τα οριζόμενα στο αμερικανικό πρότυπο ASTM C597.

2.4.3 Συσχέτιση αποτελεσμάτων με βασικές ιδιότητες των δοκιμίων

Το αποτέλεσμα του πειράματος είναι η καταγραφή της ταχύτητας των υπερήχων σε σχέση με το χρόνο. Αυτή η πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί μόνη της ή σε συνδυασμό με περαιτέρω πειράματα για να ελεγχθούν ή να προσδιοριστούν άλλες ιδιότητες των εξεταζόμενων δοκιμίων όπως:

Ποιότητα: Από την εξίσωση (1) που δίνει την ταχύτητα των υπερήχων φαίνεται πως η ταχύτητα διάδοσης είναι ανεξάρτητη από τη γεωμετρία του δοκιμίου και εξαρτάται μόνο από τις ελαστικές ιδιότητες του υλικού από το οποίο περνάει. Ως γενική αρχή ισχύει πως υψηλότερες ταχύτητες παρατηρούνται για καλύτερης ποιότητας σκυροδέματος ή κονιάματος όσον αφορά την **πυκνότητα, την ομοιογένεια και την ισοτροπικότητα** [42]. Επίσης ανιχνεύονται ρωγμές και κενά που ενδέχεται να υπάρχουν.

Αντοχή και μέτρο ελαστικότητας: Από την εξίσωση (1) φαίνεται πως το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να υπολογιστεί πλήρως όταν οι τιμές του λόγου Poisson και της πυκνότητας είναι γνωστές [40]. Επειδή λόγω της (1) η ταχύτητα είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του μέτρου ελαστικότητας και γνωρίζοντας ακόμη πως λόγω της σχέσης που τα συνδέει το μέτρο ελαστικότητας είναι ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της θλιπτικής αντοχής, προκύπτει πως η ταχύτητα των υπερήχων είναι ανάλογη της τέταρτης ρίζας της θλιπτικής αντοχής [39]. Δηλαδή, καθώς αυξάνεται η αντοχή υπάρχει μία αναλογικά μικρότερη αύξηση τη ταχύτητας των υπερήχων.

Προσδιορισμός αρχικού και τελικού χρόνου πήξης για νωπά δοκίμια: Στο διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου το πρώτο σημείο που εμφανίζει μέγιστη καμπυλότητα σηματοδοτεί την αρχή της πήξης και μπορεί να προσδιοριστεί μαθηματικά με ακρίβεια. Το τέλος της πήξης όμως δεν είναι τόσο σαφές και διερευνάται ακόμη. Παρόλα αυτά, έχει αποδειχθεί εμπειρικά ότι ισούται με το χρονικό σημείο όπου η ταχύτητα των υπερήχων γίνεται ίση με 1500 m/s [43].

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

3.1. ΥΛΙΚΑ

Για τη σύνθεση των κονιαμάτων τα υλικά που απαιτούνται σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1 [44] είναι τσιμέντο, πρότυπη άμμος και νερό σε συγκεκριμένες αναλογίες.

Όσον αφορά το τσιμέντο, σε αυτήν την έρευνα χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο τύπου CEM II αντοχής 42,5 MPa.

Η πρότυπη άμμος σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1 πρέπει να είναι φυσική, στρογγυλεμένη, πυριτική άμμος (της μέγιστης δυνατής περιεκτικότητας σε χαλαζία, ιδίως στο λεπτό της κλάσμα). Σε αυτήν την διπλωματική σκοπός είναι η διερεύνηση της επίδρασης του λεπτόκοκκου αδρανούς στις ιδιότητες του κονιάματος. Για αυτό και διαφορετικά λεπτόκοκκα αδρανή χρησιμοποιήθηκαν για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Σε αυτά συμπεριλαμβάνονται δύο τύποι φυσικής άμμου (πρότυπη άμμος πυριτικής προέλευσης και θραυστή άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης) και ανακυκλωμένα αδρανή διαφορετικής σύστασης.

Η πρότυπη άμμος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία, ήταν, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στρογγυλεμένη πυριτική άμμος. Αντίθετα, η φυσική άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης ήταν θραυστή, δηλαδή προήλθε από εξόρυξη των ασβεστολιθικών πετρωμάτων από λατομείο και στη συνέχεια θραύση τους ώστε να προκύψουν μικρότερα κλάσματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κόκκοι της θραυστής άμμου να είναι πιο γωνιώδεις και οι επιφάνειά τους πιο τραχιά, γεγονός που επηρεάζει σημαντικά ιδιότητες των δομικών υλικών στα οποία θα χρησιμοποιηθούν.

Τα ανακυκλωμένα αδρανή που χρησιμοποιήθηκαν είναι προϊόντα της εταιρείας «Ανακύκλωση Αδρανών Μακεδονίας» και προήλθαν από την κατεδάφιση ενός κτιρίου οικιακής χρήσης. Διακρίθηκαν με βάση το χώρο του κτιρίου από το οποίο προέκυψαν ώστε να διαμορφωθούν οι διαφορετικές ομάδες αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν για αυτήν την εργασία. Αυτό έγινε διότι διαφορετικοί χώροι έχουν διαφορετική χρήση που οδηγεί σε διαφορετική σύσταση των επιμέρους υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή τους. Τα υλικά αυτά (Εικόνα 14) είναι κατά κύριο λόγο: σκυρόδεμα, αδρανή υλικά (φυσικά ή/και θραυστά), μάρμαρο, τούβλα και κεραμικά πλακάκια. Επίσης γυαλί, ξύλο, κόντρα πλακέ, πλαστικό καθώς και μέταλλα οπλισμών. Τα υλικά αυτά, έστω και μετά την απομάκρυνση τους κατά το στάδιο διαλογής και απομάκρυνσης των ακατάλληλων υλικών, όπως προβλέπεται από τη νομοθεσία για την ορθή διαχείριση των ΑΕΚΚ, παραμένουν σε ένα ποσοστό στα ανακυκλωμένα αδρανή επηρεάζοντας τις ιδιότητές τους.



Εικόνα 14: Ανακυκλωμένα αδρανή και περιεχόμενα σε αυτά υλικά

Για την συγκεκριμένη διπλωματική διακρίθηκαν 4 ομάδες ανακυκλωμένων αδρανών: η πρώτη ομάδα προέκυψε κατεδάφιση του υπογείου (μεγαλύτερη συγκέντρωση ψηγμάτων οπλισμού και σκυροδέματος), η δεύτερη προήλθε από το μπάνιο (όπου παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση κεραμικών), η τρίτη από την κατεδάφιση ενός ενδιάμεσου ορόφου όπου υπήρχαν κυρίως δωμάτια (μεγαλύτερη συγκέντρωση γυαλιού λόγω παραθύρων) και η τελευταία από τον τελευταίο όροφο στον οποίο συμπεριλαμβάνεται και στέγη (περισσότερα κεραμικά και ξύλο). Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των τεσσάρων ομάδων (προέλευση και ακατάλληλα υλικά σε μεγάλη συγκέντρωση) και η κωδική ονομασία που τους δόθηκε για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας.

Πίνακας 4: Ομάδες ανακυκλωμένων αδρανών στην παρούσα έρευνα

Κωδική ονομασία	Προέλευση	Ακατάλληλα υλικά
A Υπ.	Υπόγειο	Μέταλλο
A Μπ.	Μπάνιο	Κεραμικά
A Ε.Ο.	Ενδιάμεσος όροφος	Γυαλί
A Τ.Ο.	Τελευταίος όροφος	Γυαλί, ξύλο

3.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η παρούσα έρευνα πραγματεύεται την επαναχρησιμοποίηση απόβλητων εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) ως λεπτόκοκκα αδρανή για την σύνθεση κονιαμάτων. Στο πλαίσιο αυτής της διερεύνησης πραγματοποιήθηκαν τα παρακάτω:

- Σε πρώτο στάδιο, τα αδρανή των 4 ομάδων διαχωρίστηκαν σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα. Το λεπτόκοκκο κλάσμα απορρίφθηκε καθώς, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 2.2.1, κρίνεται ακατάλληλο για χρήση σε κονιάματα και σκυροδέματα λόγω της πολύ μεγάλης του συγκέντρωσης σε ενυδατωμένο τσιμέντο και γύψο [25]. Αντί αυτού, επιλέχθηκε να δημιουργηθεί η απαιτούμενη ποσότητα λεπτόκοκκων από θραύση των χονδρόκοκκων. Τα χονδρόκοκκα συγκεντρώθηκαν και αποπλύθηκαν ώστε να καθαριστούν από ακαθαρσίες και χρώματα που προσκολλήθηκαν σε αυτά λόγω αποθήκευσης τους σε σωρούς σε εξωτερικό χώρο στην εταιρεία διαχείρισής τους. Αφού στέγνωσαν μπήκαν στο θραυστήρα ώστε να δημιουργηθούν λεπτότερα κλάσματα.
- Στην συνέχεια ακολούθησε το κοσκίνισμα των θραυσμένων αδρανών ώστε να γίνει διαλογή του επιθυμητού κλάσματος. Χρησιμοποιώντας κόσκινα του αμερικανικού προτύπου ASTM E11, επιλέχθηκε το κλάσμα που διήλθε το κόσκινο Νο16 (1,18 mm) και συγκρατήθηκε στο κόσκινο Νο20 (0,85 mm). Παράλληλα, κοσκινίστηκε πρότυπη άμμος και θραυστή άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης ώστε να προκύψει επαρκής ποσότητα του αντίστοιχου κλάσματος για την διεξαγωγή των πειραμάτων. Ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε μόνο μία συγκεκριμένη διάμετρος κόκκου ήταν διότι αποσκοπούσε στην ομοιομορφία των κόκκων για να μην επηρεάσει το μέγεθος του κόκκου την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.
- Τα λεπτόκοκκα αδρανή που προέκυψαν για τις 4 ομάδες αδρανών έπρεπε να εξεταστούν ώστε να προσδιοριστούν οι βασικές φυσικές τους ιδιότητες. Αυτό απαιτεί αρχικά την επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος από κάθε ομάδα, η οποία έγινε σε αυτήν την περίπτωση με διπλό τετραμερισμό στο σωρό, διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο EN 932-2. Αφού απομονώθηκε το αντιπροσωπευτικό αυτό δείγμα προσδιορίστηκε το ποσοστό συμμετοχής κάθε υλικού στα ανακυκλωμένα αδρανή χειρωνακτικά με οπτικό διαχωρισμό.
- Σε επόμενη φάση μετρήθηκε το ειδικό βάρος και η υδατοαπορροφητικότητα των αδρανών με βάση τα πρότυπα ASTM C127, ASTM C128. Αυτές οι ιδιότητες είναι απαραίτητες για τον ορθό υπολογισμό των ποσοτήτων των υλικών στη σύνθεση των κονιαμάτων.
- Έπειτα, ακολούθησε η σύνθεση των κονιαμάτων και τέλος η διεξαγωγή της δοκιμής υπερήχων σε νωπό κονίαμα.

Σε όλες τις περιπτώσεις, για τον έλεγχο των ιδιοτήτων και την διεξαγωγή των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν Ευρωπαϊκά ή/και Αμερικανικά πρότυπα. Τα μηχανήματα και ο εργαστηριακός εξοπλισμός, που απαιτήθηκαν ήταν πιστοποιημένα και σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των κανονισμών.

3.2.1. Κοκκομετρική διαβάθμιση αδρανών

Κοκκομετρική διαβάθμιση είναι η κατανομή του μεγέθους των κόκκων των αδρανών που εκφράζεται ως το ποσοστό μάζας που διέρχεται από μία καθορισμένη ομάδα κόσκινων [45]. Η κοκκομετρική διαβάθμιση προσδιορίζεται με τη χρήση ομάδας πρότυπων κόσκινων και ορίζει την ποσότητα χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων αδρανών στο υπό εξέταση κλάσμα. Στη χώρα μας τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα κόσκινα είναι τα κόσκινα της αμερικανικής σειράς (βάσει του ASTM E11) και τα κόσκινα της γερμανικής σειράς (βάσει των DIN 4187 και 4188. Για αυτήν την έρευνα η κοκκομετρική διαβάθμιση έγινε σύμφωνα με τις προδιαγραφές και με τη χρήση κόσκινων του αμερικανικού προτύπου ASTM E11 (Εικόνα 15).



Εικόνα 15: Κόσκινα αμερικανικής σειράς (βάσει του ASTM E11)

Μέσω κοσκινίσματος απομονώθηκε για κάθε ομάδα ανακυκλωμένης άμμου το κλάσμα με μέγεθος κόκκων 1,18 mm – 0,85 mm που αντιστοιχούν σε αδρανή που διέρχονται από το κόσκινο Νο16 και συγκρατούνται στο κόσκινο Νο20 (Εικόνα 16). Το κλάσμα αυτό επιλέχθηκε ως πιο πιθανό να περιέχει μεγαλύτερο ποσοστό θραυσμάτων φυσικού αδρανούς και λιγότερα κομμάτια ενυδατωμένου τσιμέντου και γύψου. Επιπλέον, με αυτόν τον τρόπο απομακρύνθηκε ως διερχόμενο από το κόσκινο Νο20 το μεγαλύτερο ποσοστό παιπάλης, δηλαδή λεπτόκοκκων σωματιδίων σκυροδέματος που επηρεάζουν πολύ αρνητικά τις ιδιότητες των κονιαμάτων και του σκυροδέματος καθώς αυξάνουν την απαίτηση σε νερό και έχουν μεγάλη επίδραση στην εργασιμότητα και στην αντοχή τους. Το κλάσμα “1,18 mm – 0,85 mm” αποσπάστηκε μέσω κοσκινίσματος για επαρκή ποσότητα πρότυπης άμμου (πυριτικής προέλευσης) και θραυστής άμμου ασβεστολιθικής προέλευσης. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιήθηκε μόνο μία συγκεκριμένη διάμετρος κόκκου διότι απαιτείται ομοιομορφία των κόκκων στην σύνθεση των κονιαμάτων ώστε να μην επηρεάσει το μέγεθος του κόκκου την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων κατά την διεξαγωγή της δοκιμής.

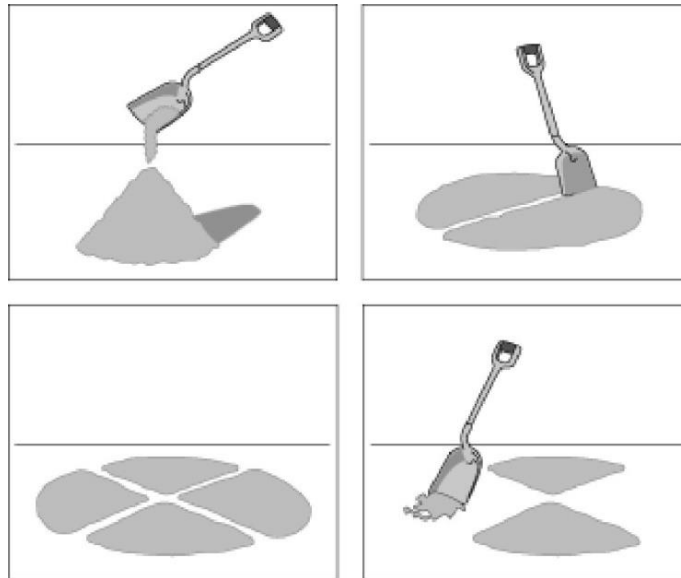


Εικόνα 16: Αδρανή διερχόμενα από το κόσκινο Νο16 και συγκρατούμενα στο κόσκινο Νο20

3.2.2. Επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος

Η διεργασία της δειγματοληψίας αποσκοπεί στη λήψη ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος από έναν πληθυσμό, στην περίπτωση αυτή από κάθε ομάδα αδρανών που εξετάζεται. Η δειγματοληψία πρέπει να προηγείται οποιασδήποτε δοκιμής που πρόκειται να υποστεί οποιοδήποτε είδος αδρανούς υλικού [46]. Η επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος από κάθε ομάδα, έγινε στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής με διπλό τετραμερισμό στο σωρό, όπως περιγράφεται στο πρότυπο EN 932-2.

Κατά τη διαδικασία του τετραμερισμού το προς εξέταση δείγμα αδειάζεται προσεκτικά σε μια επίπεδη επιφάνεια ώστε να σχηματιστεί ένας κώνος. Στη συνέχεια με ένα φτυάρι ή μία σπάτουλα ανακατεύεται το δείγμα και λαμβάνεται υλικό από τη βάση του κώνου το οποίο μεταφέρεται στην κορυφή του. Με φτυάρι ή σπάτουλα επιπεδώνεται η κορυφή του κώνου και χωρίζεται το υλικό σε τέσσερα τεταρτημόρια. Απομακρύνονται δύο οποιαδήποτε κατά κορυφήν τεταρτημόρια και λαμβάνεται το υλικό των δύο άλλων. Στη συνέχεια, η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται άλλη μία φορά έτσι που το τελικό προς εξέταση δείγμα να είναι το ένα τέταρτο περίπου του αρχικού δείγματος. Η διαδικασία περιγράφεται σχηματικά στην Εικόνα 17.



Εικόνα 17: Διαδικασία τετραμερισμού (Ρούτουλας, 2012)

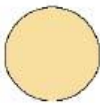
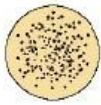


Αμέσως μετά την απομόνωση του αντιπροσωπευτικού δείγματος για την εκάστοτε ομάδα αδρανών έγινε προσπάθεια προσδιορισμού του ποσοστού συμμετοχής ακατάλληλων υλικών σε αυτά. Αυτός ο προσδιορισμός δεν στόχευε στην ακριβή μέτρηση του ποσοστού των υλικών σε κάθε δείγμα, αλλά περισσότερο στην επαλήθευση των όσων αναφέρθηκαν στην ενότητα 3.1 για την αναμενόμενη συγκέντρωση ακατάλληλων υλικών στις διαφορετικές ομάδες ανακυκλωμένων αδρανών. Για αυτό, το ποσοστό συμμετοχής κάθε υλικού παρατηρήθηκε ύστερα από οπτικό διαχωρισμό που έγινε χειρωνακτικά σε κάθε δείγμα. Από τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν τα παρακάτω:

- Ομάδα A_Υπ. (προερχόμενα από το χώρο του υπογείου): Αυξημένη συγκέντρωση ψηγμάτων οπλισμού και μηδενική ή ελάχιστη παρουσία ξύλου και γυαλιού.
- Ομάδα A_Μπ. (προερχόμενα από χώρο μάνιου): Πολύ αυξημένη παρουσία κεραμικών και πορσελάνης συγκριτικά με τις άλλες ομάδες.
- Ομάδα A_Ε.Ο. (προερχόμενα από κατεδάφιση ενδιάμεσου ορόφου): Πιο έντονη η συγκέντρωση γυαλιού συγκριτικά με τις προηγούμενες δύο ομάδες.
- Ομάδα A_Τ.Ο. (προερχόμενα από κατεδάφιση τελευταίου ορόφου): Αυξημένη παρουσία γυαλιού και μεγαλύτερη συγκέντρωση ξύλου συγκριτικά με όλες τις υπόλοιπες ομάδες.

3.2.3. Προσδιορισμός ειδικού βάρους και υδατοαπορροφητικότητας

Σε αυτήν την έρευνα, διενεργήθηκαν δοκιμές για τον ακριβή προσδιορισμό της υδατοαπορροφητικότητας και του ειδικού βάρους των ανακυκλωμένων αδρανών, δύο ιδιότητες που είναι απαραίτητες για την μελέτη σύνθεσης των κονιαμάτων.

Αρχικά, πρέπει να οριστεί η έννοια της υδατοαπορροφητικότητας για να γίνει σαφής η σημασία της. Για να γίνει αυτό πρέπει πρώτα να περιγραφούν οι τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί ένας κόκκος αδρανούς ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας που έχει. Πιο αναλυτικά, οι καταστάσεις αυτές φαίνονται στην Εικόνα 18.

Κατάσταση	Ξήρανση σε φούρνο	Ξήρανση στον αέρα	Κορεσμένη, επιφανειακά στεγνή	Υγρή
				
Συνολική ποσότητα	Καθόλου	Μικρότερη από αυτή που μπορεί να απορροφηθεί	Ίση με αυτή που μπορεί να απορροφηθεί	Μεγαλύτερη από αυτή που μπορεί να απορροφηθεί

Εικόνα 18: Καταστάσεις απορρόφησης υγρασίας αδρανών [25]

Όταν όλοι οι υδατοπερατοί πόροι είναι πλήρεις και δεν υπάρχει στρώση νερού στην εξωτερική επιφάνεια, τότε λέμε ότι τα αδρανή είναι κορεσμένα και επιφανειακά στεγνά (SSD), ενώ όταν τα αδρανή είναι κορεσμένα και επίσης υπάρχει ελεύθερη υγρασία στην επιφάνεια, τότε λέμε ότι τα αδρανή είναι σε υγρή κατάσταση. Στην ξηρή κατάσταση όλο το διαθέσιμο νερό έχει εξατμιστεί με θέρμανση στους 100°C.

Η ικανότητα απορρόφησης ορίζεται ως η ποσότητα υγρασίας που απαιτείται για να φέρει ένα αδρανές από την ξηρή στην SSD κατάσταση. Πραγματική απορρόφηση ορίζεται η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται για να φέρει ένα αδρανές από την κατάσταση ξήρανσης στον αέρα στην κατάσταση SSD. Η ποσότητα του νερού σε ένα αδρανές, πέρα από αυτή που απαιτείται για την κατάσταση SSD, αναφέρεται ως επιφανειακή υγρασία [33]. Συνήθως, η απορροφητική ικανότητα ενός αδρανούς ή αλλιώς υδατοαπορροφητικότητα ορίζεται ως ποσοστό επί τις εκατό και είναι η ποσότητα του νερού που απορροφάται από 100 gr του υλικού σε ορισμένο χρόνο και θερμοκρασία [47].

Για τον προσδιορισμό του ειδικού βάρους και της υδατοαπορροφητικότητας των λεπτόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, ακολουθήθηκε το πρότυπο ASTM C128 και οι δοκιμές διενεργήθηκαν στα εργαστήρια εταιρείας GEOTEST. Ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν: ζυγός, πυκνόμετρο, μεταλλικός κώνος συγκεκριμένων διαστάσεων, τυπάδα συγκεκριμένης μάζας και επίπεδη κυκλική επιφάνεια πρόσκρουσης.

Για την προετοιμασία του δείγματος, επιλέχθηκε κατάλληλη ποσότητα λεπτόκοκκου αδρανούς (άμμου) από κάθε ομάδα, η οποία ξηράνθηκε και αφού κρύωσε σε θερμοκρασία δωματίου, τοποθετήθηκε το δείγμα μέσα σε λεκάνη με νερό όπου παρέμενε για 15 έως 19 ώρες. Μετά το πέρας του διαστήματος αυτού, απομακρύνθηκε προσεκτικά το νερό από τη λεκάνη χωρίς να χαθεί μέρος του δείγματος ή να διαταραχθεί. Το υλικό απλώθηκε σε επίπεδη μη απορροφητική επιφάνεια και αφέθηκε να στεγνώσει. Για να γίνει η ξήρανση της άμμου ομοιόμορφα, κατά διαστήματα ανακατευόταν, ενώ παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ρεύμα αέρα για να απομακρυνθεί πιο γρήγορα το επιφανειακό στρώμα νερού που επικάλυπτε τους κόκκους.

Αφού η άμμος έφτασε σε σημείο κορεσμού η δοκιμή πραγματοποιήθηκε ως εξής:

- Ο κώνος τοποθετήθηκε σε επίπεδη μη απορροφητική επιφάνεια με τη μεγάλη διάσταση σε επαφή με την επιφάνεια.
- Στη συνέχεια πληρώθηκε με άμμο (Εικόνα 19).



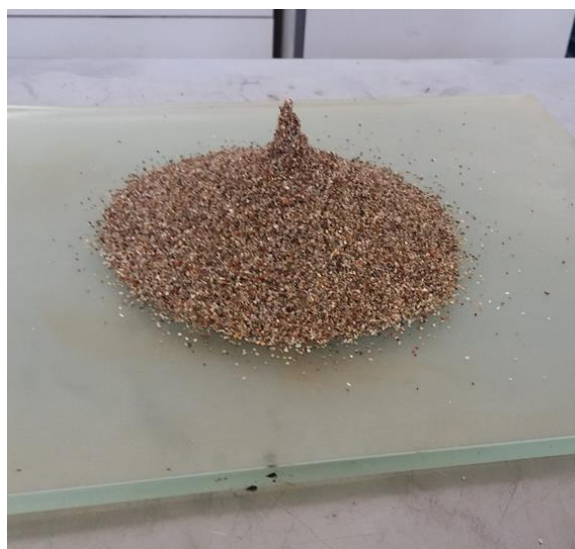
Εικόνα 19: Πλήρωση μεταλλικού κώνου με άμμο κατά την δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας

- Με τη χρήση της τυπάδας η επιφάνεια της άμμου χτυπήθηκε 25 φορές από ύψος 5 mm (Εικόνα 20). Μετά από κάθε χτύπημα, επιφάνεια της άμμου οπισθοχωρούσε, οπότε το ύψος της τυπάδας ρυθμιζόταν κατάλληλα ώστε να είναι πάντα στα 5mm πάνω από την επιφάνεια.



Εικόνα 20: Συμπύκνωση της άμμου κατά τη δοκιμή υδατοαπορροφητικότητας

- Η χαμένη άμμος απομακρύνθηκε από τη βάση του κώνου και στη συνέχεια ο κώνος ανασηκώθηκε. Στην περίπτωση που η άμμος ήταν υγρή το σχήμα του κώνου παρέμενε. Αν η άμμος άρχιζε απαλά να γλιστράει, σημαίνει ότι η άμμος είχε φτάσει στο σημείο κορεσμού. Η τελευταία κατάσταση απεικονίζεται στην Εικόνα 21.



Εικόνα 21: Κορεσμένη άμμος

- Η διαδικασία επαναλήφθηκε τουλάχιστον 2 φορές για κάθε ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών, ώστε να επιβεβαιωθεί ότι βρισκόταν σε κατάσταση κορεσμού.

Αφού διαπιστώθηκε ότι η άμμος είχε φτάσει στο σημείο κορεσμού της ζυγίστηκαν 500 ± 10 gr κορεσμένης άμμου και καταγράφηκε το ακριβές βάρος της. Στη συνέχεια, η άμμος τοποθετήθηκε μέσα στο πυκνόμετρο και πληρώθηκε με αποσταγμένο νερό μέχρι το 90% της χωρητικότητας του. Χτυπώντας ελαφρά και γυρίζοντας γύρω-γύρω το πυκνόμετρο απελευθερώθηκε ο εγκλωβισμένος αέρας. Το πυκνόμετρο γέμισε με νερό ως το προδιαγραφόμενο σημείο. Μετά, ζυγίστηκε και καταγράφηκε η ένδειξη βάρους πυκνόμετρου νερού και δείγματος. Όλο το υλικό απομακρύνθηκε από το πυκνόμετρο, ξηράνθηκε για να απομακρυνθεί όλο το νερό και αφέθηκε να κρυώσει σε θερμοκρασία δωματίου για να ζυγιστεί στην πορεία. Επιπλέον, το πυκνόμετρο πληρώθηκε με απιονισμένο νερό και καταγράφηκε το βάρος του. Κατόπιν, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθοι υπολογισμοί:

1. Ξηρό φαινόμενο ειδικό βάρος = $A / B + \Gamma - E$

2. Μεικτό φαινόμενο ειδικό βάρος = $\Gamma / B + \Gamma - E$

3. Φαινόμενο ειδικό βάρος = $A / B + A - E$

4. Απορροφητικότητα άμμου = $(\Gamma - A / A) \times 100$

όπου: A = Βάρος ξηρού δείγματος, B = Βάρος πυκνόμετρου και νερού, Γ = Βάρος κορεσμένης άμμου, E = Βάρος πυκνόμετρου, νερού και δείγματος.

Η υδατοαπορροφητικότητα έχει ιδιαίτερη σημασία διότι αποτελεί έναν έμμεσο προσδιορισμό του πορώδους των αδρανών, που είναι σε αντίστροφη αναλογία με την αντοχή και την ανθεκτικότητα τους. Κανένα πρότυπο (ευρωπαϊκό ή αμερικάνικο) δεν ορίζει μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της υδατοαπορροφητικότητας των αδρανών. Συνήθως, τα λεπτόκοκκα αδρανή, τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα σε υπαίθριους σωρούς έχουν επιφανειακή υγρασία κυμαινόμενη από 0-10% κατά βάρος (κ.β.), ενώ τα χονδρόκοκκα από 0-2%. Στα λεπτόκοκκα αδρανή κατακρατείται μεγαλύτερη ποσότητα νερού μεταξύ των τεμαχίων τους συγκριτικά με τα χονδρόκοκκα αδρανή, λόγω μεγαλύτερης ειδικής επιφάνειας. Αυτό το λεπτό στρώμα επιφανειακής υγρασίας διατηρεί τους κόκκους των αδρανών σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ τους και αυξάνει το φαινόμενο όγκο τους, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο το φαινόμενο ειδικό τους βάρος.

Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε για τα αδρανή κάθε ομάδας ανακυκλωμένων αδρανών που εξετάστηκε σε αυτήν την διπλωματική, ώστε να υπολογιστούν οι τιμές της υδατοαπορροφητικότητας και του ειδικού βάρους. Όσον αφορά τις ιδιότητες της πρότυπης πυριτικής άμμου και της θραυστής ασβεστολιθικής άμμου, δεν διενεργήθηκαν πειράματα καθώς πρόκειται για κορεσμένες άμμους με ποσοστό υγρασίας έως 0,2% και γνωστού ειδικού βάρους σύμφωνα με τις προδιαγραφές που δόθηκαν από τους παρασκευαστές. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5) συνοψίζονται οι τιμές των ιδιοτήτων για κάθε ομάδα άμμου.

Πίνακας 5: Τιμές υδατοαπορροφητικότητας και ειδικού βάρους για τα αδρανή

Ομάδα αδρανών	Υδατοαπορροφητικότητα (%)	Ειδικό βάρος
Πρότυπη πυριτική άμμος	-	2,64
Θραυστή ασβεστολιθική άμμος	-	2,65
A Ε.Ο.	4,11	2,51
A Υπ.	3,60	2,60
A Μπ.	6,27	2,49
A Τ.Ο.	6,9	2,48

3.2.4. Σύνθεση κονιαμάτων

Η μελέτη σύνθεσης των κονιαμάτων βασίστηκε στις προδιαγραφές του προτύπου EN 196-1 [44], όπου περιγράφεται η σύνθεση κονιάματος με τη χρήση πρότυπης άμμου. Σύμφωνα με αυτό, η αναλογία των υλικών στο μίγμα είναι 1 μέρος τσιμέντο, 3 μέρη πρότυπη άμμος και 0,5 μέρος νερό. Σε αυτήν την έρευνα, η αναλογία αυτή τηρήθηκε για την σύνθεση των κονιαμάτων, διατηρώντας σταθερή την ποσότητα τσιμέντου στα 15 g σε όλες τις συνθέσεις. Για τα κονιάματα όπου χρησιμοποιήθηκε σε ποσοστό 100% φυσική άμμος, η αναλογία 1:3:0,5 τηρήθηκε ακριβώς όπως προβλέπει το πρότυπο. Για τις υπόλοιπες συνθέσεις, στις οποίες προβλέπεται αντικατάσταση του 20% της συνολικής άμμου με ανακυκλωμένη άμμο, η μελέτη σύνθεσης έγινε λαμβάνοντας υπόψη την υδατοαπορροφητικότητα της ανακυκλωμένης άμμου, που οδήγησε σε τροποποίηση της αναλογίας. Εφόσον τα ανακυκλωμένα αδρανή δεν είναι κορεσμένα, με την εισαγωγή τους στο μίγμα του κονιάματος θα αρχίσουν να απορροφούν αρκετό από το νερό της σύνθεσης, για αυτό και πρέπει να υπολογιστεί εξαρχής η επιπλέον ποσότητα νερού που χρειάζονται μέχρι να κορεστούν και να προστεθεί στο νερό που χρειάζεται για να αντιδράσει με το τσιμέντο. Έτσι, οι συνθέσεις που περιέχουν ανακυκλωμένη άμμο έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε νερό. Με δεδομένη την υδατοαπορροφητικότητα, αυτή η επιπλέον ποσότητα νερού μπόρεσε να υπολογιστεί εύκολα στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

Δυστυχώς, ανέκυψε ένα ακόμα πρόβλημα που αφορά την ποσότητα της ανακυκλωμένης άμμου που χρησιμοποιήθηκε. Γνωρίζουμε ότι η ποσότητα αυτή αντικατέστησε το 20% της συνολικής ποσότητας πρότυπης άμμου που απαιτείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1. Επομένως, για 45 g πρότυπης άμμου το ποσό αυτό ισούται με 9 g. Όμως, τα 9 g αφορούν κορεσμένη πρότυπη άμμο με συγκεκριμένο ειδικό βάρος και συγκεκριμένη πυκνότητα. Τα ανακυκλωμένα αδρανή χαρακτηρίζονται από μεγάλο πορώδες και χαμηλό ειδικό βάρος, οπότε αν χρησιμοποιούνταν αντίστοιχα 9 g ανακυκλωμένης άμμου το αποτέλεσμα θα ήταν πως μετά την απορρόφηση του νερού θα ζύγιζαν αρκετά παραπάνω και επίσης ο όγκος τους στη σύνθεση θα ήταν καταστροφικά μεγάλος. Για αυτό, λαμβάνοντας υπόψη την υδατοαπορροφητικότητα (για τον υπολογισμό του επιπλέον νερού) και το ειδικό βάρος (για τον υπολογισμό του όγκου των ανακυκλωμένων αδρανών στο μίγμα) διαμορφώθηκαν οι μελέτες σύνθεσης για κάθε ομάδα αδρανών. Οι συνθέσεις αυτές συνοψίζονται παρακάτω (Πίνακας 6).

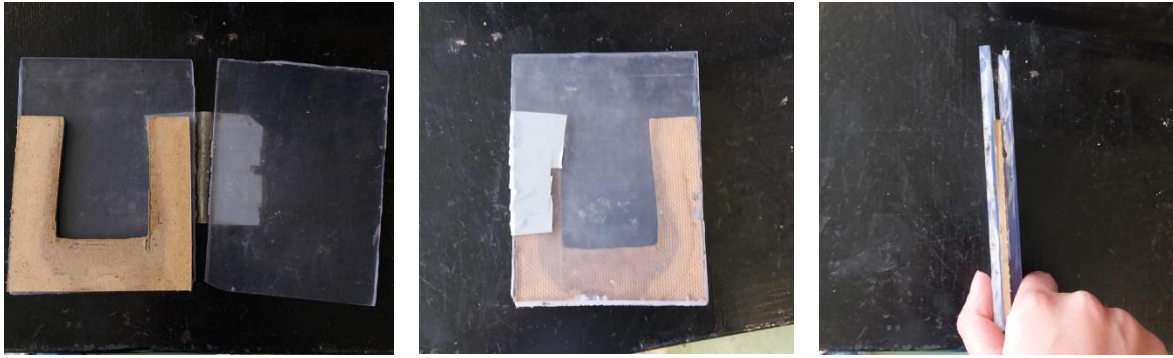
Πίνακας 6: Μελέτες σύνθεσης των κονιαμάτων

Ομάδα αδρανών	Σύνθεση			
	Νερό (g)	Τσιμέντο (g)	Φυσική άμμος (g)	Ανακυκλωμένη άμμος (g)
Πρότυπη άμμος / Ασβεστολιθική άμμος (100%)	7.50	15.00	45.00	-
A E.O. (20%)	8.26	15.00	36.00	6.86
A Υπ. (20%)	8.27	15.00	36.00	6.76
A Μπ. (20%)	8.22	15.00	36.00	6.94
A T.O. (20%)	8.04	15.00	36.00	7.66

Αφού υπολογίστηκαν οι μελέτες σύνθεσης, ακολούθησε η μίξη των κονιαμάτων σύμφωνα με το πρότυπο EN 196-1. Αρχικά, ζυγίστηκαν με ακρίβεια οι ποσότητες των πρώτων υλών. Στη συνέχεια, προστέθηκε στο ίδιο δοχείο το νερό με το τσιμέντο, προσέχοντας να μην χαθεί ποσότητα από τις ύλες. Αμέσως μόλις τα υλικά ήρθαν σε επαφή ξεκίνησε χειροκίνητα η ανάδευση σε αργό ρυθμό και άρχισε η χρονομέτρηση. Μετά από 30 δευτερόλεπτα ανάδευσης προστέθηκε με σταθερό ρυθμό η άμμος κατά την διάρκεια των επόμενων 30 δευτερολέπτων. Για τα επόμενα 30 δευτερόλεπτα η ανάμιξη συνεχίστηκε με γρήγορη ταχύτητα, ενώ για τα αμέσως επόμενα 90 δευτερόλεπτα σταμάτησε. Στο διάστημα αυτό, το υλικό που βρισκόταν στα τοιχώματα του δοχείου αφαιρέθηκε με τη βοήθεια σπάτουλας και τοποθετήθηκε στο κέντρο του μίγματος. Επίσης, το δοχείο αφέθηκε να πέσει από μικρό ύψος και ελεγχόμενα στον πάγκο εργασίας λίγες φορές ώστε να απελευθερωθεί ο αέρας που εγκλωβίστηκε στο μίγμα κατά την ανάδευση. Τέλος, η ανάμιξη συνεχίστηκε σε γρήγορο ρυθμό για ένα επιπλέον λεπτό.

3.2.5. Πειραματική διάταξη πειράματος υπερήχων

Μετά το τέλος της ανάμιξης, το μίγμα του κονιάματος τοποθετήθηκε κατευθείαν σε αυτοσχέδιο καλούπι, πριν αρχίσει ο πολτός να πήζει. Το καλούπι, όπως φαίνεται και από την Εικόνα 22, αποτελούνταν από δύο όμοια κομμάτια πλέξιγκλας και ένα κομμάτι κόντρα πλακέ με ορθογωνική οπή το οποίο συγκολλήθηκε στην εσωτερική πλευρά του ενός κομματιού πλέξιγκλας. Σε αυτή τη διάταξη το μίγμα έπρεπε να τοποθετηθεί στην οπή που ορίζει το πλέξιγκλας με το κόντρα πλακέ, με αποτέλεσμα οι διαστάσεις (μήκος, πλάτος, πάχος) του τελικού κονιάματος να είναι ίσες με τις διαστάσεις της οπής. Επειδή το ξύλο είναι πορώδες υλικό και στην συγκεκριμένη περίπτωση είχε άμεση επαφή με το κονίαμα, θα απορροφούσε αρκετή ποσότητα από το απαιτούμενο νερό που περιείχε το μίγμα. Για αυτό και τα τμήματα του ξύλου γύρω από την οπή επικαλύφθηκαν με μονωτική ταινία πριν τη χρήση του καλουπιού. Το ίδιο καλούπι χρησιμοποιήθηκε για όλα τα μίγματα ώστε να εξασφαλιστεί ομοιομορφία στις διαστάσεις των παραγόμενων κονιαμάτων και κυρίως στα πάχη τους που είναι από τις πιο κρίσιμες παραμέτρους στην δοκιμή των υπερήχων.



Εικόνα 22: Αυτοσχέδιο καλούπι

Στη συνέχεια, το μίγμα διαστρώθηκε με τη χρήση σπάτουλας ώστε να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο καλούπι (Εικόνα 23α). Όσο το δυνατόν συντομότερα, για να μην προλάβει να αρχίσει η πήξη, το μίγμα καλύφθηκε με το δεύτερο κομμάτι πλέξιγκλας. Απαραίτητη ήταν η σταθερή άσκηση πίεσης σε όλη την επιφάνεια επαφής του καλουπιού με το κονίαμα, ώστε να διαφύγει ο εγκλωβισμένος αέρας που ενδέχεται να βρισκόταν σε μορφή φυσαλίδων, ο οποίος θα επηρέαζε άμεσα την αντοχή του κονιάματος (Εικόνα 23β).



α.

β.

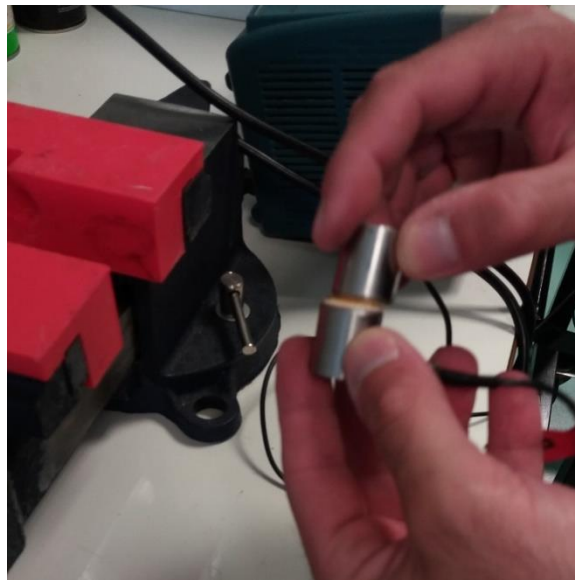
Εικόνα 23: Τοποθέτηση μίγματος κονιάματος στο καλούπι : α) διάστρωση με χρήση σπάτουλας, και β) άσκηση πίεσης για απομάκρυνση φυσαλίδων αέρα

Έπειτα, κρατώντας σταθερό το καλούπι με το κονίαμα, καλύφθηκαν οι ακμές με μονωτική ταινία για να παραμείνει σταθερό το κονίαμα μέχρι το τέλος του πειράματος και για να μην εισέλθει αέρας που θα επηρεάσει την πήξη (Εικόνα 24).



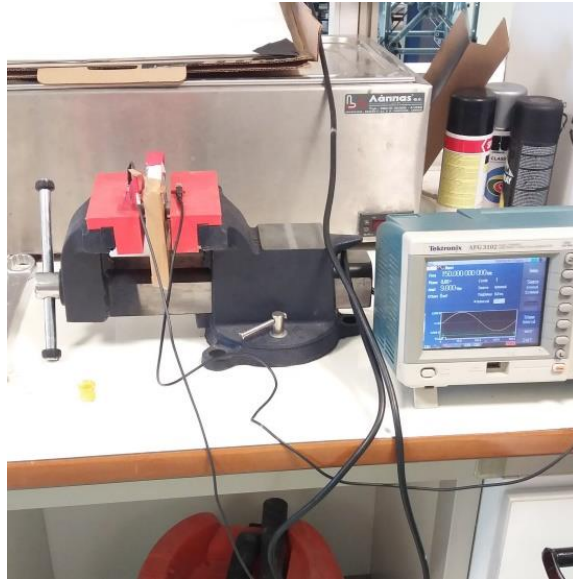
Εικόνα 24: Στεγάνωση του δοκιμίου με χρήση μονωτικής ταινίας

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4.2 για να υπάρχει καλύτερη επαφή με την επιφάνεια του στοιχείου που υποβάλλεται σε δοκιμή υπερήχων, χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα λιπαντικής ουσίας μεταξύ πομπού / δέκτη και επιφάνειας, ώστε να εξομαλυνθεί η επιφάνεια και να μην υπάρχει εγκλωβισμένος αέρας. Στα πειράματα που διενεργήθηκαν στα πλαίσια αυτής της έρευνας χρησιμοποιήθηκε κατάλληλη ποσότητα μελιού (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Τοποθέτηση κατάλληλης ποσότητας λιπαντικής ουσίας στην επιφάνεια των αισθητήρων

Στη συνέχεια, το καλούπι με το κονίαμα τοποθετήθηκε στη θέση που προβλέπεται από την πειραματική διάταξη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 26. Στη θέση αυτή εξασφαλίζεται ότι το δοκίμιο είναι σταθερό και του ασκείται μία ομοιόμορφη μόνιμη πίεση καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του δοκιμίου, στο ίδιο ύψος (περίπου στο κέντρο του κονιάματος) και σε άμεση επαφή με το εξωτερικό του καλουπιού.



Εικόνα 26: Πειραματική διάταξη πειράματος υπερήχων

Κάθε κονιάμα υποβλήθηκε αμέσως μετά τη σύνθεσή του σε δοκιμή υπερήχων που διήρκησε από 42 μέχρι 48 ώρες.

Όπως αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4.2, η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων ορίζεται ως ο λόγος του πάχους του δοκιμίου προς τον χρόνο που έκανε το κύμα να φτάσει από τον πομπό στον δέκτη:

$$V = \frac{Dx}{Dt}$$

Στην συγκεκριμένη περίπτωση το κύμα διαδίδεται αρχικά μέσω του πρώτου πλέξιγκλας, στη συνέχεια μέσω του κονιάματος και τέλος μέσω του δεύτερου πλέξιγκλας. Επομένως, χρειάστηκε να διορθωθούν τα αποτελέσματα ώστε να μην ληφθεί υπόψη η ύπαρξη του καλουπιού. Για να γίνει αυτό, το πείραμα των υπερήχων επαναλήφθηκε χωρίς τη χρήση κονιάματος ώστε να μετρηθεί η ταχύτητα διάδοσης καθαρά για το υλικό του πλέξιγκλας. Η ταχύτητα αυτή μετρήθηκε ίση με 1700 m/sec. Γνωρίζοντας επίσης το πάχος των κομματιών πλέξιγκλας (3 mm το καθένα) μπόρεσε να υπολογιστεί ο χρόνος που χρειάζεται για να διαδοθεί το κύμα μέσω του καλουπιού.

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η συνολική μετρούμενη ταχύτητα για κάθε κονιάμα που υποβλήθηκε στο πείραμα ήταν ίση με:

$$V_{ολικό} = \frac{Dx_{κονιάματος} + Dx_{καλουπιού}}{Dt_{κονιάματος} + Dt_{καλουπιού}}$$

Με δεδομένο ότι στο τέλος κάθε πειράματος μετρήθηκε το καθαρό πάχος κάθε κονιάματος, στην σχέση αυτή μοναδικός άγνωστος παράγοντας είναι ο χρόνος διάδοσης των υπερήχων στο κονιάμα. Αφού λοιπόν προσδιορίστηκε, ήταν εύκολο να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων στο κονιάμα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

Αφού προσδιορίστηκαν οι βασικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων αδρανών και υπολογίστηκε η μελέτη σύνθεσης για όλα τα κονιάματα, ακολούθησε η σύνθεση των κονιαμάτων. Όλα αυτά περιγράφονται λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 3.

Πρώτα, συντέθηκαν τα δύο πρότυπα κονιάματα όπου στο πρώτο χρησιμοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου πυριτικής προέλευσης φυσική άμμος και στο άλλο θραυστή άμμος ασβεστολιθικής προέλευσης. Μετά, για κάθε ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών παρασκευάστηκαν δύο κονιάματα όπου το 20 % της συνολικής ποσότητας άμμου που απαιτείται, αντικαταστάθηκε από τα λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή. Το υπόλοιπο 80% στην μία περίπτωση ήταν φυσική πυριτική άμμος και στην άλλη θραυστή ασβεστολιθική. Συγκεντρωτικά, τα δοκίμια που συντέθηκαν και των οποίων τα αποτελέσματα από την δοκιμή των υπερήχων παρουσιάζονται παρακάτω, είναι τα εξής:

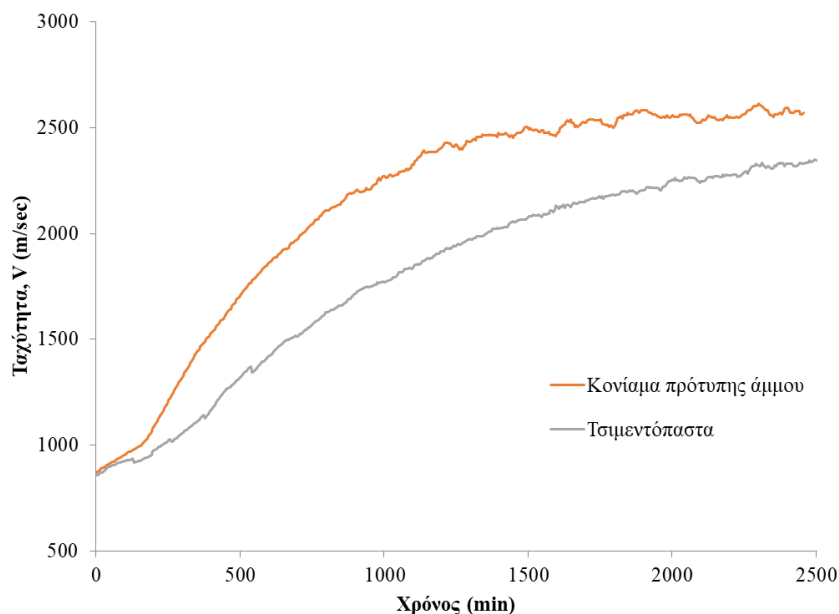
- Τσιμεντόπαστα
- Κονίαμα με πρότυπη άμμο (100%)
- Κονίαμα με ασβεστολιθική άμμο (100%)
- Κονίαμα με πρότυπη άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Υπ. (20%)
- Κονίαμα με ασβεστολιθική άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Υπ. (20%)
- Κονίαμα με πρότυπη άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Ε.Ο. (20%)
- Κονίαμα με ασβεστολιθική άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Ε.Ο. (20%)
- Κονίαμα με πρότυπη άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Μπ. (20%)
- Κονίαμα με ασβεστολιθική άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Μπ. (20%)
- Κονίαμα με πρότυπη άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Τ.Ο. (20%)
- Κονίαμα με ασβεστολιθική άμμο (80%) και ανακυκλωμένη άμμο Α_Τ.Ο. (20%)

Τα αποτελέσματα του πειράματος των υπερήχων κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστούν συγκριτικά και όχι μεμονωμένα, καθώς οι πληροφορίες που απορρέουν από τη συγκριτική τους ανάλυση είναι πολύ περισσότερες και πολύ πιο ενδιαφέρουσες.

4.1. Ανάλυση 1

Τσιμεντόπαστα και κονίαμα πρότυπης άμμου

Στην Εικόνα 27 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του πειράματος υπερήχων για το κονίαμα πρότυπης άμμου και την τσιμεντόπαστα.



Εικόνα 27: Διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου για το κονίαμα πρότυπης άμμου και την τσιμεντόπαστα

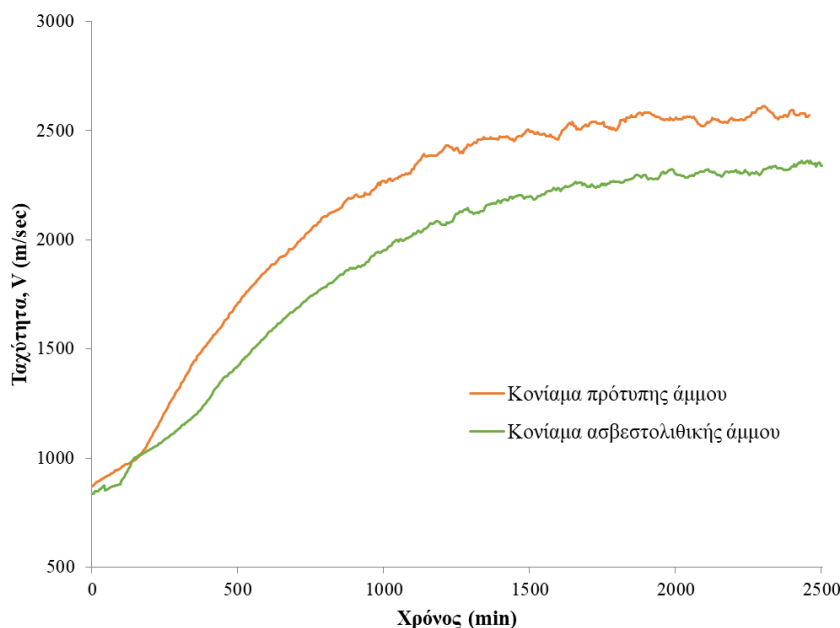
Από το διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου φαίνεται πως καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος σημειώνονται σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες για το κονίαμα πρότυπης άμμου. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο αν ληφθούν υπόψη όσα αναφέρονται στην παράγραφο 2.4.3 σχετικά με την σχέση της ταχύτητας υπερήχων και της αντοχής. Το κονίαμα, περιλαμβάνοντας τα αδρανή που οφείλονται κατεξοχήν για την αντοχή του, θα έχει εξ' ορισμού μεγαλύτερη αντοχή από την τσιμεντόπαστα. Εφόσον μεγαλύτερες αντοχές σημαίνουν και μεγαλύτερες ταχύτητες διάδοσης υπερήχων στο εξεταζόμενο δοκίμιο, τα αποτελέσματα συνάδουν με την θεωρία.

Ακόμη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία τα πετρώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως ως αδρανή έχουν υψηλότερες ταχύτητες κυμάτων από την τσιμεντόπαστα [25]. Έτσι, η ύπαρξη αδρανών για μία δεδομένη ποσότητα τσιμεντόπαστας αυξάνει επίσης τη μέση ταχύτητα των κυμάτων. Αυτό επίσης αντικατοπτρίζεται από τα παραπάνω.

4.2. Ανάλυση 2

Κονίαμα πρότυπης άμμου (100%) και κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου (100%)

Στην συγκεκριμένη συγκριτική ανάλυση (Εικόνα 28), παρουσιάζονται οι ταχύτητες διάδοσης των υπερήχων σε συνάρτηση με το χρόνο, όπως αυτές καταγράφηκαν για τα δοκίμια κονιάματος πρότυπης και ασβεστολιθικής άμμου.



Εικόνα 28: Διάγραμμα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου για το κονίαμα πρότυπης άμμου και το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου

Αρχικά, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι το πρότυπο EN 196-1 το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τις μελέτες σύνθεσης των δύο δοκιμίων προτείνει τη χρήση φυσικής άμμου πυριτικής προέλευσης αποτελούμενης από στρογγυλεμένους κόκκους και περιεχόμενο ποσοστό πυριτίου 98% [44], η οποία πρέπει μάλιστα να εγκριθεί από πιστοποιημένους φορείς αμέσως μετά την παραγωγή της. Η πρότυπη αυτή άμμος πρέπει να είναι επίσης κορεσμένη και το ποσοστό υγρασίας να είναι λιγότερο από 0,2%. Η πρότυπη άμμος που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία καλύπτει πιστοποιημένα τις παραπάνω προδιαγραφές. Με δεδομένη τη χρήση αυτής της πρότυπης άμμου, το πρότυπο EN 196-1 προτείνει την αναλογία μίξης τσιμέντου: άμμου: νερού ίση με 1:3:0,5. Για την σύνθεση και των δύο κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε η αναλογία αυτή καθώς και η διαδικασία που περιγράφεται από το πρότυπο. Επομένως, το κονίαμα πρότυπης άμμου που συντέθηκε σε αυτήν την εργασία ακολουθεί πλήρως τα προβλεπόμενα από το πρότυπο και για αυτό αναμένεται να παρουσιάζει τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Από τη σύγκριση των δύο διαγραμμάτων φαίνεται πως για το κονίαμα της πρότυπης άμμου καταγράφηκαν υψηλότερες ταχύτητες διάδοσης υπερήχων από ότι για το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου, άρα είναι καλύτερης ποιότητας και υψηλότερης αντοχής, γεγονός που συνάδει με το παραπάνω συμπέρασμα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αναλογίες που

προτείνει το EN 196-1 προέκυψαν λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της πρότυπης πυριτικής άμμου και για αυτό ενδέχεται η αναλογία αυτή να μην είναι ιδανική για την σύνθεση κονιάματος με άμμο άλλης προέλευσης και χαρακτηριστικών.

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη πως οι κόκκοι της ασβεστολιθικής άμμου ως θραυστά αδρανή είναι γωνιώδεις και έχουν πιο τραχιά επιφάνεια. Αυτό έχει αρνητική επίπτωση στην εργασιμότητα του κονιάματος καθώς η επιφάνεια των κόκκων δυσχεραίνει την μεταφορά και τη διάσπρωση του μίγματος. Ακόμη, τα θραυστά αδρανή οδηγούν και σε χαμηλότερη τελική αντοχή του δομικού στοιχείου, γεγονός που αντικατοπτρίζεται εδώ, καθώς οι ταχύτητες διάδοσης των υπερήχων για το κονίαμα που περιέχει θραυστή ασβεστολιθική άμμο είναι αρκετά χαμηλότερες από τις αντίστοιχες ταχύτητες για το κονίαμα πρότυπης άμμου. Αυτό οφείλεται στο ότι τα αδρανή συνιστούν τη φάση που προσδίδει την αντοχή στο δομικό στοιχείο. Όταν λοιπόν τα αδρανή αυτά έχουν προέλθει από θραύση είναι πολύ πιθανό να έχουν μικρορωγματώσεις και ατέλειες και επομένως μικρότερη αντοχή σε φορτία σε σχέση με στρογγυλεμένα, ομοιόμορφα αδρανή που προήλθαν από αποθέσεις ποταμών. Τέλος, τα θραυστά αδρανή λόγω της διαδικασίας δημιουργίας τους περιέχουν μεγάλο ποσοστό παιπάλης, μέρος του οποίου μπορεί να παραμείνει και μετά την απόπλυση και να επηρεάσει αρνητικά την ποιότητα και την αντοχή.

Συγκεντρωτικά λοιπόν, τα αποτελέσματα δείχνουν πως το κονίαμα πρότυπης άμμου παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή και καλύτερη ποιότητα σε σχέση με το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου για τους παρακάτω λόγους:

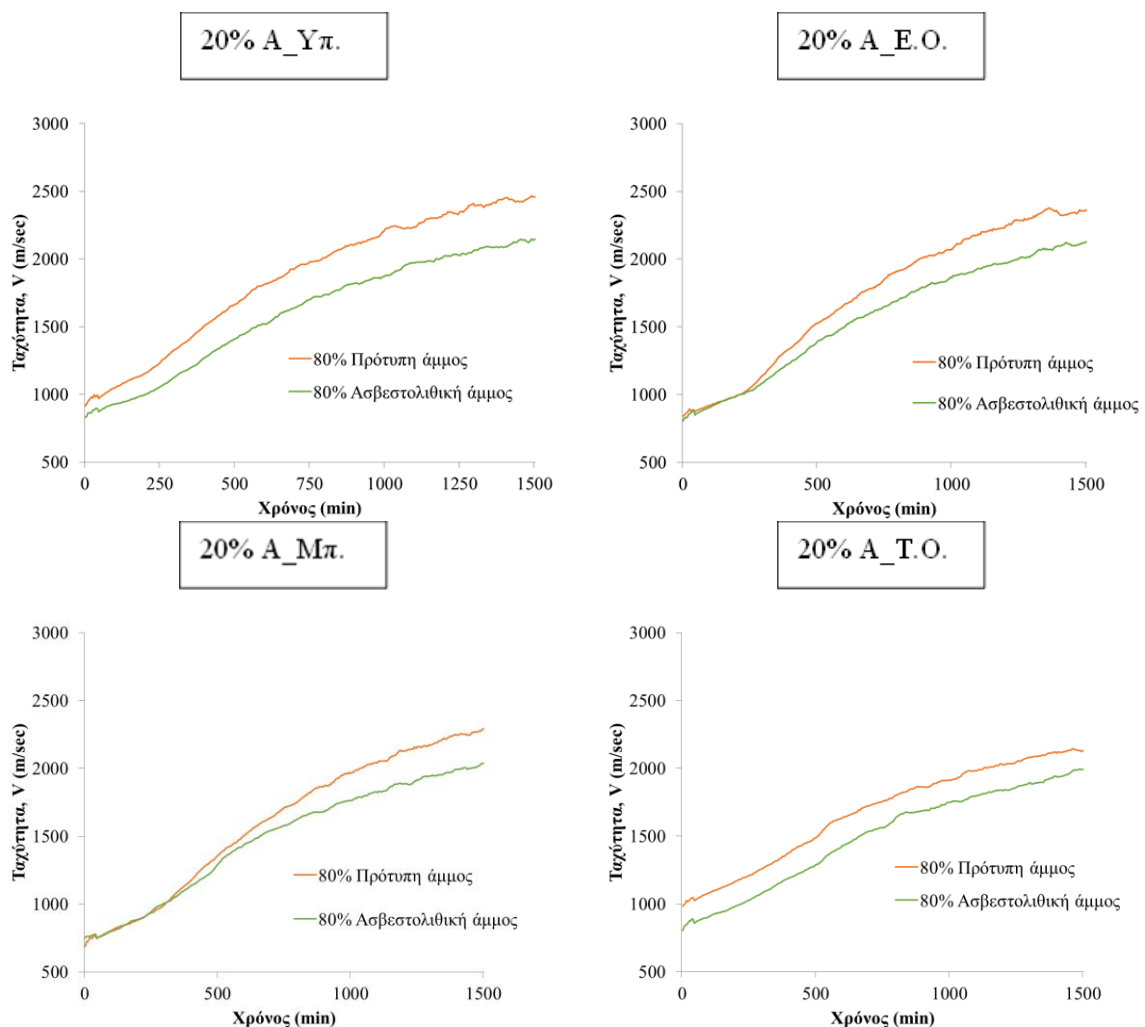
- α. η αναλογία μίξης που χρησιμοποιήθηκε και για τα δύο μίγματα έχει διαμορφωθεί με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της πρότυπης άμμου και επομένως δεν είναι απαραίτητο να είναι η ιδανική αναλογία μίξης και για τη χρήση άλλων αδρανών,
- β. η ασβεστολιθική άμμος είναι θραυστή, επομένως οι τραχιές και γωνιώδεις επιφάνειες αλλά και οι ατέλειες των κόκκων υποβαθμίζουν την ποιότητα και την αντοχή του κονιάματος,
- γ. η ασβεστολιθική άμμος λόγω του ότι προήλθε από θραύση περιέχει ποσοστό παιπάλης που επηρεάζει την ποιότητα και την αντοχή.

Όσον αφορά το ρυθμό πήξης φαίνεται να είναι ταχύτερος για το κονίαμα πρότυπης άμμου, όπως φαίνεται από την πιο απότομη αύξηση της ταχύτητας στην αρχή του διαγράμματος. Επομένως, το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το κονίαμα πριν σταματήσει να είναι πλάστιμο και κατεργάσιμο είναι μικρότερο στην περίπτωση της πρότυπης άμμου.

4.3. Ανάλυση 3

Κονιάματα πρότυπης άμμου (80%) και κονιάματα ασβεστολιθικής άμμου (80%)

Σε αυτήν την ανάλυση συγκρίνονται τα κονιάματα στα οποία το 20% της συνολικής άμμου αντικαταστάθηκε από ανακυκλωμένη άμμο της ίδιας ομάδας (A_Υπ., A_Ε.Ο., A_Μπ. ή A_Τ.Ο.). Το υπόλοιπο 80% στο ένα κονίαμα ήταν πρότυπη άμμος και στο άλλο ασβεστολιθική άμμος. Στην παρακάτω εικόνα (**Error! Reference source not found.**) παρουσιάζονται τέσσερα γραφήματα σε κάθε ένα από τα οποία δίνονται τα αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχων για τα δύο κονιάματα της ίδια ομάδας ανακυκλωμένων αδρανών.



Εικόνα 29: Αποτελέσματα δοκιμής υπερήχων ανά ζεύγος κονιαμάτων στα οποία χρησιμοποιήθηκε η ίδια ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών

Η σύγκριση αυτή αποσκοπεί στην αξιολόγηση της πρότυπης και της ασβεστολιθικής άμμου ως αδρανή για την σύνθεση κονιαμάτων. Στην ενότητα 4.2 αναλύθηκε ακριβώς αυτό, με τη διαφορά ότι συγκρίθηκαν κονιάματα στα οποία είχε χρησιμοποιηθεί πρότυπη και ασβεστολιθική άμμος σε ποσοστό 100%. Στην προκειμένη περίπτωση, τα εκάστοτε δύο κονιάματα που συγκρίνονται περιέχουν πρότυπη και ασβεστολιθική άμμο σε ποσοστό 100%, όμως χρησιμοποιούν την ίδια ποσότητα από το ίδιο ανακυκλωμένο αδρανές και συντέθηκαν σύμφωνα με την ίδια μελέτη σύνθεσης κάτω από τις ίδιες συνθήκες.

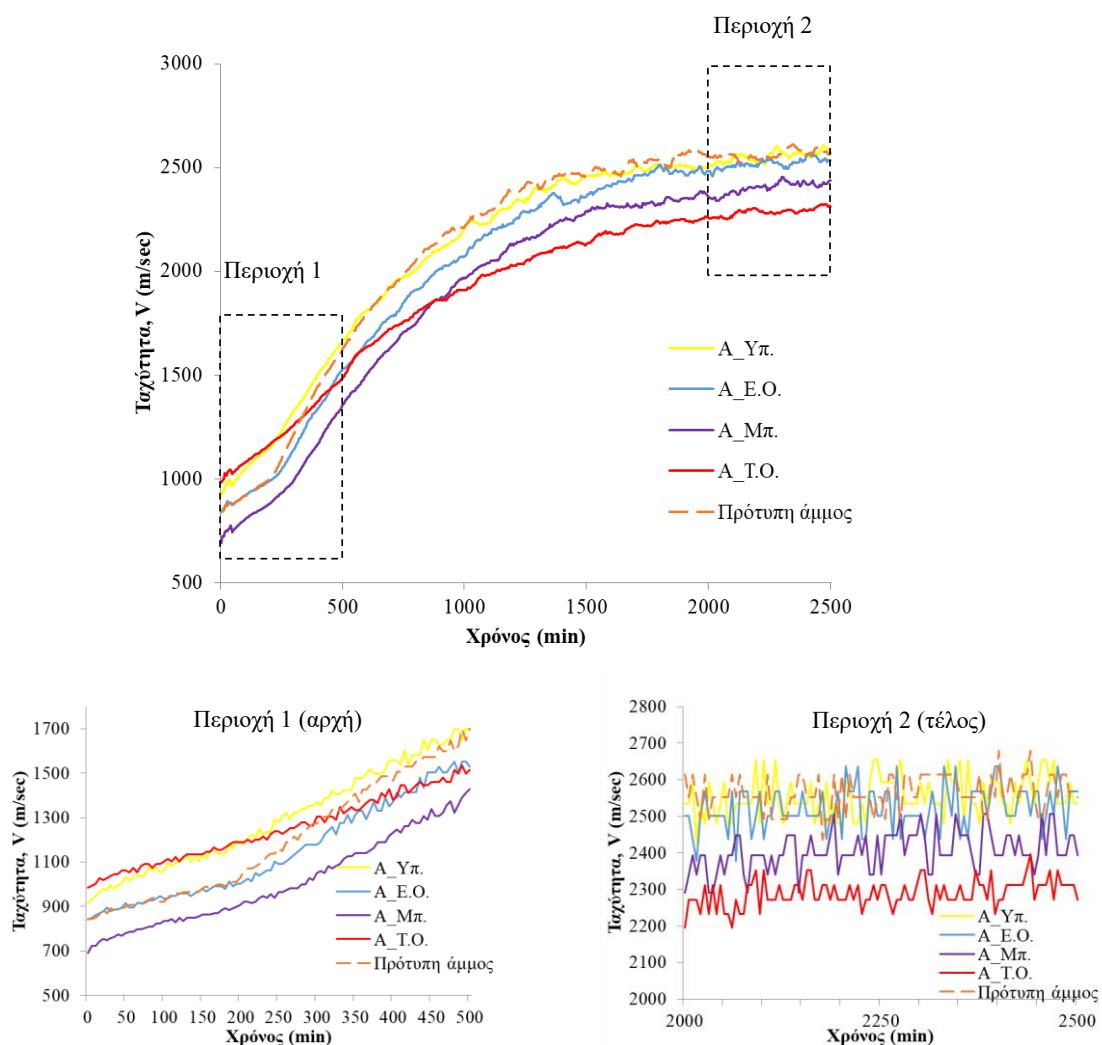
Επομένως, ο μόνος παράγοντας διαφοροποίησης είναι το φυσικό αδρανές που χρησιμοποιήθηκε όπως ακριβώς και στην σύγκριση της προηγούμενης ενότητας. Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αναμένεται λοιπόν να είναι τα ίδια. Όντως, και σε αυτήν την περίπτωση παρατηρείται μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης υπερήχων για όλες τις περιπτώσεις, γεγονός που ενισχύει το συμπέρασμα ότι τα κονιάματα που περιέχουν πρότυπη άμμο είναι καλύτερης ποιότητας και υψηλότερης αντοχής από αυτά που περιέχουν θραυστή ασβεστολιθική άμμο λόγω των ατελειών και της τραχιάς επιφάνειας των κόκκων της δεύτερης ομάδας και της ύπαρξης παιπάλης που ενδέχεται να προήλθε λόγω θραύσης.

Αναφορικά με το ρυθμό πήξης, και εδώ φαίνεται να είναι ταχύτερος για τα κονιάματα πρότυπης άμμου σε σχέση με τα ασβεστολιθικά κονιάματα.

4.4. Ανάλυση 4

Κονίαμα πρότυπης άμμου (100%) και κονιαμάτων πρότυπης άμμου – ανακυκλωμένων αδρανών (80%-20%)

Σε αυτήν την ενότητα συγκρίνονται τα κονιάματα για τα οποία χρησιμοποιήθηκε πρότυπη άμμος. Δίνονται στο ίδιο γράφημα τα αποτελέσματα από τη δοκιμή υπερήχου για το κονίαμα όπου χρησιμοποιήθηκε 100% πρότυπη άμμος και για τα πέντε κονιάματα όπου το 20% της συνολικής ποσότητας άμμου αντικαταστάθηκε με ανακυκλωμένη άμμο από κάθε ομάδα αδρανών που εξετάστηκε. Κάθε ένα από αυτά τα κονιάματα ονομάζεται σύμφωνα με την ομάδα του ανακυκλωμένου αδρανούς που περιείχε.



Εικόνα 30: Αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχου για κονιάματα που περιέχουν πρότυπη άμμο: για όλη τη διάρκεια της δοκιμής (πάνω), για το αρχικό (κάτω αριστερά) και το τελικό στάδιο (κάτω δεξιά)

Στην Εικόνα 30 επάνω δίνονται οι ταχύτητες υπερήχων – χρόνου για όλη τη διάρκεια της δοκιμής. Κάτω αριστερά γίνεται εστίαση των αποτελεσμάτων στα πρώτα 500 λεπτά της δοκιμής και κάτω δεξιά φαίνονται οι ταχύτητες όπως καταγράφηκαν για τα 500 τελευταία λεπτά.

Από το διάγραμμα όπου συνοψίζονται τα αποτελέσματα για όλη τη δοκιμή μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την ποιότητα και την αντοχή κάθε κονιάματος. Κατά κανόνα ισχύει πως όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα διάδοσης τόσο καλύτερη η ποιότητα του δοκιμίου και τόσο μεγαλύτερη η αντοχή του (παράγραφος 2.4.3). Σύμφωνα με αυτό, τις υψηλότερες ταχύτητες καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος τις είχαν τα κονιάματα της πρότυπης άμμου και της ομάδας ανακυκλωμένων αδρανών A_Υπ. Τα αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα για το κονίαμα της πρότυπης άμμου, όχι όμως και για το κονίαμα των ανακυκλωμένων A_Υπ. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 3.1, τα ανακυκλωμένα της ομάδας αυτής προέρχονται από το υπόγειο του κτιρίου, έναν χώρο όπου υπάρχει μεγάλη ποσότητα οπλισμού. Το γεγονός αυτό ενδέχεται να αλλοιώσε τα αποτελέσματα καθώς όπως αναφέρεται από τους Mehta & Monteiro [25] η παρουσία οπλισμού (έστω και ως ψήγματα όπως στην προκειμένη περίπτωση) πρέπει να αποφεύγεται κατά τη μέτρηση της ταχύτητας κυμάτων γιατί αυξάνει την φαινομενική ταχύτητα των κυμάτων του σκυροδέματος καθιστώντας τα αποτελέσματα αναξιόπιστα. Επόμενο καλύτερο σε ποιότητα και αντοχή κονίαμα φαίνεται πως είναι το A_E.O. που περιέχει μεγαλύτερη ποσότητα γυαλιού. Το γυαλί υποβαθμίζει το κονίαμα λόγω της μικρής του αντοχής σε φόρτιση. Ακολουθεί το κονίαμα A_Μπ. που περιέχει μεγάλη ποσότητα κεραμικών. Τα κεραμικά υλικά όπως και το γυαλί είναι ιδιαίτερα ψαθυρά. Επιπλέον, λόγω του μεγάλου πορώδους που τα χαρακτηρίζει μπορεί να απορροφήσουν περαιτέρω νερό από το μίγμα από αυτό που υπολογίστηκε με βάση την υδατοπερατότητά τους ή να κατακρατήσουν νερό στους πόρους το οποίο δεν θα αντιδράσει με το τσιμέντο. Το αποτέλεσμα είναι η χειρότερη τελική ποιότητα και αντοχή του δομικού υλικού. Την χειρότερη ποιότητα από όλα τα κονιάματα παρουσιάζει το κονίαμα A_T.O. το οποίο περιέχει γυαλί και ξυλεία.

Πιο αναλυτικά, τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στην εικόνα κάτω δεξιά, όπου γίνεται εστίαση των αποτελεσμάτων για το τελευταίο στάδιο της δοκιμής όταν το κονίαμα έχει πήξει και οι ταχύτητες είναι πιο σταθεροποιημένες. Η φάση αυτή είναι πιο ενδεικτική της ποιότητας και της αντοχής του κονιάματος καθώς δεν επηρεάζονται από τη φάση πήξης του κονιάματος που μεταφράζεται σε έντονες διακυμάνσεις ταχύτητας κατά την δοκιμή.

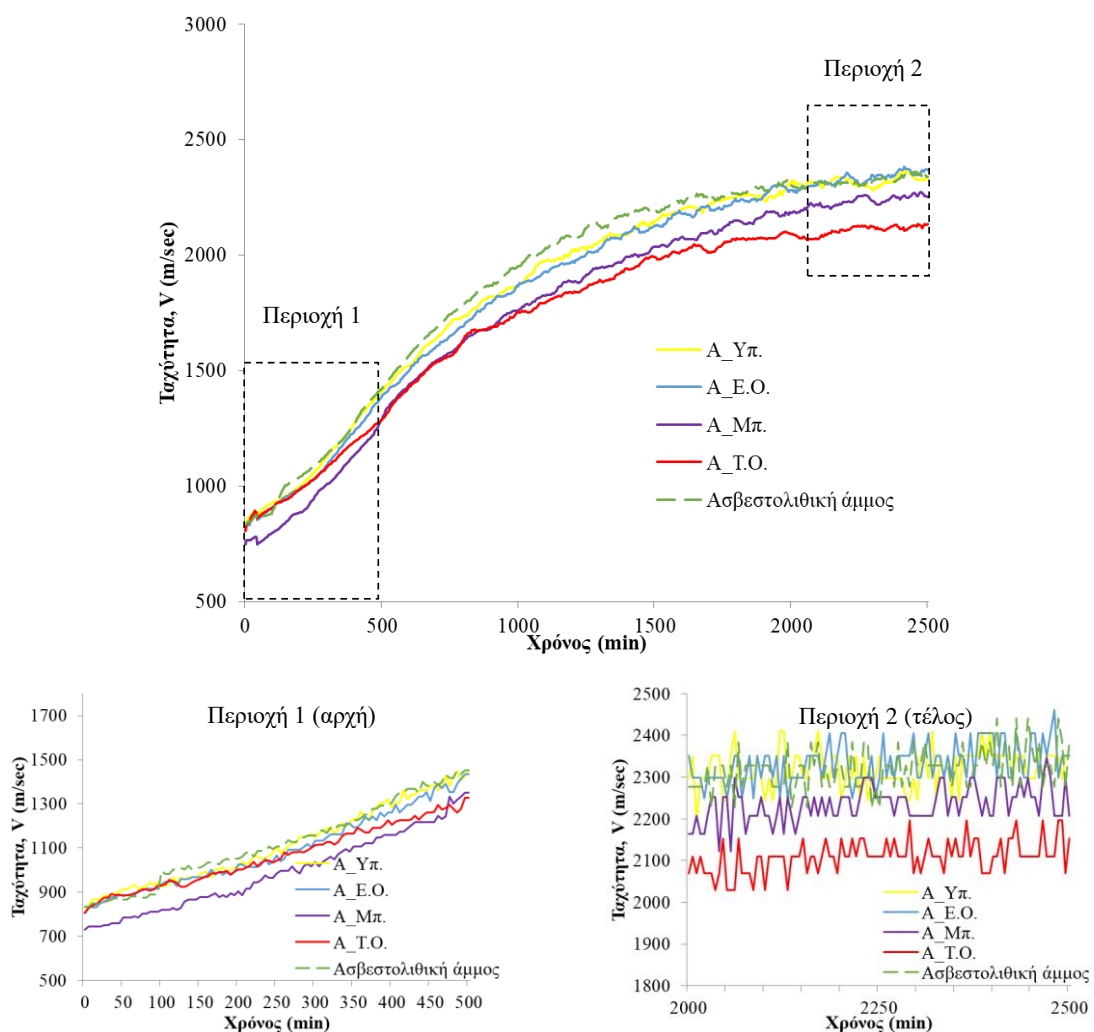
Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα μπορεί να αξιολογηθεί και ο ρυθμός πήξης κάθε κονιάματος. Όσο μεγαλύτερη η κλίση στο χρονικό διάστημα που σηματοδοτείται από το πρώτο σημείο μέγιστης καμπυλότητας μέχρι περίπου το σημείο όπου η ταχύτητα φτάνει τα 1500m/s, τόσο πιο γρήγορος είναι ο ρυθμός πήξης και τόσο πιο περιορισμένος είναι ο χρόνος εφαρμογής. Επομένως, το κονίαμα που περιέχει 100% πρότυπη άμμο παρουσιάζει τον ταχύτερο ρυθμό πήξης, ακολουθεί το κονίαμα που περιέχει 20% ανακυκλωμένη άμμο της ομάδας A_E.O., μετά το κονίαμα A_Μπ. και τέλος σημαντικά πιο αργή πήξη παρουσιάζει το κονίαμα A_T.O.

Η περιοχή 1 δείχνει τα πρώτα στάδια της δοκιμής και το σημείο έναρξης της πήξης για κάθε κονίαμα, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι το πρώτο σημείο μέγιστης καμπυλότητας. Φαίνεται πως για όλα τα κονιάματα η αρχή της πήξης συνέβη γύρω στα 180 λεπτά από την ανάμιξη. Το γεγονός ότι δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις από αυτόν τον χρόνο οφείλεται στο γεγονός ότι η πήξη είναι μία χημική διαδικασία κατά την οποία η κονία (στην προκειμένη περίπτωση το τσιμέντο) αντιδρά με το νερό και επομένως η έναρξη της, που γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την ανάμιξη, επηρεάζεται κυρίως από αυτόν τον παράγοντα. Η διάρκεια της πήξης εξακολουθεί να εξαρτάται από το είδος του τσιμέντου και την αναλογία νερού τσιμέντου σε μεγάλο βαθμό αλλά επηρεάζεται επίσης από τις συνθήκες, τη θερμοκρασία και το είδος των αδρανών. Και οι τρεις αυτοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τη διάρκεια πήξης λόγω του ότι οδηγούν στην απομάκρυνση ή κατακράτηση ποσότητας του νερού της σύνθεσης, επομένως σε επιτάχυνση ή επιβράδυνση της πήξης. Άρα, εφόσον το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το ίδιο για όλες τις συνθέσεις και οι αναλογίες μίξης υπολογίστηκαν σωστά, είναι λογικό η πήξη να ξεκινά την ίδια χρονική στιγμή για όλα τα κονιάματα.

4.5. Ανάλυση 5

Κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου (100%) και κονιαμάτων ασβεστολιθικής άμμου – ανακυκλωμένων αδρανών (80%-20%)

Στο πάνω διάγραμμα της εικόνας (Εικόνα 31) δίνονται τα διαγράμματα ταχύτητας υπερήχων – χρόνου για όλη τη διάρκεια της δοκιμής στην οποία υποβλήθηκαν τα κονιάματα που περιείχαν ασβεστολιθική άμμο. Κάτω αριστερά φαίνονται τα αποτελέσματα για τις πρώτες 8 ώρες του πειράματος και κάτω δεξιά για τις τελευταίες 8 ώρες.



Εικόνα 31: Αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχων για κονιάματα που περιέχουν ασβεστολιθική άμμο: για όλη τη διάρκεια της δοκιμής (πάνω), για το αρχικό (κάτω αριστερά) και το τελικό στάδιο (κάτω δεξιά)

Το συνολικό διάγραμμα δίνει πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα και την αντοχή των κονιαμάτων αλλά και για τον ρυθμό πήξης τους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων σημαίνει καλύτερη ποιότητα και μεγαλύτερη αντοχή, ενώ μεγαλύτερη κλίση του διαγράμματος ταχυτήτων στο χρονικό

διάστημα κατά το οποίο συντελείται η πήξη σημαίνει ταχύτερος ρυθμός πήξης (παράγραφος 2.4.3).

Άρα, από το διάγραμμα προκύπτει ότι καλύτερη ποιότητα και υψηλότερη αντοχή εμφανίζουν κατά φθίνουσα σειρά το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου, το κονίαμα A_Υπ., έπειτα το A_Ε.Ο., το A_Μπ. και τέλος το A_Τ.Ο. Όπως εξηγήθηκε την ενότητα 4.4, τα αποτελέσματα για το A_Υπ. δεν μπορούν να θεωρηθούν αξιόπιστα λόγω της παρουσίας ψηγμάτων οπλισμού που επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Όσον αφορά το A_Ε.Ο., η συγκέντρωση θραυσμάτων γυαλιού επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα και την αντοχή του κονιάματος λόγω της χαμηλής του αντοχής. Το A_Μπ. είναι χειρότερης ποιότητας και αντοχής λόγω της συγκέντρωσης κεραμικών που πέραν της έντονα ψαθυρής τους φύσης, απορροφούν ή κατακρατούν μέρος του νερού της σύνθεσης του κονιάματος λόγω του μεγάλου πορώδους που τα χαρακτηρίζει. Τέλος, το A_Τ.Ο. περιέχει μεγαλύτερη συγκέντρωση ακατάλληλων υλικών με αποτέλεσμα να δίνει χειρότερα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και από το διάγραμμα κάτω δεξιά όπου γίνεται εστίαση στα αποτελέσματα της τελευταίας φάσης του πειράματος. Στο στάδιο αυτό δεν συντελείται πλέον αλλαγή φάσης του μίγματος από ρευστό σε στερεό και επομένως οι ταχύτητες διάδοσης τείνουν να σταθεροποιηθούν.

Αναφορικά με το ρυθμό πήξης, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν πως γρηγορότερα έπηξε το κονίαμα που περιέχει 100% ασβεστολιθική άμμο, μετά το κονίαμα με 20% άμμο A_Ε.Ο., στη συνέχεια το κονίαμα A_Μπ. και τέλος το A_Τ.Ο.

Όσον αφορά το χρόνο αρχικής πήξης προσδιορίζεται, χωρίς μεγάλες αποκλίσεις, γύρω στα 180 λεπτά από την έναρξη των καταγραφών. Αυτό φαίνεται στην κάτω αριστερή εικόνα, όπου εστιάζει στα αποτελέσματα της αρχικής φάσης της δοκιμής. Όπως αναφέρθηκε και στην ενότητα 4.4, η αρχική πήξη συντελείται πολύ σύντομα μετά την ανάμιξη και εξαρτάται κυρίως από το είδος του τσιμέντου και την αναλογία νερού/κονίας. Για τη σύνθεση όλων των κονιαμάτων χρησιμοποιήθηκε το ίδιο τσιμέντο, επομένως είναι αναμενόμενο να παρατηρείται ο ίδιος χρόνος αρχικής πήξης για όλα τα κονιάματα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

5.1. Σύνοψη

Τα τελευταία χρόνια ανακύπτει όλο και πιο έντονα το πρόβλημα της υποβάθμισης του περιβάλλοντος λόγω της άκρατης εκμετάλλευσης της φύσης και των φυσικών πόρων στο βωμό των νέων τεχνολογικών εφαρμογών και την ανάπτυξη κάθε είδους παραγωγικού τομέα. Στο πλαίσιο αυτό γίνονται προσπάθειες για ενσωμάτωση νέων βιώσιμων πρακτικών σε κάθε κλάδο παραγωγής. Ο κατασκευαστικός τομέας ως ένας από τους μεγαλύτερους τομείς βιομηχανικής δραστηριότητας δεν αποτελεί εξαίρεση. Κάθε χρόνο χρησιμοποιείται ένα πολύ μεγάλο ποσό μη ανανεώσιμων πόρων για τη χρήση τους ως αδρανή και ταυτόχρονα παράγονται τεράστιες ποσότητες αποβλήτων λόγω εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων ρυπαίνοντας το περιβάλλον. Μία βιώσιμη λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η ανακύκλωση των οικοδομικών απορριμμάτων ώστε να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή στην παραγωγή σκυροδέματος.

Τα ανακυκλωμένα αδρανή είναι κατά βάση γωνιώδη, με τραχιές επιφάνειες, έχουν υψηλότερη ικανότητα απορρόφησης νερού (υδατοαπορροφητικότητα) και χαμηλότερο ειδικό βάρος σε σχέση με τα φυσικά αδρανή. Εκτενής έρευνα έχει ήδη πραγματοποιηθεί για την χρήση των χονδρόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών στην οικοδομική δραστηριότητα και σήμερα αξιοποιούνται όλο και περισσότερο.

Η παρούσα έρευνα πραγματεύεται τη χρήση του λεπτόκοκκου κλάσματος των ανακυκλωμένων αδρανών για την σύνθεση κονιαμάτων. Στόχος είναι η διερεύνηση των επιπτώσεων χρήσης τους στην ποιότητα, την αντοχή και τις λοιπές ιδιότητες των κονιαμάτων ώστε να αξιολογηθεί αν μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ποια έκταση. Ακόμη, οι εξεταζόμενες ομάδες ανακυκλωμένων αδρανών προήλθαν από κατεδάφιση του ίδιου κτιρίου αλλά από διαφορετικούς χώρους του. Ο σκοπός αυτού του διαχωρισμού ήταν να συγκριθούν μεταξύ τους ανακυκλωμένα αδρανή με διαφορετικές συγκεντρώσεις ακατάλληλων υλικών και να αξιολογηθεί το αντίκτυπο στις ιδιότητες του κονιάματος. Στα πλαίσια αυτής της εργασίας συντέθηκε ένα τσιμεντοκονίαμα, δύο κονιάματα με τη χρήση φυσικής άμμου (πρότυπης πυριτικής στη μία περίπτωση και θραυστής ασβεστολιθικής στην άλλη) και στη συνέχεια για κάθε ομάδα ανακυκλωμένων αδρανών δύο κονιάματα στα οποία αντικαταστάθηκε το 20% της εκάστοτε φυσικής άμμου. Ο τύπος του τσιμέντου παρέμεινε ίδιος σε όλες τις περιπτώσεις ώστε ο μόνος παράγοντας διαφοροποίησης να είναι το αδρανές. Αμέσως μετά τη σύνθεση τους τα κονιάματα υποβλήθηκαν σε δοκιμή υπερήχων. Πιο αναλυτικά η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω.

Από την διεθνή βιβλιογραφία είναι γνωστό πως το λεπτόκοκκο κλάσμα κρίνεται ακατάλληλο προς χρήση λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας σε ενυδατωμένη τσιμεντόπαστα ή/και γύψο. Επομένως, σε αυτήν την εργασία το λεπτόκοκκο κλάσμα που διερευνήθηκε ήταν προϊόν θραύσης των χονδρόκοκκων αδρανών ώστε να προκύψει υψηλότερης ποιότητας ανακυκλωμένη άμμος. Μετά τη θραύση ακολούθησε κοσκίνιση των αδρανών ώστε να απομονωθεί ένα μόνο κλάσμα. Παράλληλα κοσκίνίστηκαν και οι δύο τύποι φυσικών άμμων ώστε να συγκεντρωθεί το ίδιο κλάσμα. Χρησιμοποιήθηκε μόνο

μία συγκεκριμένη διάμετρος κόκκου ώστε να επιτευχθεί ομοιομορφία των κόκκων για να μην επηρεάσει το μέγεθος του κόκκου την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων.

Ακολούθησε ο προσδιορισμός βασικών ιδιοτήτων των ανακυκλωμένων αδρανών, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τη μελέτη σύνθεσης των κονιαμάτων. Αρχικά, για κάθε ομάδα έγινε επιλογή αντιπροσωπευτικού δείγματος με διπλό τετραμερισμό στο σωρό. Στη συνέχεια, έγινε προσδιορισμός του ποσοστού συμμετοχής κάθε υλικού στα ανακυκλωμένα αδρανή χειρωνακτικά με οπτικό διαχωρισμό. Προέκυψε ότι η ομάδα που προήλθε από την κατεδάφιση του υπογείου (A_Υπ.) είχε μεγαλύτερη συγκέντρωση ψηγημάτων οπλισμού, η ομάδα από τον ενδιάμεσο όροφο (A_Ε.Ο.) αρκετά θραύσματα γυαλιού, τα αδρανή από τον χώρο του μπάνιου (A_Μπ.) είχαν αυξημένη ποσότητα κεραμικών και τέλος τα προερχόμενα από τον τελευταίο όροφο (A_Τ.Ο.) μεγάλη συγκέντρωση ξυλείας αλλά και κεραμικών.

Στη συνέχεια προσδιορίστηκε το ειδικό βάρος και η υδατοαπορροφητικότητα των ανακυκλωμένων αδρανών, ιδιότητες απαραίτητες για τον υπολογισμό της μελέτης σύνθεσης κάθε κονιάματος. Η υδατοαπορροφητικότητα πρέπει να είναι γνωστή ώστε να υπολογιστεί το επιπλέον νερό που πρέπει να προστεθεί στο μίγμα και το ειδικό βάρος για να προσδιοριστεί η ποσότητα των ανακυκλωμένων αδρανών με βάση τον όγκο που θα καταλαμβάνουν στη σύνθεση.

Με βάση τις παραπάνω αρχές αλλά και το πρότυπο EN 196-1 υπολογίστηκαν και υλοποιήθηκαν οι συνθέσεις των κονιαμάτων. Αμέσως μετά την ανάμιξη το εκάστοτε κονίαμα διαστρώθηκε σε αυτοσχέδιο καλούπι, μονώθηκε κατάλληλα και τοποθετήθηκε στην πειραματική διάταξη της δοκιμής υπερήχων. Το πείραμα διήρκεσε περίπου 42 ώρες. Κατά τη διάρκεια αυτή καταγράφηκαν οι ταχύτητες διάδοσης των κυμάτων διατηρώντας τις συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος όσο το δυνατόν πιο σταθερές.

Το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν η καταγραφή της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων στο κονίαμα ως προς το χρόνο για όλη τη διάρκεια του πειράματος. Αφού συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα για όλα τα κονιάματα, συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

Αρχικά, συγκρίθηκε το κονίαμα της πρότυπης άμμου και το τσιμεντοκονίαμα. Παρατηρήθηκε αυξημένη ταχύτητα διάδοσης στο κονίαμα καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος, γεγονός που ήταν αναμενόμενο καθώς είναι γνωστό πως η ταχύτητα διάδοσης μέσω των αδρανών είναι μεγαλύτερη από αυτή της τσιμεντόπαστας.

Μετά, συγκρίθηκε το κονίαμα πρότυπης άμμου με το κονίαμα θραυστής ασβεστολιθικής. Και εδώ το κονίαμα της πρότυπης παρουσίασε υψηλότερες καταγραφόμενες ταχύτητες. Αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι είναι καλύτερης ποιότητας και υψηλότερης αντοχής από το κονίαμα ασβεστολιθικής άμμου. Το αποτέλεσμα οφείλεται στη φύση των κόκκων της ασβεστολιθικής άμμου καθώς προήλθαν από θραύση με αποτέλεσμα να έχουν γωνιώδεις και τραχιές επιφάνειες, ατέλειες και μικρορωγμές οδηγώντας σε κονίαμα

μικρής εργασιμότητας και χαμηλότερης αντοχής. Σχετικά με το ρυθμό πήξης, ταχύτερη ήταν η διαδικασία για το κονίαμα πρότυπης άμμου.

Τα ίδια συμπεράσματα επιβεβαίωσε και η επόμενη συγκριτική ανάλυση, όπου συγκρίθηκαν τα κονιάματα στα οποία χρησιμοποιήθηκε το ίδιο ανακυκλωμένο αδρανές σε ποσοστό 20% αλλά διαφορετικό φυσικό αδρανές σε ποσοστό 80%. Για κάθε μία από τις τέσσερις ομάδες ανακυκλωμένης άμμου το κονίαμα που περιείχε 80% πρότυπη άμμο ήταν καλύτερης ποιότητας και αντοχής από το αντίστοιχο για το οποίο χρησιμοποιήθηκε ασβεστολιθική. Ο ρυθμός πήξης ήταν ταχύτερος για τα κονιάματα πρότυπης άμμου σε σχέση με τα ασβεστολιθικά κονιάματα.

Η επόμενη ανάλυση αποσκοπούσε στην αξιολόγηση της χρήσης των ανακυκλωμένων αδρανών. Συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα για το κονίαμα με πρότυπη άμμο σε ποσοστό 100% με τα κονιάματα όπου χρησιμοποιήθηκε πρότυπη άμμος σε ποσοστό 80% και διαφορετικό ανακυκλωμένο αδρανές για το υπόλοιπο 20%. Τα καλύτερα αποτελέσματα είχε το κονίαμα όπου χρησιμοποιήθηκε εξ' ολοκλήρου φυσική άμμος. Ακολούθησε το κονίαμα που περιείχε αδρανή από το υπόγειο, μετά το κονίαμα με αδρανή από έναν ενδιάμεσο όροφο, ακολούθησε αυτό με την ανακυκλωμένη άμμο από το χώρο του μπάνιου και τέλος το δοκίμιο για το οποίο χρησιμοποιήθηκε άμμος από τον τελευταίο όροφο. Οι ταχύτητες για τα αδρανή από το υπόγειο ήταν πολύ υψηλές γεγονός που δεν αναμενόταν. Αυτό όμως οφείλεται στη συγκέντρωση ψηγμάτων οπλισμού που επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Άρα, τα αποτελέσματα της δοκιμής υπερήχων για κονιάματα που περιέχουν αδρανή από αυτήν την ομάδα θεωρήθηκαν αναξιόπιστα και δεν λήφθηκαν υπόψη. Ο ρυθμός πήξης των κονιαμάτων ήταν από τον ταχύτερο στον αργότερο αυτός του κονιαμάτος που περιείχε: A_Υπ., A_Ε.Ο., A_Μπ. και τέλος A_Τ.Ο. Επίσης, προσδιορίστηκε από το διάγραμμα ταχύτητας - χρόνου και το σημείο έναρξης της πήξης το οποίο ήταν γύρω στα 180 λεπτά από το τέλος της ανάμιξης για όλα τα κονιάματα. Άρα, το είδος του αδρανούς επηρέασε τη διάρκεια αλλά όχι και τον χρόνο έναρξης της πήξης.

Η τελευταία ανάλυση έγινε με τον ίδιο τρόπο με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι συγκρίθηκαν τα κονιάματα που περιείχαν ασβεστολιθική άμμος σε ποσοστό 100% και 80%. Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν όσα συμπεράσματα εξήχθησαν κατά την ανάλυση των κονιαμάτων πρότυπης άμμου. Η κατάταξη των κονιαμάτων ως προς την ποιότητα και την αντοχή αλλά και το ρυθμό πήξης ήταν η ίδια και για αυτήν την περίπτωση. Τέλος, ο χρόνος αρχικής πήξης προσδιορίστηκε και εδώ στα 180 λεπτά από το τέλος της ανάμιξης για όλα τα κονιάματα.

5.2. Συμπεράσματα

Βάσει της ανάλυσης των αποτελεσμάτων, τα σημαντικότερα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας συνοψίζονται στα ακόλουθα:

- Τα ανακυκλωμένα αδρανή χαρακτηρίζονται από μεγάλη υδατοαπορροφητικότητα και μικρότερο ειδικό βάρος σε σχέση με τα φυσικά αδρανή. Οι δύο αυτές ιδιότητες είναι καθοριστικής σημασίας για τον υπολογισμό της μελέτης σύνθεσης.
- Οι ταχύτητες διάδοσης των κυμάτων στα κονιάματα είναι υψηλότερες σε σχέση με τις ταχύτητες για την τσιμεντόπαστα. Αυτό συμβαίνει διότι η ταχύτητα διάδοσης υπερήχων στα πετρώματα που χρησιμοποιούνται ως αδρανή είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη στην τσιμεντόπαστα και επίσης, το κονίαμα ως στοιχείο με υψηλότερη αντοχή αναμένεται εξ' ορισμού να εμφανίζει υψηλότερες ταχύτητες.
- Τα κονιάματα που περιέχουν πρότυπη πυριτική άμμο είναι καλύτερης ποιότητας και υψηλότερης αντοχής από τα κονιάματα που περιέχουν θραυστή ασβεστολιθική άμμο, λόγω του γεγονότος ότι τα θραυστά ασβεστολιθικά αδρανή προέρχονται από θραύση που οδήγησε σε τραχιές και γωνιώδεις επιφάνειες κόκκων και σε μικρορωματώσεις και ατέλειες που υποβαθμίζουν την αντοχή τους.
- Η αντικατάσταση του 20% της συνολικής (φυσικής) άμμου με ανακυκλωμένη άμμο οδηγεί πάντα σε χαμηλότερης ποιότητας και αντοχής κονιάματα.
- Η ύπαρξη σπλισμού, ακόμη και ως ψήγματα, στα ανακυκλωμένα αδρανή έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των αποτελεσμάτων της δοκιμής των υπερήχων για δομικά στοιχεία που τα περιέχουν, επομένως τα αποτελέσματα αυτά κρίνονται αναξιόπιστα και δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη.
- Καλύτερη ποιότητα και υψηλότερη αντοχή μεταξύ των κονιαμάτων με 20% ανακυκλωμένη άμμο εμφανίζει το κονίαμα A_E.O. (συγκέντρωση γυαλιού), στη συνέχεια το A_Μπ. (υψηλή συγκέντρωση κεραμικών) και τέλος το A_T.O (συγκέντρωση ξυλείας και κεραμικών).
- Τον ταχύτερο ρυθμός πήξης παρουσιάζει το κονίαμα που περιέχει 100% πρότυπη άμμο συγκριτικά με το κονίαμα που περιέχει 100% ασβεστολιθική. Μεταξύ των κονιαμάτων για τα οποία χρησιμοποιήθηκε ανακυκλωμένη άμμος ταχύτερα πήζει το κονίαμα A_E.O. (συγκέντρωση γυαλιού), μετά το A_Μπ. (υψηλή συγκέντρωση κεραμικών) και τέλος το A_T.O. (συγκέντρωση ξυλείας και κεραμικών).
- Ο χρόνος αρχικής πήξης εξαρτάται από τον τύπο της κονίας, την αναλογία νερού/κονίας, της συνθήκες και τη θερμοκρασία. Όταν αυτοί οι παράγοντες διατηρούνται σταθεροί τότε δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των εξεταζόμενων κονιαμάτων. Από την άλλη μεριά, η διάρκεια της πήξης επηρεάζεται επιπλέον και από το είδος των αδρανών που χωρίς να παίρνουν μέρος στην αντίδραση επηρεάζουν λόγω σχήματος και πορώδους.

5.3. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα έρευνα επικεντρώθηκε στην διερεύνηση της χρήσης λεπτόκοκκων ανακυκλωμένων αδρανών στη σύνθεση κονιαμάτων, με απώτερο στόχο την κατανόηση της επίδρασής τους σε αυτά ώστε ενδεχομένως να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα ως οικοδομικά κονιάματα στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Με αφορμή τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από αυτήν την έρευνα προκύπτουν νέοι προβληματισμοί και δυνατότητες για περισσότερη έρευνα. Ενδεικτικά, σε επόμενα στάδια έρευνας προτείνονται τα ακόλουθα θέματα:

1. Κατασκευή πρισμάτων με βάση τις μελέτες σύνθεσης που προτάθηκαν σε αυτήν την έρευνα και υποβολή τους σε δοκιμή κάμψης και θλίψης για τον επακριβή προσδιορισμό των αντοχών τους.
2. Επικάλυψη των κόκκων ανακυκλωμένων αδρανών με τσιμεντόπαστα ώστε να αυξηθεί η αντοχή τους, και χρήση τους στη σύνθεση κονιαμάτων τα οποία θα υποβληθούν σε δοκιμή υπερήχων και δοκιμή κάμψης.
3. Κατασκευή δοκιμίων σκυροδέματος με αντικατάσταση ποσοστού του λεπτόκοκκου αδρανούς και έλεγχος σε κάμψη και θλίψη ώστε να αξιολογηθεί η επίπτωση χρήσης τους σε τέτοιες εφαρμογές.

Ολοκληρώνοντας, θα ήταν καλό να αναφερθεί ότι η χρήση των ανακυκλωμένων αδρανών στην οικοδομική δραστηριότητα θα πρέπει να διευρυνθεί, τόσο λόγω περιβαλλοντικής απόψεως αλλά και καθώς η συνεχής έρευνα που διεξάγεται έχει αποδείξει ότι μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά σε πληθώρα εφαρμογών.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αναστασοπούλου , Μ., Βασιλείου, Β., Καραλής, Κ., & Παπανικολόπουλος , Π. (2012). Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
2. Δίγκα, Α. (2012). Αξιολόγηση της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την κατασκευή του φράγματος των ποταμών Πείρου-Παραπεύρου στο Νομό Αχαΐας και εκτίμηση της εφαρμογής των περιβαλλοντικών όρων από τη μελέτη των επιπτώσεων του έργου στο περιβάλλον. *Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών «Οικολογία-διαχείριση και προστασία φυσικού περιβάλλοντος»*. Πάτρα: Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Βιολογίας, Τομέας Βιολογίας Φυτών.
3. Παπαδόπουλος, Π. (2009). Αειφορία στην Κατασκευή και Σκυροδέμα. *16ο Συνέδριο Σκυροδέματος*. Πάφος, Κύπρος: ΤΕΕ - ΕΤΕΚ.
4. Δημούδη, Α. (2006). *Οικολογικά Δομικά Υλικά*. Ξάνθη: Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Περιβαλλοντικού και Ανθρωπογενωστικού Σχεδιασμού.
5. Μπίσκα, Α. Γ., & Οικονόμου, Ν. (2006, Οκτωβρίου 25-27). Ανάπτυξη πρότυπου λογισμικού συστήματος περιβαλλοντικής διαχείρισης στον τομέα παραγωγής ετοιμού σκυροδέματος. *15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ*.
6. Γεωργιάς, Γ. (2011). *Ετήσια στατιστικά στοιχεία μεταλλείων – λατομείων*. Αθήνα: Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Γενική Γραμματεία Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Γενική Διεύθυνση Φυσικού Πλούτου, Διεύθυνση Πολιτικής Ορυκτών Πρώτων υλών.
7. Σάββα, Α. Ε. (2010). *Σκυροδέματα με ανακυκλωμένα αδρανή: Επίδραση της ομοιογένειας του σκυροδέματος προέλευσης*. Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, τεύχος 2.
8. Οικονόμου, Ν., & Τσώχος , Γ. (2003). Ανακυκλωμένο σκυροδέμα. Συνέδριο σκυροδέματος (14ο: Κως) / ΤΕΕ-ΕΤ Σκυροδέματος, ΕΤΕΚ τ. Γ'.
9. Zega, C. J., & Di Maio, A. A. (2011, November). Use of Recycled Fine Aggregate in Concretes With Durable Requirements. *Waste Management*, 31(11), σσ. 2336-2340.
10. The Cement Sustainability Initiative. (2009). Recycling Concrete. World Business Council for Sustainable Development.
11. European Commission. (2007). End of Waste - Aggregates Case Study. Directorate - General, Joint Research Centre.
12. Watkins, E., Hogg, D., Mitsios, A., Mudgal, S., Neubauer, A., Reisinger, H., και συν. (2012). Use of Economic Instruments and Waste Management Performances. European Commission (DG ENV).
13. López - Gayarre, F., López - Colina, C., Serrano - López, M. A., García - Taengua, E., & López - Martínez, A. (2011). Assessment of properties of recycled concrete by means of a highly fractioned factorial design of experiment. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3802-3809.

14. Symonds group Ltd., in association with ARGUS, COWI and PRC Bouwcentrum. (1999). Construction and Demolition Waste Management Practices, and Their Economic Impacts. Report to DGXI. European Commission.
15. Γαρδέλης , Γ. (2011). Διαχείριση Οικοδομικών Αποβλήτων. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, Τμήμα Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας.
16. *European Commision*. (n.d.). Ανάκτηση July 24, 2020, από Environment: https://ec.europa.eu/environment/waste/construction_demolition.htm
17. Οικονόμου, Ν. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*.
18. Bio Intelligence Service. (2011). SERVICE CONTRACT ON MANAGEMENT OF CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE – SR1: Final Report Task 2. European Commission.
19. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (n.d.). Ανάκτηση από ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ / ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ / ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ: <http://www.ypeka.gr/el-gr/Περιβάλλον/Διαχείριση-Αποβλήτων/Νομοθεσία>
20. Παπαγιάννης, Π. (2015). Μέθοδοι διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων και εντοπισμός τους στον Ευρωπαϊκό Χώρο. Θεσσαλονίκη: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης.
21. *Εναλλακτική Διαχείριση /Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ)*. (n.d.). Ανάκτηση 3 2020, από Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης: <https://www.eoan.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7/%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD-%CE%BA%CE>
22. Εφραιμίδης , Χ. Ι. (2008, Μαΐου 21-23). Παραγωγή αδρανών υλικών από ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων.
23. Ελληνικός Οργανισμός Ανακύκλωσης. (2014). *Ετήσια Έκθεση Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης 2013*.
24. Τσουμάνη, Α. (2017). *Διδακτορική διατριβή: Μεθοδολογία για βέλτιστη χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος από κτίρια στον ελλαδικό χώρο με στόχο την αειφορία*. Ιωάννινα: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών.
25. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2011). *Σκυρόδεμα, μικροδομή, ιδιότητες και υλικά* (Τρίτη Αμερικάνικη Έκδοση εκδ.). Κλειδάριθμος.
26. Ryu, J. S. (2002). Improvement on strength and impermeability of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE LETTERS, 21, 1565 – 1567.

27. Tam, V. W., & Tam, C. M. (2007, May). Assessment of durability of recycled aggregate concrete produced by two-stage mixing approach. *Journal of Material Science*.
28. Sanchez de Juan, M., & Gutierrez, P. A. (2009). Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23, 872-877.
29. Katz, A. (2003). Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 703-711.
30. Anderson, K. W., Uhlmeier, J. S., & Russell, M. (2009). Use of Recycled Concrete Aggregate in PCCP: Literature Search. Washington State Department of Transportation.
31. Βαρδάκα, Γ. (2013). *Διαπερατό Σκυρόδεμα: Ανάπτυξη, σχεδιασμός, μελέτη ιδιοτήτων και περιβαλλοντικά οφέλη*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας Χημικών Επιστημών, Εργαστήριο Ανόργανης και Αναλυτικής Χημείας.
32. Chiu, K. M. (2006). The use of recycled concrete aggregate in structural concrete around south east Queensland. University of Southern Queensland, Faculty of Engineering and Surveying.
33. Παπαγιάννη, Ι., Οικονόμου, Ν., & Στεφανίδου, Μ. (n.d.). *Δομικά Υλικά Ι - Ενότητα 3: Κονίες - κονιάματα*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
34. Μοροπούλου, Α. (2004). *Δομικά Υλικά (κονίες, ιστορικά κονιάματα)*. ΕΜΠ (open courses).
35. ΤΕΕ. (n.d.). *Ι. Κονιάματα*. Ανάκτηση Νοέμβριος 20, 2020, από ΤΕΕ portal: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_KONIAMATA/ko1.htm
36. Soroka, I. (1979). *Portland Cement Paste and Concrete*. London: Palgrave.
37. Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., & Xu, W. (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Construction and Building Materials*, 81, σσ. 179-186.
38. Neno, C., De Brito, J., & Veiga, R. (2014). Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production. *Materials Research*, 17(1), σσ. 168-177.
39. Σπανός, Χ., Σπιθάκης, Μ., & Τρέζος, Κ. (2002). *ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, Πρακτικά - Διδακτικά Εγχειρίδια: Μέθοδοι για την επί τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών*. Αθήνα : Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
40. Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (2003). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete* (Second εκδ.). (C. Press, Επιμ.)
41. Mpalaskas, A. C., Thanasia, O. V., Matikas, T. E., & Aggelis, D. G. (2014, January 15). Mechanical and fracture behavior of cement-based materials characterized by combined elastic wave approaches. *Construction and Building Materials*, 50, σσ. 614-656.

42. Lawson, I., Danso, K. A., Odoi, H. C., Adjei, C. A., Quashie, F. K., Mumuni, I. I., και συν. (2011). Non-Destructive Evaluation of Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 3(6), σσ. 499-504.
43. Reinhardt, H. W., & Grosse, C. U. (2004). Continuous monitoring of setting and hardening of mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, 18, σσ. 145-154.
44. EN 196-1:2005. (n.d.). *Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength*. European Committee for Standardization.
45. Μπεάζη - Κατσιώτη , Μ. (2008). Αδρανή Σκυροδέματος, Τυποποίηση, Μύθος & Πραγματικότητα. *Ημερίδα «Σχεδιασμός & Κατασκευή»*. Τρίπολη.
46. Ρούτουλας, Α. (2012). *Έλεγχος Ποιότητας και Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλικών*. ΤΕΙ Πειραιά, Γενικό Τμήμα Φυσικής, Χημείας και Τεχνολογίας Υλικών, Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας και Τεχνολογίας Δομήσιμων Υλικών.
47. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. (2008). *Σημειώσεις Εργαστηριακού Μαθήματος: «Εργαστήριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος»*. Ιωάννινα: Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών.