



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ  
ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ  
ΑΔΑΜΙΔΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Πολιτικού Μηχανικού

**ΒΟΛΟΣ 2022**

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Χρήστος Παπακωνσταντίνου  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής (Συνεπιβλέπων) Δρ. Λάμπρος Κούτας  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Γουργιώτης Πάνος  
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο  
Θεσσαλίας

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους επιβλέποντες της διπλωματικής εργασίας μου, κ. Παπακωνσταντίνου Χρήστο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και κ. Κούτα Λάμπρο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, για την υποστήριξη και καθοδήγηση μου κατά την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμα, οφείλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές μου στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για τις γνώσεις και το ενδιαφέρον που μου καλλιέργησαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μου που με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν όταν χρειάστηκε ενώ δημιούργησαν πολλές φορές αρένες σκέψης και συζήτησης όπου βεβαιωνόταν η κατανόηση μας για την επιστήμη που διαλέξαμε να υπηρετήσουμε

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου. Την αγαπημένη σύζυγο μου Σοφία Μαβίδου που αρχικά με ώθησε να συνεχίσω και αρχίσω τις σπουδές μου και έπειτα συνέβαλε τα μέγιστα να τις ολοκληρώσω με επιτυχία. Μαζί της, και οι αγαπημένες κόρες μου, Ζωή και Χαρά που με ενθαρρύνουν και υποστηρίζουν, όσο μπορούσε η καθεμία, κάθε μέρα κατά τη διάρκεια αυτού του ταξιδιού, και χωρίς αυτές τίποτα δεν θα ήταν ίδιο.

# ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΑΠΟ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ

Αδαμίδης Βασίλειος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών 2022

Επιβλέποντες καθηγητές:

Δρ. Χρήστος Παπακωνσταντίνου, Αναπληρωτής Καθηγητής

Δρ. Λάμπρος Κούτας, Επίκουρος Καθηγητής

## Περίληψη

Κάποιες από τις σύγχρονες προκλήσεις του κατασκευαστικού κλάδου είναι η διαχείριση των πρωτογενών υλικών του που εξαντλούνται αλλά και των απορριμμάτων του, των Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ), τα οποία αποτελούν μεγάλο ποσοστό του συνόλου των στερεών βιομηχανικών αποβλήτων. Μια δυνατή λύση για τα δύο παραπάνω προβλήματα είναι η ανακύκλωση των απορριμμάτων αυτών για την παραγωγή ανακυκλωμένων αδρανών, κατάλληλων για παραγωγή σκυροδέματος. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η παρουσίαση των δεδομένων που ισχύουν διεθνώς για το σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή και η διερεύνηση της εφαρμογής του στην Ελλάδα. Η εργασία αυτή αποτελεί μια αναλυτική ανασκόπηση διεθνών Κανονισμών σκυροδέματος και μελετών που αφορούν το σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή. Παρουσιάζονται απαιτήσεις και περιορισμοί για τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών σε σκυρόδεμα όπως ισχύουν σε διάφορες χώρες ενώ τέλος παρουσιάζεται η επίδραση των διάφορων χαρακτηριστικών των ανακυκλωμένων αδρανών στη ποιότητα και αντοχή του σκυροδέματος μέσα από την ανασκόπηση σύγχρονων μελετών.

**Λέξεις Κλειδιά:** ΑΕΚΚ, ανακύκλωση ΑΕΚΚ, ανακυκλωμένα αδρανή, σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή,

# CONCRETE WITH RECYCLED AGGREGATES FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE

Adamides Vasilios

University of Thessaly, Department of Civil Engineering, 2022

Supervisors:

Dr. Christos Papakonstantinou, Associate Professor

Dr. Lampros Koutas Assistant Professor

## Abstract

Some of the modern challenges of the construction industry are the management of its depleting raw materials and also of its sewage, Construction, Demolition and Excavation Wastes (CDEW), which possess a large percentage of total solid industrial waste. A possible solution to the above two problems, is the recycling of CDEW targeting to production of recycled aggregates, suitable for production of concrete. The aim of this paper is presenting international facts that apply to concrete with recycled aggregates as also to investigate its application in Greece. This work is a detailed review of international Concrete Regulations and studies, related to recycled aggregate concrete. It presents requirements and restrictions for the use of recycled aggregates in concrete as they are defined in different countries and finally the effect of various characteristics of recycled aggregates on the quality and durability of recycled aggregates concrete through the review of modern studies.

**Keywords:** *CDEW, CEW recycling, recycled aggregates, recycled aggregates concrete.*

## Πίνακας περιεχομένων

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Κεφάλαιο 1 | Εισαγωγή.....  | 1  |
| Κεφάλαιο 2 | Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων .....                 | 2  |
| 2.1        | Ορισμός .....  | 2  |
| 2.2        | Προέλευση ΑΕΚΚ.....  | 2  |
| 2.2.1      | ΑΕΚΚ από ολική ή μερική κατεδάφιση δομικών κατασκευών.....           | 2  |
| 2.2.2      | ΑΕΚΚ από κατασκευές.....   | 3  |
| 2.2.3      | ΑΕΚΚ από εκσκαφές .....  | 3  |
| 2.2.4      | ΑΕΚΚ από εργασίες οδοποιίας.....                                     | 3  |
| 2.3        | Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΕΚΚ.....                         | 4  |
| 2.3.1      | Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης .....                   | 5  |
| 2.3.2      | Μέλη ΣΣΕΔ και οι υποχρεώσεις τους .....                              | 6  |
| 2.3.3      | Ποσοτικοί στόχοι διαχείρισης ΑΕΚΚ.....                               | 8  |
| 2.4        | Ποσότητες παραγόμενων ΑΕΚΚ – περιβαλλοντική ανησυχία .....           | 9  |
| 2.4.1      | Διεθνής παραγωγή ΑΕΚΚ .....  | 9  |
| 2.4.2      | Η παραγωγή ΑΕΚΚ στην Ελλάδα .....                                    | 10 |
| 2.5        | Κύκλος ζωής – Διαχείριση των ΑΕΚΚ.....                               | 11 |
| 2.6        | Σημαντικότητα Εναλλακτικής Διαχείρισης και αειφόρες κατασκευές ..... | 15 |
| 2.7        | Σύνοψη Κεφαλαίου .....   | 16 |
| Κεφάλαιο 3 | Νομοθεσία για χρήση ΑΑ σε σκυρόδεμα.....                             | 17 |
| 3.1        | Σκυρόδεμα.....   | 18 |
| 3.1.1      | Νερό .....   | 18 |
| 3.1.2      | Τσιμέντο .....   | 18 |
| 3.1.3      | Αδρανή .....   | 19 |
| 3.1.4      | Κατηγορίες σκυροδέματος.....   | 21 |
| 3.2        | Πιστοποίηση και χαρακτηριστικά αδρανών .....                         | 22 |
| 3.2.1      | Γεωμετρικές ιδιότητες αδρανών.....                                   | 23 |
| 3.2.2      | Φυσικές ιδιότητες αδρανών .....                                      | 27 |
| 3.2.3      | Χημικές ιδιότητες αδρανών .....                                      | 31 |
| 3.2.4      | Περιεχόμενα αδρανών - υλικά εντός του μίγματος.....                  | 31 |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| <b>3.3</b>          | <b>Κανονισμοί και πρότυπα σκυροδέματος με χρήση ΑΑ .....</b>           | <b>32</b> |
| 3.3.1               | Αμερική .....  | 33        |
| 3.3.2               | Ασία .....   | 34        |
| 3.3.3               | Ευρώπη .....   | 37        |
| <b>3.4</b>          | <b>Σχολιασμός .....</b>  | <b>45</b> |
| <b>Κεφάλαιο 4</b>   | <b>Εφαρμογή ΑΑ στο σκυρόδεμα .....</b>                                 | <b>46</b> |
| <b>4.1</b>          | <b>Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή.....</b>                           | <b>46</b> |
| 4.1.1               | Αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών .....                               | 46        |
| 4.1.2               | Αντικατάσταση λεπτόκοκκων αδρανών.....                                 | 47        |
| 4.1.3               | Επίδραση της ομοιογένειας των ΑΑ .....                                 | 48        |
| 4.1.4               | Αντικατάσταση λεπτόκοκκων με ΑΑ από κεραμικά και σκυρόδεμα .....       | 49        |
| 4.1.5               | Αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα..... | 49        |
| 4.1.6               | Χρήση πυριτικής παιπάλης μαζί με ΑΑ .....                              | 50        |
| 4.1.7               | Χρήση ιπτάμενης τέφρας μαζί με ΑΑ.....                                 | 50        |
| 4.1.8               | Βελτίωση χαρακτηριστικών των ΑΑ.....                                   | 51        |
| 4.1.9               | Σύνοψη .....   | 53        |
| <b>4.2</b>          | <b>Δομικά στοιχεία σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή.....</b>        | <b>54</b> |
| 4.2.1               | Πλάκες ανακυκλωμένου σκυροδέματος.....                                 | 55        |
| 4.2.2               | Δοκοί ανακυκλωμένου σκυροδέματος .....                                 | 59        |
| 4.2.3               | Υποστυλώματα και πλαίσια ανακυκλωμένου σκυροδέματος.....               | 63        |
| <b>4.3</b>          | <b>Σύνοψη .....</b>  | <b>70</b> |
| <b>Κεφάλαιο 5</b>   | <b>Σύνοψη και συμπεράσματα .....</b>                                   | <b>72</b> |
| <b>Βιβλιογραφία</b> | <b>.....</b>   | <b>75</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b>  | <b>.....</b>   | <b>85</b> |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b>  | <b>.....</b>   | <b>88</b> |



## Κατάλογος Πινάκων

|  |    |
|--|----|
| Πίνακας 3.1: Κατηγορίες σκυροδέματος βάσει θλιπτικής αντοχής .....   | 22 |
| Πίνακας 3.2: Ισχύοντα Πρότυπα στην Ελλάδα για τον χαρακτηρισμό Αδρανών και παράλληλα πιστοποίηση CE .....              | 23 |
| Πίνακας 3.3: Μέγεθος αδρανών σύμφωνα με το EN12620 .....   | 24 |
| Πίνακας 3.4: Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό παιπάλης .....   | 25 |
| Πίνακας 3.5: Κωδικοποίηση ποσοστού παιπάλης ανά κλάσμα αδρανών .....   | 26 |
| Πίνακας 3.6: Κωδικοποίηση δεικτών πλακοειδούς και σχήματος κατά EN12620 .....  | 27 |
| Πίνακας 3.7: Κωδικοποίηση δείκτη δοκιμής υγείας Los Angeles .....  | 28 |
| Πίνακας 3.8 Δείκτης απώλειας μάζας σε κύκλους ψύξης απόψυξης .....   | 29 |
| Πίνακας 3.9: : Δείκτης απώλειας μάζας σε δοκιμή αποσάθρωσης με MgSO <sub>4</sub> .....                                 | 29 |
| Πίνακας 3.10: Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης σύμφωνα με τον ΕΚ 2 .....   | 30 |
| Πίνακας 3.11: 11 Όρια για διάφορες ιδιότητες και περιεχόμενα σύμφωνα με το AASHTO MP16 .....                           | 33 |
| Πίνακας 3.12: Μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά ξένων και επιβλαβών υλικών κατά ACI 555 .....                               | 33 |
| Πίνακας 3.13: Φυσικά χαρακτηριστικά όπως απαιτούνται για τα ΑΑ κλάσης Η, όπου Coarse & Fine.....                       | 35 |
| Πίνακας 3.14: Άνω όρια περιεχόμενου % κ.β. σε ξένα και επικίνδυνα υλικά των ΑΑ κλάσης Η .....                          | 35 |
| Πίνακας 3.15: Απαιτούμενες φυσικές και χημικές ιδιότητες κατά το GB/T25177 .....                                       | 35 |
| Πίνακας 3.16: Απαιτούμενα και μέγιστα χαρακτηριστικά ΑΑ κατά το WBTC No. 12/2002 ..                                    | 36 |
| Πίνακας 3.17: Απαιτήσεις για τα ΑΑ σύμφωνα με το KS F2527, όπου C:coarse & F:fine .....                                | 36 |
| Πίνακας 3.18: Όρια περιεκτικότητας ξένων υλικών για τις κατηγορίες ΑΑ του RILEM TC-121 .....                           | 38 |
| Πίνακας 3.19: Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ΑΑ ανά κατηγορία κατά το RILEM TC-121 ....                                 | 38 |
| Πίνακας 3.20: Κατηγορίες ΑΑ βάσει σύστασης Ευρωπαϊκών Κανονισμών και Προτύπων σκυροδέματος .....                       | 43 |
| Πίνακας 3.21: Ποιοτικές απαιτήσεις και ιδιότητες για τα ΑΑ βάσει Ευρωπαϊκών Κανονισμών και Προτύπων σκυροδέματος ..... | 44 |

## Κατάλογος Σχημάτων

|   |    |
|---|----|
| Σχήμα 2.1: Κατηγορίες υλικών που συναντώνται στα ΑΕΚΚ και η συμμετοχή τους (% κ.β)...   | 4  |
| Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ρόλων και υποχρεώσεις εντός ΣΣΕΔ.....  | 5  |
| Σχήμα 2.3: Ιεραρχία ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ.....  | 7  |
| Σχήμα 2.4: Κύκλος ζωής των οικοδομικών υλικών.....  | 11 |
| Σχήμα 2.5: Βήματα επεξεργασίας ΑΕΚΚ σε Μονάδα Επεξεργασίας σε διάγραμμα Ροής .....  | 13 |
| Σχήμα 2.6: Μορφή και λειτουργίες αυτοφερόμενης μονάδας επεξεργασίας ΑΕΚΚ [6].....   | 13 |
| Σχήμα 2.7: Όψη μόνιμης μονάδας επεξεργασίας ΑΕΚΚ - μονάδα ανακύκλωσης αδρανών Β. Ελλάδας .....  | 14 |
| Σχήμα 3.1: Παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης όπως δίνεται από τον ΚΤΣ 2016 .....  | 25 |
| Σχήμα 3.2: Απόσπασμα πίνακα απαιτήσεων και ελάχιστης αντοχής σκυροδέματος για τις 4 κατηγορίες ενανθράκωσης σκυροδέματος σύμφωνα με το EN206..... | 30 |
| Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση κατηγοριών έκθεσης σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΕΚ 2 .....   | 30 |
| Σχήμα 4.1: Προέλευση ΑΑ, αριστερά κυβικά δοκίμια και δεξιά θραύση υποστυλωμάτων..   | 47 |
| Σχήμα 4.2: Διαδικασία "Αυτογενούς Καθαρισμού" .....   | 52 |
| Σχήμα 4.3: Γεωμετρία δοκιμαστικών πλακών και πειραματικής διαδικασίας .....   | 56 |
| Σχήμα 4.4: Γεωμετρία δοκιμίων και πειραματική διάταξη .....   | 57 |
| Σχήμα 4.5: Γεωμετρία και πειραματική διάταξη πλακών .....   | 58 |
| Σχήμα 4.6: Τομή δοκιμίων πλακών .....   | 58 |
| Σχήμα 4.7: Γεωμετρία και οπλισμός φορέων, δοκών, δοκιμής.....   | 59 |
| Σχήμα 4.8: Γεωμετρία και οπλισμός πειραματικών δοκών.....   | 60 |
| Σχήμα 4.9: Σχηματισμός ρωγμών κατά τη φόρτιση και τελική μορφή μετά την αστοχία .....   | 60 |
| Σχήμα 4.10: Γεωμετρία δοκών για δοκιμή σε διάτμηση .....  | 61 |
| Σχήμα 4.11: Γεωμετρία δοκιμίων πειραματικής διάταξης.....   | 62 |
| Σχήμα 4.12: Ρηγματώσεις κατά τη διαρκή φόρτιση των δοκών όπου C η δοκός αναφοράς, RL με τα χονδρόκοκκα ΑΑ και RH με τα λεπτόκοκκα.....            | 62 |
| Σχήμα 4.13: Γεωμετρία και οπλισμοί δοκιμίων υποστυλωμάτων .....   | 63 |
| Σχήμα 4.14: Ρηγματώσεις έπειτα από θλιτική φόρτιση δοκιμίων.....  | 64 |
| Σχήμα 4.15: Γεωμετρία δοκιμίων σύμμικτου υποστυλώματος.....   | 65 |
| Σχήμα 4.16: Διάταξη δοκιμής των υποστυλωμάτων .....   | 65 |
| Σχήμα 4.17: Γεωμετρία και οπλισμοί διώροφου πλαισίου πειράματος.....  | 66 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Σχήμα 4.18:</b> Όψη διώροφου πλαισίου με σκυρόδεμα από ΑΑ.....                           | 67 |
| <b>Σχήμα 4.19:</b> Βυθίσεις δοκών ανά όροφο και μίγμα σκυροδέματος .....                    | 68 |
| <b>Σχήμα 4.20:</b> Βυθίσεις πλακών ανά όροφο και μίγμα σκυροδέματος .....                   | 68 |
| <b>Σχήμα 4.21:</b> Γεωμετρία και οπλισμοί του πειραματικού φορέα.....                       | 69 |
| <b>Σχήμα 4.22:</b> Σχηματική αναπαράσταση φόρτισης, προσομοίωσης νεκρών βαρών .....         | 69 |
| <b>Σχήμα 4.23:</b> Κύκλοι υστέρησης των τεσσάρων πλαισίων για κάθε μίγμα σκυροδέματος ..... | 70 |

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Οι κατασκευές είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την εξέλιξη του ανθρώπινου πολιτισμού αφού εδώ και για περισσότερους από 30 αιώνες, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν τα υλικά της φύσης για να καλύψουν ανάγκες επιβίωσης, λατρείας κ.ά. Η ραγδαία ανάπτυξη του παγκόσμιου πληθυσμού και πλούτου τους τελευταίους δύο αιώνες, έχει οδηγήσει στην αντίστοιχη ανάπτυξη των κατασκευών. Πλέον όμως υπάρχει ανάγκη ανοικοδόμησης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται τεράστιες ανάγκες πρωτογενών υλικών, αλλά παράλληλα και τεράστιοι όγκοι απορριμμάτων από τις εκσκαφές, τις κατεδαφίσεις αλλά και την ίδια την κατασκευή. Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η περιγραφή της διαδικασίας ανακύκλωσης των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) με στόχο την παραγωγή ανακυκλωμένων αδρανών (ΑΑ) κατάλληλων για παραγωγή σκυροδέματος.

Η εργασία διαρθρώνεται σε τρεις ενότητες και μια σύνοψη μέσα από τα Κεφάλαια 2 έως 5.

Στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται τα ΑΕΚΚ ως ένα σαφώς ορισμένο ρεύμα στερεών αποβλήτων. Αναπτύσσεται η ελληνική νομοθεσία που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε ευρωπαϊκές οδηγίες ενώ στη συνέχεια, μέσω του κύκλου ζωής των ΑΕΚΚ, παρουσιάζεται η διαδικασία με την οποία τα ΑΕΚΚ διαχωρίζονται σε διάφορα άμεσα ανακυκλώσιμα υλικά και οικοδομικά υλικά τα οποία μπορούν να γίνουν αδρανή.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται εθνικοί τεχνικοί κανονισμοί και νόμοι που περιλαμβάνουν τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στην παραγωγή σκυροδέματος με ανάπτυξη τόσο των ποιοτικών όσο και των ποσοτικών απαιτήσεων που αυτοί ορίζουν ενώ τέλος παρουσιάζονται οι απαιτήσεις που ορίζει ο ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος για τα αδρανή, σε σύγκριση με τους υπόλοιπους ευρωπαϊκούς.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο πραγματοποιείται βιβλιογραφική ανασκόπηση πειραματικών μελετών που αφορούν την επίδραση της χρήσης των ανακυκλωμένων αδρανών στις ιδιότητες του σκυροδέματος καθώς και την επίδραση του σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή στη λειτουργία δομικών στοιχείων που συναντώνται σε μια κατασκευή.

Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται σύνοψη όλων των δεδομένων και παρουσίαση των βασικών συμπερασμάτων της παρούσας εργασίας.

## Κεφάλαιο 2 Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων

### 2.1 Ορισμός

Κάθε κατασκευαστική ή επισκευαστική εργασία, έργου δημοσίας ή ιδιωτικής χρήσης, παράγει απορρίμματα. Από τη προετοιμασία του εδάφους όταν πραγματοποιούνται συνήθως εκσκαφές ή άλλη διαρρύθμιση του, παράγονται όγκοι μη χρήσιμης γης. Έπειτα στο στάδιο της κατασκευής όπου παράγονται απορρίμματα οικοδομικών υλικών και υλικών συσκευασίας όπως αντίστοιχα και στις επισκευές. Τέλος, μεγάλους όγκους ανάμεικτων οικοδομικών απορριμμάτων παράγουν και οι κατεδαφίσεις, που πλέον πραγματοποιούνται όλο και πολύ συχνά παγκοσμίως [1],[2].

Για τα είδη εργασιών που αναφέρθηκαν παραπάνω, εκσκαφές – κατασκευές – κατεδαφίσεις, τα απορρίμματα που παράγουν χαρακτηρίζονται κοινώς “μπάζα” ενώ ο επίσημος χαρακτηρισμός τους είναι Απόβλητα Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων και αποτελούν μια σαφή, βάσει προέλευσης, κατηγορία στερεών αποβλήτων. Για τα ΑΕΚΚ επιβάλλεται «προτεραιότητα διαχείρισης» [3], διότι αποτελούν ένα πολύπλευρο πρόβλημα, το οποίο επηρεάζει τόσο το περιβάλλον όσο και την οικονομία [4], όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια. Μέσα από τις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζεται η προέλευση των ΑΕΚΚ, η κείμενη νομοθεσία που αφορά τη διαχείριση τους ως ειδική κατηγορία αποβλήτων, ποσοτικά δεδομένα για τη παραγωγή ΑΕΚΚ, ο κύκλος ζωής των υλικών που περιλαμβάνονται στα ΑΕΚΚ και μπορούν να μετατραπούν σε αδρανή και τέλος δυνατοί και επιθυμητοί τρόποι χρησιμοποίησης των ΑΑ σύμφωνα με τα ελληνικά δεδομένα.

### 2.2 Προέλευση ΑΕΚΚ

Από τον ορισμό τους, τα ΑΕΚΚ είναι στερεά απόβλητα και μπορεί να περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα υλικών. Μια αρχική κατηγοριοποίηση των ΑΕΚΚ βάσει της εργασίας από την οποία προέρχονται, παρουσιάζεται στη συνέχεια.

#### 2.2.1 ΑΕΚΚ από ολική ή μερική κατεδάφιση δομικών κατασκευών

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται οι όγκοι αποβλήτων που προέρχονται από τη συνολική ή επιμέρους κατεδάφιση κατασκευών και κτιρίων. Τα υλικά που βρίσκονται συνήθως είναι χαλίκια, στοιχεία σκυροδέματος, επιχρίσματα, πλίνθοι, γύψος, κομμάτια

κεραμικών κ.ά. Λόγω της συνύπαρξης των περισσότερων υλικών από τα παραπάνω ταυτόχρονα, χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και η ακριβής σύσταση τους εξαρτάται από το είδος, την ηλικία, τη μορφή, τη χρήση και το μέγεθος του κτιρίου ή κατασκευής [4]–[6].

### **2.2.2 ΑΕΚΚ από κατασκευές**

Στη κατηγορία αυτή ανήκουν τα απόβλητα που παράγονται σε εργοτάξια κατασκευής, επισκευής, ανακαίνισης κοκ, όσο αυτά λειτουργούν. Μεταξύ των υλικών που εμφανίζονται συχνότερα είναι το ξύλο, πλαστικό, γυαλί, μέταλλο, κόλλες και κονιάματα, χρώματα και άλλα, οπότε στο σύνολο τους χαρακτηρίζονται κι αυτά από μεγάλη ανομοιογένεια ενώ ένα μεγάλο μέρος τους, καταλαμβάνουν τα υλικά συσκευασίας των χρησιμοποιούμενων οικοδομικών υλικών [5], [6].

### **2.2.3 ΑΕΚΚ από εκσκαφές**

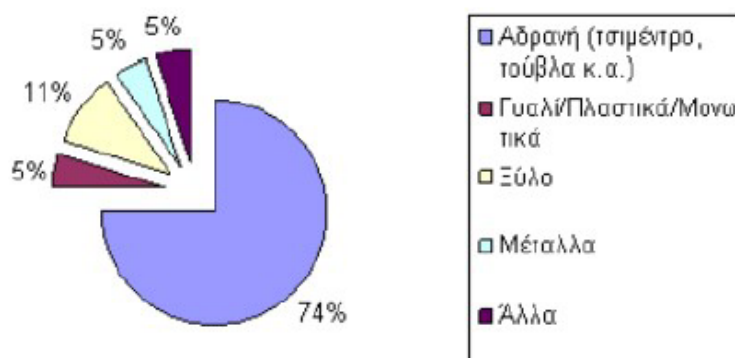
Σε αυτή τη κατηγορία κατατάσσονται οι όγκοι γαιών προς απόρριψη είτε από εργασίες εκσκαφών, εκχερσώσεων και θεμελιώσεων, είτε αυτοί που προέρχονται από φυσικά φαινόμενα και καταστροφές όπως από σεισμούς, κατολισθήσεις, φερτά υλικά χειμάρρων κ.ά. Μεταξύ των υλικών που εμφανίζονται συχνότερα είναι χώματα, άμμος, χαλίκια, πέτρες και αργιλικές γαίες. Η ποιότητα των όγκων αυτών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα τοπικά γεωλογικά δεδομένα, η οποία είναι δυνατό να αξιολογηθεί και κατά την εκτέλεση των εργασιών [5], [6].

### **2.2.4 ΑΕΚΚ από εργασίες οδοποιίας**

Στη τελευταία αυτή κατηγορία ταξινομούνται όλα τα υλικά που προέρχονται από τα εργοτάξια οδοποιίας, κατασκευής και συντήρησης, και περιλαμβάνει συνήθως υλικά οδοστρώματος, υλικά βάσεων και υποβάσεων (χαλίκια, άμμος και σκύρα) αλλά και οποιοδήποτε άλλο υλικό που προκύπτει από εργασίες επί και υπό των οδών, όπως εργασίες σε υπόγειες υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις εντός αυτών και πεζοδρόμια [1], [5], [7].

### 2.3 Νομοθετικό πλαίσιο διαχείρισης των ΑΕΚΚ

Τα απόβλητα αποτελούν θεματική με βαρύνουσα σημασία για την Ευρωπαϊκή Οικονομική Κοινότητα (ΕΟΚ) από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Στα πλαίσια της κοινής αγοράς, τέθηκε για πρώτη φορά μια κοινή προσπάθεια και κατεύθυνση για τα απόβλητα με την Οδηγία 75/442/ΕΟΚ με σκοπό την εξίσωση των οικονομικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων διαχείρισης των αποβλήτων μεταξύ των κρατών μελών. Αφορμή για την προσέγγιση αυτή αποτελούσε η ποικιλία στους όρους διαχείρισης των αποβλήτων μεταξύ των κρατών μελών κάτι που επηρεάζει τόσο τους όρους ανταγωνισμού όσο και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, σε μια περίοδο που διεθνώς η παραγωγή αποβλήτων αυξανόταν με γεωμετρική πρόοδο [2]. Ακολούθησαν αρκετές τροποποιήσεις της Οδηγίας 75/442/ΕΟΚ, όπως η Οδηγία 91/156/ΕΟΚ που έδινε κατευθύνσεις για τη δημιουργία εθνικών πολιτικών διαχείρισης αποβλήτων.



Σχήμα 2.1: Κατηγορίες υλικών που συναντώνται στα ΑΕΚΚ και η συμμετοχή τους (% κ.β)[22].

Η κοινή πολιτική διαχείρισης αποβλήτων, βασίζεται στην απόφαση της Επιτροπής της ΕΕ, 2000/532/ΕΚ μαζί με τις Αποφάσεις-τροποποιήσεις 2001/118/ΕΚ, 2011/199/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ όπου ορίστηκε ο Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (ΕΚΑ) κωδικοποιώντας όλα τα είδη αποβλήτων. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α παρουσιάζονται όλοι οι κωδικοί υλικών που αφορούν τα ΑΕΚΚ (ομάδα 17), οι βασικές κατηγορίες μαζί με τα ποσοστά συμμετοχής τους στα ΑΕΚΚ, παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1. Με τις τελευταίες οδηγίες που αναφέρθηκαν, ορίζονται τα επικίνδυνα υλικά που μπορεί να περιέχονται σε κάθε κατηγορία αποβλήτων, κάποια εκ των οποίων παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β μαζί με τις επικίνδυνες ιδιότητες και ενδεδειγμένες πρακτικές διαχείρισης τους [4].

### 2.3.1 Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης

Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, η διαμόρφωση της πολιτικής διαχείρισης ειδικών αποβλήτων ανατέθηκε στον Εθνικό Οργανισμό Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π), ο οποίος ιδρύθηκε με τον ν.2339/2001. Η λειτουργία του οργανισμού αφορούσε κυρίως την εναλλακτική διαχείριση ειδών συσκευασίας, ο ιδρυτικός νόμος όμως του οποίου όριζε στο Άρθρο 2 παρ.4 ως «άλλα προϊόντα» μεταξύ άλλων και τα υλικά εκσκαφών και κατεδαφίσεων. Μετά από διάφορες νομοθετικές προσθήκες και τροποποιήσεις για την λειτουργία του Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π, εκδίδεται η Κ.Υ.Α. 36259/Ε103/2010 όπου θεσπίζονται «Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)». Με βάση την παραπάνω Κ.Υ.Α. (36259/Ε103/2010), σε συνδυασμό με τον ν.2339/2001 που όρισε επίσης τα Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΣΕΔ) και αργότερα τον ν.4042/2012 που επιβάλλει την εναλλακτική διαχείριση ΑΕΚΚ, ιδρύονται Συστήματα, υπεύθυνα για την εφαρμογή εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ. Τα ΣΣΕΔ αποτελούν εταιρείες μη κερδοσκοπικού χαρακτήρα που οργανώνουν, συντονίζουν και εποπτεύουν τη διαδικασία διαχείρισης των απορριμμάτων με στόχο την πρόληψη παραγωγής και την εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ [8].



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ρόλων και υποχρεώσεις εντός ΣΣΕΔ



Στον τομέα των ΑΕΚΚ, στα πλαίσια των ΣΣΕΔ οργανώνονται οι Διαχειριστές ΑΕΚΚ, οι Εταιρίες Συλλογής και Μεταφοράς ΑΕΚΚ και τέλος οι Μονάδες Επεξεργασίας ΑΕΚΚ, οι κύριες δράσεις των οποίων παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.2, με σκοπό να πραγματοποιείται η κατάλληλη διαχείριση των ΑΕΚΚ που αποβλέπει στη εφαρμογή της κείμενης νομοθεσίας [9]. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 36259/Ε103/2010, στόχος των Συστημάτων αυτών είναι:

1. Η συλλογή των ΑΕΚΚ από τα εργοτάξια ή τους χώρους όπου παράγονται ούτως ώστε να προωθούνται προς τις πλέον κατάλληλες λύσεις εναλλακτικής διαχείρισης
2. Η διαχείριση των υλικών των ΑΕΚΚ για επαναχρησιμοποίηση ή και άλλου είδους αξιοποίηση όπως με ανακύκλωση των διαθέσιμων υλικών
3. Έλεγχος συμμόρφωσης των εμπλεκόμενων μερών για θέματα:
  - i. Προστασίας του περιβάλλοντος και της υγείας και ασφάλειας των καταναλωτών και των εργαζομένων στο σύστημα
  - ii. Προστασία των δικαιωμάτων βιομηχανικού και εμπορικού απορρήτου
  - iii. Αποφυγής εμποδίων στο εμπόριο ή στρέβλωσης του ανταγωνισμού από ανταγωνιστικά προϊόντα όπως εισαγόμενα.

Στον ελλαδικό χώρο υπό την αιγίδα του Εθνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης (ΕΟΑΝ) λειτουργούν πλέον 12 ΣΣΕΔ που καλύπτουν γεωγραφικά περίπου το 90% της χώρας [3].

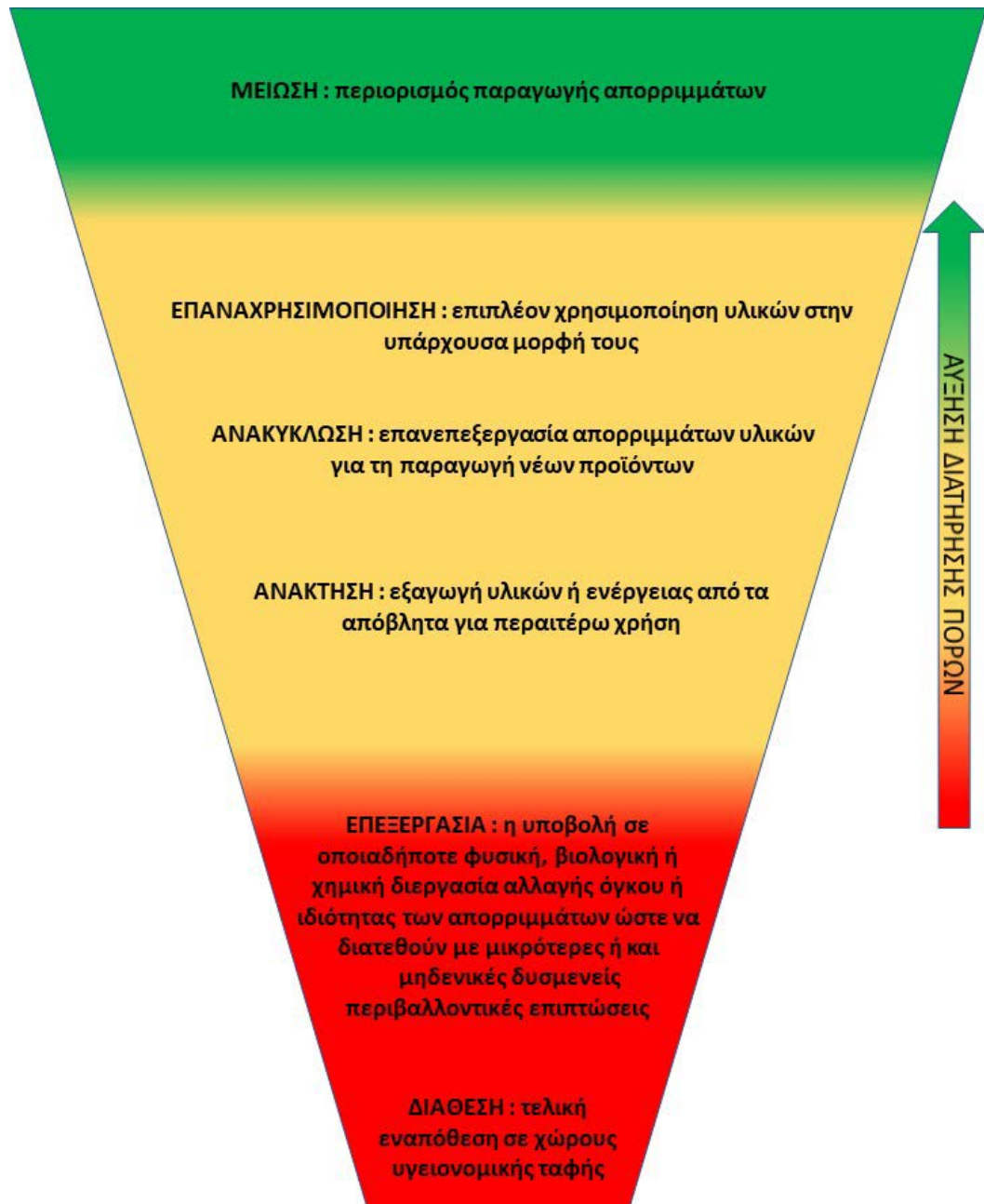
### **2.3.2 Μέλη ΣΣΕΔ και οι υποχρεώσεις τους**

Οι Διαχειριστές ΑΕΚΚ είναι μεταξύ άλλων οι ανάδοχοι δημόσιων ή ιδιωτικών έργων (κατασκευαστές και εργολήπτες έργων, ιδιωτικοί ή δημόσιοι φορείς που εκτελούν έργα με αυτεπιστασία και φορείς παροχής υπηρεσιών συλλογής, προσωρινής αποθήκευσης και μεταφοράς) ή οι κύριοι ενός έργου αν δεν έχουν αναθέσει το έργο αλλού. Συνεπώς, Διαχειριστές είναι όλοι οι εμπλεκόμενοι στο στάδιο υλοποίησης ενός έργου, άμεσα αν είναι οι κατασκευαστές και έμμεσα αν τους έχει ανατεθεί η διαχείριση έργου το οποίο θα παράγει ΑΕΚΚ. Στα πλαίσια των υποχρεώσεων τους είναι να συντάξουν το Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΣΔΑ) του έργου, να οργανώσουν στα πλαίσια κάποιου ΣΣΕΔ, αν δεν ανήκουν οι ίδιοι, την συλλογή και μεταφορά των παραγόμενων ΑΕΚΚ από αδειοδοτημένους μεταφορείς σε κατάλληλους χώρους από όπου και θα ξεκινήσει η διαδικασία επεξεργασίας τους [10].

Εταιρίες Συλλογής και Μεταφοράς ΑΕΚΚ χαρακτηρίζονται οι αδειοδοτημένες εταιρίες που έχουν τα κατάλληλα μηχανήματα και οχήματα για τη συλλογή και μεταφορά των ΑΕΚΚ από το εργοτάξιο σε όποια θέση έχει χαρακτηριστεί καταλληλότερη για την απόθεση τους με σκοπό την εναλλακτική διαχείριση τους. Σύμφωνα με την Κ.Υ.Α. 36259/2010, οι εταιρίες

αυτές οφείλουν να είναι εγγεγραμμένες στο Ηλεκτρονικό Μητρώο Αποβλήτων όπου και αναφέρονται οι κωδικοί αποβλήτων που δικαιούνται να μεταφέρουν όπως επίσης έχουν την ευθύνη καταμέτρησης του όγκου των ΑΕΚΚ που μεταφέρουν [11].

Τέλος, Μονάδες Επεξεργασίας ΑΕΚΚ ονομάζονται οι εταιρίες μέλη των ΣΣΕΔ οι οποίες παρέχουν κατάλληλο χώρο για την αποθήκευση των ΑΕΚΚ και στη συνέχεια πραγματοποιούν την διαλογή και επεξεργασία τους με τελικό σκοπό τη δημιουργία διαφορετικών ρευμάτων υλικών, κατάλληλα είτε για επαναχρησιμοποίηση είτε για ταφή.



Σχήμα 2.3: Ιεραρχία ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων σύμφωνα με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ[2]

Οι παραπάνω υποχρεώσεις των μελών των ΣΣΕΔ προκύπτουν από την ενσωμάτωση της ευρωπαϊκής νομοθεσίας περί διαχείρισης των αποβλήτων, μεταξύ της οποίας και η

Οδηγία 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρώπης. Για τη διαχείριση των ΑΕΚΚ αλλά και των άλλως αποβλήτων, η Οδηγία αυτή ορίζει μια συγκεκριμένη ιεράρχηση πράξεων όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.3:

1. Πρόληψη παραγωγής αποβλήτων
2. Εκτροφή αποβλήτων κατάλληλων για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση ή ανάκτηση
3. Επεξεργασία και διάθεση

### 2.3.3 Ποσοτικοί στόχοι διαχείρισης ΑΕΚΚ

Πρώτη φορά τέθηκαν ποσοτικοί στόχοι εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ με την εφαρμογή της Κ.Υ.Α. 36259/Ε103/2010 όπου στο άρθρο 12 αυτής περιέχονται οι εξής:

Επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση, ανάκτηση και γενικά αξιοποίηση:

- τουλάχιστον του 30% του συνολικού παραγόμενου βάρους Αποβλήτων Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (ΑΚΚ) της χώρας έως το τέλος του 2011
- τουλάχιστον του 50% του συνολικού παραγόμενου βάρους ΑΚΚ της χώρας έως το τέλος του 2014
- τουλάχιστον του 70% του συνολικού παραγόμενου βάρους ΑΚΚ της χώρας έως το τέλος του 2019.

Οι παραπάνω στόχοι δεν θα μπορούσαν να έχουν επιτευχθεί διότι όπως αναφέρθηκε, η καταμέτρηση των υλικών αυτών αλλά και η ουσιαστική διαχείριση τους ξεκίνησε στην Ελλάδα μόλις το 2012 μέσα από τη λειτουργία των ΣΣΕΔ.

Από την εφαρμογή του ν.4042/2012, προβλέπεται επίσης ρητά η υποχρέωση σύστασης εθνικού προγράμματος διαχείρισης αποβλήτων με πλήρη ανάλυση ποσοτικών και ποιοτικών στόχων και των θεμιτών μέσων επίτευξης τους. Συνέπεια αυτού ήταν η σύσταση Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) αρχικά για τη περίοδο 2015-2020 όπου για το ρεύμα των ΑΕΚΚ τέθηκαν οι εξής στόχοι [12]:

- Πανελλαδική κάλυψη Συστημάτων Εναλλακτικής Διαχείρισης (ΣΕΔ) για ΑΕΚΚ
- Εφαρμογή εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ σε δημόσια και ιδιωτικά έργα με προσαρμογή της σχετικής νομοθεσίας
- Εξορθολογισμός λειτουργίας των ΣΣΕΔ και αναπροσαρμογή χρηματικών εισφορών
- Διαχωρισμός των αποβλήτων εκσκαφών (ΕΚ) που εξαιρούνται των στόχων για τα ΑΚΚ ως φυσικά εδάφη και της περίσσειας φρέσκου σκυροδέματος από τα έργα
- Ανάπτυξη αγορών για τα προϊόντα που προέρχονται από την επεξεργασία των ΑΚΚ

- Τέλος κάποιοι ποσοτικοί στόχοι για τα παραγόμενα ΑΕΚΚ που θα οδηγηθούν για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση. Συγκεκριμένα, προετοιμασία του 50% των παραγόμενων ΑΕΚΚ έως το τέλος του 2015 και του 70% έως το τέλος του 2020.

Πλέον έχει συνταχθεί το ΕΣΔΑ 2020-2030 όπου αρχικά γίνεται αναφορά στις αστοχίες του προηγούμενου σχεδίου. Συγκεκριμένα για τα ΑΕΚΚ επισημαίνεται ότι αρχικά δεν έχει επιτευχθεί πλήρης κάλυψη της επικράτειας με ΣΕΔ, ενώ για τους ποσοτικούς στόχους αναφέρεται η έλλειψη αξιόπιστης μεθοδολογίας υπολογισμού των ΑΕΚΚ, με συνέπεια να μην είναι δυνατή η επαλήθευση των ποσοτικών στόχων. Σύμφωνα πάντως με τον Εθνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης ΕΟΑΝ [3], έχουν μερικώς επιτευχθεί οι ποσοτικοί στόχοι για ανάκτηση υλικών, αν και πρόκειται για περιορισμένες χρήσεις όπως αναπτύσσεται στην συνέχεια. Επιπλέον με το ΕΣΔΑ 2020-2030 ανανεώνονται οι στόχοι που είχαν οριστεί από το ΕΣΔΑ 2015-2020 επαναπροσδιορίζοντας την ίδια προσέγγιση και διατηρώντας μόνιμο το στόχο του 70% κ.β. αξιοποίησης του ρεύματος των ΑΚΚ, διαχωρισμένο πάλι από το ρεύμα των αποβλήτων εκσκαφών (ΕΚ) λόγω της φυσικότητας τους και της μη απαραίτητης επεξεργασίας τους πριν την επαναχρησιμοποίηση [13].

## **2.4 Ποσότητες παραγόμενων ΑΕΚΚ – περιβαλλοντική ανησυχία**

Η αναζήτηση τρόπων εναλλακτικής διαχείρισης των στερεών αποβλήτων γενικά αλλά και ιδιαίτερα των ΑΕΚΚ δεν είναι αποκλειστικά ευρωπαϊκός στόχος. Τα ΑΕΚΚ αποτελούν μεγάλη πρόκληση διεθνώς επειδή η αύξηση της παραγωγή τους ήταν και είναι η πιο αλματώδης από τα υπόλοιπα στερεά, κυρίως οικιακά, απόβλητα, ενώ συνηθίζεται να απορρίπτονται μαζί. Η υγειονομική ταφή των ΑΕΚΚ έχει μεγάλες επιπτώσεις διότι επηρεάζει το περιβάλλον (υπόγειο νερό, έδαφος, αέρας) ενώ ταυτόχρονα, η διαδικασία αυτή οδηγεί σε γρηγορότερη πλήρωση των Χώρων Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Τα παραπάνω έχουν μεγάλες οικονομικές επιπτώσεις ενώ τα ΑΕΚΚ αποτελούν δυνητικά οικοδομικά υλικά τη στιγμή που πολλά φυσικά ορυκτά, μεταξύ των οποίων και αδρανή, εξαντλούνται [2].

### **2.4.1 Διεθνής παραγωγή ΑΕΚΚ**

Υπολογίζεται ότι το 2012 διεθνώς παρήχθησαν περίπου 3 δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων από εργασίες εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων διεθνώς. Τη μερίδα του λέοντος σε αυτό το ποσό καταλαμβάνουν η Κίνα, η Ινδία, οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) και η Ευρωπαϊκή Ένωση, οι οποίες αθροιστικά παρήγαγαν περίπου 2.5 δισεκατομμύρια τόνους

κατά το έτος αναφοράς, ενώ η τάση είναι σταθερά ανοδική τις τελευταίες 5 δεκαετίες [14]. Παγκοσμίως υπάρχει μεγάλη διαφορά στο πόσο ανεπτυγμένα είναι τα συστήματα καταμέτρησης και διαχείρισης των ΑΕΚΚ, ενώ υπάρχουν και κράτη στα οποία οι κατασκευαστικές δραστηριότητες στηρίζονται σχεδόν αποκλειστικά σε επαναχρησιμοποιούμενα ΑΕΚΚ.

Μόνο το 2018, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής παράχθηκαν περίπου 600 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ, εκ των οποίων το 67%, ήτοι περίπου 400 εκατομμύρια τόνοι, αφορούσε σε παλιό σκυρόδεμα και ανακυκλώθηκαν 334 εκατομμύρια τόνοι από αυτό [14]. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών ανακυκλώθηκε σε διάφορα αδρανή (90%) και το υπόλοιπο σε άλλα έτοιμα προϊόντα, ενώ τα υπόλοιπα απορρίμματα σκυροδέματος οδηγήθηκαν σε υγειονομική ταφή [14]. Κατά το ίδιο έτος, περίπου 800 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ παρήχθησαν στην ΕΕ, αποτελώντας περίπου το 35% του συνόλου των αποβλήτων της [15]. Από τα παραχθέντα ΑΕΚΚ, πλέον ανακυκλώνονται κατά μέσο όρο το 50%, με κάποια κράτη μέλη να ανακυκλώνουν περισσότερο από το 80% (Ολλανδία, Γερμανία κ.ά.) [16]. Η Κίνα που αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό ΑΕΚΚ διεθνώς με περίπου 1 δισεκατομμύριο τόνους το 2012, μέγεθος το οποίο συνεχώς αυξάνεται έκτοτε, με το ποσοστό ανακύκλωσης έφτασε κατά μέγιστο το 10% μόλις τα τελευταία χρόνια [17]. Αντίστοιχα η Ινδία η οποία υπολογίζεται ότι το 2012 παρήγαγε περί τα 530 εκατομμύρια τόνους ΑΕΚΚ, έχει πρόσφατα θεσπίσει κάποια μέτρα προώθησης της ανακύκλωσης ΑΕΚΚ κυρίως με ιδιωτική πρωτοβουλία, ανακυκλώνοντας όμως ελάχιστα [18], [19].

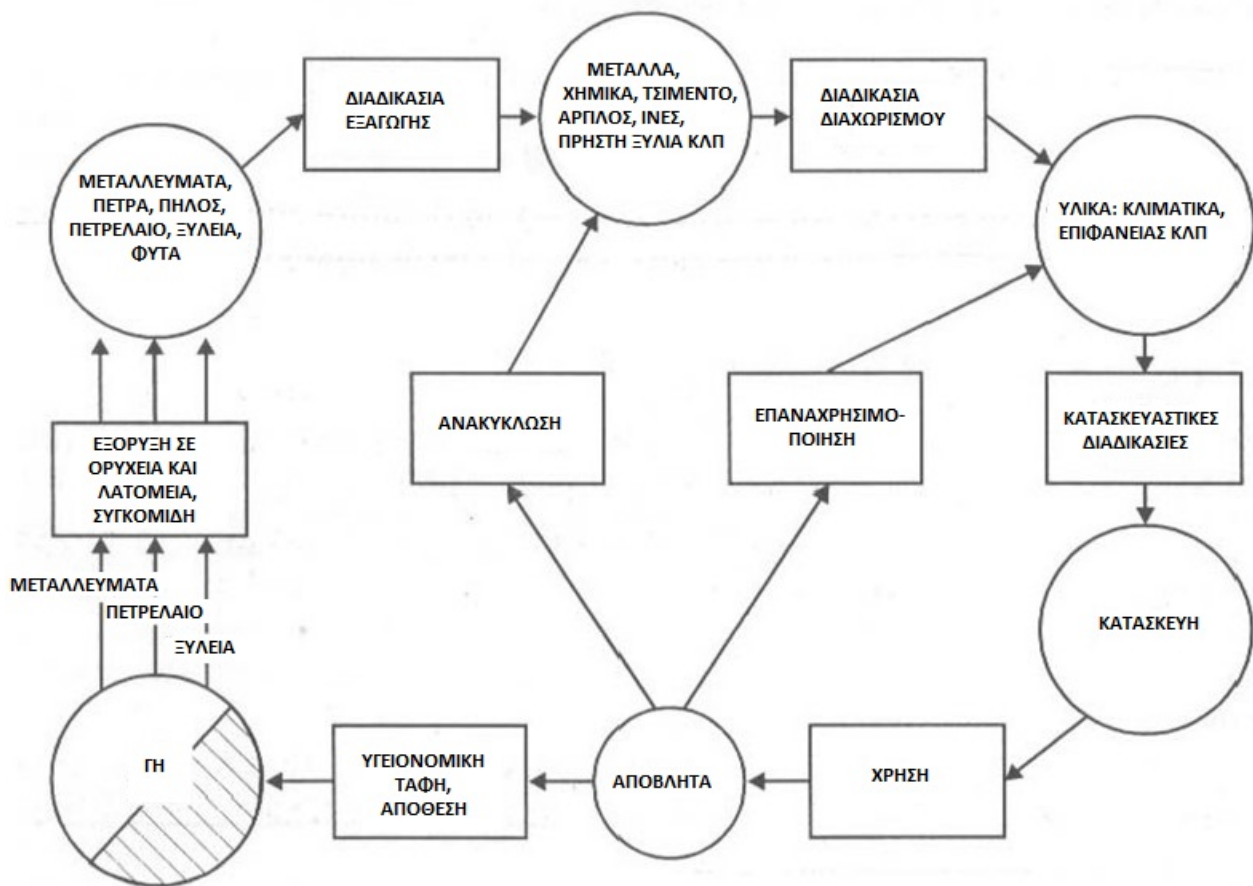
#### **2.4.2 Η παραγωγή ΑΕΚΚ στην Ελλάδα**

Το κενό της ελληνικής νομοθεσίας για την καταγραφή και τυποποιημένη διαχείριση του ρεύματος των ΑΕΚΚ καλύφθηκε με την ενσωμάτωση της κοινοτικής ευρωπαϊκής νομοθεσίας. Η Οδηγία 2008/98/ΕΚ ενσωματώθηκε με τον ν.4042/2012 με συνέπεια την ίδρυση του Ε.Ο.ΑΝ. στη θέση του Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π., όπου ως φορείς καταμέτρησης και διαχείρισης των ΑΕΚΚ ορίζονται τα ΣΣΕΔ. Οι εκτιμώμενες ποσότητες παραγόμενων ΑΕΚΚ στην Ελλάδα πριν το 2000 υπολογιζόταν περί των 2 εκατομμυρίων τόνων ετησίως ενώ το 2011, με την έναρξη της οικονομικής κρίσης, καταμετρήθηκαν 1,3 εκατομμύρια τόνοι [2]. Μέχρι και πριν την έναρξη λειτουργίας των ΣΣΕΔ, για το ρεύμα των ΑΕΚΚ δεν υπήρχε σαφής και αξιόπιστη μέθοδος καταμέτρησης των ΑΕΚΚ οπότε οι μέχρι τότε μετρήσεις ήταν βάσει εμπειρικών εκτιμήσεων [2]. Επιπλέον, μοναδική προσπάθεια διαχείρισης και εκμετάλλευσης των ΑΕΚΚ, αποτελούσε η πιλοτική λειτουργία δύο μονάδων ανακύκλωσης αδρανών στα Άνω Λιόσια και στη

Θεσσαλονίκη που δημιουργήθηκαν για να διαχειριστούν τις συνέπειες του καταστροφικού σεισμού του 1999 [2], [20]. Μέσω της διαχείρισης των ΑΕΚΚ που γίνεται από τα ΣΣΕΔ, πλέον υπάρχουν πιο αξιόπιστα δεδομένα [21] για τα απορρίμματα αυτά, και πιο συγκεκριμένα καταγράφηκαν 530 χιλιάδες τόνοι το 2016, 1 εκατομμύριο τόνοι το 2017 και 2,85 εκατομμύρια τόνοι ΑΕΚΚ το 2018, ακολουθώντας στην ουσία τα μεγέθη του κατασκευαστικού κλάδου, ενώ ανακυκλώθηκαν ή χρησιμοποιήθηκαν για επιχώσεις το 50%, το 75% και το 76% αντίστοιχα [3].

## 2.5 Κύκλος ζωής – Διαχείριση των ΑΕΚΚ

Με βάση τα ποσοτικά δεδομένα που παρουσιάστηκαν παραπάνω, είναι απαραίτητη η στόχευση της νομοθεσίας ώστε να καθιερωθεί η πολύ σημαντική εναλλακτική διαχείριση του



Σχήμα 2.4: Κύκλος ζωής των οικοδομικών υλικών [2]

ρεύματος των ΑΕΚΚ, ειδικά αν κανείς συνυπολογίσει ότι οι παραπάνω ποσότητες αντιστοιχούν κατά μέσο όρο στο 30% της συνολικής παραγωγής στερεών αποβλήτων διεθνώς. Για να δημιουργηθεί μια ολοκληρωμένη διαδικασία εναλλακτικής διαχείρισης, είναι απαραίτητη η κατανόηση του Κύκλου Ζωής των υλικών που αυτή αφορά. Στο Κεφάλαιο αυτό αναπτύσσεται το μέρος της διαχείρισης των ΑΕΚΚ που αφορά την επεξεργασία τους μέσω

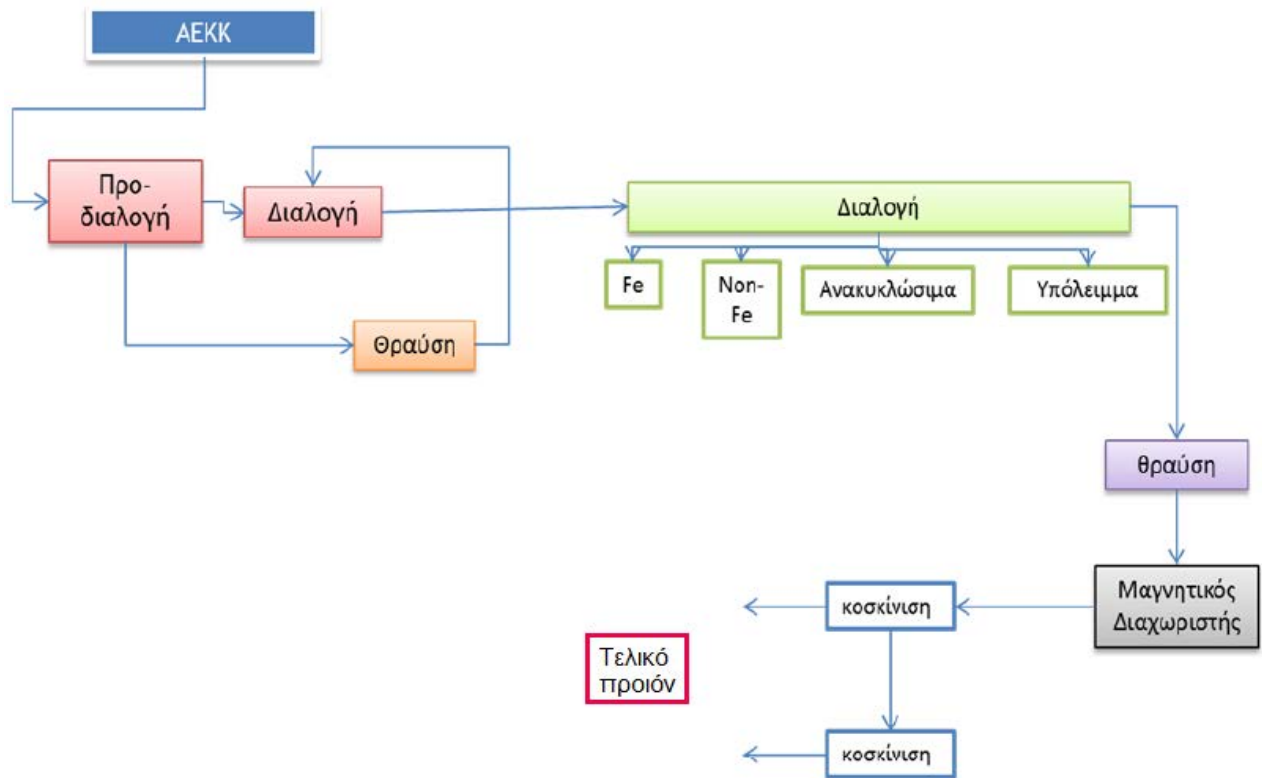
παρουσίασης του κύκλου των υλικών που αυτά περιλαμβάνουν, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.4.

Ως κύκλος ζωής ενός υλικού ορίζεται «το σύνολο των καταστάσεων και μορφών που αυτό λαμβάνει μέχρι την απόθεση του». Αποτελείται από όλες τις μορφές και στάδια που περνάει ένα υλικό από την εξόρυξη ή εξαγωγή του ως πρώτη ύλη, έπειτα η παραγωγή νέων υλικών ή ενδιάμεσων προϊόντων, και έπειτα στην χρησιμοποίηση του έως ότου καταλήξει στην ανακύκλωση ή διάθεση του όπου φτάνει στο τέλος του κύκλου ζωής του [2].

Μεταξύ των συνήθων υλικών που συναντώνται στα ΑΕΚΚ όπως παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 2.1, υπάρχουν υλικά που μπορούν να διαχωριστούν και να μην οδηγηθούν σε ταφή, κάποια που μπορούν να διαχειριστούν μαζί με τα αντίστοιχα ρεύματα οικιακών αποβλήτων και τέλος τα αμιγώς κατασκευαστικά υλικά. Για παράδειγμα, τα υλικά από εκσκαφές (ΕΚ) που αποτελούνται από χώματα και πέτρες, δηλαδή είναι φυσικά υλικά που συχνά απαιτείται και αρκεί να μετακινηθούν σε κατάλληλη θέση αποθήκευσης έως ότου να είναι απαραίτητα, π.χ. για επιχώσεις, και ως εκ τούτου διαχωρίζονται από τα ΑΚΚ τόσο στη διαχείριση, όσο και στη καταμέτρηση. Ένα άλλο ικανό ποσοστό στο ρεύμα των ΑΕΚΚ είναι υλικά συσκευασίας τα οποία μπορεί να είναι χάρτινα, πλαστικά και άλλα, γεγονός που τα καθιστά ταυτόχρονα κατάλληλα για διαχείριση στο ρεύμα των οικιακών ανακυκλώσιμων προϊόντων. Αμιγώς οικοδομικά υλικά παράγονται από εργασίες οδοποιίας και κατεδάφισης, στα δεύτερα όμως να υπάρχουν συνήθως απορρίμματα γυαλιού, ξύλου, αλουμινίου και άλλα, εκ των οποίων όλα μπορούν είτε να ανακυκλωθούν (ύαλοι και αλουμίνιο) είτε να ανακτηθεί ενέργεια (ξύλο), ενώ σε επόμενο στάδιο διαχωρίζεται ο χάλυβας οπλισμού και ο χαλκός καλωδιώσεων τα οποία ανακυκλώνονται πλήρως [20].

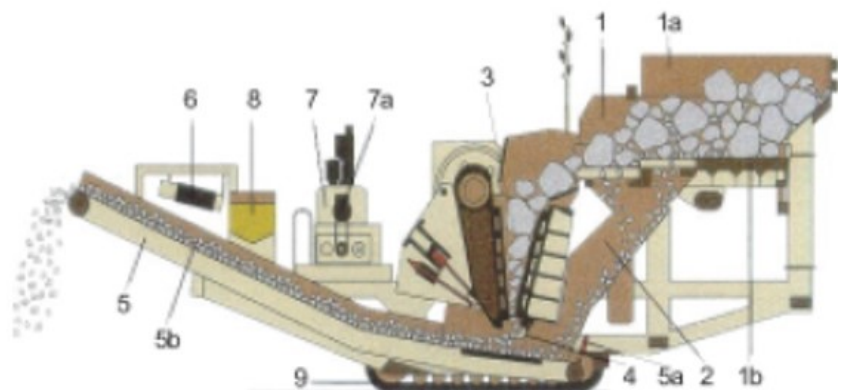
Τα υλικά που απομένουν κυρίως είναι κόλλες, κονιάματα, κεραμικά (πλίνθοι και πλακάκια) και σκυρόδεμα με προσμίξεις ξένων μικρο-υλικών. Από αυτά τα τελευταία, τα πλέον κατάλληλα για ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση είναι το σκυρόδεμα και τα κεραμικά όπου μετά από κατάλληλη επεξεργασία μπορούν να παράγουν χρήσιμες ποικιλίες αδρανών [22]. Για το θέμα μελέτης της παρούσης εργασίας, θα αναπτυχθεί η διαδικασία επεξεργασίας και οι συνθήκες χρησιμοποίησης των ΑΑ από σκυρόδεμα και κεραμικά, αφού η νομοθεσία που διέπει τη παραγωγή σκυροδέματος διεθνώς όπως θα παρουσιαστεί στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, θέτει απαιτήσεις που απορρίπτουν τα υπόλοιπα υλικά, είτε με ποσοτικούς περιορισμούς είτε λόγω ποιοτικών απαιτήσεων.

Το έργο της μεταποίησης των διαλεγμένων απορριμμάτων σε χρήσιμα υλικά, στον ελλαδικό χώρο έχουν αναλάβει τα ΣΣΕΔ και πιο συγκεκριμένα οι Μονάδες Επεξεργασίας ΑΕΚΚ που λειτουργούν στα πλαίσια τους. Οι Μονάδες Επεξεργασίας των ΣΣΕΔ παραλαμβάνουν τα συνήθως ανάμεικτα απόβλητα όπως μεταφέρονται από κάποιο εργοτάξιο, και ακολουθούν τη διαδικασία που παρουσιάζεται στη συνέχεια και στο Σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Βήματα επεξεργασίας ΑΕΚΚ σε Μονάδα Επεξεργασίας σε διάγραμμα Ροής. [22]

1. Ανατρεπόμενη καρότσα τροφοδοσίας, με επέκταση (1α) και κυλιόμενο τροφοδότη (1b)
2. Πλαγιά παράκαμψης
3. Θραυστήρας με σιαγόνες
4. Θωράκιση για την προστασία του μίαντα
5. Μεταφορική ταινία, με υδραυλικό έλεγχο (5α) και ενισχυμένο μίαντα (5b)
6. Μαγνητικός διαχωριστής
7. Κινητήρας με γεννήτρια (7α)
8. Δεξαμενές καυσίμου και λαδιού
9. Ερπύστριες



Σχήμα 2.6: Μορφή και λειτουργίες αυτοφερόμενης μονάδας επεξεργασίας ΑΕΚΚ [6]

Αρχικά γίνεται προδιαλογή των υλικών και όπου απαιτείται, γίνεται θραύση των μεγάλων συνήθως τεμαχίων, όπως του σπλισμένου σκυροδέματος, για να ακολουθήσει η διαλογή των υλικών σε ρεύματα, δηλαδή το ξύλο, οι ύαλοι, τα μέταλλα, τα πλαστικά και άλλα. που είναι δυνατό να απομονωθούν, και να οδηγηθούν απ' ευθείας σε αντίστοιχες μονάδες επεξεργασίας. Το εναπομείναν υλικό είναι κυρίως κεραμικά και κομμάτια παλιού



σκυροδέματος τα οποία οδηγούνται με τη σειρά τους σε συγκροτήματα θραύσης και διαχωρισμού αδρανών [7]. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζονται τα βασικά μέρη ενός αυτοφερόμενου συγκροτήματος επεξεργασίας αδρανών ενώ στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζεται η όψη ενός μόνιμου συγκροτήματος επεξεργασίας αδρανών στη Θεσσαλονίκη. Μετά τις παραπάνω διαδικασίες διαχωρισμού, στα συγκροτήματα αυτά εισέρχονται τα εναπομείναντα υλικά όπου θραύονται σε μικρότερα και κοσκινίζονται ώστε να εξαχθούν διάφορα κλάσματα αδρανών, όμοιων με αυτά που εξέρχονται από μια μονάδα παραγωγής θραυστών αδρανών [22].



Σχήμα 2.7: Όψη μόνιμης μονάδας επεξεργασίας ΑΕΚΚ - μονάδα ανακύκλωσης αδρανών Β. Ελλάδας [2]

Από τη σύσταση των εισερχόμενων όγκων και το περιεχόμενό τους σε κάθε ένα υλικό από αυτά που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, εξαρτάται η ποιότητα των τελικών παραγόμενων αδρανών και η καταλληλότητά τους για οποιαδήποτε χρήση. Η περαιτέρω ανάλυση των μηχανημάτων και των τεχνικών που χρησιμοποιούνται και των βημάτων που απαιτούνται κατά την επεξεργασία των εισερχόμενων ΑΕΚΚ, έχουν αναλυθεί εκτενώς σε παρόμοιες εργασίες (π.χ. [1], [2], [4], [6], [7], [22]), ενώ τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για παραγωγή σκυροδέματος και ενδιαφέρουν τη παρούσα εργασία, αναπτύσσονται στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

## 2.6 Σημαντικότητα Εναλλακτικής Διαχείρισης και αιεφόρες κατασκευές

Λαμβάνοντας υπόψιν τον κύκλο ζωής των ΑΕΚΚ, ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός διαχείρισης ξεκινάει από τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά το στάδιο της κατασκευής τα οποία στο μέλλον θα αποτελούν υλικά κατεδάφισης. Οφείλει επίσης να προβλέπει όλα τα στάδια παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων και τέλος να περιλαμβάνει την απαραίτητη νομοθεσία που να ενισχύει τη χρήση των παραγόμενων ανακυκλωμένων υλικών.

Με βάση τα ελληνικά δεδομένα, κατά το στάδιο του σχεδιασμού ενός έργου απαιτείται πρόβλεψη για τη διάρκεια ζωής του η οποία καθορίζει την ποιότητα των υλικών αλλά και του σχεδιασμού του έργου. Με αυτό το τρόπο προλαμβάνονται τόσο η παραγωγή ΑΕΚΚ από έκτακτες επισκευές όσο και τελικά μιας εσπευσμένης κατεδάφισης του έργου. Παράλληλα στο ίδιο στάδιο δίνονται κίνητρα για χρήση ανακυκλωμένων και ανακυκλώσιμων δομικών υλικών όπως αναφέρεται στον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ) [23],[24].

Για το στάδιο της κατεδάφισης αλλά και των επισκευών, υπάρχουν 2 βασικές αρχές: α) η αρχή του διαχωρισμού στην πηγή και β) η προσεκτική κατεδάφιση, χάρη στις οποίες τα παραγόμενα απορρίμματα μπορούν να διαχειριστούν καλύτερα. Η αρχή του διαχωρισμού στην πηγή αφορά στον εξ αρχής διαχωρισμό των υλικών κατά τη διάρκεια παραγωγής τους, ενώ η προσεκτική κατεδάφιση, αποτελεί μέθοδο και προσέγγιση για προσεκτική και επιμέρους κατεδάφιση ανά είδος υλικού μιας κατασκευής, με αποτέλεσμα την παραγωγή διαχωρισμένων απορριμμάτων [2].

Το τελικό στάδιο της εναλλακτικής διαχείρισης αφορά στη χρησιμοποίηση των παραγόμενων υλικών, και εξαρτάται από τα νομικά κίνητρα και δυνατότητες που ισχύουν σε ένα κράτος. Κάποια από τα υπάρχοντα κίνητρα είναι η οικονομική ενίσχυση της διαδικασίας παραγωγής ΑΑ η οποία γίνεται από τον παραγωγό των ΑΕΚΚ με τη μορφή τελών, ενώ εναλλακτικά μπορεί να προσφέρεται αύξηση διάφορων συντελεστών όπως αύξηση του συντελεστή δόμησης κ.ά., όταν χρησιμοποιούνται ανακυκλωμένα υλικά. Παρότι ισχύουν και τα δύο, το δεύτερο κίνητρο δεν ορίζεται με σαφήνεια ενώ και από τον ισχύοντα κανονισμό σκυροδέματος [42], δεν προβλέπεται η χρησιμοποίηση των παραγόμενων ΑΑ σε δομικές χρήσεις. Έτσι ο μεγαλύτερος όγκος των ΑΕΚΚ που δύναται να μετατραπεί σε αδρανή διάφορων ποικιλιών, δεν εκμεταλλεύεται ουσιαστικά στις κατασκευές παρά μόνο ως υλικά δεύτερης ποιότητας.

Οι κατασκευές συντελούν μέγιστα στα οικονομικά μεγέθη, αποτελώντας μάλιστα δείκτη ευημερίας, παράλληλα όμως είναι και πρώτες στην κατανάλωση ενέργειας και

ορυκτών υλικών αλλά και στην παραγωγή ρύπων. Ο κατασκευαστικός κλάδος, διεθνώς, καταναλώνει περί του 45% της παγκόσμιας ενέργειας, το 40% του νερού και περίπου τα μισά ορυκτά υλικά που παράγονται [20]. Ταυτόχρονα, οι κατασκευαστικές εργασίες έχουν ευθύνη για το 25% της μόλυνσης του αέρα, περίπου το 40% των αερίων του θερμοκηπίου, το 40% της μόλυνσης πόσιμου νερού και τέλος συντελούν περίπου κατά 30% στην υγειονομική ταφή [20].

Στην Ελλάδα τα παραπάνω ποσοστά βρίσκονται λίγο πιο χαμηλά, χωρίς όμως να αλλάζει η συνολική εικόνα. Η εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ μόνο επιβαρύνει τους δείκτες αυτούς αν δεν συνδυάζεται με ουσιαστική χρησιμοποίηση των παραγόμενων ΑΑ, διότι μόνο τότε τα υλικά που προέρχονται από ανακύκλωση, έχουν στο δεύτερο κύκλο ζωής τους μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση [2]. Με στόχο λοιπόν την αειφορία της κατασκευαστικής δραστηριότητας και σε συνδυασμό με όλα τα παραπάνω, η διεύρυνση της χρήσης ΑΑ σε περισσότερες εργασίες εκτός από υλικά οδοποιίας, πλήρωσης λατομείων και της κάλυψης των ΧΥΤΑ, αποτελεί μονόδρομο. Όπως παρουσιάζεται στα επόμενα κεφάλαια, τα ΑΑ μπορούν να είναι κατάλληλα για παραγωγή σκυροδέματος παρά την ανομοιομορφία που τα χαρακτηρίζει. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι βέβαια η αλλαγή του νομικού πλαισίου και την ενσωμάτωση τους στα αδρανή που είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα, ανοίγοντας το δρόμο και για την ιδιωτική πρωτοβουλία να ενσωματώσει την υπάρχουσα τεχνογνωσία στα ελληνικά δεδομένα [20]

## 2.7 Σύνοψη Κεφαλαίου

Κάθε κατασκευαστική εργασία παράγει απορρίμματα, τα ΑΕΚΚ, τα οποία είναι συχνά υλικά που δεν έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους αλλά καταλήγουν σε υγειονομική ταφή. Η διαχείριση των ΑΕΚΚ στην Ελλάδα γίνεται υπό την αιγίδα του ΕΟΑΝ και μέσω των ΣΣΕΔ με αποτέλεσμα να έχει μειωθεί η υγειονομική ταφή μέσω μιας συγκεκριμένης διαδικασίας διαχείρισης τους, από την οποία μάλιστα παράγονται και αδρανή, οι πιο συνήθεις χρήσεις των οποίων, περιορίζονται σε έργα πλήρωσης παλιών λατομείων και ως βοηθητικά υλικά σε ΧΥΤΑ. Τα προϊόντα που παράγονται χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια με συνέπεια να είναι δύσκολος ο ποιοτικός διαχωρισμός τους. Στη συνέχεια της παρούσας εργασίας παρουσιάζονται νομοθεσίες οι οποίες επιτρέπουν την ενσωμάτωση των ΑΑ για τη παραγωγή σκυροδέματος, μια εφαρμογή η οποία απέχει αρκετά από την ελληνική πραγματικότητα, όπως όμως σχολιάζεται και στη συνέχεια αποτελεί μια ρεαλιστική και λειτουργική πρακτική.

### Κεφάλαιο 3 Νομοθεσία για χρήση ΑΑ σε σκυρόδεμα

Όπως αναπτύχθηκε στο 2ο Κεφάλαιο, στην Ελλάδα, όπως και διεθνώς, υπάρχει η τάση για εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ με σκοπό να επαναχρησιμοποιηθεί το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό τους. Αναφέρθηκαν περιβαλλοντικοί λόγοι για τους οποίους προκρίνεται η ανακύκλωση των ΑΕΚΚ μεταξύ των οποίων και η χρήση τους για υποκατάσταση των φυσικών αδρανών (ΦΑ). Εξετάζοντας τον κύκλο ζωής των ΑΕΚΚ, περιεγράφηκε η διαδικασία εναλλακτικής διαχείρισης που ισχύει στην Ελλάδα μέσω της λειτουργίας των ΣΣΕΔ και η διαδικασία επεξεργασίας των ΑΕΚΚ με αποτέλεσμα τη παραγωγή ΑΑ.

Στο παρόν Κεφάλαιο παρουσιάζονται εθνικοί Κανονισμοί που επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση ΑΑ για τη παραγωγή σκυροδέματος. Γενικά, υπάρχουν Πρότυπα («Normes») και Κανονισμοί («Regulations») που διέπουν τη παραγωγή σκυροδέματος και υλοποίησης κάθε είδους έργων με χρήση του, οι οποίοι αποτελούν εθνική νομοθεσία με βάση τις συνθήκες και ανάγκες που επικρατούν σε κάθε χώρα. Οι Κανονισμοί αυτοί είναι αποτέλεσμα έργου μελετών κρατικών και διεθνών φορέων (π.χ. εθνικές ή διεθνείς τεχνικές επιστημονικές επιτροπές) με στόχο τη τυποποίηση του παραγόμενου προϊόντος με τα καλύτερα δυνατά ποιοτικά κριτήρια [25].

Όσον αφορά στην χρησιμοποίηση ΑΑ για την παραγωγή σκυροδέματος, υπάρχουν αρκετές χώρες που έχουν προσδευτικές νομοθεσίες/κανονισμούς που καθιερώθηκαν με στόχο τη διαχείριση κάποιων από τους περιβαλλοντικούς λόγους που αναφέρθηκαν, π.χ. την έλλειψη αποθεμάτων ΦΑ, χώρου για υγειονομική ταφή κ.ά. Η εφαρμογή τέτοιων ευέλικτων κανονισμών επηρεάζεται κυρίως από τις περιβαλλοντικές και γεωλογικές συνθήκες που επηρεάζουν τις κατασκευές. Τέτοιες είναι για παράδειγμα οι κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης του όπως αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 2 (ΕΚ2) [26] και στο Πρότυπο EN206 [27], η σεισμικότητα μιας περιοχής ενώ παίζουν άμεσο ρόλο τα κοινωνικά και οικονομικά δεδομένα μια χώρας, τα διαθέσιμα υλικά και τέλος η διαθέσιμη τεχνολογία και τεχνογνωσία. Συνέπεια των παραπάνω είναι να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των κανονισμών ακόμα και σε βασικές παραμέτρους όπως για παράδειγμα στα υλικά που θεωρούνται κατάλληλα για οποιαδήποτε χρήση ή οι απαιτήσεις ως προς τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η σύγκριση και ο συνδυασμός διαφορετικών κανονισμών.

### 3.1 Σκυρόδεμα

Στα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα πραγματοποιούνται οι πρώτοι συστηματικοί έλεγχοι αντοχής του σκυροδέματος και σύντομα δημοσιεύονται οι πρώτες συνταγές για την παραγωγή του. Ακολουθεί η δημοσίευση των πρώτων κανονισμών τόσο για τις ίδιες τις κατασκευές από σκυρόδεμα όσο και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του [28]. Οι κανονισμοί αναφέρονται κυρίως στις διαδικασίες που πρέπει να ακολουθούνται, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υλικών του σκυροδέματος, στις δοκιμές ποιότητας του τελικού προϊόντος κ.ά. Το σκυρόδεμα που αποτελεί το πλέον διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό, αποτελείται από τρία βασικά υλικά: τσιμέντο, νερό και αδρανή με καθένα από αυτά να έχει το δικό του ρόλο. Και για τα τρία αυτά υλικά υπάρχουν Πρότυπα που αναφέρονται στα απαιτούμενα χαρακτηριστικά και τη ποιότητα τους και τις μεθόδους μέτρησης αυτών, με σκοπό να χαρακτηρίσουν την καταλληλότητα τους για χρήση στην παραγωγή σκυροδέματος. Στη συνέχεια αναλύεται ο ρόλος κάθε υλικού στο σκυρόδεμα και κυρίως των αδρανών, με στόχο την κατανόηση των περιορισμών που θέτουν οι κανονισμοί που αναπτύσσονται στο τέλος του κεφαλαίου.

#### 3.1.1 Νερό

Το νερό αποτελεί μαζί με τον αέρα τα πλέον σημαντικά συστατικά για τη ζωή, ενώ ταυτόχρονα συμμετέχει σε αμέτρητες φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Η καταλληλότητα του για χρήση σε παρασκευή σκυροδέματος ελέγχεται από Πρότυπα, όπως το ευρωπαϊκό EN 1008 [29] και το αμερικάνικο ASTM C1602 [30] τα οποία έχουν ενσωματωθεί και από άλλες χώρες. Στα Πρότυπα αυτά αναφέρονται όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του νερού ανάδευσης ανάλογα με την προέλευση του. Συνήθως, το νερό δικτύου που είναι κατάλληλο για οικιακή χρήση, είναι κατάλληλο και για χρήση σε παραγωγή σκυροδέματος. Γενικά το νερό ελέγχεται διότι η ύπαρξη βλαβερών, για το σκυρόδεμα, ουσιών, μπορεί να οδηγήσει σε επιδείνωση όλων των χαρακτηριστικών του τελικού προϊόντος [6], [31].

#### 3.1.2 Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι μια ανόργανη κονία που προέρχεται από εξόρυξη και επεξεργασία ασβεστόλιθου με παρουσία αργίλου. Υπάρχουν δεκάδες τύποι τσιμέντου ανάλογα με την χημική του σύνθεση και τα αντίστοιχα πρόσθετα υλικά, το βαθμό άλεσης, την δυνατή αντοχή

και άλλα χαρακτηριστικά τα οποία συντελούν στην επίτευξη συγκεκριμένων ιδιοτήτων. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ως συνέχεια και στην Ελλάδα ισχύει το Πρότυπο EN 197 [32] όπως ενσωματώθηκε με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN197 [33], όπου ορίζονται οι βασικοί τύποι και κατηγορίες αντοχής του, CEM I-II-III-IV-V και 32,5N-32,5R-42,5N-42,5R-52,5N-52,5R [34].

Αντίστοιχα στις ΗΠΑ για το τσιμέντο υπάρχει το Πρότυπο ASTM C150 [35], στην Ιαπωνία το JIS R 5210 [36], πρότυπα τα οποία έχουν τις περισσότερες από τις κατηγορίες τους κοινές αφού η προτυποποίηση τόσο της παραγωγής όσο και των ιδιοτήτων του τσιμέντου, διεθνώς αναπτύχθηκαν παράλληλα [6]. Μεταξύ των υλικών που βρίσκονται ή προστίθενται στην κονία τσιμέντου κατά τη παραγωγή της είναι η ιπτάμενη τέφρα, η πυριτική πούδρα και άλλα υλικά τα οποία βελτιώνουν συγκεκριμένες ιδιότητες ανάλογα με την απαιτούμενη χρήση, όπως μειωμένη υδατοπερατότητα, ταχεία σκλήρυνση, αντοχή σε θειούχα κ.ά. [22]

Με την ανάμιξη των 2 παραπάνω υλικών, δημιουργείται μια πάστα, ένα παχύρρευστο μείγμα που σταδιακά στερεοποιείται και τελικά δημιουργείται ένας τεχνητός λίθος. Η δομή του στερεοποιημένου υλικού είναι συμπαγής και με μεγάλη θλιπτική αντοχή. Ιστορικά, κονιάματα τέτοιου είδους με βάση κυρίως τον ασβέστη, χρησιμοποιούνταν για να ενώσουν λίθους, οι οποίοι επιλέγονταν να έχουν μεγάλη θλιπτική αντοχή βάσει της προέλευσης τους, συνθέτοντας έτσι μεγαλύτερες δομές. Στην σύγχρονη εκδοχή του, στο τσιμεντοκονίαμα προστίθενται αδρανή υλικά μεγάλης αντοχής με στόχο την δημιουργία του τελικού προϊόντος που είναι το σκυρόδεμα [31].

### 3.1.3 Αδρανή

Τα αδρανή υλικά, αυτά δηλαδή που δεν αντιδρούν χημικά μεταξύ τους και με το περιβάλλον τους, αποτελούν ποσοτικά το κύριο υλικό του σκυροδέματος, καταλαμβάνοντας περίπου το 60-80% κ.ο. και 70-85% κ.β. Συνδυάζονται με το κονίαμα τσιμέντου για να συνθέσουν έναν πολύ ανθεκτικό τεχνητό λίθο, ο οποίος πριν τη στερεοποίηση του έχει εύπλαστη μορφή [37], [6]. Με τη χρήση των αδρανών επιτυγχάνεται τόσο χαμηλότερο κόστος για το σκυρόδεμα, όσο και καλύτερες ιδιότητες, ειδικά όταν πρόκειται για μεγάλους όγκους. Όπως αναπτύσσεται παρακάτω, τα χρησιμοποιούμενα αδρανή απαιτείται να έχουν συγκεκριμένες γεωμετρικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες ενώ πρέπει να ακολουθούν συγκεκριμένες διαβαθμίσεις μεγέθους. Η διαβάθμιση του μεγέθους των κόκκων των αδρανών γίνεται με στόχο αρχικά την αύξηση του όγκου με τα μεγαλύτερα δυνατά αδρανή (coarse aggregates – διάμετρος >4mm), με το μέγιστο μέγεθος κόκκου να καθορίζεται από εθνικούς κανονισμούς αλλά και τις απαιτήσεις της εφαρμογής, και στη συνέχεια την πλήρωση των μεταξύ τους

κενών με διάφορα μικρότερα κλάσματα (fine aggregates – 0mm<διάμετρος <4mm), ενώ η συνοχή αλλά και η εργασιμότητα, εξαρτώνται από το συνολικό ποσοστό παιπάλης (fines – Ευρώπη: κόσκινο 0.063mm) των 2 παραπάνω κλασμάτων αδρανών [37], [38], [39].

Τα αδρανή μπορούν να είναι φυσικά συλλεκτά ή θραυστά, είτε τεχνητά και πλέον σύμφωνα με τους πιο πρόσφατους κανονισμούς, και ανακυκλωμένα. Επιπλέον, τα αδρανή σκυροδέματος, εκτός από την προέλευση τους χαρακτηρίζονται από το βάρος τους (ελαφροβαρή, κανονικού ειδικού βάρους και βαριά αδρανή), το μέγεθος του κόκκου (λεπτόκοκκα – άμμοι, χονδρόκοκκα αδρανή – σκύρα και χαλίκια, πληρωτικό/filler - παιπάλη) και το σχήμα τους (στρόγγυλα, κυβοειδή, γωνιώδη, επιμήκη κ.ά.) [39].

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η σημαντικότητα των αδρανών στο σκυρόδεμα γίνεται αντιληπτή από το ποσοστό συμμετοχής τους τόσο κατ' όγκο, όσο και κατά βάρος. Εκτός βέβαια από την οικονομική πλευρά, τα αδρανή αποτελούν τον σκελετό του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα την καλύτερη θλιπτική αντοχή, τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής κ.ά. [40]. Λόγω των παραπάνω, για τα αδρανή υπάρχουν σύνθετες απαιτήσεις ελέγχου ποιότητας ανάλογα με την προέλευση τους [6]. Σε αντίθεση με τα φυσικά και τα τεχνητά αδρανή που χαρακτηρίζονται από σχετική ομοιογένεια όταν προέρχονται από μια πηγή, τα ΑΑ είναι εξ ορισμού ανομοιογενή και με πολλά ξένα και βλαβερά για το σκυρόδεμα υλικά [22]. Στα ΑΑ περιέχονται θραυσμένο σκυρόδεμα, κεραμικά και άλλα υλικά, με αυτά που αποτελούνται κυρίως από σκυρόδεμα να παρουσιάζουν καλύτερη συμπεριφορά κατά την επαναχρησιμοποίηση τους. Η δεδομένη ανομοιογένεια πάντως, επηρεάζει πρωτίστως τη δυνατότητα παραγωγής ικανής ποσότητας πιστοποιημένων ΑΑ ούτως ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζικά στη παραγωγή δομικού σκυροδέματος, σε αντίθεση με άλλες εφαρμογές όπου υπάρχουν λιγότερες ποιοτικές απαιτήσεις [6].

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται κάποιες βασικές δοκιμές που αφορούν ιδιότητες αδρανών όπως αυτές ορίζονται από εθνικά Πρότυπα και Κανονισμούς ούτως ώστε να χαρακτηριστούν κατάλληλα για χρήση στην παραγωγή σκυροδέματος. Η παρουσίαση τους εστιάζει σε δοκιμές και δείκτες όπως αυτοί περιέχονται στο Πρότυπο EN12620 [41]. Στη συνέχεια, αναπτύσσονται κάποιοι από τους Κανονισμούς σκυροδέματος διεθνώς που περιλαμβάνουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης ΑΑ για δομικό σκυρόδεμα. Όπως αναφέρθηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, η διαχείριση των ΑΕΚΚ δεν είναι εξίσου ανεπτυγμένη διεθνώς, με συνέπεια να μην υπάρχει αντίστοιχα όμοια πρόβλεψη χρησιμοποίησης ΑΑ. Στην Ελλάδα, παρότι υπάρχει, και αναπτύσσεται, ικανό δίκτυο διαχείρισης ΑΕΚΚ το οποίο παράγει και ΑΑ,

οι επιτρεπόμενες χρήσεις είναι περιορισμένες ενώ δεν προβλέπεται και η παραγωγή σκυροδέματος από αυτά [6], [22].

### 3.1.4 Κατηγορίες σκυροδέματος

Η παραγωγή σκυροδέματος είναι μια περίπλοκη διαδικασία που ξεκινάει από τον καθορισμό των απαιτήσεων που έχει η εφαρμογή του βάσει των οποίων πραγματοποιείται μελέτη σύνθεσης και μετά διενεργούνται δοκιμές ποιότητας αυτού. Κατά τη μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος, για να επιτευχθεί σκυρόδεμα ορισμένων προδιαγραφών, πραγματοποιείται υπολογισμός του όγκου κάθε υλικού για να καθοριστεί και ο όγκος του τελικού σκυροδέματος. Εκτός του όγκου, επιλέγονται τα κατάλληλα υλικά, όπως το είδος τσιμέντου, διαβάθμιση και είδος αδρανών, χημικά ή μη πρόσθετα που βελτιώνουν κάποιο επιθυμητό χαρακτηριστικό του νωπού και του σκληρυμένου σκυροδέματος κ.ά.

Ένα πολύ σημαντικός παράγοντας κατά τη μελέτη σύνθεσης, είναι ο λόγος N/T (νερού/τσιμέντου - w/c ratio) καθώς επηρεάζει αρχικά την εργασιμότητα του νωπού και έπειτα την αντοχή του σκυροδέματος. Ο ρόλος του νερού είναι η ενυδάτωση του τσιμέντου, η χημική διαδικασία στην οποία οφείλεται το σκληρυμένο κονίαμα. Ο λόγος N/T απαιτείται να είναι μεταξύ 0.26 και 0.28 για να μπορέσει να ολοκληρωθεί η αντίδραση της ενυδάτωσης, όμως λόγω διάφορων παραγόντων όπως η υγρασία των αδρανών, η εξάτμιση που λαμβάνει χώρα συνέχεια και η ανάγκη για παραγωγή εργάσιμου νωπού σκυροδέματος, συνήθως είναι  $0.45 < N/T < 0.6$  [22].

Το τελευταίο στάδιο της μελέτης σύνθεσης σκυροδέματος αφορά ποιοτικές δοκιμές νωπού (εφαρμοσιμότητα) και σκληρυμένο (αντοχή) σκυροδέματος. Οι κανονισμοί που αφορούν στην παραγωγή σκυροδέματος περιέχουν οδηγίες και απαιτήσεις για τα απαραίτητα χαρακτηριστικά ούτως ώστε το παραγόμενο προϊόν να ανταποκρίνεται στις ανάγκες που ζητώνται. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΚΤΣ 2016 [42] που ενσωματώνει τις κατηγορίες αυτές από το Πρότυπο EN 206 [27]. Για σκυρόδεμα με AA, όπου προβλέπεται, δεν ισχύουν πρόσθετες απαιτήσεις από αυτές που υπάρχουν για κανονικό σκυρόδεμα. Υπάρχει όμως η ανάγκη αναπροσαρμογής κυρίως του τελικού λόγου N/T με την πρόβλεψη δηλαδή της υψηλής απορροφητικότητας σε νερό των AA όπως παρουσιάζεται στα επόμενα κεφάλαια.



Πίνακας 3.1: Κατηγορίες σκυροδέματος βάσει θλιπτικής αντοχής [42]

| Κατηγορία αντοχής | Ελάχιστη χαρακτηριστική<br>αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου<br>$f_{ck,cyl}$ N/mm <sup>2</sup> | Ελάχιστη χαρακτηριστική<br>αντοχή κυβικού δοκιμίου<br>$f_{ck,cube}$ N/mm <sup>2</sup> |
|-------------------|--|---|
| C8/10             | 8  | 10  |
| C12/15            | 12   | 15  |
| C16/20            | 16   | 20  |
| C20/25            | 20   | 25  |
| C25/30            | 25   | 30  |
| C30/37            | 30   | 37  |
| C35/45            | 35   | 45  |
| C40/50            | 40   | 50  |
| C45/55            | 45   | 55  |
| C50/60            | 50   | 60  |

Μετά την παραγωγή σκυροδέματος, η καταλληλότητα του ελέγχεται άμεσα με δοκιμές επί νωπής ύλης (κάθιση, περιεκτικότητα σε αέρα και προετοιμασία παρασκευής δοκιμών για δοκιμές αντοχής) και αργότερα πραγματοποιούνται δοκιμές για το σκληρυμένο σκυρόδεμα (αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό, μέτρο ελαστικότητας, αντοχή σε ενανθράκωση, τριβή κ.ά.). Για όλους τους παραπάνω παράγοντες, οι κανονισμοί θέτουν απαιτήσεις οι οποίες αφορούν κυρίως στη σκληρυμένη κατάσταση, διότι τα χαρακτηριστικά του νωπού σκυροδέματος σχετίζονται αρχικά με τις απαιτήσεις της εφαρμογής του.

### 3.2 Πιστοποίηση και χαρακτηριστικά αδρανών

Η χρήση αδρανών σε οποιαδήποτε τεχνική εφαρμογή όπως στην παραγωγή σκυροδέματος, είναι δυνατή μόνο μετά την κατάλληλη πιστοποίηση των ιδιοτήτων τους ούτως ώστε να καλύπτουν τις απαιτήσεις των αντίστοιχων κανονισμών. Κάποια από τα ισχύοντα πρότυπα αδρανών στην Ελλάδα παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 βάσει των οποίων τα αδρανή λαμβάνουν τη πιστοποίηση ποιότητας CE (Conformité Européenne) και μόνον έτσι μπορούν να διακινηθούν για το σκοπό που πιστοποιήθηκαν ότι είναι κατάλληλα [43]. Διεθνώς υπάρχουν πολλά πρότυπα με τα πιο διαδεδομένα να είναι τα Αμερικάνικα πρότυπα από την American Society for Testing and Materials (ASTM), τα Ευρωπαϊκά EN από την European Committee for Standardization (CEN) και τα Ιαπωνικά Japanese Industrial Standards Committee (JIS). Τα πρότυπα αυτά, πέρα από τις απαιτούμενες ιδιότητες και τους τρόπους

δοκιμής τους, αναφέρουν τη συχνότητα δειγματοληψίας ενώ τέλος, περιέχουν και δείκτες που επιτρέπουν την κωδικοποίηση των χαρακτηριστικών αυτών με στόχο να ελέγχονται εύκολα για την καταλληλότητα τους σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Παρακάτω αναφέρονται τα συνήθη χαρακτηριστικά που κωδικοποιούνται για τα αδρανή σκυροδέματος και υπάρχουν συνήθως στους περιορισμούς των ΑΑ βάσει του ευρωπαϊκού προτύπου EN12620 [41], όπως και περιγραφή αυτών βάσει των αντίστοιχων Προτύπων EN.

*Πίνακας 3.2: Ισχύοντα Πρότυπα στην Ελλάδα για τον χαρακτηρισμό Αδρανών και παράλληλα πιστοποίηση CE [44]*

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| ΕΛΟΤ EN12620 [41]             | Αδρανή για Σκυρόδεμα                   |
| ΕΛΟΤ EN13043 [45]             | Αδρανή για Ασφαλτομίγματα              |
| ΕΛΟΤ EN13193 [46]             | Αδρανή Κονιαμάτων                      |
| ΕΛΟΤ EN13242 [47]             | Αδρανή για Οδοποιία                    |
| ΕΛΟΤ EN13450 [48]             | Αδρανή για Έρμα Σιδηροδρομικών γραμμών |
| ΕΛΟΤ EN13383-1 [49]           | Φυσικοί Ογκόλιθοι                      |
| ΕΛΟΤ EN13055-1 & 13055-2 [50] | Ελαφρά Αδρανή                          |

### 3.2.1 Γεωμετρικές ιδιότητες αδρανών

#### 3.2.1.1 Μέγεθος αδρανών

Σύμφωνα με το Πρότυπο EN12620 [41] το μέγεθος των αδρανών που χρησιμοποιούνται πρέπει να περιγράφεται με ένα κλάσμα της μορφής D/d. Τα D και d είναι το μέγεθος του μεγαλύτερου και μικρότερου αδρανούς, συνδυάζοντας τιμές από τις στήλες τον Πίνακα 3.3 που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα κόσκινα. Έτσι για παράδειγμα, τα χαρακτηριζόμενα ως χονδρόκοκκα αδρανή που έχουν συνήθως μέγιστο μέγεθος κόκκου 32mm και ελάχιστο 4mm, θα έχουν το χαρακτηριστικό κλάσμα 32/4. Το κλάσμα αυτό χαρακτηρίζει το εύρος διαφορετικών μεγεθών αδρανών που υπάρχουν στο μίγμα ούτως ώστε να καλύπτονται πιθανές απαιτήσεις των κανονισμών.

#### 3.2.1.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Επόμενο χαρακτηριστικό που κωδικοποιείται είναι η κοκκομετρική διαβάθμιση βάσει του προτύπου EN 933-1 [51]. Η κοκκομετρική διαβάθμιση είναι συμπληρωματική στο εύρος D/d και υπολογίζεται βάσει του ποσοστού διερχόμενων και συγκρατούμενων αδρανών % κ.β. σε κόσκινα που αντιστοιχούν στα μεγέθη του Πίνακα 3.3.

Πίνακας 3.3: Μέγεθος αδρανών σύμφωνα με το EN12620 [52]

| Βασικά μεγέθη<br>(mm) | Βασικά και επιπλέον<br>μεγέθη 1 (mm) | Βασικά και επιπλέον<br>μεγέθη 2 (mm) |
|-----------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 0                     | 0                                    | 0                                    |
| 1                     | 1                                    | 1                                    |
| 2                     | 2                                    | 2                                    |
| 4                     | 4                                    | 4                                    |
| -                     | 5,6 (5)                              | -                                    |
| -                     | -                                    | 6,3 (6)                              |
| 8                     | 8                                    | 8                                    |
| -                     | -                                    | 10                                   |
| -                     | 11,2 (11)                            | -                                    |
| -                     | -                                    | 12,5 (12)                            |
| -                     | -                                    | 14                                   |
| 16                    | 16                                   | 16                                   |
| -                     | -                                    | 20                                   |
| -                     | 22,4 (22)                            | -                                    |
| 31,5(32)              | 31,5 (32)                            | 31,5 (32)                            |
| -                     | -                                    | 40                                   |
| -                     | 45                                   | -                                    |
| 63                    | 63                                   | 63                                   |

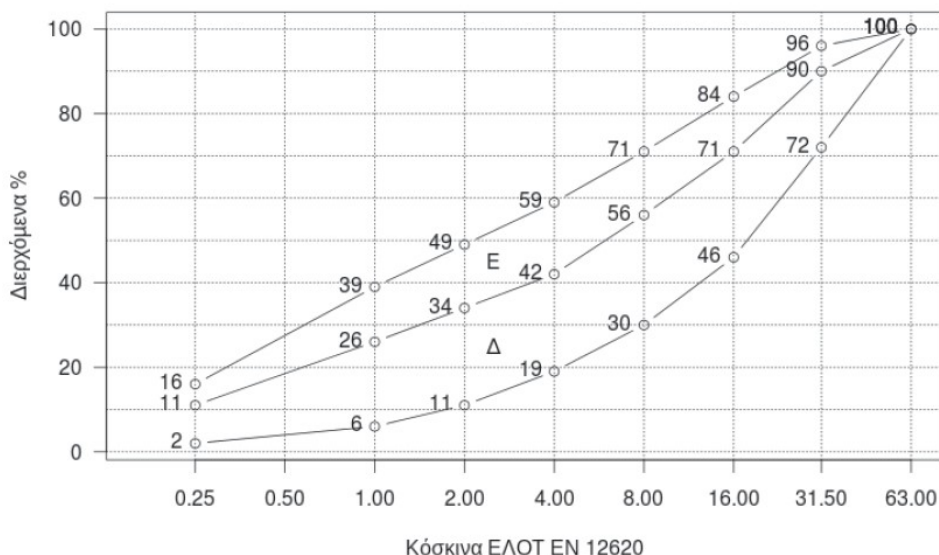
Με την απαραίτητη διαβάθμιση εντός του εύρους D/d, επιτυγχάνεται η καλύτερη πλήρωση των κενών μεταξύ των αδρανών από τα μεγαλύτερα προς τα μικρότερα μεγέθη. Μέσα από το EN12620 [41] προσδιορίζονται όλες επιτρεπτές διαβαθμίσεις για διάφορα εύρη μεγέθους αδρανών ενώ παράλληλα κωδικοποιούνται κάποιες βασικές.

Τελευταίο αλλά πολύ σημαντικό κλάσμα αδρανών αποτελούν οι παιπάλες (fines), υλικά σωματίδια που διέρχονται από το κόσκινο 0.063mm σύμφωνα με το EN 12620 [41]. Μπορεί να αποτελούνται από σκόνη του πετρώματος στα ΦΑ ή παλιού τσιμέντου στα ΑΑ αλλά και άργιλο, πηλό κ.ά. Η παιπάλη είναι προσκολλημένη στους κόκκους των αδρανών εμποδίζοντας την επαφή τους με το τσιμεντοκονίαμα με αποτέλεσμα τη δημιουργία αδύναμων σημείων στο σκυρόδεμα. Η παρουσία μεγάλης ποσότητας παιπάλης αυξάνει την απαίτηση σε νερό στο σκυρόδεμα (αύξηση N/T) και μειώνει την εργασιμότητα και την αντοχή του ενώ η απουσία παιπάλης έχει ως αποτέλεσμα την ανομοιογένεια (μη συνεκτικότητα) του προϊόντος και μεγαλύτερη απαίτηση τσιμέντου στο μίγμα (αύξηση κόστους). Στον Πίνακα 3.4 παρουσιάζονται οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές παιπάλης στο μίγμα αδρανών.

Πίνακας 3.4: Μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό παιπάλης [52]

| Μέγεθος κόσκινου (mm) | Ποσοστό διερχόμενων κατά μάζα (%κ.β.) |   |
|-----------------------|---------------------------------------|---|
|                       | Μέγιστο επιτρεπόμενο ανά μέτρηση      | Μέγιστο επιτρεπόμενο στο σύνολο του παραγωγού |
| 2                     | 100                                   | -   |
| 0.125                 | 85 με 100                             | 10  |
| 0.063                 | 70 με 100                             | 10  |

Το αποτέλεσμα του κοσκινίσματος και του υπολογισμού της κοκκομετρικής διαβάθμισης, είναι η παραγωγή κοκκομετρικών καμπυλών με τα όρια της επιθυμητής ή απαραίτητης συμμετοχής των διάφορων κλασμάτων να δίνονται γραφικά από τους εθνικούς κανονισμούς. Παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης από τον ΚΤΣ-2016 [42] παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1: Παράδειγμα κοκκομετρικής καμπύλης όπως δίνεται από τον ΚΤΣ 2016 [42]

### 3.2.1.3 Περιεκτικότητα παιπάλης ανά κλάσμα μεγέθους

Πέρα από τη συνολική ύπαρξη παιπάλης σε ένα δείγμα D/d, ελέγχεται και το ποσοστό του κλάσματος που περνάει το κόσκινο 0.063mm από τα αδρανή με διάμετρο  $d < 2\text{mm}$ . Εξετάζεται ανά κατηγορία μεγέθους των αδρανών με βάση το Πρότυπο EN 933-1 [51], και έχει σημασία γιατί κάθε κλάσμα περιέχει διαφορετικά υλικά στην παιπάλη του με συνέπεια να επιδρά διαφορετικά στο σκυρόδεμα. Τα όρια και η κωδικοποίηση ανά κλάσμα αδρανών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.5. Ο δείκτης αυτός όπως και το μέγιστο ποσοστό παιπάλης

αναφέρεται συχνά ως έλεγχος στα ΑΑ διότι όπως αναφέρθηκε συχνά υπάρχουν ξένα και επικίνδυνα για το σκυρόδεμα υλικά.

Πίνακας 3.5: Κωδικοποίηση ποσοστού παιπάλης ανά κλάσμα αδρανών [52]

| Αδρανές                   | Ποσοστό κατά μάζα<br>διερχόμενων του κόσκινου<br>0.063mm | Κατηγορία f           |
|---------------------------|--|-----------------------|
| Χονδρόκοκκο (d>4mm)       | <1.5   | f <sub>1,5</sub>      |
|                           | <4   | f <sub>4</sub>        |
|                           | >4   | f <sub>Declared</sub> |
|                           | Χωρίς απαίτηση   | f <sub>NR</sub>       |
|                           |  |                       |
| Φυσικής διαβάθμισης 0/8mm | <3   | f <sub>3</sub>        |
|                           | <10  | f <sub>10</sub>       |
|                           | <16  | f <sub>16</sub>       |
|                           | >16  | f <sub>Declared</sub> |
|                           | Χωρίς απαίτηση   | f <sub>NR</sub>       |
| Σύνολο κοσκίνων (All-in)  | <3   | f <sub>3</sub>        |
|                           | <11  | f <sub>11</sub>       |
|                           | >11  | f <sub>Declared</sub> |
|                           | Χωρίς απαίτηση   | f <sub>NR</sub>       |
| Λεπτόκοκκο (d<4mm)        | <3   | f <sub>3</sub>        |
|                           | <10  | f <sub>10</sub>       |
|                           | <16  | f <sub>16</sub>       |
|                           | <22  | f <sub>22</sub>       |
|                           | >22  | f <sub>Declared</sub> |
|                           | Χωρίς απαίτηση   | f <sub>NR</sub>       |

#### 3.2.1.4 Σχήμα χονδρόκοκκων αδρανών

Στο πρότυπο EN12620 [41] καθορίζονται δυο δείκτες για το σχήμα, ο δείκτης πλακοειδούς (flakiness index) κι ο δείκτης σχήματος (shape index) οι οποίοι υπολογίζονται σύμφωνα με τα Πρότυπα EN 933-3 και 933-4 αντίστοιχα [51]. Ανεξάρτητα από το μέγεθος των αδρανών, το σχήμα επηρεάζει κι αυτό με πολλούς τρόπους τις ιδιότητες τόσο του νωπού όσο και του σκληρυμένου σκυροδέματος. Για παράδειγμα τα σφαιρικά αδρανή προσδίδουν εργασιμότητα στο νωπό υλικό ενώ τα πιο πεπλατυσμένα οδηγούν σε αύξηση της μεταξύ τους τριβής και λόγω της ειδικής επιφάνειάς τους, έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση εργασιμότητας και αύξησης της απαίτησης σε νερό. Αντίθετα τα πιο πολυγωνικά αδρανή,

έχουν βελτιωμένη στήριξη μεταξύ τους και μεγαλύτερη πρόσφυση με το τσιμεντοκονίαμα λόγω αυξημένης επιφάνειας επαφής [22]. Στον Πίνακα 3.6 παρουσιάζονται οι τιμές των δεικτών και η κωδικοποίηση που αντιστοιχεί σε αυτές.

Πίνακας 3.6: Κωδικοποίηση δεικτών πλακοειδούς και σχήματος κατά EN12620 [52]

| Δείκτης πλακοειδούς | Κατηγορία FI           | Δείκτης Σχήματος | Κατηγορία SI           |
|---------------------|------------------------|------------------|------------------------|
| <15                 | FI <sub>15</sub>       | <15              | FI <sub>15</sub>       |
| <20                 | FI <sub>20</sub>       | <20              | FI <sub>20</sub>       |
| <35                 | FI <sub>35</sub>       | <40              | FI <sub>40</sub>       |
| <50                 | FI <sub>50</sub>       | <55              | FI <sub>55</sub>       |
| >50                 | FI <sub>Declared</sub> | >55              | FI <sub>Declared</sub> |
| Χωρίς απαίτηση      | FI <sub>NR</sub>       | Χωρίς απαίτηση   | FI <sub>NR</sub>       |

### 3.2.2 Φυσικές ιδιότητες αδρανών

Τα αδρανή σκυροδέματος απαιτείται να έχουν φυσικές αντοχές ούτως ώστε κατά την παραγωγή αλλά και μετά την εφαρμογή του σκυροδέματος, να μπορούν να παραλαμβάνουν τις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό. Για τα ΦΑ συνήθως ελέγχεται η θλιπτική αντοχή του μητρικού πετρώματος (ΚΤΣ97) [53] ως πρώτος δείκτης, όμως με την εισαγωγή της χρήσης ΑΑ, ένας τέτοιος δείκτης δεν έχει νόημα. Συνεπώς, ελέγχονται άλλα χαρακτηριστικά των αδρανών που αφορούν στη συμπεριφορά τους σε μηχανικές καταπονήσεις, την επίδραση που έχουν στο νερό του μίγματος σκυροδέματος και την αντοχή τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες.

#### 3.2.2.1 Αντοχή σε θραύση χονδρόκοκκων αδρανών κατά Los Angeles

Η δοκιμή Los Angeles υλοποιείται με βάση το Πρότυπο EN 1097-2 [54]. Πραγματοποιείται με τοποθέτηση των χονδρόκοκκων αδρανών σε περιστρεφόμενο μεταλλικό κυλινδρικό κάδο μαζί με μεταλλικές σφαίρες. Έπειτα από 500 περιστροφές, υπολογίζεται το ποσοστό των υλικών διαμέτρου <1.6mm που αποκολλώνται από τα αδρανή, παρέχοντας έναν δείκτη φθοράς των αδρανών που υπόκεινται ταυτόχρονα σε καταπόνηση λείανσης, θρυμματισμού, κρούσης και τριβής. Χρησιμεύει ιδιαίτερα στα ΑΑ αφού είναι δείκτης συμπεριφοράς των αδρανών σε μηχανική καταπόνηση και αποτελεί μια καλή εκτίμηση της αντοχής τους [22]. Οι κωδικοποιημένες κατηγορίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.7.

Πίνακας 3.7: Κωδικοποίηση δείκτη δοκιμής υγείας Los Angeles [52]

| Δείκτης Los Angeles | Κατηγορία LA           |
|---------------------|------------------------|
| <15                 | LA <sub>15</sub>       |
| <20                 | LA <sub>20</sub>       |
| <25                 | LA <sub>25</sub>       |
| <30                 | LA <sub>30</sub>       |
| <35                 | LA <sub>35</sub>       |
| <40                 | LA <sub>40</sub>       |
| <50                 | LA <sub>50</sub>       |
| >50                 | LA <sub>Declared</sub> |
| Χωρίς απαίτηση      | LA <sub>NR</sub>       |

Στο Πρότυπο EN12620 αναφέρονται κι άλλες δοκιμές υγείας όπως η αντοχή σε τριβή Micro-Denai κατά το Πρότυπο EN1097 [54] και άλλα τρία ήδη δοκιμών αντοχής σε τριβή που υπάρχουν στο ίδιο Πρότυπο τα οποία όμως δεν αναφέρονται στις απαιτήσεις αντοχών αδρανών και ως εκ τούτου παραλείπονται.

### 3.2.2.2 Πυκνότητα επί ξηρής βάσης και απορροφητικότητα σε νερό

Η πυκνότητα των αδρανών αποτελεί ένα θεμελιώδες μέγεθος κατά τον σχεδιασμό σύνθεσης σκυροδέματος μαζί με την απορροφητικότητα σε νερό (WA), όπως υπολογίζεται κατά το EN 1097 [54]. Η πυκνότητα ως μέγεθος συνδέει το βάρος με τον όγκο των αδρανών και επηρεάζει άμεσα την πυκνότητα και το βάρος του σκυροδέματος. Βάσει του ειδικού βάρους των αδρανών, κατατάσσονται σε ελαφροβαρή (<1120kg/m<sup>3</sup>), κανονικού βάρους και βαρέα αδρανή (>2080kg/m<sup>3</sup>) και παράγουν τα αντίστοιχου τύπου σκυροδέματα. Η απορροφητικότητα από την άλλη, είναι δείκτης του πορώδους του υλικού και αποτελεί δείκτη του πόσο επιπλέον νερό μπορεί να χρειαστούν τα αδρανή κατά την ανάμειξη, βοηθώντας έτσι την διόρθωση της αναλογίας N/T.

### 3.2.2.3 Αντοχή σε αποσάθρωση

Το σκυρόδεμα ως υλικό εκτίθεται σε μεγάλο φάσμα περιβαλλοντικών συνθηκών αλλά και φυσικοχημικών διεργασιών. Εντός αυτού καταπονούνται και τα αδρανή, συνεπώς είναι σημαντική η κατάλληλη επιλογή τους για κάθε εφαρμογή [44]. Κάποιες από τις συνήθεις δοκιμές αποσάθρωσης (υγείας - soundness) είναι:

- δοκιμή αντοχής σε ψύξη απόψυξη (Ψ/Α), (freezing and thawing), κατά EN 1367-1 [55] με την κωδικοποίηση της στον Πίνακα 3.8,

- δοκιμή αποσάθρωσης με  $MgSO_4$  κατά EN 1367-4 [55] με την κωδικοποίηση της στον Πίνακα 3.9,
- υπολογισμός συστολής ξήρανσης κατά EN1367-4 [55] με μέγιστη επιτρεπόμενη για ΦΑ να ορίζεται σε 0.075%,
- έλεγχος για συμμετοχή σε αντιδράσεις αλκαλίων-πυριτικών.

Πίνακας 3.8 Δείκτης απώλειας μάζας σε κύκλους ψύξης απόψυξης [52]

| Ποσοστό απώλειας μάζας<br>σε κύκλους Ψ/Α<br>(%κ.β.) | Κατηγορία<br>F        |
|---|-----------------------|
| <1  | F <sub>1</sub>        |
| <2  | F <sub>2</sub>        |
| <4  | F <sub>4</sub>        |
| >4  | F <sub>Declared</sub> |
| Χωρίς απαίτηση                                      | F <sub>NR</sub>       |

Πίνακας 3.9: : Δείκτης απώλειας μάζας σε δοκιμή αποσάθρωσης με  $MgSO_4$  [52]

| Ποσοστό απώλειας μάζας σε δοκιμή<br>αποσάθρωσης με $MgSO_4$ | Κατηγορία MS           |
|---|------------------------|
| <18   | MS <sub>18</sub>       |
| <25   | MS <sub>25</sub>       |
| <35   | MS <sub>35</sub>       |
| >35   | MS <sub>Declared</sub> |
| Χωρίς απαίτηση  | MS <sub>NR</sub>       |

Για κάθε πιθανή περιβαλλοντική έκθεση του σκυροδέματος που πηγάζει από τον ΕΚ2 [26] και το Πρότυπο EN206 [27] προβλέπονται συγκεκριμένες απαιτήσεις αντοχής για το σκυρόδεμα. Στο Σχήμα 3.2 παρουσιάζονται οι απαιτήσεις για την ενανθράκωση ενώ συνολικά οι κατηγορίες έκθεσης του ΕΚ2 [26] παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.3. Όπως παρουσιάζεται στη συνέχεια του κεφαλαίου, η χρήση των ΑΑ περιορίζεται σε κατηγορίες χαμηλής περιβαλλοντικής έκθεσης. Αυτό συμβαίνει διότι η συνολική ανομοιογένεια των ΑΑ θα οδηγούσε σε αύξηση του κόστους λόγω πολλαπλών ελέγχων, ενώ για χαμηλή περιβαλλοντική έκθεση, δεν υπάρχει τέτοια ανάγκη. Οι βασικές κατηγορίες έκθεσης όπως κωδικοποιούνται από τον ΕΚ2 [26] αναφέρονται στον Πίνακα 3.10.

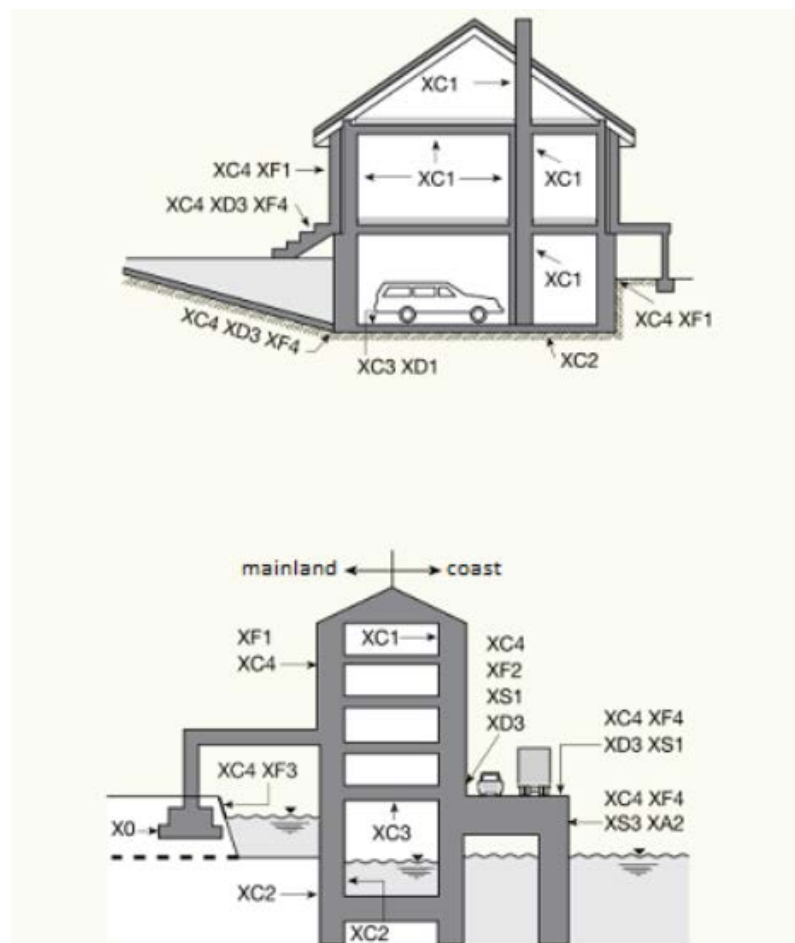


Σχήμα 3.2: Απόσπασμα πίνακα απαιτήσεων και ελάχιστης αντοχής σκυροδέματος για τις 4 κατηγορίες ενανθράκωσης σκυροδέματος σύμφωνα με το EN206 [31]

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ | ΕΛΑΧΙΣΤΟ Ν/Τ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΝΤΟΧΗΣ | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ (Kg/m <sup>3</sup> ) | ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ (mm) |
|-------------------|--------------|----------------------------|--|-------------------------|
| XC1               | 0.60 [0.65]  | C25/30 [C20/25]            | 300 [260]  | 25/35                   |
| XC2               | 0.60 [0.60]  | C25/30 [C25/30]            | 300 [280]  | 35/45                   |
| XC3               | 0.55 [0.55]  | C28/35 [C30/37]            | 320 [280]  | 35/45                   |
| XC4               | 0.50 [0.50]  | C32/40 [C30/37]            | 340 [300]  | 40/50                   |

Πίνακας 3.10: Κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης σύμφωνα με τον ΕΚ 2 [26]

| Κωδικοποίηση κατηγορίας | Περιβαλλοντική έκθεση                         |
|-------------------------|---|
| X0                      | Κανονικές συνθήκες, χαμηλή υγρασία            |
| XC1-XC4                 | Ενανθράκωση                                   |
| XD1-XD3                 | Διάβρωση από χλωριούχα                        |
| XS1-XS3                 | Διάβρωση από χλωριούχα σε θαλάσσιο περιβάλλον |
| XF1-XF4                 | Ψύξη και απόψυξη                              |
| XA1-XA2                 | Χημικά  |



Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση κατηγοριών έκθεσης σκυροδέματος σύμφωνα με τον ΕΚ 2 [60]

### 3.2.3 Χημικές ιδιότητες αδρανών

Ένα πολύ σημαντικό μέρος των ιδιοτήτων του σκυροδέματος οφείλεται σε χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου αλλά και μετά την ολοκλήρωση της. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητη η εξέταση των αδρανών για παρουσία οργανικών προσμίξεων και λοιπών συστατικών που μπορεί να επηρεάζουν, συνήθως δυσμενώς, την προστασία του οπλισμού που προσφέρει το σκυρόδεμα, τη σταθερότητα όγκου, την πήξη, τη σκλήρυνση ή και την τελική αντοχή του.

#### 3.2.3.1 Περιεκτικότητα σε χλωριόντα [22], [52]

Ο προσδιορισμός παρουσίας χλωριόντων πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN 1744-1 [56], όπου το δείγμα διαβρέχεται με αποσταγμένο νερό με στόχο να μεταφερθούν τα ευδιάλυτα ιόντα χλωρίου με αυτό. Η περιεκτικότητα εκφράζεται ως ποσοστό % ιόντων χλωρίου στη μάζα του δείγματος και έχει μεγάλη σημασία για αδρανή θαλάσσιας ή άγνωστης προέλευσης διότι η αυξημένη συγκέντρωση αυτών, προκαλεί οξείδωση του οπλισμού.

#### 3.2.3.2 Περιεκτικότητα σε θειικά [22]

Για την περιεκτικότητα των αδρανών σε θειικές ενώσεις υπάρχουν δυο δείκτες, την περιεκτικότητα σε θειικά διαλυτά σε οξύ AS (Acid-soluble sulfate) και στην περιεκτικότητα σε ολικό θείο S που εκφράζεται ως ποσοστό %. Η ύπαρξη θειούχων μπορεί να οδηγήσει σε διόγκωση του σκυροδέματος.

#### 3.2.3.3 Άλλες προσμίξεις

Προσμίξεις που επηρεάζουν την πήξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος είναι συνήθως οργανικά και άλλα υλικά. Απαραίτητο είναι η ύπαρξη αυτών των υλικών να μην αυξάνει το χρόνο πήξης του σκυροδέματος σε περισσότερο από 120 λεπτά και να μην μειώνει την αντοχή του σκληρυμένου σκυροδέματος περισσότερο από 20% στις 28 ημέρες. Ο έλεγχος της περιεκτικότητας σε τέτοιες προσμίξεις πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο EN1744-1 [56] ενώ ταυτόχρονα δοκιμάζεται το σκυρόδεμα για τις παραπάνω επιδράσεις τους.

### 3.2.4 Περιεχόμενα αδρανών - υλικά εντός του μίγματος

Μια τελευταία κωδικοποίηση που εισάγει το πρότυπο EN 12620 [41] αφορά στην περιγραφή των κατηγοριών των ΑΑ με βάση την ποσοστιαία περιεκτικότητά τους σε διάφορα υλικά

σύμφωνα με το Πρότυπο EN933-11 [18ν]. Οι κατηγορίες υλικών κωδικοποιούνται με τον εξής συμβολισμό:

- R<sub>U</sub>: συνδεδεμένα και μη αδρανή
- R<sub>C</sub>: θραυσμένο σκυρόδεμα και υλικά τσιμέντου,
- R<sub>B</sub>: κεραμικά υλικά (τούβλα, κεραμίδια κ.ά.),
- R<sub>A</sub>: άσφαλτος
- R<sub>G</sub>: γυαλί,
- X<sub>x</sub>: άλλα ξένα υλικά όπου αν προσδιορίζεται είναι x:C για κόλλες, x:M για μέταλλα, x:W για ξύλο, x:P για πλαστικό, x:R για λάστιχο, x:G για γύψο και x:X για το σύνολο των παραπάνω
- FL: τα επιπλέοντα υλικά κ.ο. (%).

### 3.3 Κανονισμοί και πρότυπα σκυροδέματος με χρήση ΑΑ

Διεθνώς, η παραγωγή σκυροδέματος αποτελεί μια τυποποιημένη διαδικασία που βασίζεται σε κανονισμούς και πρότυπα που αρχικά προσδιορίζουν τα κατάλληλα υλικά, την ακριβή διαδικασία παραγωγής του και τέλος ποιοτικές δοκιμές για το νωπό και το σκληρυμένο σκυρόδεμα. Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύθηκαν κάποια από τα χαρακτηριστικά και δοκιμές που αφορούν στα αδρανή ούτως ώστε να κρίνεται η καταλληλότητα τους για χρήση στο σκυρόδεμα. Στη συνέχεια αναφέρονται ποιοτικές απαιτήσεις για τα αδρανή όπως καταγράφονται από διάφορες εθνικές νομοθεσίες. Η εφαρμογή πιο ελαστικών ή πιο αυστηρών απαιτήσεων για τα ΑΑ στο σκυρόδεμα εξαρτάται από τις γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής σε συνδυασμό με τα προβλήματα διαχείρισης που αναπτύχθηκαν στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

Παρακάτω παρουσιάζονται ενεργοί κανονισμών σκυροδέματος που επιτρέπουν τη χρησιμοποίηση ΑΑ. Πέρα από τις μεμονωμένες χώρες που έχουν δικά τους Πρότυπα και Κανονισμούς (Ιαπωνία, ΗΠΑ, Βραζιλία κ.ά.), η ύπαρξη κοινών Προτύπων όπως συμβαίνει στην ΕΕ δεν σημαίνει απαραίτητα ότι η νομοθεσία μεταξύ των χωρών είναι ίδια, αφού στις περισσότερες περιπτώσεις γίνονται προσαρμογές τους με εθνικά προσαρτήματα. Συγκεκριμένα στην ΕΕ, υπάρχουν χώρες (Ολλανδία, Γερμανία κ.ά.) που είχαν θεσπίσει Κανονισμούς για τη χρησιμοποίηση ΑΑ πολύ πριν καθιερωθούν τα σχετικά Ευρωπαϊκά Πρότυπα και συνεχίζουν αντίστοιχα και μετά την ενσωμάτωση τους. Η διάδοση της τεχνογνωσίας και τεχνολογίας επιτρέπει σε όλο και περισσότερες χώρες να θεσπίσουν ασφαλείς κανόνες χρήσης ΑΑ ούτως ώστε να κλείσουν τον κύκλο διαχείρισης του ρεύματος των ΑΚΚ. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση ΑΑ για μαζική παραγωγή

σκυροδέματος, εστιάζοντας στο δομικό οπλισμένο σκυρόδεμα όπως αυτή επιτρέπεται από διάφορες εθνικές νομοθεσίες με την αναφορά των αντίστοιχων Προτύπων και εθνικών προσαρτημάτων και των ποιοτικών απαιτήσεων που θέτουν.

### 3.3.1 Αμερική

#### 3.3.1.1 Η.Π.Α

Στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) ισχύουν δυο ρυθμιστικά κείμενα που διέπουν τις κατασκευές από σκυρόδεμα και τις απαιτήσεις ποιότητας του σκυροδέματος. Ο Κανονισμός ACI 318 [57] και το Πρότυπο ACI 301 [58], υπάρχουν παράλληλα όπου το πρώτο αναφέρει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενώ το δεύτερο αφορά στο βέλτιστο σχεδιασμό. Και στα δυο κείμενα αναφέρεται το Πρότυπο ASTM C33 [59] για τα κανονικού βάρους αδρανή το οποίο ενώ προβλέπει τη χρήση ΑΑ, αναφέρει μόνο την αύξηση των ορίων ποσοστού παιπάλης (αμερικανικό κόσκινο No.200) από 3% στα 5% ενώ για σκυρόδεμα χωρίς τριβές έως και 7% [61]. Παράλληλα, στο Πρότυπο AASHTO M80 [62] για χονδρόκοκκα αδρανή αναφέρεται η χρήση θραυσμένου σκυροδέματος χωρίς όμως να περιέχει συγκεκριμένους περιορισμούς για το παραγόμενο σκυρόδεμα. Μόνο στο παλαιότερο Πρότυπο AASHTO MP16 [63], το οποίο αφορούσε μη δομικό σκυρόδεμα, αναφέρονταν κάποιες απαιτήσεις για τα ΑΑ όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.11.

Πίνακας 3.11: Όρια για διάφορες ιδιότητες και περιεχόμενα σύμφωνα με το AASHTO MP16 [61]

| LA (%) | f (%) | Ιόντα χλωρίου (%) | Απώλεια μάζας % σε Ψ/Α          |                    |
|--------|-------|-------------------|---------------------------------|--------------------|
|        |       |                   | Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | Mg SO <sub>4</sub> |
| <50    | <1.5  | <0.6              | <12                             | <18                |

Σε ισχύ επίσης είναι η πρόταση μιας τεχνικής επιτροπής του ACI, το Πρότυπο ACI 555 [64] το οποίο περιγράφει τον τρόπο κατεδάφισης μιας κατασκευής ούτως ώστε να παραχθούν αδρανή κατάλληλα για σκυρόδεμα όπου και αναφέρονται ποσοτικά όρια ξένων υλικών του Πίνακα 3.12.

Πίνακας 3.12: Μέγιστα επιτρεπόμενα ποσοστά ξένων και επιβλαβών υλικών κατά ACI 555 [61]

| Ξένα και επιβλαβή υλικά, ποσοστό μάζας (%κ.β.) |      |    |    |    |         |
|--|------|----|----|----|---------|
| Άργιλος  | Χώμα | XW | XG | RA | Χρώματα |
| 7  | 5    | 4  | 3  | 2  | 0.2     |

### 3.3.1.2 Βραζιλία

Στη Βραζιλία ο Κανονισμός NBR 15.116 [65] αποτελεί οδηγό για τη χρήση ΑΑ που προέρχονται από ΑΚΚ. Η αρχική έκδοση του 2004 έως και τη προτελευταία αναθεώρηση περιείχαν μόνο 2 κατηγορίες αδρανών, ΑΑ αποκλειστικά σκυροδέματος Agregado Reciclado de Concreto (ARC) και ανάμεικτα Agregado Reciclado Misto (ARM) και προβλεπόταν μόνον μη δομική χρήση τους, με δυνατότητα μέχρι 100% αντικατάσταση τόσο των χονδρόκοκκων όσο και λεπτόκοκκων ΦΑ με ονομαστική αντοχή έως 15MPa [25], [66]. Η τελευταία αναθεώρηση τον Ιούνιο του 2021 ορίζει 3 κατηγορίες ΑΑ, τα Agregado Reciclado de Concreto (ARCO) από σκυρόδεμα καλής και γνωστής ποιότητας, τα Agregado Reciclado Cimenticio (ARCI) από προϊόντα τσιμέντου και τα ARM προέλευσης από μικτά θραυσμένα ΑΚΚ [67]. Επειδή το Πρότυπο [65] είναι καινούριο, δεν υπάρχουν πολλές εργασίες πάνω σε αυτό και τα στοιχεία που αντλήθηκαν περιορίζονται στις λίγες ανασκοπήσεις του. Εκτός του ορισμού των νέων κατηγοριών ΑΑ που αναφέρθηκαν, το πρότυπο αυτό εισάγει την έννοια του πρόσθετου νερού διαβροχής των αδρανών που απαιτείται για να καλυφθεί η αυξημένη απορροφητικότητα σε νερό, ενώ παρουσιάζεται να επιτρέπει τη χρήση της κατηγορίας ARCO με αντικατάσταση έως 20% σε σκυροδέματα ακόμα και σε μεσαίες κατηγορίες περιβαλλοντικής έκθεσης [68].

### 3.3.2 Ασία

#### 3.3.2.1 Ιαπωνία

Ιστορικά η Ιαπωνία αποτελεί μια από τις πρώτες χώρες που ανέπτυξαν την ανακύκλωση και χρήση ΑΑ. Για χρήση σε σκυρόδεμα, αρχικά υπήρξε μια πρόταση της ένωσης εργολάβων της χώρας, Building Contractors Society of Japan (BCSJ) [25], όμως στη συνέχεια θεσμοθετήθηκαν τρία εθνικά Πρότυπα για τα ΑΑ και τη χρήση τους σε παραγωγή σκυροδέματος [69]. Το Πρότυπο JIS A 5023 [70] για αδρανή CLASS L, τα οποία προέρχονται από ανακύκλωση ανάμεικτων οικοδομικών υλικών και είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις αντοχής. Το Πρότυπο JIS A 5022 [71] για αδρανή CLASS M τα οποία αποτελούνται κυρίως από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα και είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα σε βαθιές θεμελιώσεις, συνδετήριες δοκούς και πλήρωση κοίλων συμμίκτων υποστυλωμάτων κ.ά. Τέλος, το πιο απαιτητικό Πρότυπο JIS A 5021 [72] για αδρανή CLASS H τα οποία προέρχονται από εργοστασιακό ανακυκλωμένο σκυρόδεμα με στόχο να τηρούνται πολύ υψηλές συνθήκες ποιότητας. Από τα ΑΑ της CLASS H μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο τα λεπτόκοκκα όσο και τα χονδρόκοκκα κλάσματα χωρίς περιορισμούς στο ποσοστό αντικατάστασης και μέχρι

κατηγορία αντοχής 45MPa [69], [73]. Οι απαιτούμενες φυσικές και χημικές ιδιότητες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.13, ενώ οι απαιτήσεις σε περιεκτικότητα άλλων υλικών αναφέρονται στον Πίνακα 3.14.

Πίνακας 3.13: Φυσικά χαρακτηριστικά όπως απαιτούνται για τα AA κλάσης H, όπου C:coarse & F:fine [69]

| Κατηγορία AA | Πυκνότητα<br>(ξηρασίας)       | Απορροφητικότητα<br>νερού | Μέγιστη περιεκτικότητα σε ποσοστά<br>(%) |        |       | (%) |
|--------------|-------------------------------|---------------------------|--|--------|-------|-----|
|              | $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | WA (%)                    | ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ                                | ΘΕΙΙΚΑ | f     |     |
| CLASS H      | 2500C & F                     | 3C, 3.5F                  | 0.04                                     | Χ.Α.   | 1C,7F | 35C |

Πίνακας 3.14: Άνω όρια περιεχόμενου % κ.β. σε ξένα και επικίνδυνα υλικά των AA κλάσης H [69]

| Κεραμίδια,<br>τούβλα,<br>κεραμικά κ.ά. | Γυαλί (RG) | Πλαστικά (XP) | Γύψος<br>(XG) | Ανόργανα<br>συστατικά | Ξύλο,<br>χαρτί<br>κ.ά. | <b>ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΑ<br/>(μέχρι)</b> |
|--|------------|---------------|---------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|
| 2                                      | 0.5        | 0.5           | 0.1           | 0.5                   | 0.1                    | 3                             |

### 3.3.2.2 Κίνα

Στην Κίνα, ισχύει το Πρότυπο GB/T25177 [74] το οποίο αναφέρεται σε χρήση AA σε σκυρόδεμα, χωρίζοντας τα AA σε 3 κλάσεις (Class I, Class II & Class III) [61]. Τα χονδρόκοκκα AA Class I είναι κατάλληλα για χρήση άνευ περιορισμών ενώ τα λεπτόκοκκα για σκυρόδεμα κατηγορίας μέχρι C40. Τα χονδρόκοκκα Class II επιτρέπονται για σκυρόδεμα μέχρι C40 ενώ τα λεπτόκοκκα έως C25 αντίστοιχα και τέλος από τα AA Class III τα χονδρόκοκκα για σκυρόδεμα κατηγορίας μέχρι C25 και τα λεπτόκοκκα για μη δομικό σκυρόδεμα. Γενικά συστήνεται η αντικατάσταση ΦΑ έως 50% αθροιστικά εκτός της Class I που μπορούν να αντικαταστήσουν μέχρι και 100% τα ΦΑ [75]. Ποιοτικές απαιτήσεις για τα αδρανή κατά το Πρότυπο GB/T25177 [74] αναφέρονται στον Πίνακα 3.15.

Πίνακας 3.15: Απαιτούμενες φυσικές και χημικές ιδιότητες κατά το GB/T25177 [75]

| Κατηγορία<br>AA | Πυκνότητα (ξηρασίας)          | Απορροφητικότητα<br>νερού | Μέγιστη περιεκτικότητα σε<br>ποσοστά (%) |        |   |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--|--------|---|
|                 | $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | WA (%)                    | ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ                                | ΘΕΙΙΚΑ | f |
| CLASS 1         | 2450                          | 3                         | 0.06                                     | 2      | 1 |
| CLASS 2         | 2350                          | 5                         | 0.06                                     | 2      | 2 |
| CLASS 3         | 2250                          | 8                         | 0.06                                     | 2      | 3 |

## 3.3.2.3 Χονγκ Κονγκ

Στο Χονγκ Κονγκ, ισχύει το Πρότυπο WBTC No. 12/2002 [76] με θέμα την χρησιμοποίηση ΑΑ για τη παραγωγή σκυροδέματος [77]. Το συγκεκριμένο Πρότυπο περιγράφει 2 διαφορετικά μίγματα σκυροδέματος με αντικατάσταση κατά 20 και 100% των χονδρόκοκκων μόνο αδρανών με το πρώτο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δομικό σκυρόδεμα αντοχής 25-35MPa, ενώ το δεύτερο σε μη δομική σκυροδέμα αντοχής έως 20MPa [76]. Στον Πίνακα 3.16 παρουσιάζονται οι ποιοτικές απαιτήσεις για τα ανακυκλωμένα αδρανή.

Πίνακας 3.16: Απαιτούμενα και μέγιστα χαρακτηριστικά ΑΑ κατά το WBTC No. 12/2002 [76]

| Κατηγορία<br>ΑΑ | Πυκνότητα<br>(ξηρασίας)       | Απορροφητικότητα<br>νερού | Μέγιστη περιεκτικότητα σε<br>ποσοστό (%) |        |   |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|--|--------|---|
|                 | $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | WA (%)                    | ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ                                | ΘΕΙΙΚΑ | f |
| RCA             | 2000                          | 10                        | 0.05                                     | 1      | 4 |

## 3.3.2.4 Νότια Κορέα

Στη Νότια Κορέα είναι σε ισχύ το Πρότυπο KS F2527 [78] που αφορά τα αδρανή στο σκυρόδεμα με τελευταία αναθεώρηση το 2020 [75]. Σύμφωνα με το Πρότυπο αυτό, επιτρέπεται η χρησιμοποίηση ΑΑ για παρασκευή σκυροδέματος αντοχής έως 27MPa με αντικατάσταση χονδρόκοκκων ΦΑ μέχρι 60% και μέχρι 30% λεπτόκοκκων αδρανών, ενώ εάν χρησιμοποιούνται και τα 2 κλάσματα, τότε το ποσοστό αντικατάστασης να μη ξεπερνάει το 30% συνολικά [75], [79]. Στον Πίνακα 3.17 παρουσιάζονται οι ποιοτικές απαιτήσεις όπως ορίζονται από το Πρότυπο KS F2527 [78].

Πίνακας 3.17: Απαιτήσεις για τα ΑΑ σύμφωνα με το KS F2527, όπου C:coarse & F:fine [79]

| Κατηγορία<br>ΑΑ | Πυκνότητα<br>(ξηρασίας)       | Απορροφητικότητα<br>νερού | Περιεκτικότητα σε ποσοστά (%)      |          |        | Δοκιμές υγείας<br>(%) |    |
|-----------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------|--------|-----------------------|----|
|                 | $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | WA (%)                    | Οργανικά/ανόργανα<br>υλικά (%κ.β.) | Άργιλος  | f      | Soundness             | LA |
| RCA             | 2500C,<br>2300F               | 3C, 4F                    | 1/1                                | 0.2C, 1F | 1C, 7F | 12C, 10F              | 40 |

### 3.3.3 Ευρώπη

Στην Ευρώπη, η CEN έχει εκδώσει το Πρότυπο EN 206 [27] που αφορά το σκυρόδεμα και το Πρότυπο EN 12620 [41] που αποτελεί πρότυπο πιστοποίησης αδρανών κατάλληλων για σκυρόδεμα. Με βάση το Πρότυπο EN 12620 [41], κωδικοποιούνται τα χαρακτηριστικά των αδρανών όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 3.2, με συνέπεια οι εθνικοί Κανονισμοί να χρησιμοποιούν τη κωδικοποίηση αυτή για να αναφέρουν τις απαιτήσεις τους. Τα Πρότυπα αυτά είναι υποχρεωτικό να ενσωματώνονται από τις εθνικές νομοθεσίες όλων των κρατών μελών της ΕΕ ούτως ώστε να υπάρχει ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Μαζί με την ενσωμάτωση των Ευρωπαϊκών Προτύπων, συχνά εκδίδεται επιπλέον κάποιο προσάρτημα όπου αναφέρονται εθνικές απαιτήσεις. Λόγω της κοινής κωδικοποίησης των χωρών των οποίων οι Κανονισμοί αναπτύσσονται, με εξαίρεση την πρόταση της RILEM [80] και των Κανονισμών της Ελβετίας, οι ποιοτικές απαιτήσεις και λοιπά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στους συγκεντρωτικούς Πίνακες 3.20 και 3.21 στο τέλος του Κεφαλαίου, ούτως ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση τους.

#### 3.3.3.1 RILEM

Υπάρχουν διεθνείς επιστημονικές ομάδες με στόχο τη παρουσίαση λειτουργικών προτύπων μεταξύ άλλων και για τη τεχνολογία σκυροδέματος. Ένα τέτοιο, πρωτότυπο για την εποχή του, είναι η έκθεση της τεχνικής επιτροπής της RILEM, Technical Committee 121 [80] η οποία αφορά στη χρησιμοποίηση ΑΑ στο σκυρόδεμα και έχει επηρεάσει πολλούς ακόμα και μεταγενέστερους εθνικούς Κανονισμούς [69], [75], [77]. Στην έκθεση αυτή προτάθηκαν τρεις κατηγορίες ΑΑ, τα TYPE I, TYPE II & TYPE III, τα οποία διαχωρίζονται ανάλογα με την περιεκτικότητα τους σε άλλα υλικά εκτός ανακυκλωμένου σκυροδέματος. Γενικά θεωρείται πολύ ολοκληρωμένη προσέγγιση ακόμα και μετά από 25 χρόνια διότι περιλαμβάνει συντελεστές διόρθωσης ανάλογα με τις ιδιότητες των αδρανών καλύπτοντας έτσι, δυνητικά, πολλές χώρες [25]. Οι απαιτήσεις περιεκτικότητας για τις τρεις κατηγορίες αδρανών παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.18 ενώ κάποιες βασικές ποιοτικές απαιτήσεις παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.19. Οι προτεινόμενοι περιορισμοί στην πλήρη (100%) αντικατάσταση των χονδρόκοκκων ΑΑ αφορούν σε σκυρόδεμα μέχρι κατηγορίας αντοχής C16/20 σε μη επιθετικό περιβάλλον για τα TYPE I, μέχρι C50/60 σε μη επιθετικό περιβάλλον για τα TYPE II και άνευ ορίου αντοχής για τα TYPE III αντίστοιχα. Τα λεπτόκοκκα αδρανή που



μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι μόνο της κατηγορίας TYPE III και μόνο εάν καλύπτουν τις απαιτήσεις για τα ΦΑ [69].

Πίνακας 3.18: Όρια περιεκτικότητας ξένων υλικών για τις κατηγορίες AA του RILEM TC-121 [69], [77]

| Κατηγορία AA | Περιεκτικότητα σε ποσοστά (%) κατά EN12620 |      |      |    |    |    |          |     |
|--------------|--|------|------|----|----|----|----------|-----|
|              | Ru   | Rc   | Rb   | Rg | Ra | XX | Οργανικά | FL  |
| TYPE III     | <100                                       | <20  | <10  | 1  |    |    | 0.5      | 0.5 |
| TYPE II      | Δ.Ο.                                       | <100 | 0    | 1  |    |    | 0.5      | 0.5 |
| TYPE I       | Δ.Ο.                                       | Δ.Ο. | <100 | 5  |    |    | 1        | 1   |

Δ.Ο.: Δεν ορίζεται τιμή από το τεχνικό κείμενο

Πίνακας 3.19: Χαρακτηριστικές ιδιότητες των AA ανά κατηγορία κατά το RILEM TC-121 [69], [77]

| Κατηγορία AA | Πυκνότητα (ξηρασίας)          | Απορροφητικότητα νερού | Μέγιστη περιεκτικότητα σε ποσοστά (%) με κωδικοποίηση κατά EN12620 |        |   | (%)  |
|--------------|-------------------------------|------------------------|--|--------|---|------|
|              | $\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> ) | WA (%)                 | ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ  | ΘΕΙΙΚΑ | f | LA   |
| TYPE III     | 2400                          | 3                      | Κ.Α.   | AS1    | 2 | Χ.Α. |
| TYPE II      | 2000                          | 10                     | Κ.Α.   | AS1    | 2 | Χ.Α. |
| TYPE I       | 1500                          | 20                     | Κ.Α.   | AS1    | 3 | Χ.Α. |

Κ.Α.: Κατά απαίτηση της εφαρμογής, Χ.Α.: Χωρίς απαίτηση από το τεχνικό κείμενο

### 3.3.3.2 Ελβετία

Στην Ελβετία, είναι σε ισχύ το Έγγραφο Ot 70085 [81] με πιο πρόσφατη την έκδοση του 2015. Το έγγραφο αυτό αποτελεί οδηγό για την επαναχρησιμοποίηση κατασκευαστικών απορριμμάτων, συμπεριλαμβανομένου και της παραγωγής σκυροδέματος. Βάσει του Κανονισμού SIA 262 [82] αναφέρεται η καταλληλότητα των AA για χρήση στο σκυρόδεμα [81], τα οποία πρέπει να συμμορφώνονται με τις απαιτήσεις του Προτύπου SIA 2030:2010 [83]. Τρεις κατηγορίες χονδρόκοκκων AA ορίζονται, Natural Aggregates με περιεχόμενο >75% σε ΦΑ, RC-C με περιεχόμενο >25% ΦΑ και αδρανών σκυροδέματος και <5% κεραμικών και τέλος RC-M με >5% κεραμικά [84]. Σύμφωνα με το Ot 70085 [81], γίνεται διαχωρισμός ανάλογα με το εάν η εφαρμογή του σκυροδέματος είναι εσωτερική ή εξωτερική και εάν είναι έτοιμο (εργοστασιακό) σκυρόδεμα ή φτιάχνεται επί τόπου (εργοταξιακό). Συγκεκριμένα, στο έτοιμο σκυρόδεμα μπορεί να γίνει αντικατάσταση κατά 20% των ΦΑ με AA για αντοχές έως C35/45 για εσωτερική χρήση και έως C30/37 για εξωτερική, ενώ στο εργοταξιακό σκυρόδεμα και εσωτερική χρήση μπορούν να αντικατασταθούν μέχρι 25% και αντοχή C35/45 ή 35% για αντοχή έως C30/37, ενώ και για εξωτερική χρήση ισχύουν τα ίδια όρια [81]. Τέλος, δίνεται η

δυνατότητα αντικατάστασης ΦΑ σε μεγαλύτερα ποσοστά λαμβάνοντας υπόψιν τις μειώσεις χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος (μέτρο ελαστικότητας, θλιπτική και εφελκυστική αντοχή).

### 3.3.3.3 Ρωσία

Η Ρωσική Ομοσπονδία, τη τελευταία δεκαετία εναρμόνισε τους εθνικούς της κανονισμούς με διεθνείς επιλέγοντας τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα EN 206 [27] και EN 12620 [41]. Για το σκυρόδεμα, η εναρμόνιση έγινε με τον Νόμο ГОСТ Р 57345-2016/EN 206-1:2013 [85] όπου και υπάρχουν οι αναφορές του Προτύπου EN 206 [27] για τη καταλληλότητα των ΑΑ. Στον Κανονισμό [85], αναφέρεται η χρήση ΑΑ αλλά μόνο για ίδια χρήση από τους παραγωγούς των ΑΑ που είναι και παραγωγοί σκυροδέματος ενώ η αντικατάσταση μόνο των χονδρόκοκκων ΦΑ συστήνεται μέχρι και 5%. Στον νόμο αυτό, αναφέρεται επίσης ότι η χρήση ΑΑ στο σκυρόδεμα αποτελεί μια δοκιμαστική διάταξη ούτως ώστε οι παραγωγοί σκυροδέματος να έχουν τη δυνατότητα να δοκιμάσουν τα ΑΑ. Επιπλέον, για τη Ρωσία, υπάρχουν αναφορές του Roos (2002) [69] για κατασκευές προκατασκευασμένων στοιχείων σκυροδέματος από τη δεκαετία του 80 στη Σοβιετική Ένωση όταν όμως οι μέσες απαιτήσεις αντοχής ήταν πολύ κατώτερες από τις σύγχρονες (<15MPa).

### 3.3.3.4 Ηνωμένο Βασίλειο

Στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι σε ισχύ το Πρότυπο BS 8500:2 [86] το οποίο βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο ευρωπαϊκό EN 206 [27] και έχει το ρόλο εθνικού προσαρτήματος. Τα ΑΑ στα πλαίσια του Προτύπου [86], διαχωρίζονται σε χονδρόκοκκα αδρανή θραυσμένου σκυροδέματος (coarse crushed concrete aggregates - CCCA) και στα υπόλοιπα ΑΑ (recycled aggregate - RA), βάσει δηλαδή της προέλευσης των ΑΑ που επηρεάζει τη ποιότητα τους [69]. Αναφέρεται μόνο η χρήση χονδρόκοκκων αδρανών, όπως και στο EN 206, και με αντικατάσταση έως 20% με CCCA, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκυρόδεμα κατηγορίας μέχρι C40/50 σε συνθήκες περιβαλλοντικής έκθεσης Χ0, ΧC1-ΧC4 και ΧF1 που αποτελούν ένα καλό εύρος. Τέλος τα αδρανή πρέπει να καλύπτουν τις απαιτήσεις των ΦΑ με εξαίρεση κάποιες τιμές που παρουσιάζονται στους συνολικούς Πίνακες 3.20 και 3.21.

### 3.3.3.5 Βέλγιο

Το Βέλγιο έχει ενσωματώσει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206 [27] και παράλληλα ισχύει το εθνικό προσάρτημα NBN Β 15-001 [87]. Για τα αδρανή, παράλληλα με το ευρωπαϊκό Πρότυπο

EN12620 [41], υπάρχει το εθνικό προσάρτημα PTV 406 [88] για AA από AKK και βρίσκεται πλέον στην 9<sup>η</sup> αναθεώρηση του (2020) [88]. Στο PTV 406 [88], ορίζονται 2 κατηγορίες AA, τα type A+ & type B+ με τα χαρακτηριστικά και τις απαιτούμενες ιδιότητες τους να παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.20 και 3.21. Και οι δυο κατηγορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή δομικού σκυροδέματος και συγκεκριμένα, για Ο/Σ η κατηγορία A+ μπορεί να αντικαταστήσει έως και 30% ενώ η B+ έως και 20% των φυσικών χονδρόκοκκων αδρανών, ανάλογα με τη κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης της κατασκευής ενώ οι επιτρεπόμενες αντοχές αντίστοιχα είναι C30/37 για τα αδρανή τύπου A+ και C20/25 για τα αδρανή B+ [89].

### 3.3.3.6 Γερμανία

Στη Γερμανία, είναι σε ισχύ τα Πρότυπα DIN EN 12620 [90] και DIN 4226-101 [91] που αφορούν συνδυαστικά στα ανακυκλωμένα αδρανή, ενώ για το σκυρόδεμα είναι τα Πρότυπα DIN EN 206 [92] και DIN 1045 [93] τα οποία ισχύουν παράλληλα με την γερμανική οδηγία DAfStb [94] (2010). Δύο κατηγορίες ανακυκλωμένων αδρανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε δομικό σκυρόδεμα, οι Type 1 & Type 2, ενώ άλλες δύο, οι Type 3 & Type 4 μόνο για μη δομική χρήση. Η σύσταση και οι απαιτήσεις ποιότητας των AA παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.20 και 3.21, ενώ από το προσάρτημα DAfStb [94], για τα Type I & II AA επιτρέπεται αντικατάσταση κατά 25 με 35% μόνο των χονδρόκοκκων αδρανών με επιτρεπόμενες αντοχές C30/37 και C25/30 αντίστοιχα, και για κατηγορίες έκθεσης X0, XC1-XC4, XF1-XF3 και XA1 [69].

### 3.3.3.7 Ισπανία

Στην Ισπανία, ο Κανονισμός Σκυροδέματος EHE 08 [96] έχει ενσωματώσει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206 [27] για το σκυρόδεμα το οποίο συνοδεύετε από το Πρότυπο UNE-EN 12620 [95] για τα αδρανή [69]. Στο Παράρτημα 15 (ANNEX 15) του EHE 08 [96], αναφέρεται η σύσταση και τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των AA όπως παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.20 και 3.21 ενώ στο σκυρόδεμα επιτρέπεται η χρήση χονδρόκοκκων αδρανών για αντικατάσταση μέχρι και 20% των ΦΑ για κατηγορία αντοχής μέχρι C40/50 [96].

### 3.3.3.8 Ιταλία

Στην Ιταλία, το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206 [27] είναι ενσωματωμένο στον Οικοδομικό Κανονισμό NTC 2018 [97] ενώ τα χαρακτηριστικά των αδρανών σκυροδέματος ορίζονται από το Πρότυπο UNI EN 12620 [98] όπως διαμορφώνεται από τα UNI 8520-1 [99] & UNI 8520-1

[100] που αποτελούν εθνικά προσαρτήματα [101]. Στα Πρότυπα για τα αδρανή ορίζονται 2 κατηγορίες AA, type A και type B, εκ των οποίων μπορούν και τα δύο να χρησιμοποιηθούν σε δομικό σκυρόδεμα, με τη σύσταση των κατηγοριών και τις υπόλοιπες απαιτούμενες ιδιότητες να παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.20 και 3.21. Σύμφωνα με την τελευταία έκδοση για το EN 206 [27], είναι δυνατή η αντικατάσταση έως 50% των χονδρόκοκκων αδρανών για σκυρόδεμα αντοχής έως C30/37 χωρίς απαιτήσεις περιβαλλοντικής έκθεσης, ενώ σύμφωνα με το Πρότυπο UNI 11104 [102] που είναι συμπληρωματικό στο προηγούμενο, συστήνεται αντικατάσταση μόνο με AA του type A έως 30% για κατηγορία αντοχής έως C30/37 και έως 20% για αντοχή έως C45/55 σε οποιαδήποτε κατηγορία περιβαλλοντικής έκθεσης [103].

### 3.3.3.9 Ολλανδία

Η Ολλανδία είναι χώρα πρωτοπόρος στην χρησιμοποίηση AA μεταξύ άλλων και για τη παραγωγή σκυροδέματος. Με την ενσωμάτωση των Ευρωπαϊκών Προτύπων EN 206 [27] και EN 12620 [41], ισχύουν επιπλέον τα προσαρτήματα NEN 8005 [104] και NEN 5905 [105]. Τα 2 προσαρτήματα [104-105] ισχύουν παράλληλα με τις προτάσεις του CUR [106] (Commissie voor Uitvoering van Research) που είναι επιστημονική επιτροπή της χώρας [107]. Υπάρχουν τρεις τεχνικές συστάσεις που αφορούν τα AA, η σύσταση *CUR recommendation 80* [108] για σκυροδέματα με ανάμικτα αδρανή (κεραμικά και σκυρόδεμα), η 106 [109] για αντικατάσταση λεπτόκοκκων αδρανών και τέλος η 112 [110] για αντικατάσταση των χονδρόκοκκων αδρανών [107]. Βάσει των ισχυόντων κανονισμών, υπάρχουν δυο κατηγορίες AA που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή σκυροδέματος, Recycled Concrete Aggregate (RCA) και Recycled Masonry Aggregate (RMA) των οποίων η σύσταση και τα χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στους Πίνακες 3.20 και 3.21. Τα RCA μπορούν να αντικαταστήσουν έως και 100% τα φυσικά χονδρόκοκκα αδρανή ή και μερικώς τα λεπτόκοκκα όταν τα χονδρόκοκκα είναι φυσικά αδρανή με μέγιστη ποιότητα C40/50 σε μη επιθετικό περιβάλλον, ενώ τα RMA μπορούν με το ίδιο ποσοστό αντικατάστασης να χρησιμοποιηθούν σε κατηγορίες σκυροδέματος έως C20/25. Επίσης, σύμφωνα με τους παραπάνω Κανονισμούς, η αντικατάσταση έως 20% των ΦΑ με χονδρόκοκκα AA γίνεται χωρίς κάποιον περιορισμό.

### 3.3.3.10 Πορτογαλία

Στην Πορτογαλία, ο τελευταίος Κανονισμός LNEC E471 [111] με ισχύ από τον Δεκέμβριο του 2009, ενσωματώνει το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 12620 [41] για τα αδρανή, και με συνέπεια στις περιβαλλοντικές συνθήκες της χώρας, ορίζει 3 κατηγορίες AA, τις ARB1, ARB2 και ARC

βάσει περιεκτικότητας τους σε σκυρόδεμα και κεραμικά υλικά. Οι 2 πρώτες κατηγορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για δομικό σκυρόδεμα, ενώ η τρίτη μόνο για σκυροδέματα πλήρωσης ή καθαριότητας. Το επιτρεπόμενο περιεχόμενο σε διάφορα υλικά των τριών κατηγοριών ΑΑ και οι απαιτούμενες ιδιότητες αυτών παρουσιάζονται συνολικά στους Πίνακες 3.20 και 3.21. Σύμφωνα με το Πρότυπο αυτό [111], επιτρέπεται η αντικατάσταση κατά 25% με ARB1 των φυσικών χονδροκόκκων αδρανών για σκυρόδεμα αντοχής έως C40/50 και κατά 20% με ARB2 για σκυρόδεμα αντοχής έως C35/45 [111].

#### 3.3.3.11 Ελλάδα

Στην Ελλάδα, το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206 [27] ενσωματώθηκε στον τελευταίο Κανονισμό Σκυροδέματος ΚΤΣ-2016 [42]. Παρότι χρειάστηκαν περίπου 10 χρόνια για να ολοκληρωθεί η σύνθεση του εκσυγχρονίζοντας τον ΚΤΣ-97 [53] και περιλαμβάνοντας το EN 206 [27], δεν συμπεριλαμβάνονται τα ΑΑ στη παραγωγή σκυροδέματος. Παρόλα αυτά, η παράθεση των απαιτήσεων ποιοτικών χαρακτηριστικών για τα αδρανή στον Πίνακα 3.21 βάσει του ΚΤΣ-2016 [42] προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης τους με αυτές των υπόλοιπων Κανονισμών που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 3.20: Κατηγορίες ΑΑ βάσει σύστασης Ευρωπαϊκών Κανονισμών και Προτύπων σκυροδέματος

|      | Κατηγορία ΑΑ | Περιεκτικότητα σε ποσοστά (%) με κωδικοποίηση κατά EN12620 |      |      |      |            |      |      |          |
|------|--------------|--|------|------|------|------------|------|------|----------|
|      |              | Ru   | Rc   | Rb   | Ra   | Rg         | X    | FL   | ΟΡΓΑΝΙΚΑ |
| Η.Β. | CCCA         | X.T.   | X.T. | <5   | <5   | 1          |      | <0.5 | X.T.     |
|      | RA           | X.T.   | X.T. | <100 | <10  | 1          |      | <1   | X.T.     |
| ΒΕΛ  | type A+      | RCU>95   | >90  | 0    | <1   | 0.5 (a)    |      | <2   | 0.5      |
|      | type B+      | RCU>90   | >70  | <10  | <5   | <2         | <1   | <5   | X.T.     |
| ΓΕΡ  | type I       | <90  | X.T. | <10  | 1    | 1          |      | <2   | 0.1      |
|      | type II      | >70  | X.T. | <30  | 1    | 2          |      | <2   | 0.1      |
|      | type III     | <20  | X.T. | >80  | 1    | X.T.       |      | X.T. | X.T.     |
|      | type IV      | >80  | X.T. | X.T. | X.T. | X.T.       | X.T. | X.T. | X.T.     |
| ΙΣΠ  | RCA          | X.T.   |      | <5   | 1    | 1 & XA0.25 |      | 1    | X.T.     |
| ΙΤ   | Type A       | RCU>95   | >90  | <10  | 1    | 1          |      | <2   | X.T.     |
|      | Type B       | RCU>70   | >50  | <30  | 5    | 2          |      | <2   | X.T.     |
| ΟΛΛ  | RCA          | >90  |      | X.T. | 1    | X.T.       | X.T. | <0.1 | 0.1      |
|      | RMA          | X.T.   |      | <50  | 1    | X.T.       | X.T. | X.T. | 1        |
| ΠΟΡ  | <u>ARB1</u>  | >90  |      | <10  | <5   | <0.5       |      | <2   | 0.2      |
|      | <u>ARB2</u>  | >70  |      | <30  | <5   | <1         |      | <2   | 0.5      |
|      | <u>ARC</u>   | >90  |      |      | <10  | <2         |      | <2   | 2        |

X.T.: Χωρίς προσδιορισμένη τιμή K.A.: Κατ' απαίτηση της εφαρμογής  
(a): Για σκυρόδεμα με τριβή RGX<0.5% & FL<0.2

Πίνακας 3.21: Ποιοτικές απαιτήσεις και ιδιότητες για τα ΑΑ βάσει Ευρωπαϊκών Κανονισμών και Προτύπων σκυροδέματος

|      | Κατηγορία ΑΑ | Πυκνότητα (σε ξηρή βάση)                | Απορροφητικότητα α νερού | Περιεκτικότητα ουσιών σε ποσοστό (%) κατά EN12620 |                   |      |                       | LA (%) | Σχήμα FI |
|------|--------------|---|--------------------------|---|-------------------|------|-----------------------|--------|----------|
|      |              | min ρ <sub>b</sub> (kg/m <sup>3</sup> ) | WA <sub>24</sub> (%)     | ΧΛΩΡΙΟΥΧΑ   | ΘΕΙΙΚΑ (AS/SS/S)  | f    | Επιβλαβείς για πήξη Α |        |          |
| Η.Β. | CCCA         | Χ.Τ.                                    | Χ.Τ.                     | Χ.Τ.  | 1(S)              | 5    | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
|      | RA           | Χ.Τ.                                    | Χ.Τ.                     | Χ.Τ.  | Χ.Τ.              | 3    | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
| ΒΕΛ  | type A+      | 2200                                    | 10 (±2)                  | 0.01  | 0.2(SS)           | 1.5  | 40                    | 35     | 20       |
|      | type B+      | 1900                                    | 15 (±2)                  | 0.03  | 0.2(SS)           | Χ.Τ. | 40                    | 50     | 50       |
| ΓΕΡ  | type I       | 2000 (±150)                             | 10                       | 0.04  | 0.8(AS)           | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
|      | type II      | 2000 (±150)                             | 15                       | 0.04  | 0.8(AS)           | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
|      | type III     | 1800                                    | 20                       | 0.04  | 0.8(AS)           | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
|      | type IV      | 1500                                    | Χ.Τ.                     | 0.15  | Χ.Τ.              | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
| ΙΣΠ  | RCA          | 2500                                    | 7                        | Χ.Τ.  | 1(S)              | 1    | Χ.Τ.                  | 40     | 35       |
| ΙΤ   | type A       | 2100                                    | Χ.Τ.                     | 0.03  | 0.2(SS)           | Χ.Τ. | Κ.Α.                  | 30     | Κ.Α.     |
|      | type B       | 1700                                    | Χ.Τ.                     | 0.03  | 0.2(SS)           | Χ.Τ. | Κ.Α.                  | Χ.Τ.   | Κ.Α.     |
| ΟΛΛ  | RCA          | 2200                                    | Χ.Τ.                     | 0.05  | 1                 | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
|      | RMA          | 2000                                    | Χ.Τ.                     | 0.05  | 1                 | Χ.Τ. | Χ.Τ.                  | Χ.Τ.   | Χ.Τ.     |
| ΠΟΡ  | ARB1         | 2200                                    | 7                        | Κ.Α.  | AS0.8, SS0.2, S<1 | 4    | Κ.Α.                  | 50     | 35       |
|      | ARB2         | 2200                                    | 7                        | Κ.Α.  | AS0.8, SS0.2, S<1 | 4    | Κ.Α.                  | Κ.Α.   | 50       |
|      | ARC          | 2000                                    | Κ.Α.                     | Κ.Α.  | AS0.8, SS0.2, S<1 | 3    | Κ.Α.                  | Χ.Τ.   | Κ.Α.     |
| ΕΛΛ  | NA           | 2000-3000                               | Χ.Τ.                     | 0.04  | AS0.8, S<1        | 1.5  | Χ.Τ.                  | 40     | 35       |

Χ.Τ.: Χωρίς προσδιορισμένη τιμή Κ.Α.: Κατ' απαίτηση της εφαρμογής

### 3.4 Σχολιασμός

Από τους Πίνακες 3.20 και 3.21 φαίνεται ότι οι περισσότεροι Κανονισμοί σκυροδέματος των κρατών μελών της ΕΕ που προβλέπουν τη χρήση ΑΑ, έχουν παρόμοιες απαιτήσεις και περιορισμούς τα οποία σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να ανταπεξέλθουν τα διαθέσιμα υλικά. Επιπλέον, επίδραση στους παραπάνω Κανονισμούς έχουν τόσο οι ποιοτικές απαιτήσεις που ισχύουν ανά χώρα όσο και οι περιβαλλοντικές προκλήσεις, π.χ. έλλειψη χώρου ταφής, που πρέπει να διαχειριστούν. Για αυτούς τους λόγους στους περισσότερους Κανονισμούς και Πρότυπα αναφέρεται συγκεκριμένη προέλευση ΑΕΚΚ από τα οποία παράγονται οι διάφορες κατηγορίες ΑΑ με τις αντίστοιχες δυνατές χρήσεις τους.

Όπως αναφέρθηκε, η ελληνική πραγματικότητα βρίσκεται ακόμη μακριά από τη χρήση των ΑΑ στο σκυρόδεμα και όχι μόνο επειδή αυτό δεν επιτρέπεται από την ισχύουσα νομοθεσία. Επειδή δεν επιτρέπεται όμως, σε μεγάλο βαθμό τα ΣΣΕΔ κατά τη διαχείριση των ΑΕΚΚ και ακόμα περισσότερο στις Μονάδες Επεξεργασίας, δεν επιδιώκεται η παραγωγή συγκεκριμένης ποιότητας αδρανών. Παράλληλα δεν υπάρχει καταγραφή όλων των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΑ αφού οι δοκιμές που απαιτούνται για τα αδρανή σκυροδέματος, θα έχουν επιπλέον κόστος χωρίς λόγο. Τα διαθέσιμα δεδομένα για τα παραγόμενα ΑΑ στην Ελλάδα αφορούν κυρίως μεμονωμένες μελέτες είτε για σκυρόδεμα με ΑΑ, π.χ. μελέτη των Α.Α. Tsoumani, et al., (2015) [112], είτε για ερευνητικό ενδιαφέρον άλλων κλάδων, π.χ. μελέτη των Χ. Αλεξανδρίδου κ.ά., (2015) [113]. Στα πλαίσια τέτοιων μελετών λαμβάνονται τυχαία δείγματα από Μονάδες Επεξεργασίας και εξετάζονται λεπτομερώς όπου επιβεβαιώνεται ότι τα υλικά που εισέρχονται και επεξεργάζονται δεν διαχωρίζονται κατάλληλα, παράγοντας χαμηλής ποιότητας ανάμικτα ΑΑ ακατάλληλα για χρήση σε σκυρόδεμα σύμφωνα με τους περισσότερους κανονισμούς από όσους αναφέρθηκαν.

Μόνον η αλλαγή της νομοθεσίας με την ενσωμάτωση των ΑΑ στην παραγωγή σκυροδέματος θα οδηγήσει σε πραγματική καταγραφή των ποιοτικών χαρακτηριστικών των ΑΑ που διαθέτει η Ελλάδα, και μόνον έπειτα θα είναι εφικτή η επιβεβαίωση ή όχι της καταλληλότητας αυτής της εναλλακτικής στην Ελλάδα. Σε κάθε περίπτωση, η υποδομή της εναλλακτικής διαχείρισης και ολόκληρος ο κατασκευαστικός κλάδος θα χρειαστούν χρόνο για να προσαρμοστούν στα όποια νέα δεδομένα με τις συνέπειες που αυτό θα συνεχίσει να έχει για το περιβάλλον.



## Κεφάλαιο 4 Εφαρμογή ΑΑ στο σκυρόδεμα

Η ύπαρξη των ΑΕΚΚ και η συνεχή αύξηση της παραγωγής τους είναι δεδομένη όπως επίσης είναι δεδομένη η σταδιακή εξάντληση των αποθεμάτων ΦΑ σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Συνεπώς, η εναλλακτική διαχείριση αυτού του ρεύματος αποβλήτων είναι απαραίτητη και όπως παρουσιάστηκε, μπορεί να συντελέσει στην μείωση χρήσης ορυκτών αδρανών. Οι παραπάνω συνθήκες αποτέλεσαν κίνητρο για να μελετηθούν διάφορες χρήσεις των ΑΑ μεταξύ των οποίων και η χρήση τους στην παραγωγή σκυροδέματος. Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί τη σύνδεση των δυο προηγούμενων, μέσω της παρουσίασης μελετών που αποδεικνύουν ότι το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα μπορεί να είναι κατάλληλο και ασφαλές.

Πράγματι, το σκυρόδεμα με ΑΑ αποδίδει ικανοποιητικά κρίνοντας και από τις επιτρεπόμενες εφαρμογές στους εθνικούς Κανονισμούς που εξετάστηκαν στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Η καταλληλότητα των ΑΑ στην παραγωγή ποιοτικού σκυροδέματος μελετάται εδώ και πολλές δεκαετίες με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι είναι δυνατή η χρήση των ΑΑ χωρίς μάλιστα να επηρεάζονται ιδιαίτερα οι ιδιότητες του παραγόμενου προϊόντος. Οι μελέτες που παρουσιάζονται στο πρώτο μέρος του 4<sup>ου</sup> Κεφαλαίου, έχουν στόχο την κατανόηση της επίδρασης της ποιότητας των ΑΑ στο ανακυκλωμένο σκυρόδεμα από τη φάση σχεδιασμού του, όσο είναι νωπό και τέλος αφού σκληρύνει. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται μελέτες που αφορούν στη χρήση σκυροδέματος με ΑΑ σε δομικά στοιχεία με χαλύβδινους οπλισμούς, με στόχο τη κατανόηση της συμπεριφοράς του σε συνδυασμό με τον οπλισμό και το πως μπορεί αυτή να υπολογίζεται κατά τον σχεδιασμό ενός έργου.

### 4.1 Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή

#### 4.1.1 Αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών

Οι Malesev et al., (2010) [114] εστίασαν στις ιδιότητες νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος ανάλογα με το ποσοστό αντικατάστασης χονδρόκοκκων αδρανών. Τα ΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από θραυσμένα κυβικά δοκίμια αντοχής C30/37 και προκατασκευασμένα υποστρώματα αντοχής σκυροδέματος C40/50 όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1. Από τις δοκιμές των ΑΑ προσδιορίστηκε ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του Κανονισμού σκυροδέματος της Σερβίας για ΦΑ εκτός από τον δείκτη αντοχής σε θραύση Los Angeles ο οποίος ήταν λίγο υψηλότερος. Παρήχθησαν μίγματα αδρανών με αντικατάσταση 0%, 50% και 100% των χονδρόκοκκων αδρανών με πρόβλεψη στη μελέτη σύνθεσης της

επιπλέον απαιτούμενης ποσότητας νερού λόγω των ΑΑ, διατηρώντας τις υπόλοιπες ποσότητες των υλικών ίδιες σε όλα τα μίγματα.



Σχήμα 4.1: Προέλευση ΑΑ, αριστερά κυβικά δοκίμια και δεξιά θραύση υποστυλωμάτων [114]

Από τις δοκιμές των μιγμάτων ανακυκλωμένου σκυροδέματος προέκυψε παραπλήσια εργασιμότητα 30 λεπτά μετά την ανάμιξη, αύξηση περίπου 5% της θλιπτικής και 25% της εφελκυστικής αντοχής στις 28 μέρες με 50% αντικατάσταση φυσικών χονδρόκοκκων αδρανών όταν για το δοκίμιο αναφοράς, η θλιπτική αντοχή υπολογίστηκε στα 43.44 MPa και η εφελκυστική στα 2.66 MPa. Παράλληλα υπολογίστηκε μείωση περίπου κατά 10% του μέτρου ελαστικότητας και κατά 10% της συστολής ξηρασίας στις 28 ημέρες για αντικατάσταση κατά 50%, μείωση της αντίστασης σε χάραξη και τέλος μείωση συνάφειας με λείο σπλισμό και σπλισμό με νευρώσεις.

#### 4.1.2 Αντικατάσταση λεπτόκοκκων αδρανών

Αντίστοιχα οι Evangelista και Brito, (2007) [115] εστίασαν στη χρήση λεπτόκοκκων ΑΑ για αντικατάσταση φυσικών λεπτόκοκκων αδρανών κατά 10%, 20%, 30%, 50% και 100% και στην επίδραση της χρήσης τους σε διάφορες μηχανικές ιδιότητες του σκληρυμένου σκυροδέματος. Τα ΑΑ προήλθαν από θραύση σκυροδέματος που παρήγαγαν οι ίδιοι με σκοπό να το ανακυκλώσουν, ενώ η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του υπολογίστηκε κατά μέσο όρο στα 29.6 MPa. Η συνεισφορά της συγκεκριμένης μελέτης έγκειται στον τρόπο προετοιμασίας των λεπτόκοκκων αδρανών που χαρακτηρίζονται από μεγάλη απορροφητικότητα σε νερό. Έτσι, αφέθηκαν να απορροφήσουν νερό στον κάδο ανάμιξης σε 2 διαφορετικούς χρόνους, 10 και 20 λεπτά, πριν να εισαχθούν τα υπόλοιπα υλικά. Έπειτα, όλα τα δοκίμια παρέμειναν σε υγρό περιβάλλον μέχρι να δοκιμαστούν, γεγονός που

βελτιώνει τη διαδικασία ενυδάτωσης του τσιμέντου που επηρεάζεται πολύ από την απορροφητικότητα των ΑΑ.

Από τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι τα 10 λεπτά ανάμειξης των αδρανών αρκούν σε συνδυασμό με τη συνεχή διαβροχή των δοκιμίων για να παραχθεί σκυρόδεμα με αντοχές ακόμα και καλύτερες από του δοκιμίου αναφοράς, αφού στις 28 μέρες η αντοχή του μετρήθηκε 59.4 MPa ενώ 62.2, 61.3 και 61.0 MPa μετρήθηκαν οι αντοχές για αντικατάσταση κατά 10%, 30% και 100% αντίστοιχα. Επιπλέον, κατά τους μελετητές, ενισχύεται η άποψη ότι στα ΑΑ μπορεί να υπάρχει μη ενυδατωμένο τσιμέντο το οποίο ενυδατώνεται και συνεισφέρει στην τελική αντοχή όταν οι συνθήκες διαβροχής το επιτρέπουν. Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος παρουσίασε μείωση κατά 5.2 και 30.5% για αντικατάσταση κατά 30% και 100% ενώ το μέτρο ελαστικότητας κατά 3.7% και 18.5% αντίστοιχα, επιβεβαιώνοντας ότι αντικατάσταση μέχρι και 30% δεν επηρεάζει σημαντικά τα συγκεκριμένα μεγέθη. Αντίστοιχα, οι δοκιμές αντοχής σε επιφανειακή φθορά έδειξαν βελτίωση κατά 5.1% και 30.1% για τα ίδια ποσοστά αντικατάστασης.

#### 4.1.3 Επίδραση της ομοιογένειας των ΑΑ

Μια μελέτη της Σάββα, (2010) [116] εστίασε στην ομοιογένεια και στην αρχική αντοχή των ΑΑ και την επίδραση που έχουν σε διάφορες ιδιότητες του παραγόμενου σκυροδέματος. Τα χρησιμοποιούμενα ΑΑ χωρίστηκαν σε δυο κατηγορίες ομοιογένειας και 3 υποκατηγορίες αντοχών προέλευσης. Τα ανομοιογενή προήλθαν από θραύση δοκιμίων ελέγχου παραγωγής διαφορετικών ηλικιών ενώ τα ομοιογενή προήλθαν από θραύση στοιχείων σκυροδέματος ηλικίας 6 μηνών που κατασκευάστηκαν από την ίδια βαρέλα με τα σκυροδέματα να είναι επιλεγμένων κατηγοριών αντοχής C12/15, C16/20 και C20/25. Για τα ΑΑ πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των φυσικών τους χαρακτηριστικών όπου και σημειώθηκε η αυξημένη απορροφητικότητα τους σε νερό οπότε και υπήρξε πρόβλεψη από τη μελέτη σύνθεσης να κορεστούν με επιπλέον νερό στον αναδευτήρα πριν την προσθήκη τσιμέντου. Δημιουργήθηκαν επτά μίγματα για κάθε τύπο ΑΑ βάσει ομοιογένειας, ένα με 0% αντικατάσταση (δοκίμιο αναφοράς), 3 μίγματα 50% με πλήρη αντικατάσταση μόνο των χονδρόκοκκων αδρανών και 3 μίγματα 100% με πλήρη αντικατάσταση όλων των κλασμάτων αδρανών για κάθε αρχική κατηγορία αντοχής.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι η θλιπτική αντοχή όλων των μιγμάτων μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη χαρακτηριστική αντοχή των αρχικών σκυροδεμάτων. Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος με ΑΑ εξαρτάται κυρίως από την αντοχή προέλευσης και όχι την

ομοιογένεια των ΑΑ, ενώ ακόμα η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες βρέθηκε μικρότερη κατά 1 με 20% στο σκυρόδεμα με ΑΑ σε αντίθεση με το δοκίμιο αναφοράς. Με αύξηση της αντοχής προέλευσης, το σκυρόδεμα με τα ομοιογενή αδρανή παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση στη δειξοδυσση ιόντων χλωρίου ενώ η παρατηρούμενη απώλεια οπλισμού σε  $\text{mg}/\text{cm}^3$  ήταν μικρότερη από τα όρια των Κανονισμών ακόμα και με πολύ μικρή επικάλυψη των οπλισμών.

#### 4.1.4 Αντικατάσταση λεπτόκοκκων με ΑΑ από κεραμικά και σκυρόδεμα

Μελέτη του Khatib (2005) [117] εστίασε στη χρήση λεπτόκοκκων αδρανών σκυροδέματος (ΑΣ) και κεραμικών σε αντικατάσταση φυσικής άμμου. Όλα τα ΑΑ προήλθαν από ΑΚΚ και θραύστηκαν σε μέγεθος μικρότερο των 5 mm. Από άποψη φυσικών ιδιοτήτων, τα ΑΑ κεραμικών είχαν πάρα πολύ μεγάλη απορροφητικότητα σε νερό (14.75%) σε σχέση με αυτά από σκυρόδεμα (6.25%). Τα δοκίμια που δημιουργήθηκαν, συντηρήθηκαν μέχρι και 90 μέρες σε συνθήκες υψηλής υγρασίας με σκοπό την βέλτιστη δυνατή ενυδάτωση του τσιμέντου.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι η χρήση κεραμικών λεπτόκοκκων ΑΑ έχει πολύ μικρή επίδραση στη μακροπρόθεσμη αντοχή του σκυροδέματος αλλά και στη συστολή ξήρανσης η οποία μάλιστα ήταν ελάχιστα μεγαλύτερη για συνήθη ποσοστά αντικατάστασης και μικρότερη για 100% αντικατάσταση. Από την άλλη, η αντικατάσταση ΑΑ σκυροδέματος επαληθεύει τα ευρήματα άλλων παρόμοιων μελετών, για την αντοχή και τη συμπεριφορά του σκυροδέματος.

#### 4.1.5 Αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών και μακροπρόθεσμα αποτελέσματα

Μελέτη του Manzi et al., (2012) [118] διερεύνησε τα μακροπρόθεσμα χαρακτηριστικά σκυροδέματος με ΑΑ μέσης προς υψηλής αντοχής, περίπου 45 MPa. Δημιουργήθηκαν 2 κλάσματα ΑΑ, μέχρι 10mm και 10-25mm από σκυρόδεμα το οποίο προήλθε από κατεδάφιση αυθαίρετου κτιρίου και υπολογισμένης αντοχής 36MPa. Τα μίγματα αδρανών είχαν κατά 27% αντικατάσταση μόνο του μεγάλου κλάσματος αδρανών και αντικατάσταση κατά 27% του μεγάλου κλάσματος παράλληλα με αντικατάσταση κατά 36,5% του μικρότερου. Για τα ΑΑ υπήρξε πρόβλεψη να εισαχθούν κορεσμένα στον κάδο ανάμιξης ούτως ώστε να μην επηρεαστεί η εργασιμότητα του σκυροδέματος λόγω της υψηλής απορροφητικότητας τους.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος επηρεάζονται περισσότερο από το σχήμα, την υφή και τη κοκκομετρική διαβάθμιση των ΑΑ παρά από το ποσοστό αντικατάστασης τους. Η θλιπτική αντοχή όλων των μιγμάτων ήταν καλύτερη από το

δοκίμιο αναφοράς με αυτό της κατά 27% αντικατάστασης του μεγάλου κλάσματος να φτάνει μέχρι και 25% παραπάνω με ελάχιστη μείωση του μέτρου ελαστικότητας. Επιπλέον επιβεβαιώνεται ότι η συστολή ξηρασίας επηρεάζεται αρνητικά από τη χρήση ΑΑ όπως και το ότι το πορώδες και το μέγεθος των πόρων στο νέο σκυρόδεμα είναι αυξημένα.

#### 4.1.6 Χρήση πυριτικής παιπάλης μαζί με ΑΑ

Μελέτη του Dilbas et al. (2014) [119] πραγματοποιήθηκε με στόχο τη διερεύνηση των ιδιοτήτων σκυροδέματος με χρήση χονδρόκοκκων ΑΑ των κλασμάτων 4-8 και 8-32 mm με ή χωρίς τη προσθήκη πυριτικής παιπάλης. Τα ΑΑ προήλθαν από θραύση ΑΚΚ που περιείχαν κυρίως σκυρόδεμα, κεραμικά και άλλες προσμίξεις όπως γύψο και χαρτί ταπετσαρίας. Οι φυσικές τους ιδιότητες παρόλα αυτά κάλυπταν τις απαιτήσεις για τα αδρανή σκυροδέματος εκτός από το δείκτη LA που ξεπερνούσε ελάχιστα τα αποδεκτά όρια (41.4 αντί 40%).

Από τη μελέτη αυτή προκύπτει ότι η αντικατάσταση μόνο του μεγαλύτερου κλάσματος είχε ελάχιστη επίδραση στη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή των δοκιμίων, αφού παρατηρήθηκε μείωση κατά 5% και αύξηση κατά 9% αντίστοιχα, ενώ το μέτρο ελαστικότητας μειώθηκε κατά 10% περίπου. Επίσης αυξήθηκε η απορροφητικότητα σε νερό ενώ μειώθηκε περίπου κατά 10% η πυκνότητα του σκυροδέματος. Αντίστοιχα υπολογίστηκε ότι η αντικατάσταση του μικρότερου κλάσματος χονδρόκοκκων αδρανών (4-8 mm) είχε μεγαλύτερη επίδραση στα παραπάνω μεγέθη σχηματίζοντας σκυρόδεμα με μεγαλύτερη μείωση αντοχών. Παράλληλα μετρήθηκε ότι η προσθήκη πυριτικής παιπάλης σε αντικατάσταση κατά 5 και 10% των φυσικών λεπτόκοκκων αδρανών εξισορροπεί σε μεγάλο βαθμό την απώλεια θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής, οδηγώντας όμως σε μεγαλύτερη αντίστοιχα μείωση του μέτρου ελαστικότητας.

#### 4.1.7 Χρήση ιπτάμενης τέφρας μαζί με ΑΑ

Μελέτη των Κου και Ροοη, (2012) [120] εστίασε στην επίδραση ιπτάμενης τέφρας παράλληλα με αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών. Τα ΑΑ προήλθαν από εργοστάσιο ανακύκλωσης ΑΕΚΚ και έφεραν πιστοποίηση ποιότητας και καταλληλότητας για παραγωγή σκυροδέματος, ενώ το περιεχόμενό τους σε άλλα υλικά πέρα από πέτρες και παλιό σκυρόδεμα ήταν περίπου 1%. Τα δοκίμια που παρήχθησαν είχαν πέραν της αντικατάστασης κατά 20, 50 και 100% των χονδρόκοκκων αδρανών, και 25% ή 35% αντικατάσταση ή και προσθήκη κατά βάρος του τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα. Επιπλέον, όλα τα δοκίμια

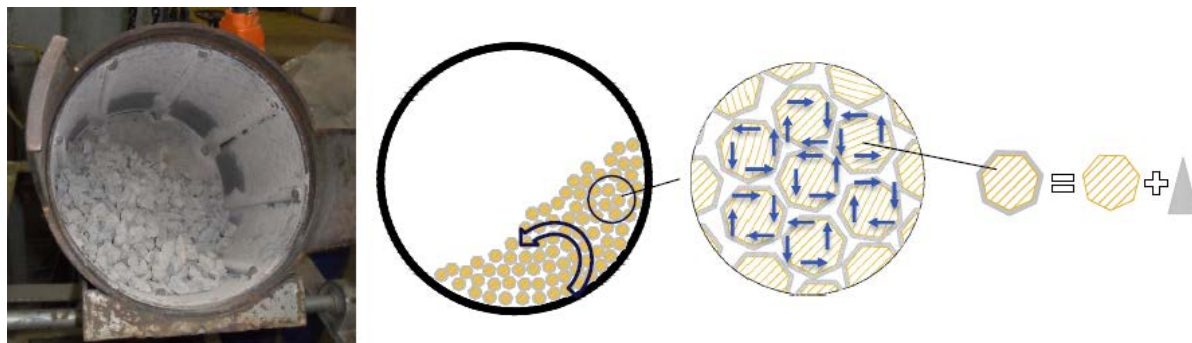
διατηρήθηκαν σε δεξαμενή νερού για τη βέλτιστη διαβροχή τους μέχρι την ημέρα της δοκιμής τους, ενώ για τα μίγματα δεν υπήρξε ειδική διαχείριση για τον κορεσμό των ΑΑ.

Η μελέτη αυτή έδειξε ότι η αποκλειστική αντικατάσταση των χονδρόκοκκων αδρανών επιφέρει μείωση θλιπτικής αντοχής κατά 7% για 20% και 12,5% για 50% αντικατάσταση αντίστοιχα στις 28 μέρες αλλά μικρότερες μακροπρόθεσμες απώλειες, σε συμφωνία δηλαδή με άλλες έρευνες. Η αντικατάσταση τσιμέντου με ιπτάμενη τέφρα είχε αρνητική επίδραση σε όλα τα δοκίμια σε αντίθεση με την κατά βάρος προσθήκη της, όπου τα δοκίμια είχαν αύξηση αντοχών για αντικατάσταση μέχρι και 50% των ΦΑ είτε με 25% προσθήκη, είτε και ακόμα μεγαλύτερη με 35% προσθήκη ιπτάμενης τέφρας. Αντίστοιχα η συστολή ξηρασίας περιορίστηκε σημαντικά τόσο με αντικατάσταση του τσιμέντου όσο και με προσθήκη κ.β. σε αυτό ιπτάμενης τέφρας ενώ παράλληλα αυξανόταν με την αύξηση του ποσοστού ΑΑ. Επίσης, υπολογίστηκε ότι η διείδυση χλωριούχων ιόντων περιορίζεται με τη χρήση ιπτάμενης τέφρας ενώ το βάθος ενανθράκωσης επηρεάζεται κυρίως από το ποσοστό αντικατάστασης των ΦΑ.

#### 4.1.8 Βελτίωση χαρακτηριστικών των ΑΑ

Μια άλλη προσέγγιση ακολούθησαν ο Pepe et al. (2014) [121] οι οποίοι εστίασαν στην προετοιμασία των ΑΑ για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών τους που επηρεάζουν το σκυρόδεμα. Κατά τη μελέτη τους παρακολούθησαν στοιχεία όπως η κοκκομετρική διαβάθμιση, το προσκολλημένο παλιό τσιμέντο, η πυκνότητα και η απορροφητικότητα των ΑΑ. Για το σκοπό του πειράματος, εφάρμοσαν μια τεχνική αποκόλλησης του παλιού τσιμέντου που ονομάζεται αυτογενής καθαρισμός (autogenous cleaning) όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2, με σκοπό να δοκιμάσουν την αποδοτικότητα της. Τα ΑΑ εισάγονται σε ένα μεταλλικό περιστρεφόμενο κάδο και λόγω της μεταξύ τους τριβής, αποκολλώνται τα πιο αδύναμα στοιχεία που είναι το παλιό τσιμέντο. Έπειτα ξεπλένονται από τις σκόνες που δημιουργήθηκαν και ξηραίνονται για να είναι έτοιμα για χρήση. Παράλληλα με την διαδικασία καθαρισμού, περιγράφεται και μια περίπλοκη αλλά και απόλυτα αποδοτική διαδικασία μέτρησης της ποσότητας του παλιού τσιμέντου. Κατά τη διαδικασία αυτή τα ΑΑ ζυγίζονται και εισάγονται σε νερό για 2 ώρες ώστε το παλιό τσιμέντο να κορεστεί, έπειτα θερμαίνονται στους 500° C για 2 ώρες και μετά απότομα βυθίζονται σε νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Λόγω του θερμικού σοκ, το προσκολλημένο τσιμέντο σπάει και αποκολλάται από τα αδρανή τα οποία πλέον μπορούν να ξηρανθούν και να ζυγιστούν εκ νέου για να προσδιοριστεί η ακριβής ποσότητα του παλιού τσιμέντου που είχαν. Η τελευταία

διαδικασία παρόλο που αποτελεσματική και για τον καθαρισμό των ΑΑ και παραγωγή καθαρών ΦΑ, δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για τη προετοιμασία ΑΑ για σκυρόδεμα διότι οι ενεργειακές απαιτήσεις της ακυρώνουν το έργο της ανακύκλωσης αδρανών. Η μελέτη συνολικά καταλήγει ότι με αυτογενή καθαρισμό διάρκειας 10 με 15 λεπτών, οι ιδιότητες των αδρανών βελτιώνονται σημαντικά κάτι που αποτυπώνεται και στα χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου ανακυκλωμένου σκυροδέματος όπου και πραγματοποιήθηκε 100% αντικατάσταση ΦΑ.



Σχήμα 4.2: Διαδικασία "Αυτογενούς Καθαρισμού" [121]

Παρόμοια με τη προηγούμενη είναι η μελέτη των Sallehan και Mahyuddin, (2013) [122] οι οποίοι μελέτησαν την απόδοση που έχει ο καθαρισμός των ΑΑ όταν πραγματοποιείται διαβροχή τους με οξύ όπως το HCl. Επιλέχθηκαν χονδρόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή για αντικατάσταση κατά 25, 30, 45 και 60% των ΦΑ και δημιουργήθηκε μίγμα με σκοπό τη παραγωγή σκυροδέματος αντοχής 50MPa. Τα ΑΑ εμβάπτιστηκαν σε οξύ περιεκτικότητας 0,1M, 0,5M και 0,8M για 1, 3 και 7 ημέρες πριν τον διαχωρισμό τους.

Από τη μελέτη αυτή προέκυψε ότι η αποκόλληση του παλιού τσιμέντου με χρήση τέτοιων όξινων διαλυμάτων είναι αποτελεσματική ανάλογα με την περιεκτικότητα του οξέος και όχι τόσο του χρόνου εμβάπτισης των ΑΑ. Όλα τα φυσικά χαρακτηριστικά των ΑΑ βελτιώθηκαν μετά την διαβροχή τους κάτι που αποτυπώθηκε και στην αντοχή του παραγόμενου σκυροδέματος. Ταυτόχρονα όμως το ισχυρό οξύ δημιούργησε πρόβλημα στη μικροδομή του εναπομείναντος τσιμέντου με αρνητικές συνέπειες για το σκυρόδεμα, σε αντίθεση με το 0,1M όπου τα υπολείμματα ιόντων χλωρίου και θεικών παρέμειναν σε αποδεκτά χαμηλά επίπεδα βάσει των Κανονισμών.

Τέλος, μια μελέτη του Shi et al. (2016) [123] παρουσιάζει διάφορες μεθοδολογίες που έχουν αναπτυχθεί από άλλους μελετητές για τη βελτίωση των ΑΑ εστιάζοντας σε μεθόδους απομάκρυνσης ή ενίσχυσης του παλιού σκυροδέματος σε αυτά.

Για την απομάκρυνση του παλιού σκυροδέματος αναφέρονται ως μέθοδοι με φυσική επεξεργασία η μέθοδος μηχανικής θραύσης (*mechanical grinding*) των ΑΑ σε περιστρεφόμενο κάδο μαζί με μεταλλικές σφαίρες (όπως στη δοκιμή Los Angeles), εναλλακτικά έκθεση σε μικροκύματα για τη θέρμανση (*selective heat grinding*) και διάσπαση των μεταβατικών ζωνών (ITZ) πριν τη μηχανική θραύση και τέλος το φούρνισμα των ΑΑ πριν την μηχανική θραύση (*heat grinding*), διακινδυνεύοντας όμως τις φυσικές ιδιότητες των ΑΑ. Χωρίς μηχανική θραύση προτείνεται η εμβάπτιση σε νερό (*pre-soaking in water*) των ΑΑ και έπειτα θραύση με υπέρηχους, με στόχο αρχικά την απομάκρυνση ακαθαρσιών και ξένων σωμάτων και στη συνέχεια των πιο αδύναμων κομματιών τσιμέντου. Με χημική επεξεργασία προτείνεται η εμβάπτιση σε όξινο διάλυμα (*pre-soaking in acid*) όπως σε προηγούμενη μελέτη [66]. Αντίστοιχα για την ενίσχυση του παλιού σκυροδέματος ώστε να περιοριστούν οι παρενέργειες του στα ΑΑ, ως φυσικές μέθοδοι αναφέρονται η εμβάπτιση τους σε διαλύματα πολυμερών (*polymer emulsion*) με στόχο τη φραγή των πόρων που προσφέρει και έχει ευεργετικά αποτελέσματα σε πολλές ιδιότητες του ανακυκλωμένου σκυροδέματος όπως τον δεσμό των ΑΑ με το τσιμέντο και μείωση της υγρασίας στις μεταβατικές ζώνες (ITZ). Άλλη εναλλακτική που προτείνεται είναι η χρήση ασβεστολιθικής παιπάλης ενώ αναφέρεται και η βιοαπόθεση ανθρακικού ασβεστίου (*calcium carbonate biodeposition*), μέσω ενανθράκωσης της επιφάνειας των ΑΑ η οποία και θα κλείσει τους πόρους τους. Αντίστοιχα χημικές μέθοδοι ενίσχυσης που προτείνονται είναι η χρήση πολτού ποζολάνης (*pozzolan slurry*) για να φράξει τους πόρους των ΑΑ και η ενανθράκωση (*carbonation*) των αδρανών με στόχο τη πλήρωση εκ των έσω των πόρων με στερεό ανθρακικό ασβέστιο [123].

#### 4.1.9 Σύνοψη

Όπως αναπτύχθηκε εκτενώς στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, υπάρχουν διάφορες κατηγοριοποιήσεις για τα αδρανή όπως το μέγεθος, το σχήμα, η πυκνότητα τους ενώ για τα ανακυκλωμένα υπάρχει επιπλέον η κατηγοριοποίηση τους βάσει του περιεχομένου τους σε διάφορα υλικά των ΑΕΚΚ. Κάθε μια από τις παραπάνω ιδιότητες των αδρανών έχει διαφορετική επίδραση στις ιδιότητες του παραγόμενου σκυροδέματος αλλά η βασική ιδιαιτερότητα των ΑΑ έγκειται στο γεγονός ότι περιέχουν παλιό τσιμέντο.

Μελέτες σύνθεσης σκυροδέματος με χρήση ΑΑ υπάρχουν πάρα πολλές και επιλέχθηκαν μερικές από αυτές που καλύπτουν τα κύρια χαρακτηριστικά των ΑΑ που επιδρούν στο σκυρόδεμα. Η ύπαρξη παλιού τσιμέντου, το οποίο είναι αρχικά υπεύθυνο για τη μειωμένη πυκνότητα των ΑΑ αλλά και τη μεγάλη απορροφητικότητα τους σε νερό λόγω



του πορώδους του και σε δεύτερη φάση είναι υπεύθυνο για την ύπαρξη ρωγμών και μεταβατικών ζωνών (ITZ) κοντά στους πόρους του, επηρεάζει όλα τα χαρακτηριστικά του νωπού και σκληρυμένου σκυροδέματος. Όπως αποδεικνύουν όμως οι παραπάνω μελέτες, υπάρχουν λειτουργικοί και εφαρμόσιμοι τρόποι να εξισορροπηθούν οι αρνητικές τους επιδράσεις είτε με κατάλληλη προετοιμασία των ΑΑ, είτε με περιορισμό στη ποσότητα αντικατάστασης τους, είτε τέλος με χρήση ορυκτών και μη προσθέτων που βελτιώνουν επαρκώς το τελικό σκυρόδεμα.

Γενικά με χρήση ΑΑ παρατηρείται μεταβολή της θλιπτική και εφελκυστικής αντοχής ανάλογα με τη σύνθεση του σκυροδέματος, ενώ βέβαιη είναι η μείωση του μέτρου ελαστικότητας. Επίσης η επίδραση των ΑΑ στη συστολή ξηρασίας και στην αντοχή σε επιφανειακή φθορά είναι συνήθως αρνητική σε μικρό όμως βαθμό. Τέλος, φαίνεται ότι είναι δυνατή και η πλήρης αντικατάσταση ΦΑ αλλά με την προϋπόθεση ότι τα ΑΑ είναι εξαιρετικά καλής ποιότητας και τηρούν τις ποιοτικές απαιτήσεις που ορίζουν οι Κανονισμοί.

Οι παραπάνω μελέτες επιβεβαιώνουν σε μεγάλο βαθμό τις απαιτήσεις των Κανονισμών και Προτύπων σκυροδέματος όπως και ταυτόχρονα επιβεβαιώνουν τη δυσκολία δημιουργίας κατάλληλων ΑΑ που αναφέρθηκε στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο. Είναι πολύ σημαντική η λεπτομέρεια πως σε όλες τις παραπάνω μελέτες σύνθεσης, χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετοι χημικοί ρευστοποιητές για να ισοσκελίσουν τη μειωμένη εργασιμότητα του ανακυκλωμένου σκυροδέματος, πρακτική όμως που εφαρμόζεται και στα συνήθη σκυροδέματα. Αντίστοιχα η προσαρμογή της ποσότητας του νερού και του λόγου N/T ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των ΑΑ και της ποσότητας που χρησιμοποιείται, είναι επίσης προς την ίδια κατεύθυνση και όπως αποδεικνύεται, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σημεία κατά την μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος με ΑΑ.

## **4.2 Δομικά στοιχεία σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή**

Για να γίνει αποδεκτή ευρέως η χρήση σκυροδέματος με ΑΑ σε δομικά στοιχεία, απαιτείται καλή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο αυτό συμπεριφέρεται σε συνήθεις καταπονήσεις αλλά και πειραματική επιβεβαίωση της ασφάλειας αυτών. Από το στάδιο της μελέτης, όλα τα δομικά στοιχεία διαστασιολογούνται και δοκιμάζονται με στατικές ή δυναμικές φορτίσεις, οπότε είναι απαραίτητη η πειραματική δοκιμή και των στοιχείων σκυροδέματος με ΑΑ σε τέτοιες καταπονήσεις. Το δείγμα των μελετών για το συγκεκριμένο θέμα είναι πολύ μικρότερο από αυτό των ιδιοτήτων γενικά του σκυροδέματος με ΑΑ όμως είναι επαρκές για να γίνει κατανοητή γενικά η συμπεριφορά του. Εξάλλου, στόχος της παρούσας εργασίας

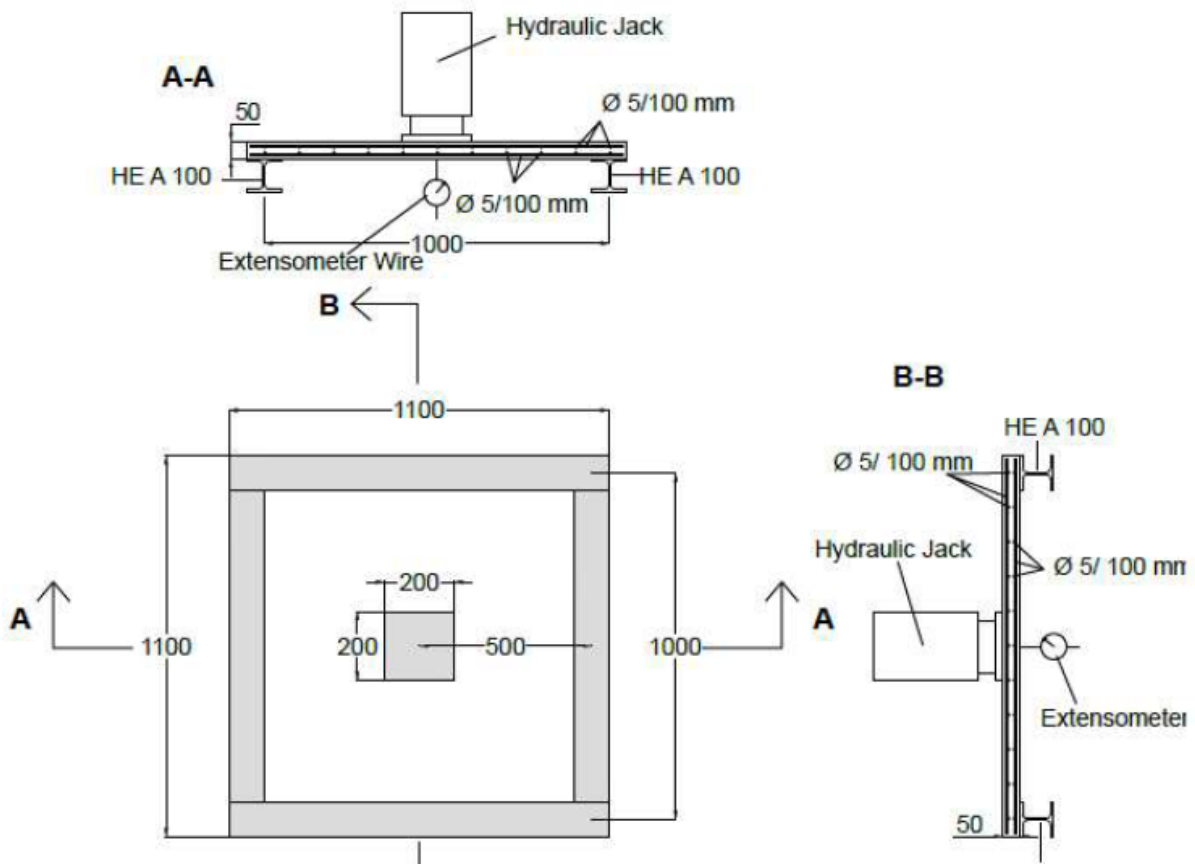
μεταξύ άλλων είναι η βιβλιογραφική διερεύνηση της καταλληλότητας του ανακυκλωμένου σκυροδέματος για χρήση σε δομικές εφαρμογές στην Ελλάδα, η οποία πέρα από τη ποικιλία περιβαλλοντικών εκθέσεων όπως αναφέρθηκαν στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, χαρακτηρίζεται και από έντονη σεισμική δραστηριότητα.

#### 4.2.1 Πλάκες ανακυκλωμένου σκυροδέματος

Μελέτη του Martinez et al. (2012) [124] διερευνά τη συμπεριφορά σκυροδέματος καθαριότητας από ΑΑ. Τα χρησιμοποιημένα ΑΑ προήλθαν από εργοστάσιο ανακύκλωσης όπου και έγινε πυρόλυση τους, ενώ οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους όπως και η σύσταση τους ήταν συμβατή με τους περισσότερους Κανονισμούς, μαζί και του Ισπανικού ΕΝΕ-08 [96]. Παρήχθησαν δύο μίγματα με ποσοστά αντικατάστασης χονδρόκοκκων ΦΑ κατά 50 και 100% με πρόβλεψη του επιπλέον απαιτούμενου νερού σε κάθε ποσοστό αντικατάστασης. Η εργασιμότητα των μιγμάτων με ΑΑ ήταν ελάχιστα μικρότερη από αυτή του δοκιμαστικού σκυροδέματος και οριακά εκτός επιθυμητών τιμών, ενώ η απώλεια πυκνότητας ήταν περί του 4% για 50% αντικατάσταση και 7% για 100%. Αντίστοιχα η απώλεια θλιπτικής αντοχής ήταν 12% και 23% για 50 και 100% αντικατάσταση με τιμές μεταξύ των 29 και 32 MPa. Μετρήθηκε επίσης η απορρόφηση νερού ως μέγεθος άμεσα συνδεδεμένο με την αντοχή στον χρόνο όπου παρατηρήθηκε μικρότερη απορρόφηση για μεγαλύτερο ποσοστό αντικατάστασης. Η μελέτη αυτή καταλήγει στο ότι η εφαρμογή σκυροδέματος με ΑΑ ως σκυρόδεμα καθαριότητας είναι δυνατή αρκεί να ληφθούν υπόψιν ορισμένες παράμετροι για τις ιδιότητες του.

Μια άλλη μελέτη, του Stochino et al. (2017) [125], εστίασε στη ρηγμάτωση πλακών ωπλισμένου σκυροδέματος σε καμπτική καταπόνηση με τη γεωμετρία και τη φόρτιση που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.3. Τα ΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν λήφθηκαν τυχαία από τρεις μάντρες οικοδομικών υλικών της Σαρδηνίας, ενώ οι φυσικές και χημικές ιδιότητες τους κάλυπταν τις απαιτήσεις των Ιταλικών Κανονισμών (βλ. Κεφ, 3.3.3.8). Δημιουργήθηκαν πέντε μίγματα με αντικατάσταση κατά 0, 30, 50, 80 και 100% του κλάσματος 4-12 mm και με προσθήκη ρευστοποιητή για τους λόγους που αναφέρθηκαν και στο Κεφάλαιο 4.1.9. Τελικά, οι πλάκες που σχηματίστηκαν είχαν πλέγμα Φ5/100. Κατά τη μελέτη μετρήθηκε το φορτίο και η βύθιση ρηγμάτωσης  $f_{cr}$  και  $\delta_{cr}$  αντίστοιχα από τα οποία υπολογίστηκε ότι οι πλάκες με αντικατάσταση κατά 50% των ΦΑ συμπεριφέρθηκαν καλύτερα και στα 2 μεγέθη με  $f_{cr,50} = 20.31$  kN και  $\delta_{cr,30} = 2.49$  mm έναντι  $f_{cr,0} = 18.8$  kN και  $\delta_{cr,50} = 2.27$  mm, όταν η θεωρητική τιμή ήταν  $f_{cr,50-th1} = 13,39$  MPa και  $f_{cr,50-th2} = 14,76$  MPa βάσει του Προτύπου ACI 318 [57] και ΕΚ2 [26]

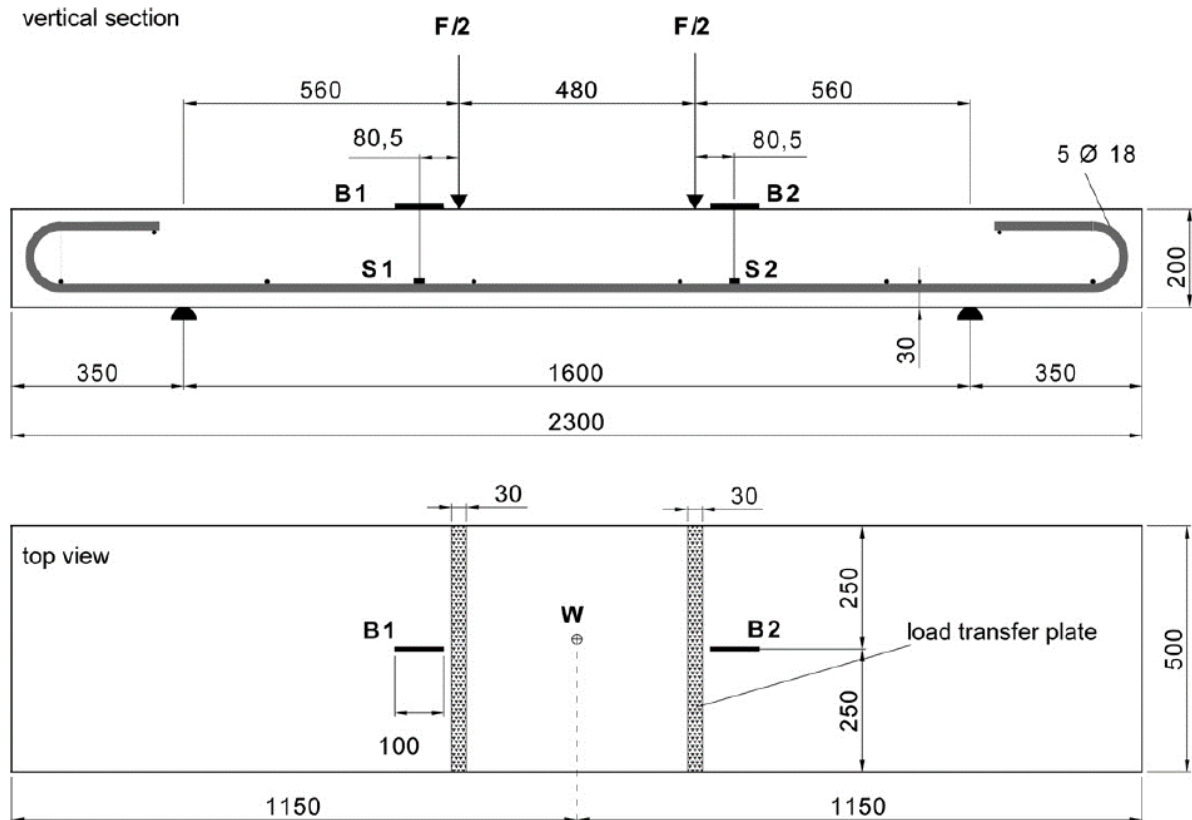
αντίστοιχα. Ανεξάρτητα από τη συμπεριφορά των πλακών, τα μίγματα σκυροδέματος έδειξαν γενικά παραπλήσια ή λίγο μικρότερη αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό και μείωση του μέτρου ελαστικότητας τα οποία δεν επηρέασαν την συνολική καμπτική συμπεριφορά της πλάκας.



Σχήμα 4.3: Γεωμετρία δοκιμαστικών πλακών και πειραματικής διαδικασίας [125]

Παρόμοια επιβεβαίωση για τη χρήση ΑΑ παρουσιάζει και η μελέτη του Schubert et al. (2012) [126] όπου δοκιμάσθηκε η διατμητική αντοχή πλακών χωρίς διατμητική ενίσχυση. Χρησιμοποιήθηκαν μίγματα αδρανών όπου τα δυο περιείχαν 50% ΦΑ και τα υπόλοιπα ανάμικτα υλικά όπως σκυρόδεμα (14-29%), κεραμικά (5-24%) κ.ά., ενώ άλλα δύο δοκίμια ήταν χωρίς ΦΑ, με σκυρόδεμα (26-57%) και αρκετά κεραμικά (9-38%) εστιάζοντας έτσι στην επίδραση των κεραμικών ΑΑ στην διατμητική αντοχή. Οι πλάκες μιας διεύθυνσης και η διάταξη του πειράματος παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4 ενώ το σκυρόδεμα σχεδιάστηκε για κάθιση 350-480mm. Τελικά, το σκυρόδεμα μόνο των πρώτων μιγμάτων είχε θλιπτική αντοχή παραπλήσια του δοκιμίου αναφοράς, περί των 38 MPa, ενώ τα μίγματα με τα κεραμικά είχαν απώλεια μεγαλύτερη από 20%. Αντίστοιχα, οι πλάκες των δυο πρώτων μιγμάτων απέδωσαν κοντά στις θεωρητικές τιμές όπως υπολογίστηκαν βάσει τόσο των Ελβετικών Κανονισμών όσο και του ΕΚ2 [26], ενώ αντίθετα, οι πλάκες με τα περισσότερα κεραμικά αδρανή δεν έφτασαν

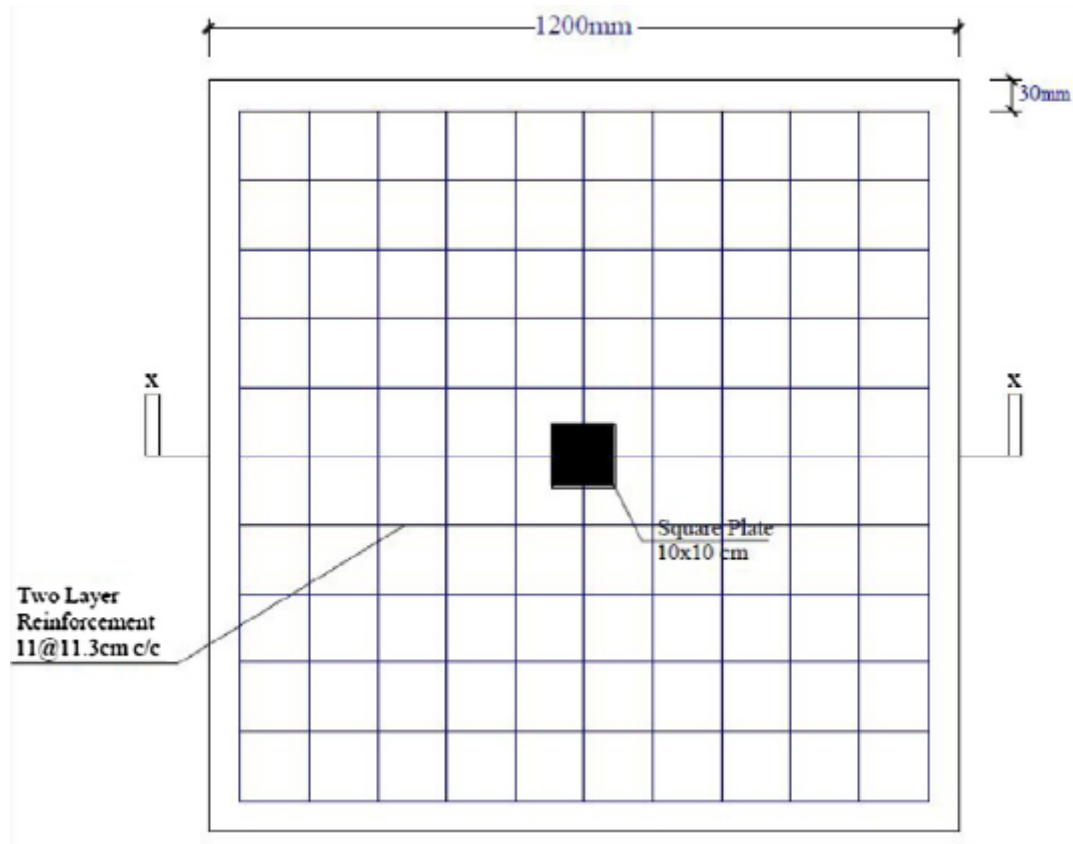
την αναμενόμενη διατμητική αντοχή. Στα συμπεράσματα της μελέτης είναι ότι οι περισσότεροι Κανονισμοί υπερεκτιμούν τη διατμητική αντοχή πλακών και με σκυρόδεμα με ΑΑ, ειδικά όταν συμμετέχουν τόσα κεραμικά αδρανή. Επιπλέον αναφέρεται η ανάγκη περαιτέρω διερεύνησης του απαιτούμενου νερού κατά τη ανάμιξη των υλικών αλλά και σχολιάζεται η εφελκυστική αντοχή που προσφέρουν τα κεραμικά αδρανή έναντι αυτών του σκυροδέματος διότι με αυτά δεν σχηματίζονται διπλές μεταβατικές ζώνες (ITZ) με συνέπεια να καθυστερεί η ρηγμάτωση του σκυροδέματος.



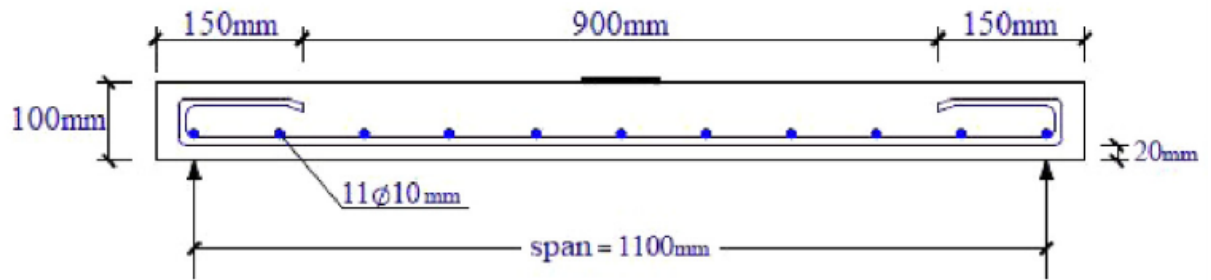
Σχήμα 4.4: Γεωμετρία δοκιμίων και πειραματική διάταξη [126]

Ο Mahmoud et al. (2018) [127] μελέτησαν την διάτρηση πλακών διπλής διεύθυνσης της γεωμετρίας που φαίνεται στα Σχήματα 4.5 και 4.6, σκυροδέματος με διαφορετικά μεγέθη χονδρόκοκκων ΑΑ. Παρήχθησαν συνολικά 8 μίγματα με αντικατάσταση ΦΑ κατά 0-30-60-100% με αδρανή εύρους μεγέθους 2.3-12.5 mm και 2.3-25 mm. Αρχικά δοκιμάστηκε η επίδραση του εύρους μεγέθους αδρανών όπου υπολογίστηκε ότι το εύρος 2.3-25 mm παρήγαγε καλύτερο σκυρόδεμα συνολικά (μεγαλύτερη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή). Σε όλα τα ποσοστά αντικατάστασης απέδιδαν καλύτερα οι πλάκες με το εύρος 2.3-25 mm, όπως επίσης και η απορρόφηση ενέργειας ήταν μεγαλύτερη στο ίδιο εύρος με μείωση μόνο 9.4% σε σχέση με τον φορέα αναφοράς. Συνολικά, η βύθιση, η πρώτη ρηγμάτωση και η αστοχία

σε διάτρηση εξαρτώνται τόσο από το ποσοστό αντικατάστασης αδρανών όσο και το εύρος μεγέθους τους, όπου το εύρος 2.3-25 mm και με 30% αντικατάσταση είχε με διαφορά τη καλύτερη απόδοση από τα μίγματα με ΑΑ.



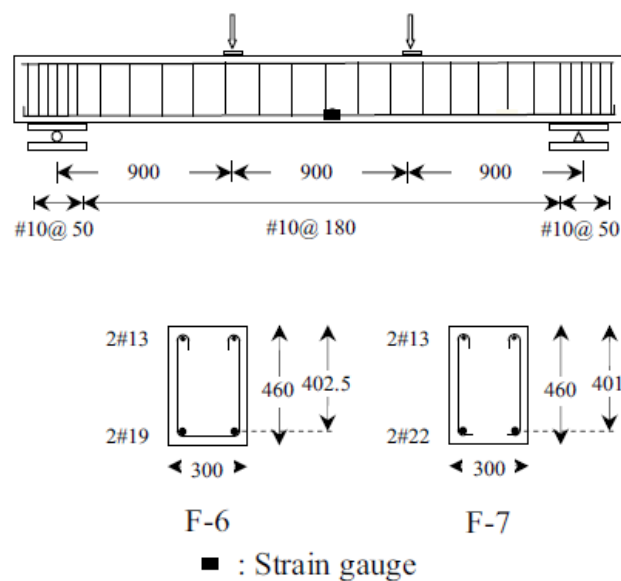
Σχήμα 4.5: Γεωμετρία και πειραματική διάταξη πλακών [127]



Σχήμα 4.6: Τομή δοκιμίων πλακών [127]

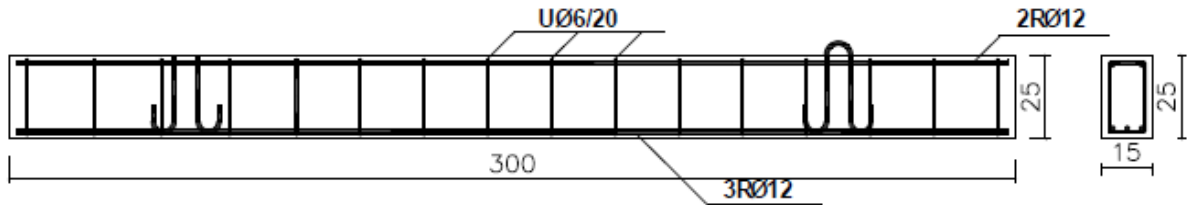
#### 4.2.2 Δοκοί ανακυκλωμένου σκυροδέματος

Μια ερευνητική εργασία του Arezoumandi et al. (2015) [128] έρχεται σε συνέχεια αρκετών μελετών που αφορούν τη καμπτική συμπεριφορά δοκών ανακυκλωμένου σκυροδέματος. Πολλές μελέτες που αναφέρονται στην εργασία τους, δείχνουν ότι είναι δυνατή και ασφαλής η αντικατάσταση ΦΑ όταν συνδυάζεται με το κατάλληλο ογκομετρικό ποσοστό διαμήκους οπλισμού. Η προσέγγιση της μελέτης αυτής αφορούσε σε δοκούς πλήρους κλίμακας και με πλήρη αντικατάσταση των φυσικών αδρανών όπου το σκυρόδεμα με ΑΑ που δημιουργήθηκε, ήταν εξίσου ρευστό με το σκυρόδεμα αναφοράς και η θλιπτική του αντοχή ήταν 31 ΜΡα. Η γεωμετρία των δοκών και της πειραματικής διάταξης παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.7 όπου η επιλογή των εφελκυσμένων οπλισμών (κάτω), έγινε εντός των επιτρεπόμενων ορίων και με κατάλληλο διατμητικό οπλισμό για να μην υπάρξει διατμητική αστοχία. Όλες οι δοκοί αστόχησαν τελικά καμπτικά και αφού είχε διαρρεύσει ο εφελκυσμένος οπλισμός τους με την απόδοση των δοκιμών να συσχετίζεται τελικά με το ογκομετρικό ποσοστό του διαμήκη οπλισμού παρά τη χρήση ΑΑ. Συγκεκριμένα, σε σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές, οι δοκοί με τα 2Φ22 κάτω απέδωσαν καλύτερα στη πράξη ενώ σε σύγκριση με τις δοκούς αναφοράς, δεν υπήρχε μεγάλη διαφορά στη ροπή ρηγμάτωσης, καμία διαφορά στη ροπή διαρροής και ελάχιστη διαφορά στις βυθίσεις. Στη σύνοψη, τέλος, αναφέρεται ότι οι ρηγματώσεις των δοκών με ΑΑ ήταν πιο κοντά μεταξύ τους, οι ροπές ρηγμάτωσης μειώθηκαν συνολικά ενώ μετά τις πρώτες ρωγμές, παρουσιάζεται μικρότερη δυσκαμψία με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη βύθιση κατά την αστοχία.



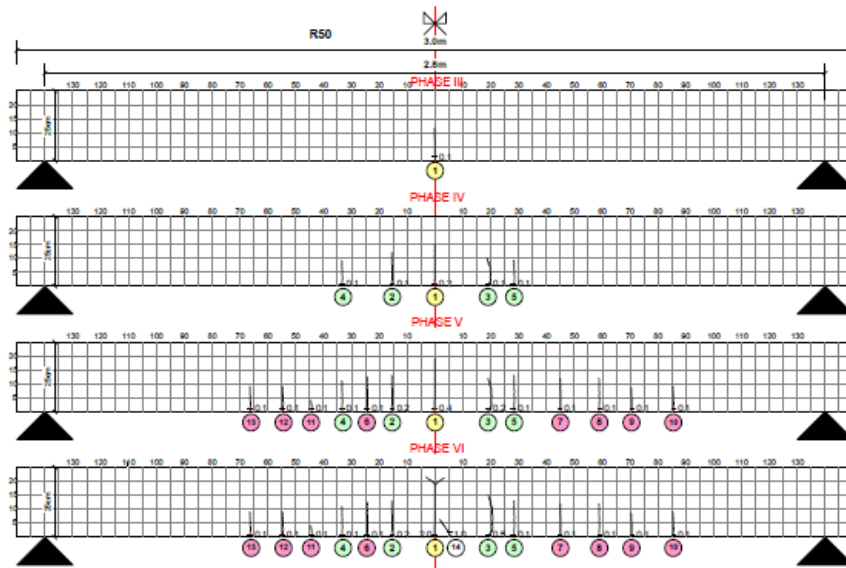
Σχήμα 4.7: Γεωμετρία και οπλισμός φορέων, δοκών, δοκιμής [128]

Η μελέτη του M. Malesev et al. (2010) [114] περιείχε επιπλέον και μελέτη καμπτικής συμπεριφοράς δοκών με τα δύο ανακυκλωμένα σκυροδέματα που αναφέρθηκαν παραπάνω (βλ. Κεφάλαιο 4.1.1). Δημιουργήθηκαν δοκοί της γεωμετρίας που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8 ως προσομοίωση δοκών πλήρους κλίμακας.



Σχήμα 4.8: Γεωμετρία και οπλισμός πειραματικών δοκών [114]

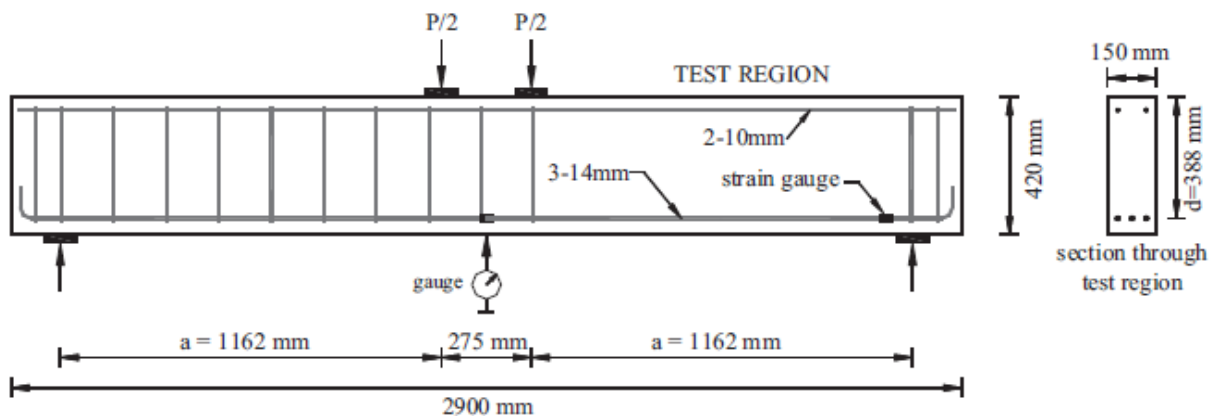
Το συμπέρασμα της μελέτης είναι πως η αντοχή των δοκών δεν επηρεάζεται από την αντικατάσταση των χονδρόκοκκων αδρανών αλλά δημιουργούνται μεγαλύτερες και πυκνότερες ρωγμές όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9, ενώ επίσης παράγονται μεγαλύτερες βυθίσεις. Γενικά το μοτίβο που παρατηρείται είναι η πρώτη ρωγή να εμφανίζεται για φορτίο περίπου στο 30% αυτού της κατάρρευσης και με τα τρία είδη σκυροδέματος ενώ γενικά στην



Σχήμα 4.9: Σχηματισμός ρωγμών κατά τη φόρτιση και τελική μορφή μετά την αστοχία [114]

ελαστική περιοχή η συμπεριφορά του σκυροδέματος είναι ίδια ανεξάρτητα από το ποσοστό αντικατάστασης,

Στην διατμητική συμπεριφορά δοκών οπλισμένου σκυροδέματος εστίασε η μελέτη των Rahal και Alrefael (2017) [129] με στόχο την σύνδεση της με την χρήση ΑΑ. Γενικά στην διατμητική αντοχή των δοκών υπάρχουν μια σειρά από παράγοντες που συντελούν με τον πλέον καθοριστικό να είναι η αντοχή του σκυροδέματος ενώ επίσης σημαντικό ρόλο έχουν οι διαστάσεις της διατομής. Επιλέχθηκε η διατομή των δοκών που φαίνεται στο Σχήμα 4.10 με τον εφελκυσμένο οπλισμό να είναι μικρότερος από τις περισσότερες διαθέσιμες μελέτες. Τα ΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από μονάδα επεξεργασίας ΑΕΚΚ, με σκυρόδεμα αντοχής 15 έως 25 MPa, και χωρίστηκαν σε 2 μίγματα βάση των μεγεθών κόκκων που αντικαταστάθηκαν (4-9.5, 9.5-12.5 και 12.5-19 mm) ενώ αντικατάσταση έγινε κατά 10, 20, 35, 50, 75 και 100% των αντίστοιχων ΦΑ κ.β. Όλα τα μίγματα παρήγαγαν σκυρόδεμα αντοχής στο εύρος 32.2-37.6 MPa ενώ η επιθυμητή αντοχή ήταν 35 MPa. Όλες οι δοκοί αστόχησαν διατμητικά χωρίς να έχει διαρρεύσει ο εφελκυσμένος διαμήκης οπλισμός όπως ήταν επιθυμητό. Οι δοκοί όπου αντικαταστάθηκε μόνο το ένα μέγεθος (4-9,5mm) απέδωσαν καλύτερα από την άλλη ομάδα ειδικά για 20-35% (5-16% για το συγκεκριμένο εύρος) αντικατάσταση ΦΑ, και μάλιστα παρόμοια με το δοκίμιο αναφοράς. Επίσης, η θεωρητικές τιμές που υπολογίστηκαν, ήταν μεγαλύτερες από τη πειραματική τιμή λόγω κυρίως του μικρού, αλλά πιο ρεαλιστικού, ογκομετρικού ποσοστού του εφελκυστικού οπλισμού.

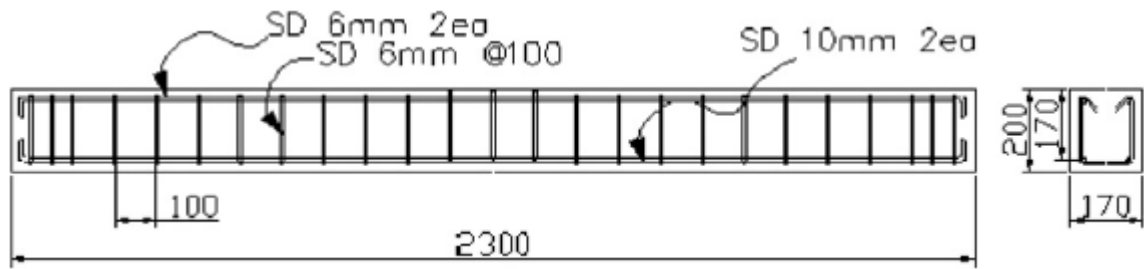


Σχήμα 4.10: Γεωμετρία δοκών για δοκιμή σε διάτμηση [129]

Έρευνα των Choi και Yun (2013) [130] εστίασε στην συμπεριφορά δοκών σκυροδέματος με ΑΑ όταν αυτές κάμπτονται επί 380 ημέρες στο 50% της ονομαστικής τους καμπτικής αντοχής. Τα αδρανή της έρευνας προήλθαν από σκυρόδεμα κατεδάφισης και ήταν συμβατά με τις απαιτήσεις του Κορεάτικου Κανονισμού [79] (βλ. κεφ. 3.3.2.4). Το σκυρόδεμα σχεδιάστηκε να έχει αντοχή 30 MPa ενώ στα δύο μίγματα τα ποσοστά αντικατάστασης ήταν

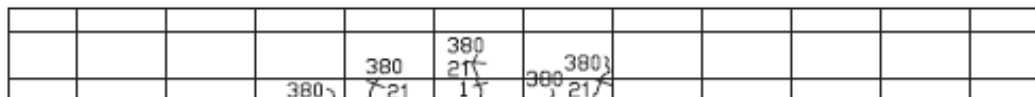


100% των χονδρόκοκκων και 50% των λεπτόκοκκων αδρανών. Οι δοκοί που δημιουργήθηκαν παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.11.

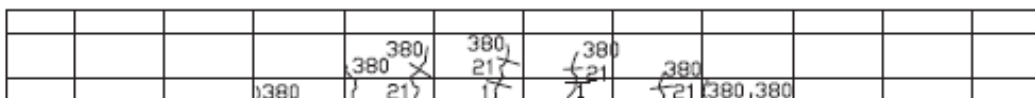


Σχήμα 4.11: Γεωμετρία δοκιμών πειραματικής διάταξης [130]

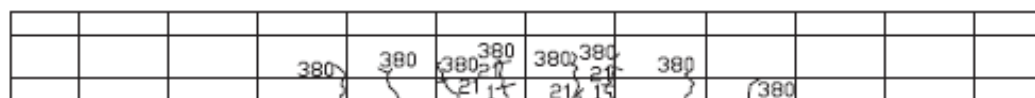
Τελικά παρατηρήθηκαν παρόμοια μοτίβα ρηγματώσης μεταξύ των δοκών, οι άμεσες και τελικές βυθίσεις της δοκού με τα χονδρόκοκκα αδρανή να είναι μικρότερη κι από τη δοκό αναφοράς όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.12 ενώ συνολικά οι βυθίσεις ήταν σε επιτρεπτά επίπεδα βάση των νόμιμων ορίων. Με την αποφόρτιση των δοκών, οι δοκοί με AA είχαν μεγαλύτερη ποσοστιαία επαναφορά σε σχέση με τη δοκιμαστική ενώ τέλος σχολιάζεται ότι η συνολική συμπεριφορά της δοκού είναι σχετική με τη ποιότητα του σκυροδέματος, δηλαδή εάν παραχθεί σκυρόδεμα με AA με καλή καμπτική συμπεριφορά, η δοκός θα λειτουργήσει καλά ανεξάρτητα από τα ποσοστά αντικατάστασης. Τέλος παρατηρείται ότι οι δοκοί με σκυρόδεμα από AA έχουν λιγότερο πλαστική συμπεριφορά μετά τη διαρροή του εφελκόμενου στη συγκεκριμένη διάταξη αφού λόγω και των ρηγματώσεων, δημιουργείται πιο γρήγορα σύνθλιψη σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη.



(a) C30-0.5ω



(b) RL30-0.5ω

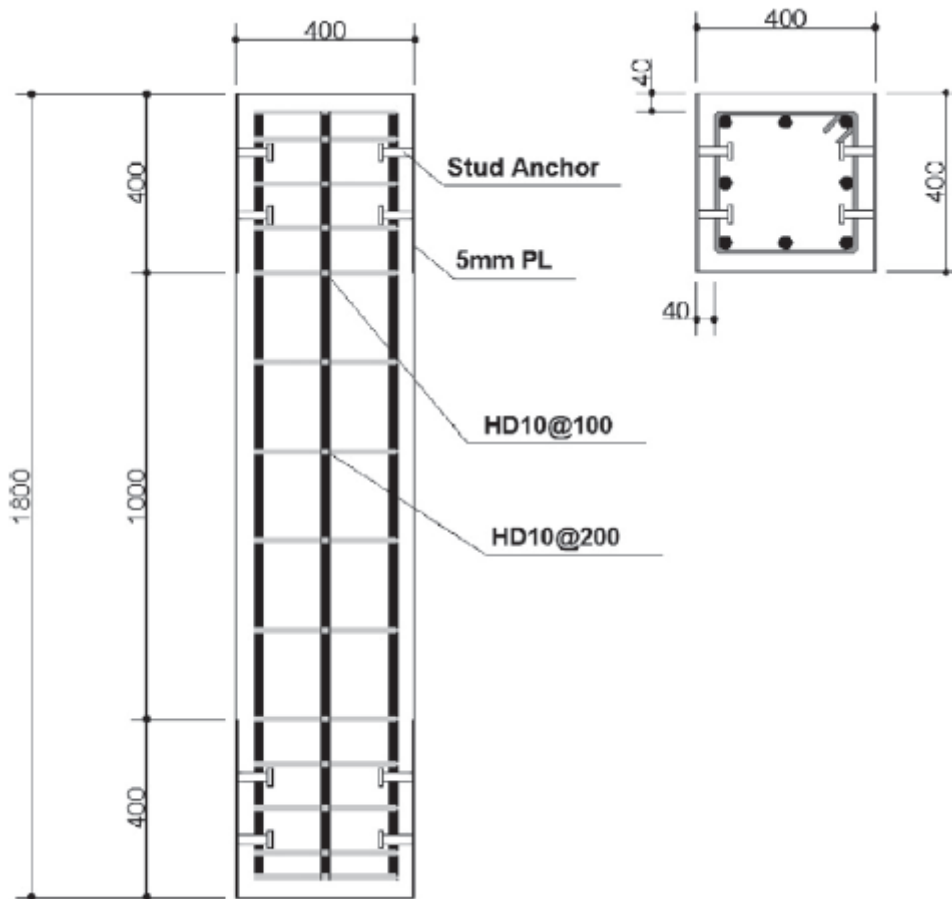


(c) RH30-0.5ω

Σχήμα 4.12: Ρηγματώσεις κατά τη διαρκή φόρτιση των δοκών όπου C η δοκός αναφοράς, RL με τα χονδρόκοκκα AA και RH με τα λεπτόκοκκα [130]

### 4.2.3 Υποστυλώματα και πλαίσια ανακυκλωμένου σκυροδέματος

Σε άλλη εργασία τους, οι Choi και Yun (2012) [131], μελέτησαν τη συμπεριφορά υποστυλωμάτων με σκυρόδεμα από ΑΑ υπό κεντρική αξονική φόρτιση. Τα δοκίμια των οποίων η γεωμετρία φαίνεται στο Σχήμα 4.13, τους βασίστηκαν στις απαιτήσεις του Κορεάτικου Κανονισμού [79] (βλ. κεφ. 3.3.2.4) ενώ έγιναν επιπλέον μεγαλύτερα ποσοστά αντικατάστασης ΦΑ για να μετρηθεί η επίδραση και αυτών.



Σχήμα 4.13: Γεωμετρία και οπλισμοί δοκιμών υποστυλωμάτων [131]

Παρατηρήθηκαν παρόμοια μοτίβα ρηγματώσεων σε όλα τα δοκίμια όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.14, ενώ επαληθεύεται το γεγονός ότι η χρήση ΑΑ στα επιτρεπόμενα πλαίσια, οδηγούν σε απώλειες αντοχών περίπου 6-8%, εκτός από τα λεπτόκοκκα αδρανή που δεν έχουν επίδραση στη συμπεριφορά τέτοιων στοιχείων. Επίσης, οι μελετητές θεωρούν απαραίτητο να γίνουν περαιτέρω μελέτες για τα μίγματα και το πώς πρέπει να προετοιμάζονται όλα τα υλικά ώστε το σκυρόδεμα με ΑΑ να αποδίδει όπως είναι επιθυμητό.



(a) Specimen with natural aggregate, CRC0



(b) Specimen with recycled coarse aggregate, CRC100



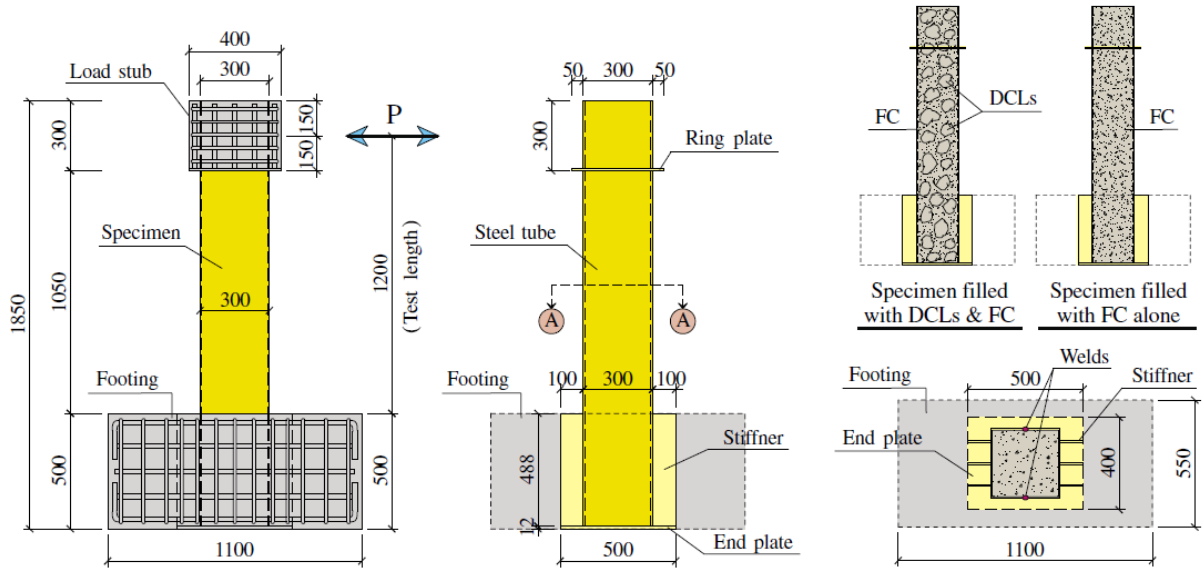
(c) Specimen with natural aggregate, HCRC0



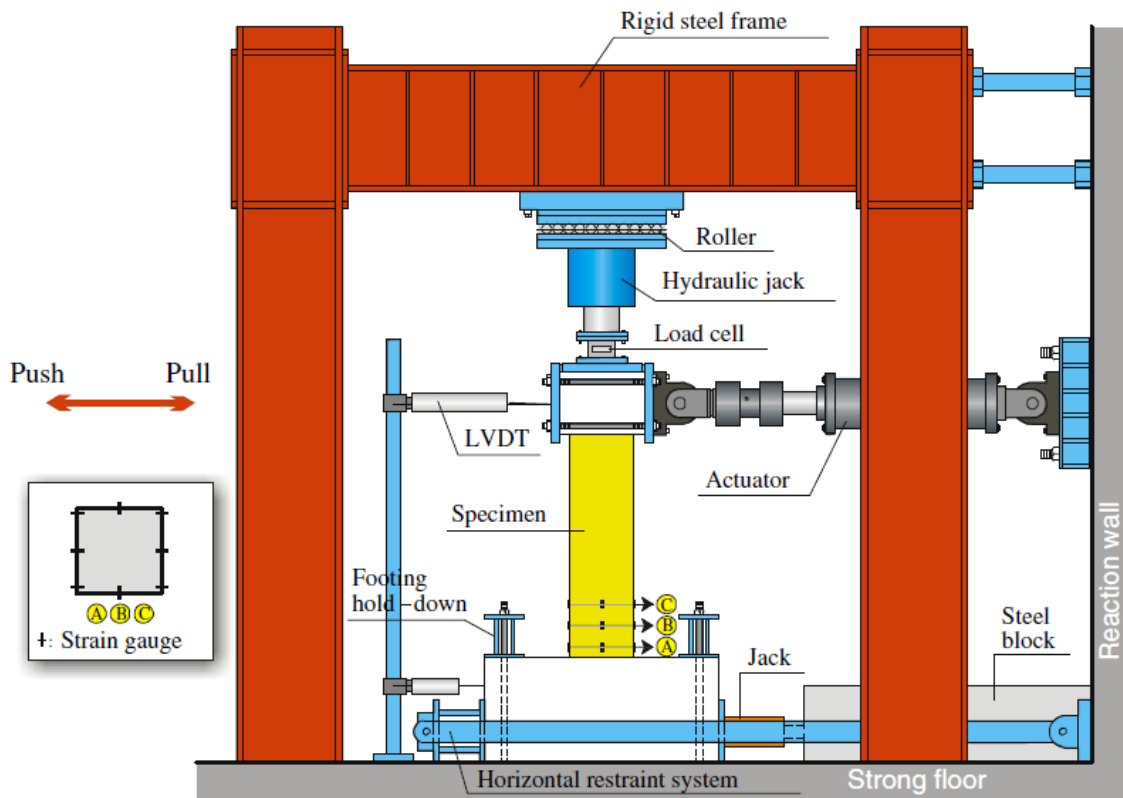
(d) Specimen with mixed recycled coarse aggregate, HCRC30

Σχήμα 4.14: Ρηγματώσεις έπειτα από θλιπτική φόρτιση δοκιμίων [131]

Ο Wu et al. (2012) [132], μελέτησαν την χρήση κομματιών παλιού σκυροδέματος για την πλήρωση σύμμικτων κοιλοδοκών. Χρησιμοποιήθηκαν κοιλοδοκοί τετραγωνικής διατομής και πάχους 2,3 και 6 mm ενώ τα υποστυλώματα ήταν εξωτερικής διατομής 300\*300 mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.15, δηλαδή ρεαλιστική δοκιμή σύμμικτης κατασκευής. Η φόρτιση στην οποία υποβλήθηκαν ήταν συνδυασμός αξονικής καταπόνησης, ανηγμένης αξονικής δύναμης  $v=0.2$  και  $0.4$ , και κυκλική οριζόντια φόρτιση στη κορυφή, προσομοιάζοντας τη κίνηση της μάζας ενός διαφράγματος σε σεισμό όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.16.



Σχήμα 4.15: Γεωμετρία δοκιμίων σύμμικτου υποστυλώματος [132]

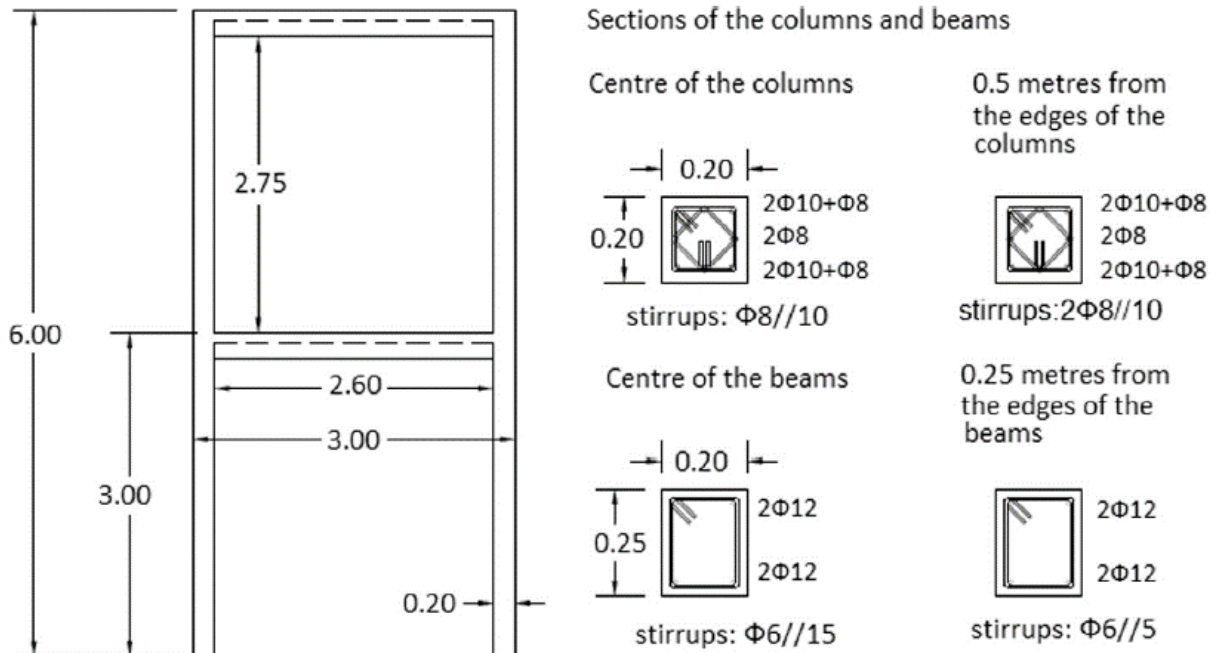


Σχήμα 4.16: Διάταξη δοκιμής των υποστυλωμάτων [132]

Η έρευνα καταλήγει στο ότι είναι δυνατή η χρήση τέτοιων κομματιών παλιού σκυροδέματος για μέχρι και 40% αντικατάσταση κατά όγκο σκυροδέματος αλλά σε κοιλοδοκούς με ικανό πάχος, και στη παρούσα έρευνα φάνηκε ως ελάχιστο απαραίτητο το πάχος των 6 mm. Τέλος επισημαίνεται η ικανοποιητική συνεργασία του φρέσκου σκυροδέματος με τα κομμάτια αυτά στο σύνολο του σύμμικτου στοιχείου το οποίο με τη

σειρά του αποδίδει ικανοποιητικά και καλύπτεται από τις προβλέψεις των κατασκευαστικών Κανονισμών. Η προσέγγιση αυτή είναι μια πρόταση που χωράει περαιτέρω διερεύνησης αν και δεν αποτελεί ακόμα επιτρεπτή μέθοδο. Σε κάθε περίπτωση, αποτελεί δυνατότητα αξιοποίησης ΑΑ σε ακόμη πιο πρωτογενή μορφή ακόμα και στο χώρο της κατεδάφισης ενώ γενικά οι σύμμικτες κατασκευές όπου οι απαιτήσεις από το σκυρόδεμα μπορούν να αντισταθμιστούν από τον χάλυβα, είναι μια δυναμική πρόταση.

Ο Pachero et al. (2015) [133] πραγματοποίησαν δοκιμή συμπεριφοράς ενός δώροφου πλαισίου από σκυρόδεμα με ΑΑ φορτίζοντας το με κατακόρυφα φορτία στα πλαίσια των Πορτογαλικών Κανονισμών. Ο σχεδιασμός του πλαισίου έγινε βάσει των ΕΚ2 [26] και Ευρωκώδικα 8 (ΕΚ8) [134] με κάποιες διορθώσεις ενώ τα ΑΑ αδρανή προήλθαν από βάσεις σκυροδέματος βιομηχανικής παραγωγής αντοχής άνω των 50 ΜΡα. Δημιουργήθηκαν τρία μίγματα αδρανών όπου τα 2 ήταν αντικατάστασης χονδρόκοκκων αδρανών κατά 25 και 100% και στο τρίτο προστέθηκε και υπερ-ρευστοποιητής. Οι θλιπτικές αντοχές των σκυροδεμάτων υπολογίστηκαν τελικά όλες μεγαλύτερες από το σκυρόδεμα αναφοράς. Το δώροφο πλαίσιο ήταν ύψους 6 m, 3 m ανά όροφο και με επιφάνεια πλάκας 3\*3 m όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.17 ενώ μια όψη του φαίνεται στο Σχήμα 4.18.



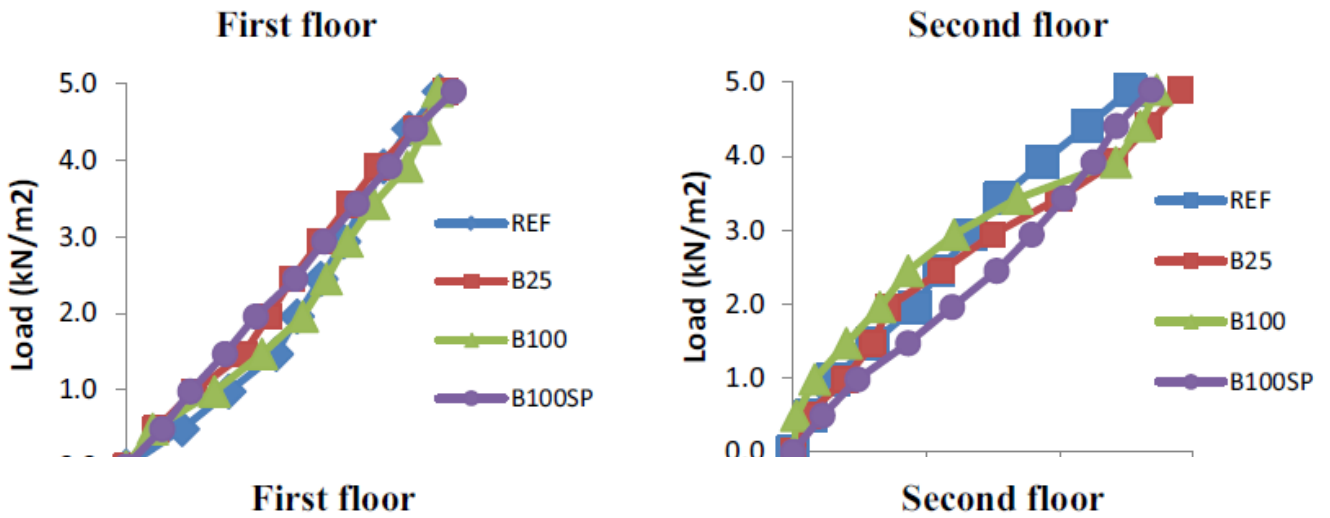
Σχήμα 4.17: Γεωμετρία και οπλισμοί δώροφου πλαισίου πειράματος [133]



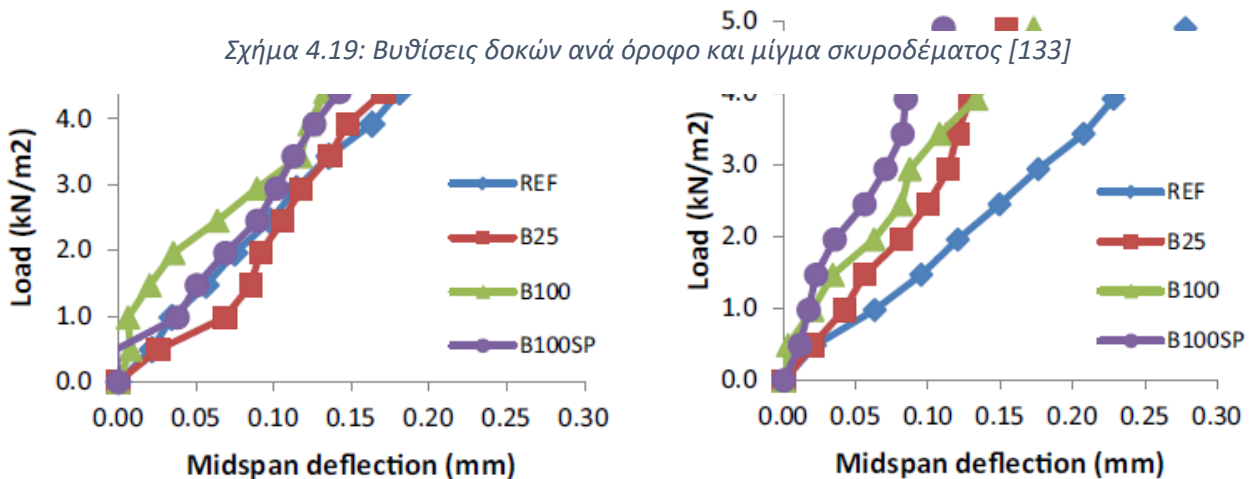
Σχήμα 4.18: Όψη δώροφου πλαισίου με σκυρόδεμα από ΑΑ [133]

Η μελέτη αυτή δείχνει ότι όλες οι κατασκευές είχαν παρόμοια συμπεριφορά βυθίσεων όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.19 για τις δοκούς και στο Σχήμα 4.20 για τις πλάκες και τέλος ότι παρουσίασαν παρόμοια ελαστική συμπεριφορά. Η κύρια επίδραση χρήσης ΑΑ αφορά στη μείωση του μέτρου ελαστικότητας και την επίδραση που αυτό έχει στις δυσκαμψίες των στοιχείων, λόγω της διαφοράς των οποίων παρατηρήθηκαν και οι αντίστοιχες αντιδράσεις. Η χρήση υπερ-ρευστοποιητή σε συνδυασμό με την 100% αντικατάσταση των χονδρόκοκκων αδρανών είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και δυσκαμψιών σε σχέση με το πλαίσιο αναφορά, υποδεικνύοντας έτσι την

επίδραση που έχει κατά τη χρήση ΑΑ στο σκυρόδεμα. Ένα ακόμη θετικό στοιχείο που παρατηρήθηκε, ήταν ότι το μέτρο ελαστικότητας των στοιχείων του φορέα σχετίζεται ευθέως με των δοκιμών σκυροδέματος.

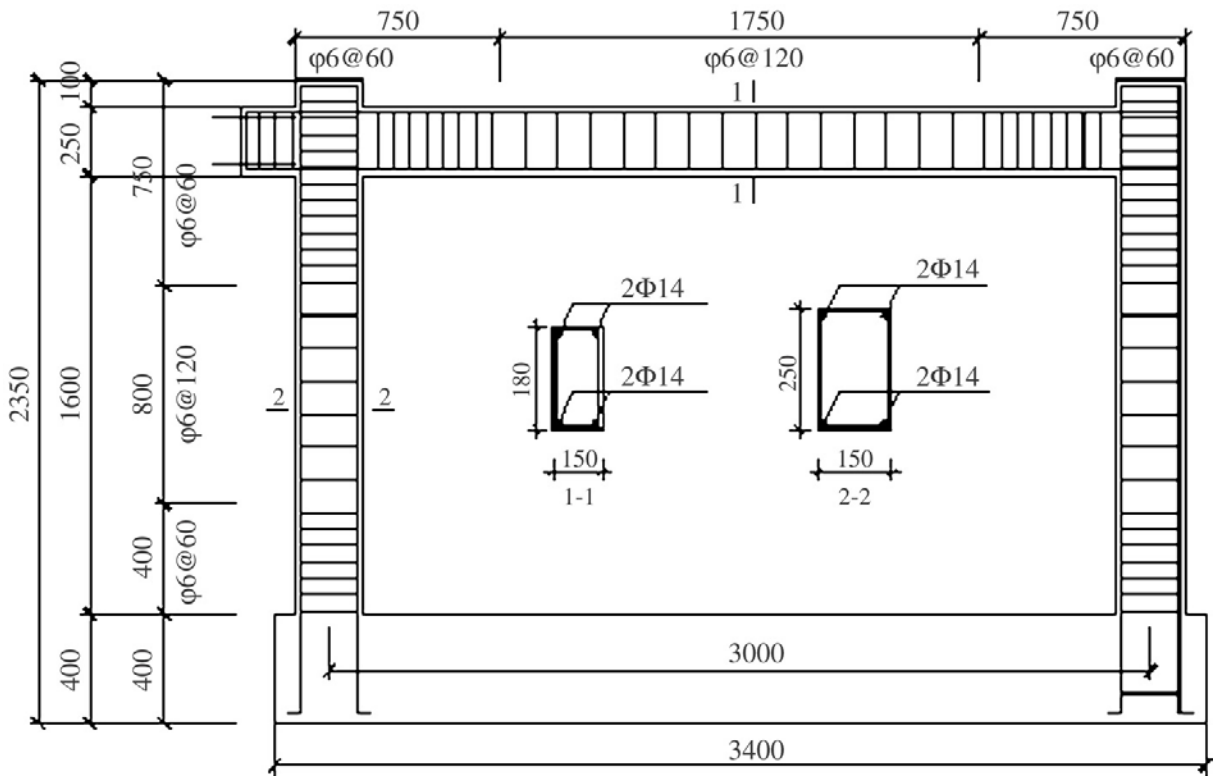


Σχήμα 4.19: Βυθίσεις δοκών ανά όροφο και μίγμα σκυροδέματος [133]

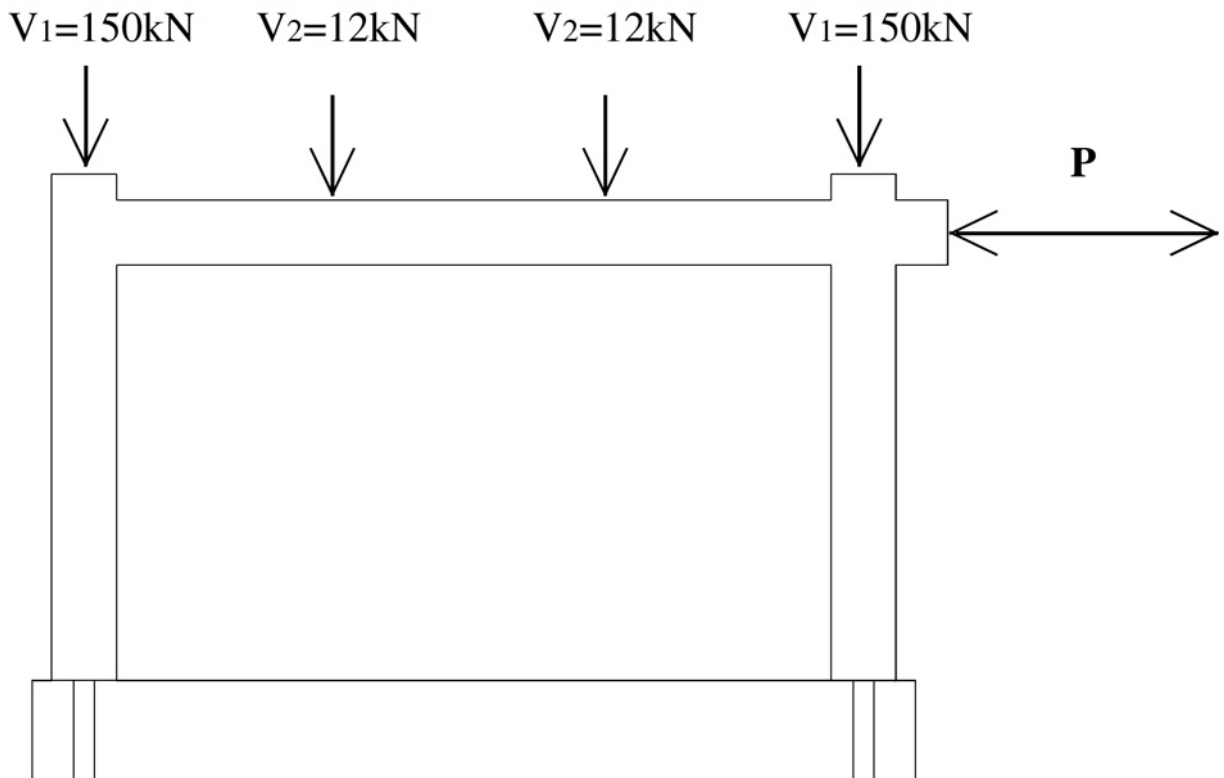


Σχήμα 4.20: Βυθίσεις πλακών ανά όροφο και μίγμα σκυροδέματος [133]

Μια άλλη προσομοίωση πραγματικού φορέα υπό κλίμακα όμως πραγματοποιήσε ο Χiao et al. (2005) [135]. Τα ΑΑ που χρησιμοποιήθηκαν, προήλθαν από σκυρόδεμα διαδρόμου αεροδρομίου και παρήχθησαν μίγματα με 0, 30, 50 και 100% αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών, ενώ στήθηκε πλαίσιο καθαρού ύψους 1950 mm και καθαρού ανοίγματος περίπου 3000 mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.21. Το πλαίσιο φορτίστηκε κατακόρυφα στα υποστυλώματα και 2 ενδιάμεσες θέσεις που προσομοίωναν τα νεκρά φορτία σχεδιασμού και οριζόντια ως προσομοίωση σεισμικής δράσης όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.22.



Σχήμα 4.21: Γεωμετρία και οπλισμοί του πειραματικού φορέα [135]

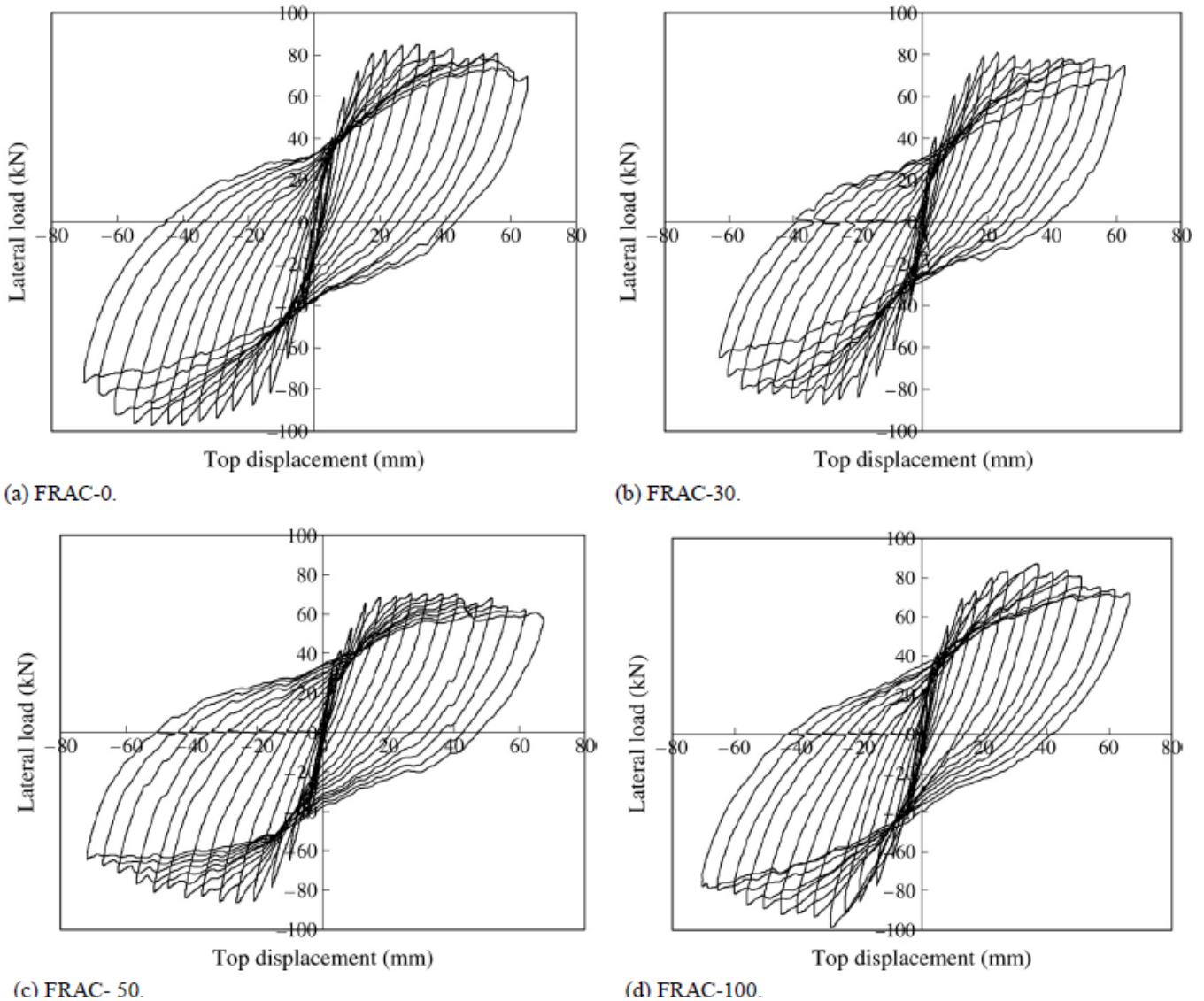


Σχήμα 4.22: Σχηματική αναπαράσταση φόρτισης, προσομοίωσης νεκρών βαρών [135]

Η μελέτη αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι όλα τα πλαίσια ανεξάρτητα από τη χρήση ΑΑ είχαν παρόμοιο μοτίβο αστοχίας, αρχικά στις άκρες των δοκών, μετά στις βάσεις των υποστυλωμάτων το οποίο είναι ένδειξη ότι οι κόμβοι λειτουργούν σωστά ακόμα και με



χρήση ΑΑ. Η όποια μείωση σημειώθηκε στην αντοχή των μελών, ήταν σαφώς μικρότερη από τη μείωση αντοχών που είχε το σκυρόδεμα από μόνο του λόγω της χρήσης ΑΑ. Η σημαντικότερη επίδραση που έχουν τα ΑΑ είναι μετά την πρώτη ρηγμάτωση όταν και η δυσκαμψία του μέλους μειώνεται περισσότερο και γενικά υπάρχει μείωση της πλαστιμότητας. Όσον αφορά του κύκλους υστέρησης, δηλαδή της απόσβεσης ενέργειας των πλαισίων, η συμπεριφορά τους ήταν παρόμοια με αυτών από κανονικό σκυρόδεμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.23.



Σχήμα 4.23: Κύκλοι υστέρησης των τεσσάρων πλαισίων για κάθε μίγμα σκυροδέματος [135]

### 4.3 Σύνοψη

Παρότι οι μελέτες για τη συμπεριφορά δομικών μελών από σκυρόδεμα με ΑΑ είναι σημαντικά περιορισμένες, αποτελούν αποδεικτικό αρχικά της καταλληλότητας του σκυροδέματος με ΑΑ για τέτοια χρήση, ενώ παράλληλα αποδεικνύουν το γεγονός ότι το

σκυρόδεμα αυτό συμπεριφέρεται ανάλογα του κανονικού. Επίσης, όλες οι παραπάνω έρευνες επιβεβαιώνουν την καταλληλότητα που θεσπίζεται μέσω και των Κανονισμών που αναφέρθηκαν, για την χρήση ΑΑ σε δομικό σκυρόδεμα.

Η συμπεριφορά των δομικών στοιχείων αποδεικνύεται να εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από τη ποιότητα του ανακυκλωμένου σκυροδέματος που παράγεται παρά άμεσα από τα ίδια τα ΑΑ. Τόσο σε επιφανειακά στοιχεία, όσο σε οριζόντια και κατακόρυφα, η συμμετοχή των ΑΑ δεν επηρεάζει ουσιαστικά τις βυθίσεις και τις ρηγματώσεις ενώ όπως δείχθηκε, δεν επηρεάζει και τις ενώσεις των διαφορετικών στοιχείων, δηλαδή τους πολύ σημαντικούς στον αντισεισμικό σχεδιασμό κόμβους. Περισσότερο φανερώνεται η ανάγκη να γίνεται προσεκτικός υπολογισμός του απαραίτητου σπλισμού στα στοιχεία ο οποίος μπορεί να ισοσκελίσει σε μεγάλο βαθμό τις απώλειες αντοχών. Οι παραπάνω παρατηρήσεις συνηγορούν στην καταλληλότητα του ανακυκλωμένου σκυροδέματος για όλες τις δομικές χρήσεις σε ένα σύνηθες κατασκευαστικό έργο ενώ ταυτόχρονα επιστρέφουν μερικώς το ενδιαφέρον στη μελέτη πληρέστερων διατάξεων και διαδικασιών ούτως ώστε να παράγεται καλύτερο σκυρόδεμα, το οποίο με τη σειρά του είναι αρκετό για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί με ασφάλεια.

## Κεφάλαιο 5 Σύνοψη και συμπεράσματα

Η αυξανόμενη παραγωγή ΑΕΚΚ διεθνώς, έχει οδηγήσει στη σταδιακή καθιέρωση εναλλακτικών τρόπων διαχείρισης τους με στόχο τη μείωση της περιβαλλοντικής τους επιβάρυνσης. Στην Ελλάδα, η εναλλακτική διαχείριση των ΑΕΚΚ πραγματοποιείται στα πλαίσια των ΣΣΕΔ. Το αποτέλεσμα της εναλλακτικής διαχείρισης είναι ο διαχωρισμός των ΑΕΚΚ σε διάφορα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν ή να χρησιμοποιηθούν άμεσα και οικοδομικά υλικά τα οποία με τη σειρά τους, επεξεργάζονται για να χρησιμοποιηθούν εκ νέου κι αυτά. Η εναλλακτική διαχείριση διεθνώς βασίζεται στην κείμενη νομοθεσία που αφορά στις διαδικασίες παραγωγής αποβλήτων αλλά και τις δυνατές χρήσεις που επιτρέπονται. Μια από αυτές είναι η χρήση των ανακυκλωμένων οικοδομικών αποβλήτων για τη παραγωγή σκυροδέματος.

Υπάρχουν πολλές χώρες στις οποίες προβλέπεται η χρήση ΑΑ για παραγωγή σκυροδέματος και μάλιστα αυτό γίνεται εδώ και πολλές δεκαετίες. Για τα ΑΑ υπάρχουν πιο αυστηρές απαιτήσεις ποιότητας και ιδιοτήτων κυρίως λόγω της ανομοιογένειας τους σε αντίθεση με τα ΦΑ. Παράλληλα, η καταλληλότητα των ΑΑ στο σκυρόδεμα έχει πειραματικά αποδειχθεί από ένα πλήθος πειραματικών εργασιών που εστιάζουν τόσο στην ποιότητα και τις ιδιότητες του σκυροδέματος με ΑΑ όσο και στη συμπεριφορά του σε δομικά στοιχεία. Από τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν, εξάγονται αρκετά συμπεράσματα για τη διαδικασία παραγωγής και επεξεργασίας ΑΚΚ αλλά και γενικότερα των ΑΕΚΚ, των ποιοτικών χαρακτηριστικών που χρειάζεται να έχουν τα παραγόμενα ΑΑ αλλά και της συμπεριφοράς του σκυροδέματος με ΑΑ. Τα συμπεράσματα αυτά συγκεντρώνονται παρακάτω:

- Τα ΑΕΚΚ αποτελούν περιβαλλοντικό πρόβλημα αλλά ταυτόχρονα και μια οικονομική και περιβαλλοντική ευκαιρία. Η παραγωγή τους δεν προβλέπεται να μειωθεί όσο αναπτύσσεται ο ανθρώπινος πολιτισμός όπως όμως προβλέπεται να μειωθούν τα διαθέσιμα αποθέματα ΦΑ. Με την εναλλακτική διαχείριση τους μειώνεται ο αρνητικός αντίκτυπος που έχουν στο περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα δημιουργούνται θέσεις εργασίας αλλά και νέες δυνατότητες
- Για τη βελτίωση της διαδικασίας εναλλακτικής διαχείρισης των ΑΕΚΚ στην Ελλάδα, απαιτείται η διεύρυνση των χρήσεων τους, με μια ελπιδοφόρα επιλογή να είναι το σκυρόδεμα. Αυτό μπορεί να γίνει με την αλλαγή του ΚΤΣ και προσδιορισμού κάποιων βασικών απαιτούμενων χαρακτηριστικών τους.

- Με βάση τις προαναφερθείς απαιτήσεις, μπορεί να πραγματοποιείται καλύτερη διαλογή και προετοιμασία των ΑΕΚΚ με στόχο τη παραγωγή κατάλληλων ΑΑ. Η απαραίτητη οργανωτική και τεχνική υποδομή (ΣΣΕΔ, μονάδες επεξεργασίας ΑΕΚΚ) υπάρχει ενώ απουσιάζει μόνο το κίνητρο για τη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων ΑΑ.
- Για την παραγωγή ΑΕΚΚ τα οποία μπορούν να παράγουν καλύτερα ΑΑ, χρειάζεται περαιτέρω ενημέρωση όλων των εμπλεκόμενων στις διαδικασίες που τα παράγουν και επιπλέον κίνητρα, κυρίως οικονομικά, για τη χρήση τους. Επίσης απαραίτητος είναι ο συνεχής έλεγχος των κατασκευαστικών εργασιών ώστε να καθιερωθεί ένας συνολικά πιο φιλικός στο περιβάλλον κατασκευαστικός τομέας
- Διεθνώς, υπάρχουν πλήθος κανονισμών που επιτρέπουν τη χρήση ΑΑ στο σκυρόδεμα με κάποιες χώρες μάλιστα να έχουν παρόμοιο γεωλογικό και κλιματικό προφίλ με την Ελλάδα. Συνεπώς υπάρχουν δεδομένα που μπορούν να αντληθούν από αυτούς τους κανονισμούς προσαρμοσμένα στις ελληνικές συνθήκες ενώ μάλιστα υπάρχει και η απαραίτητη τεχνογνωσία για γρήγορη εφαρμογή τους.
- Τα ΑΑ διαφέρουν από τα ΦΑ κυρίως στη ύπαρξη παλιού τσιμέντου στο οποίο οφείλεται η μειωμένη πυκνότητα τους, το αυξημένο πορώδες και απορροφητικότητα σε νερό. Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά των ΑΑ επηρεάζουν και το παραγόμενο σκυρόδεμα αλλά όπως έχει αποδειχθεί πειραματικά, μπορούν να αντισταθμιστούν αρκετά εύκολα και οικονομικά κατά τη προετοιμασία τους.
- Η ποιότητα και καταλληλότητα των ΑΑ εξαρτάται από τα υλικά που προέρχονται με τα πλέον ποιοτικά να είναι το σκυρόδεμα και μετά τα κεραμικά. Οι υπόλοιπες προσμίξεις έχουν πολύ δυσμενείς επιπτώσεις στο σκυρόδεμα που παράγεται αλλά υπάρχουν λειτουργικοί τρόποι ελέγχου όλων των ιδιοτήτων των ΑΑ προτού χρησιμοποιηθούν. Επιπλέον, πειραματικά επιβεβαιώνεται ότι η θλιπτική αντοχή του αρχικού σκυροδέματος δεν επηρεάζει το νέο σκυρόδεμα.
- Το σκυρόδεμα με ΑΑ μπορεί να εφαρμοστεί με ασφάλεια σε πλήθος περιβαλλοντικών συνθηκών, αρκεί να έχει επαληθευτεί η καταλληλότητα των ΑΑ.
- Χώρες με παρόμοιες γεωλογικές και κλιματολογικές συνθήκες παραπλήσιες με της Ελλάδας, επιτρέπουν με επιτυχία τη χρήση ΑΑ στο σκυρόδεμα διασφαλίζοντας έτσι τόσο τα φυσικά τους αποθέματα, όσο και το περιβάλλον τους.
- Τα πλέον κατάλληλα ΑΑ για χρήση σε σκυρόδεμα είναι τα χονδρόκοκκα ΑΑ, χωρίς αυτό να εξαιρεί τα λεπτόκοκκα. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της παιπάλης που τα

τελευταία περιέχουν και συνήθως αποτελείται από επικίνδυνα για τη ποιότητα του σκυροδέματος υλικά. Αντίθετα, τα χονδρόκοκκα ΑΑ μπορούν να ξεπλυθούν από τις σκόνες τους πιο αποτελεσματικά κατά τη διαδικασία κορεσμού τους.

- Το σκυρόδεμα με ΑΑ παρουσιάζει συνήθως μειωμένη θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, μειωμένο μέτρο ελαστικότητας, αυξημένη συστολή ξηρασίας και αντοχή σε επιφανειακή φθορά. Επίσης παρουσιάζει μειωμένη πυκνότητα, αυξημένο πορώδες και απορροφητικότητα σε νερό. Στην νωπή του μορφή μπορεί να παραχθεί έτσι ώστε να έχει παρόμοια περιεκτικότητα σε αέρα και ρευστότητα με το κανονικό.
- Παρόλα αυτά, το σκυρόδεμα με ΑΑ έχει ανάλογες του κανονικού ιδιότητες. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως νέο υλικό με συγκεκριμένες ιδιότητες και χωρίς να φέρει τη αντίστοιχη σύγκριση με το δεύτερο.
- Η χρήση σκυροδέματος με ΑΑ σε δομικά στοιχεία είναι εφικτή και η συμπεριφορά των φορέων επηρεάζεται μόνο από την ποιότητα του ίδιου του σκυροδέματος.
- Για τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος με ΑΑ μπορούν να γίνουν μόνο υποθέσεις λαμβάνοντας υπόψιν τις πρώτες καταγεγραμμένες εφαρμογές του που πραγματοποιήθηκαν στην Ευρώπη κατά την ανοικοδόμηση της μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο.

## Βιβλιογραφία

- [1] Μαρασίδης Τ. και Νταλάρης Σ. (2017), Διερεύνηση σκυροδέματος παρασκευασμένο με ανακυκλωμένα αδρανή και προσθήκη ποζολάνης και ιπτάμενης τέφρας σε αντικατάσταση άμμου κατά 20%. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Πειραιάς 2017.
- [2] Αναστασοπούλου Μ., Βασιλείου Β. και Καράλης Κ. (2012), Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων. Ομάδα Εργασίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος, Τμήμα Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα 2012.
- [3] Ε.Ο.ΑΝ. (2021), Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ). Διαθέσιμο: <https://www.eoan.gr/εναλλακτική-διαχείριση/απόβλητα-εκσκαφών-κατασκευών-κατεδα/>, (ανακτήθηκε 10 Δεκ. 2021).
- [4] ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Α.Ε. (2008), Σχεδιασμός Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων (Α.Ε.Κ.Κ.), Τμήμα Επιθεώρησης Δόμησης και Κατεδαφίσεων Ν. Ροδόπης. Διαθέσιμο: <https://www.diaamath.gr/sites/default/files/190808112551.pdf>, (ανακτήθηκε 17 Οκτ. 2021).
- [5] ΑΝΑΕΚΚ Α.Ε, Τι είναι τα ΑΕΚΚ. Διαθέσιμο: <https://anaekk.gr/απόβλητα/πίνακας-αποβλήτων/>, (ανακτήθηκε 16 Νοεμ. 2021).
- [6] Καϊσίδου Μ. και Παπαθανασίου Α., Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένα αδρανή. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. Θεσσαλονίκη
- [7] Δράκου Μ. (2016), Χρήση ανακυκλωμένων αδρανών στο σκυρόδεμα. Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, Λεμεσός.
- [8] ΑΝΑΚΕΜ Α.Ε, Τι είναι το ΣΣΕΔ. Διαθέσιμο: <https://anakem.gr/στόχος-σσεδ/>, (ανακτήθηκε 25 Ιάν. 2022).
- [9] ΑΝΑΕΚΚ ΑΕ, Συχνές ερωτήσεις. Διαθέσιμο: <https://anaekk.gr/συχνές-ερωτήσεις/>, (ανακτήθηκε 10 Δεκ. 2021).
- [10] ΣΑΝΚΕ, Μάθετε για την ανακύκλωση – Υποχρεώσεις παραγωγών αποβλήτων εκσκαφών κατεδαφίσεων κατασκευών (ΑΕΚΚ). Διαθέσιμο: <https://www.sanke.gr/mathete-gia-tin-anakyklosi/>, (ανακτήθηκε 10 Δεκ. 2021).
- [11] ΑΝΑΚΕΜ ΑΕ, Συνεργαζόμενες εταιρίες συλλογής και μεταφοράς ΑΕΚΚ με την ΑΝΑΚΕΜ ΑΕ. Διαθέσιμο: <https://www.anakem.gr/συνεργατες/συνεργατες-μεταφορεις/>, (ανακτήθηκε: 10 Δεκ. 2021).

- [12] Ελληνική Δημοκρατία - Υπουργείο Παραγωγικής Ανασυγκρότησης, Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2015), Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ).
- [13] Ελληνική Δημοκρατία - Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (2020), Εθνικό Σχέδιο Διαχείρισης Αποβλήτων (Ε.Σ.Δ.Α.) 2020-2030.
- [14] United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2020), Advancing Sustainable Materials Management: 2018 Fact Sheet.
- [15] Eurostat (2020), *Energy, transport and environment statistics 2020 edition*. Διαθέσιμο: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478276/KS-DK-20-001-EN-N.pdf/06ddaf8d-1745-76b5-838e-013524781340?t=1605526083000>, (ανακτήθηκε 29 Ιάν. 2021). DOI: 10.2785/522192.
- [16] Akhtar A. and Sarmah A. (2018), Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective, *Journal of Cleaner Production*, 49, pp. 262–281, DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085.
- [17] envGuide (2021), China Construction and Demolition Waste Disposal Industry Market Report. Διαθέσιμο: [https://us.envguide.com/wp-content/uploads/2021/06/China-CD-Waste-Disposal-Industry-Market-Report\\_EN\\_20210622\\_pdf-1.pdf](https://us.envguide.com/wp-content/uploads/2021/06/China-CD-Waste-Disposal-Industry-Market-Report_EN_20210622_pdf-1.pdf), (ανακτήθηκε 08 Δεκ. 2021).
- [18] CDEAsia, (2019), Thane & Surat C&D Waste Recycling Facility. Διαθέσιμο: <https://cdeasia.com/news/2019/april/thane-surat-cd-waste-recycling-facility>, (ανακτήθηκε 22 Δεκ. 2021).
- [19] Down to Earth e-Magazine (2020), India recycles only 1% of its construction and demolition waste: CSE. Διαθέσιμο: <https://www.downtoearth.org.in/news/waste/india-recycles-only-1-of-its-construction-and-demolition-waste-cse-73027>, (ανακτήθηκε 13 Δεκ. 2021)
- [20] Κακλόπουλος Σ. (2015), Ανακύκλωση και διαχείριση αδρανών υλικών. Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2015
- [21] ENVITERRA (2020), Βελτίωση πλαισίου διαχείρισης αποβλήτων εκσκαφών, κατασκευών & κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) στην Ελλάδα. Διαθέσιμο: [https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/02/Final-Report-3.1-CDW-management-20200826\\_final-GR\\_12.pdf](https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/02/Final-Report-3.1-CDW-management-20200826_final-GR_12.pdf), (ανακτήθηκε 10 Δεκ. 2021)
- [22] Τσουμάνη Α. (2017), Μεθοδολογία για βέλτιστη χρήση ανακυκλωμένου σκυροδέματος από κτίρια στον ελλαδικό χώρο με στόχο την αειφορία. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα 2017

- [23] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Πρώτο Αρ. Φύλλου 79 – 9 Απριλίου 2012: «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός». (Νόμος 4067/2012).
- [24] ΤΕΕ Τμήμα Δυτικής Μακεδονίας (2020), Διευκρινίσεις ΥΠΕΝ για την εφαρμογή διατάξεων των Ν. 4067/2012 ΝΟΚ και Ν. 4495/2017. Διαθέσιμο: <https://tdm.tee.gr/diefkriniseis-ypen-gia-tin-efarmogi-diatakseon-ton-n-40672012-nok-kai-n-44952017/>, (ανακτήθηκε: 03 Οκτ 2021).
- [25] Gonçalves P. (2007), Concrete with recycled aggregates – commented analysis of existing legislation. Master Dissertation, Department of Civil Engineering, Technical University of Lisbon, Lisbon 2007.
- [26] CEN (2004), EN 1992, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: general rules and rules for buildings.
- [27] CEN (2000), EN 206-1, Concrete – Part 1: Specification, performance, production and conformity.
- [28] Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Ιστορία-Εξέλιξη Διαθέσιμο: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/>, (ανακτήθηκε 14 Ιάν 2022).
- [29] CEN (2002), EN 1008, Mixing Water for Concrete - Specification for Sampling, Testing and Assessing the Suitability of Water, Including Water Recovered from Processes in the Concrete Industry, as Mixing Water for Concrete.
- [30] ASTM (2004), C1602, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete.
- [31] Coppola L. (2016), Betonrossi Basic Concrete - Prescribing, mixing and placing durable concretes. Διαθέσιμο: [https://www.betonrossi.it/sites/default/files/publications/BBC\\_Versione\\_Completa\\_2016\\_0.pdf](https://www.betonrossi.it/sites/default/files/publications/BBC_Versione_Completa_2016_0.pdf), (ανακτήθηκε 13 Ιάν. 2022).
- [32] CEN (2000), EN 197-1, Cement Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
- [33] ΕΛΟΤ (2001), ΕΛΟΤ EN 197-1, Τσιμέντο-Μέρος 1: Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα.
- [34] Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, Κανονισμοί. Διαθέσιμο: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>, (ανακτήθηκε 06 Ιάν. 2022).
- [35] ASTM (2000), ASTM C150, Standard Specification for Portland Cement.
- [36] JSA (2009), JIS R 5210, Portland cement.
- [37] Interbeton, Τι είναι τα αδρανή υλικά. Διαθέσιμο: <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageID=65&langID=1>, (ανακτήθηκε 05 Ιάν. 2022).



- [38] Λίτινας Ν., Αδρανή Υλικά στο Σκυρόδεμα. Διαθέσιμο: [http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=47](http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=47), (ανακτήθηκε 19 Απρ. 2021).
- [39] Ξενοφών Σπηλιώτης, Αδρανή υλικά. Σημειώσεις Διαλέξεων «Δομικά Υλικά», Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Λάρισα
- [40] Seegebrecht G., The role of aggregate in concrete. Διαθέσιμο: <https://www.concretenetwork.com/aggregate/#:~:text=The%20Role%20of%20Aggregate%20in%20Concrete&text=Aggregates%20are%20generally%20thought%20of%20as%20inert%20filler%20within%20a%20concrete%20mix.&text=You%20can%20often%20save%20money,requirements%2C%20the%20most%20costly%20ingredient.>, (ανακτήθηκε 17 Νοέ. 2021).
- [41] CEN (2002), EN12620, Aggregates for concrete.
- [42] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο Αρ. Φύλλου 1561 – 2 Ιουνίου 2016: «Έγκριση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-2016)». (Υ.Α. Γ.Δ.Τ.Υ/οικ. 3328).
- [43] ΤΙΤΑΝ, Η σήμανση CE στα αδρανή υλικά είναι γεγονός. Διαθέσιμο: [http://www.interbeton.gr/UserFiles/File/adrani/ENTYPO%20CE\\_ADRANI.pdf](http://www.interbeton.gr/UserFiles/File/adrani/ENTYPO%20CE_ADRANI.pdf), (ανακτήθηκε 20 Απρ. 2021).
- [44] ΕΛΟΤ, Αδρανή. Διαθέσιμο: [http://www.elot.gr/488\\_ell\\_html.aspx](http://www.elot.gr/488_ell_html.aspx), (ανακτήθηκε 06 Ιαν. 2022)
- [45] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN12620-2002, Αδρανή για Σκυρόδεμα.
- [46] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN 13193-2002, Αδρανή Κονιαμάτων
- [47] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN 13242-2002, Αδρανή για Οδοποιία
- [48] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN 13450-2002, Αδρανή για Έρμα Σιδηροδρομικών γραμμών
- [49] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN 13383-1-2002, Φυσικούς Ογκόλιθους
- [50] ΕΛΟΤ (2002), ΕΛΟΤ EN 13055-1-2002 και ΕΛΟΤ EN 13055-2-2004, Ελαφρά Αδρανή
- [51] CEN (1997), EN 933-1, Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method.
- [52] Sanchez M. (2018), European research of aggregates for concrete: current status and developments in progress, in: TAIEX Workshop on the Resource Efficiency of Construction and Concrete Materials, Haifa, Israel.
- [53] ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ Της Ελληνικής Δημοκρατίας, Τεύχος Δεύτερο Αρ. Φύλλου 315 – 17 Απριλίου 1997: «Έγκριση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος - 97». (Υ.Α. Δ14/19164).

- [54] CEN (1998), EN 1097, Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates.
- [55] CEN (2001), EN 1367, Tests for thermal and weathering properties of aggregates.
- [56] CEN (2005), EN 1744, Tests for chemical properties of aggregates.
- [57] ACI (2019), ACI 318-19, Building Code Requirements for Structural Concrete.
- [58] ACI (2016), ACI 301-16, Specifications for Structural Concrete.
- [59] ASTM (2008), ASTM C33/C33M, Standard Specification for Concrete Aggregates.
- [60] VM civil, Concrete nominal cover based on EC2. Διαθέσιμο: <https://www.vmcivil.com/Concrete/Concrete-nominal-cover.aspx>, (ανακτήθηκε 18 Ιάν. 2022).
- [61] Adams M. and Jayasuriya A. (2019), ACI CRC 18.517: Guideline Development for Use of Recycled Concrete Aggregates in New Concrete. New Jersey Institute of Technology, New Jersey 2019.
- [62] AASHTO (2013), AASHTO M 80, Standard Specification for Coarse Aggregate for Hydraulic Cement Concrete.
- [63] AASHTO (2013), AASHTO MP 16, Standard Specification for Reclaimed Concrete Aggregate (RCA) for Use as Coarse Aggregate in Hydraulic Cement Concrete
- [64] ACI (2001), ACI 555 R-01, Removal and reuse of hardened concrete.
- [65] ABNT (2021), ABNT NBR 15116, Recycled aggregates for uses in mortar and concrete – Requirements and test methods.
- [66] ABNT (2004), ABNT NBR 15116, Recycled aggregate of solid residue of building constructions – Requirements and methodologies.
- [67] Angulo S. (2021), Aplicacao do agregado reciclado (NBR-15.116). Διαθέσιμο: [http://aprece.org.br/wp-content/uploads/2021/10/aprece-associacao-dos-municipios-do-estado-do-ceara\\_aplicacao-do-agregado-reciclado-nbr-15116-reduzida-alteracoes-sca-v2.pdf](http://aprece.org.br/wp-content/uploads/2021/10/aprece-associacao-dos-municipios-do-estado-do-ceara_aplicacao-do-agregado-reciclado-nbr-15116-reduzida-alteracoes-sca-v2.pdf), (ανακτήθηκε 07 Ιάν. 2022) (In Brazilian).
- [68] Gomes H. (2021), Agregados Reciclados em concreto para a mitigacao de impactos da industria de construcao civil, Graduacao em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Centro Federal de Educacao Tecnologica de Minas Gerais, Varginha 2021 (in Brazilian).
- [69] J. de Brito and N. Saikia, (2013), Recycled aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste, Green Energy and Technology, Springer Publications, 54(7), pp. 379-426.
- [70] JSA (2018), JIS A 5023, Recycled aggregate concrete-Class L
- [71] JSA (2018), JIS A 5022, Recycled aggregate concrete-Class M

- [72] JAS (2018), JIS A 5021, Recycled aggregate concrete-Class H
- [73] Promotion Council for Recycling Construction Materials and Wastes (2019), Case studies of Advanced Construction and Demolition waste (CDW) - Recycling initiatives and technologies In JAPAN. Διαθέσιμο: <https://www.suishinkaigi.jp/en/Our%20works/case%20studies.pdf>, (ανακτήθηκε 07 Ιάν. 2022).
- [74] CABR (2010), GB/T25177-2010, Recycled Coarse Aggregate for Concrete, China.
- [75] de Brito J., Agrela F., Silva R. (2019), Legal regulations of recycled aggregate concrete in buildings and roads, in: *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*, Elsevier, pp. 509–526.
- [76] Works Bureau (2002), WBTC No. 12/2002, Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates, Hong Kong
- [77] Grabiec A., Kim J., Ubysz A. and Bilbao P. (2021), Some remarks towards a better understanding of the use of concrete recycled aggregate: A review, *Sustainability (Switzerland)*, MDPI, 13(23). DOI: 10.3390/su132313336.
- [78] Korean Agency for Technology and Standard (2016), KS F 2527, Concrete Aggregate.
- [79] Kim J. (2021), Construction and demolition waste management in Korea: recycled aggregate and its application, *Clean Technologies and Environmental Policy* 23(8), Springer, pp. 2223–2234.
- [80] RILEM (1994), Technical Committee 121-DRG, Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, *Materials and Structures*, 27(173), pp. 557-559, Paris 1994.
- [81] DDPS (2015), Ot 70085, Directive technique - Utilisation de matériaux de construction minéraux secondaires dans la construction d’abris, (in French).
- [82] SIA (2013), SIA 262, Betonbau, Switzerland.
- [83] SIA (2021), SIA 2030:2021, Beton mit recyclierten Gesteinskörnungen, Switzerland.
- [84] Konrad Moser (2010), “SIA Merkblatt 2030:2010 Recyclingbeton”
- [85] GOST (2016), ГОСТ Р 57345-2016\_EN 206-1\_2013 Бетон. Общие технические условия, Russia (in Russian).
- [86] BSI (2019), BS 8500:2, Concrete – Complementary British Standard to BS 206-1 – Part 2.
- [87] NBN (2018), NBN B 15-001, Concrete - Specification, performance, production and conformity - National supplement to NBN EN 206:2013+A1:2016.
- [88] CORPO (2020), Prescriptions Techniques PTV 406 v9.0 (in French).
- [89] Playaert C. & Schaerlaekens S., Les Nouvelles norms NBN EN 206 et NBN B 15-001.

- [90] Beuth Verlag (2008), DIN EN 12620, Aggregates for concrete; German version.
- [91] Beuth Verlag (2017), DIN 4226-101, Recycled aggregates for concrete in accordance with DIN EN 12620 - Part 101: Types and regulated dangerous substances.
- [92] Beuth Verlag (2021), DIN EN 206, Concrete - Specification, performance, production and conformity; German version EN 206:2013+A2:2021.
- [93] Beuth Verlag (2008), DIN 1045, Concrete, reinforced and prestressed concrete structures.
- [94] DAfStb (2019), DAfStb-Richtlinie - Anforderungen an Ausgangsstoffe zur Herstellung von Beton nach DIN EN 206-1 in Verbindung mit DIN 1045-2.
- [95] UNE (2009), UNE-EN 12620, Aggregates for concrete.
- [96] MITMA (2010), EHE 08, Code on Structural Concrete.
- [97] Italian Parliament (2018), NTC 2018, Norme tecniche per le costruzioni.
- [98] UNI (2013), UNI EN 12620, Aggregati per calcestruzzo.
- [99] UNI (2015), UNI 8520-1, Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 1: Designazione e criteri di conformità.
- [100] UNI (2016), UNI 8520-2, Aggregati per calcestruzzo - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 12620 - Parte 2: Requisiti.
- [101] Jaawani S., Franco A., de Luca G., Coppola O. and Bonati A. (2021), Limitations on the use of recycled asphalt pavement in structural concrete, Applied Sciences (Switzerland) MDPI, 11(22).
- [102] UNI (2016), UNI 11104, Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206.
- [103] Cominoli L. (2018), Il ruolo del progettista Recupero degli aggregati riciclati nel calcestruzzo, Presentation in University of Brescia, Brescia 2018.
- [104] NEN (2014), NEN 8005, Dutch supplement to NEN-EN 206: Concrete - Specification, performance, production and conformity.
- [105] NEN (2005), NEN 5905, Aggregates for concrete - Sand and gravel.
- [106] CUR, Commissie voor Uitvoering van Research.
- [107] Federation Internationale du Recyclage, Technical Factsheets Construction & Demolition Waste Recycled Aggregates Example The Netherlands. Διαθέσιμο: <http://webdog.brbs.nl/files/FIR-Factsheet-on-Recycled-Aggregates-Example-The-Netherlands.pdf>, (ανακτήθηκε 14 Ιάν. 2022).

- [108] CUR (2014), CUR-AANBEVELING 80, Beton met menggranulaten als grof toeslagmateriaal
- [109] CUR (2014), CUR-AANBEVELING 106, Beton met fijne fracties uit recyclinggranulaten als fijn toeslagmateriaal.
- [110] CUR (2014), CUR-AANBEVELING 112, Beton met betongrunulaat als grof toeslagmateriaal
- [111] LNEC (2009), LNEC E471, Guia para a utilizacao de agregados reciclados grossos em betoes de ligantes hidraulicos.
- [112] Tsoumani A., Barkoula N. & Mankas T. (2015), Recycled Aggregate as Structural Material, Waste and Biomass Valorization 6(5), pp. 883-890.
- [113] Αλεξανδρίδου Χ., Κουτελιέρης Φ., Νέγκας Ι. & Αγγελόπουλος Γ. (2015), Ιδιότητες και σύσταση Αδρανών παραγόμενων από μονάδες ανακύκλωσης ΑΕΚΚ στην Ελλάδα, 10<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Επιστημονικό Συνέδριο Χημικής Μηχανικής, Πάτρα 2015.
- [114] Malešev M., Radonjanin V. and Marinković S. (2010), Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, Sustainability 2(5), pp. 1204–1225.
- [115] Evangelista L. & de Brito J. (2007), Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Composites 29(5), pp. 397-401.
- [116] Σάββα Α. (2010), Σκυροδέματα με ανακυκλωμένα αδρανή: Επίδραση της ομοιογένειας του σκυροδέματος προέλευσης, Τεχνικά Χρονικά - Επιστημονικές Εκδόσεις ΤΕΕ 2, σσ. 45-62.
- [117] Khatib J. (2005), Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, Cement and Concrete Research 35(4) pp. 763-769.
- [118] Manzi S., Mazzotti C. & Bignozzi M. (2012), Short and long-term behavior of structural concrete with recycled concrete aggregate, Cement and Concrete Composites 37(1), pp. 312-318.
- [119] Dilbas H., Simsek M. & Cakir O. (2014), An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume, Construction and Building Materials 61, pp. 50-59.
- [120] Kou S. & Poon C. (2012), Enhancing the durability properties of concrete prepared with coarse recycled aggregate, Construction and Building Materials 35, pp. 69-76.
- [121] Pepe M., Filho R., Koenders E. and Martinelli E. (2014), Alternative processing procedures for recycled aggregates in structural concrete, Construction and Building Materials 69, Elsevier, pp. 124–132.

- [122] Sallehan I. & Mahyuddin R. (2013), Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications, *Construction and Building Materials* 44, pp. 464-476.
- [123] Shi C., Li Y., Zhang J., Li W., Chong L. & Xie Z. (2016), Performance enhancement of recycled concrete aggregate - A review, *Journal of Cleaner Production* 112, pp. 466-472.
- [124] Martinez I., Matrinez F., Vasquez C. & Perez J. (2012), Properties of plain concrete made with mixed recycled coarse aggregate, *Construction and Building Materials* 37, pp. 171-176.
- [125] Stochino F., Pani L., Francesconi L. & Mistretta F. (2017), Cracking of Reinforced Recycled Concrete Slabs, *Journal of Structural Glass and Advanced Materials Research*, 1(1), pp. 3-9.
- [126] Schubert S., Hoffmann C., Leemann A., Moser K. & Motavalli M. (2012), Recycled aggregate concrete: Experimental shear resistance of slabs without shear reinforcement, *Engineering Structures journal* 41, pp. 490-497.
- [127] Mahmoud Z., El tony E. & Saeed K. (2018), Punching shear behavior of recycled aggregate reinforced concrete slabs, *Alexandria Engineering Journal* 57(2), pp. 841-849.
- [128] Arezoumandi M., Smith A., Volz J. & Khayat K. (2015), An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate, *Engineering Structures Journal* 88, pp. 154-162.
- [129] Rahal K. & Alrefael Y. (2017), Shear strength of longitudinally reinforced recycled aggregate concrete beams, *Engineering Structures Journal*, vol. 145, pp. 273-282.
- [130] Choi W. & Yun H. (2013), Long-term deflection and flexural behavior of reinforced concrete beams with recycled aggregate, *Materials and Design Journal* 51, pp. 742-750.
- [131] Choi W. & Yun H. (2012), Compressive behavior of reinforced concrete columns with recycled aggregate under uniaxial loading, *Engineering Structures Journal* 41, pp. 285-293.
- [132] Wu B., Zhao X. & Zhang J. (2012), Cyclic behavior of thin-walled square steel tubular columns filled with demolished concrete lumps and fresh concrete, *Journal of Constructional Steel Research* 77, pp. 69-81.
- [133] Pachero J., de Brito J., Ferreira J. & Soares D. (2015), Flexural load tests of full-scale recycled aggregates concrete structures, *Construction and Building Materials Journal* 101, pp. 65-71.
- [134] CEN (2004), EC 1998, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance.

- [135] Xiao J., Sun Y. & Falkner H. (2006), Seismic performance of frame structures with recycled aggregate concrete, *Engineering Structures Journal* 28(1), pp. 1-8.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**

Απόσπασμα του καταλόγου αποβλήτων (Κεφάλαιο 17) σύμφωνα με το Παράρτημα της απόφασης 200/532/ΕΚ όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/119/ΕΚ, 2001/119/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της Επιτροπής Ε.Κ.

## Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων

|           |  |
|-----------|--|
| 17        | ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ (ΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΕΤΑΙ ΧΩΜΑ ΕΚΣΚΑΦΗΣ ΑΠΟ ΡΥΠΑΣΜΕΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ)              |
| 17 01     | σκυρόδεμα, τούβλα, πλακίδια και κεραμικά   |
| 17 01 01  | σκυρόδεμα  |
| 17 01 02  | τούβλα   |
| 17 01 03  | πλακίδια και κεραμικά  |
| 17 01 06* | μείγματα ή επιμέρους συστατικά από σκυρόδεμα, τούβλα, πλακίδια και κεραμικά που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες   |
| 17 01 07  | μείγμα σκυροδέματος, τούβλων, πλακιδίων και κεραμικών εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στη κατηγορία 17 01 06 |
| 17 02     | ξύλο, γυαλί και πλαστικό   |
| 17 02 01  | ξύλο   |
| 17 02 02  | γυαλί  |
| 17 02 03  | πλαστικό   |
| 17 02 04* | γυαλί, πλαστικό και ξύλο που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες ή έχουν μολυνθεί από αυτές                           |
| 17 03     | μείγματα ασφάλτου και ορυκτής πίσσας, λιθανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας                                      |
| 17 03 01* | μείγματα ορυκτής ασφάλτου που περιέχουν λιθανθρακόπισσα  |
| 17 03 02  | μείγματα ορυκτής ασφάλτου εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στην κατηγορία 17 03 01                            |
| 17 03 03  | λιθανθρακόπισσα και προϊόντα πίσσας  |
| 17 04     | μέταλλα (περιλαμβανομένων και των κραμάτων τους)   |
| 17 04 01  | χαλκός, μπρούντζος, ορείχαλκος   |
| 17 04 02  | αλουμίνια  |
| 17 04 03  | μόλυβδος   |



- 17 04 04 ψευδάργυρος
- 17 04 05 σίδηρος και χάλυβας
- 17 04 06 κασσίτερος
- 17 04 07 ανάμεικτα μέταλλα
- 17 04 09\* απόβλητα μετάλλων μολυσμένα από επικίνδυνες ουσίες
- 17 04 10\* καλώδια που περιέχουν πετρέλαιο, λιθανθρακόπισσα και άλλες επικίνδυνες ουσίες
- 17 04 11 καλώδια εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στην κατηγορία 17 04 10
- 17 05 χώματα (περιλαμβανομένων χωμάτων εκσκαφής από ρυπασμένες τοποθεσίες), πέτρες και μπάζα εκσκαφών
- 17 05 03\* χώματα και πέτρες που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
- 17 05 04 χώματα και πέτρες εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στη κατηγορία 17 05 03
- 17 05 05\* μπάζα εκσκαφών που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
- 17 05 06 μπάζα εκσκαφών εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στη κατηγορία 17 05 06
- 17 05 07\* έρμα σιδηροτροχιών που περιέχει επικίνδυνες ουσίες
- 17 05 08 έρμα σιδηροτροχιών εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στη κατηγορία 17 05 07
- 17 06 μονωτικά υλικά και υλικά δομικών κατασκευών που περιέχουν αμίαντο
- 17 06 01\* μονωτικά υλικά που περιέχουν αμίαντο
- 17 06 03\* άλλα μονωτικά υλικά που αποτελούνται από επικίνδυνες ουσίες ή τις περιέχουν
- 17 06 04 μονωτικά υλικά εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες 17 06 01 & 17 06 03
- 17 06 05\* υλικά δομικών κατασκευών που περιέχουν αμίαντο
- 17 08 υλικά δομικών κατασκευών με βάση τον γύψο
- 17 08 01\* υλικά δομικών κατασκευών με βάση τον γύψο μολυσμένα από επικίνδυνες ουσίες
- 17 08 02 υλικά δομικών κατασκευών με βάση τον γύψο εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στη κατηγορία 17 08 01
- 17 09 άλλα απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων
- 17 09 01\* απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων που περιέχουν υδράργυρο
- 17 09 02\* απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων που περιέχουν PCB

- 17 09 03\* άλλα απόβλητα δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων (περιλαμβανομένων και μειγμάτων αποβλήτων) που περιέχουν επικίνδυνες ουσίες
- 17 09 04 μείγματα αποβλήτων δομικών κατασκευών και κατεδαφίσεων εκτός εκείνων που περιλαμβάνονται στις κατηγορίες 17 09 01, 17 09 02 & 17 09 03

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Επικίνδυνα συστατικά ΑΕΚΚ και επιθυμητές πρακτικές διαχείρισης [4]

| Προϊόν/ υλικό                                    | Πιθανά επικίνδυνα συστατικά                                 | Πιθανές επικίνδυνες ιδιότητες         | Πρακτικές διαχείρισης  |
|--|---|---------------------------------------|--|
| Πρόσθετα σκυροδέματος                            | H/C διαλύτες  | Εύφλεκτο                              | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση   |
| Υλικά ανθεκτικά στην υγρασία                     | Διαλύτες, Βιτουμένιο  | Εύφλεκτα, Τοξικά                      | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση   |
| Κόλλες   | Διαλύτες, ισοκυανιούχες ενώσεις                             | Εύφλεκτα, Τοξικά, Διεγερτικά          | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση, αναζήτηση εναλλακτικών λιγότερο επικίνδυνων προϊόντων              |
| Προστατευτικές επικαλύψεις, υλικά στεγανοποίησης | Διαλύτες, Βιτουμένιο  | Εύφλεκτα, τοξικά                      | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση-επεξεργασία πριν από τη διάθεση, Αναζήτηση εναλλακτικών λιγότερο επικίνδυνων προϊόντων, χρήση νερού |
| Υλικά επικάλυψης δρόμων                          | Γαλακτώματα με βάση την πίσσα                               | Τοξικά                                | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση με σκοπό εξειδικευμένη διαχείριση   |
| Αμίαντος   | Ίνες που μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα    | Τοξικά, καρκινογόνα                   | Απομάκρυνση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες με σκοπό την εξειδικευμένη διαχείριση  |
| Ορυκτές Ίνες                                     | Ίνες που μπορούν να εισχωρήσουν στο αναπνευστικό σύστημα    | Δερματικές και πνευμονικές ενοχλήσεις | Απομάκρυνση για ξεχωριστή διάθεση  |
| Επεξεργασμένο ξύλο                               | Χαλκός, αρσενικό, χρώμιο, πίσσα, μικροβιοκτόνα, μυκητοκτόνα | Τοξικό, Οικοτοξικό, Εύφλεκτο          | Ανακύκλωση, τα επικίνδυνα υλικά είναι δεσμευμένα στο ξύλο, μικρό ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων κατά την απόθεση, αναθυμιάσεις τοξικής αιθάλης και υπολείμματα παράγονται κατά την καύση   |
| Μπογιές και στρώματα επικάλυψης                  | Διαλύτες μόλυβδου, χρωμίου, βαναδίου                        | Τοξικό εύφλεκτο                       | Μικρό ποσοστό αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον αν είναι δεσμευμένο στο υπόστρωμα, πιθανή τοξική αιθάλη κατά την καύση   |

|   |   |                                    |   |
|---|---|------------------------------------|---|
| Εξοπλισμός μεταφοράς ενέργειας                                | PCB   | Οικοτοξικό                         | Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια που πρέπει να απομακρυνθούν υπό ελεγχόμενες συνθήκες   |
| Πηγή φωτός  | PCB, Υδράργυρος, νάτριο                                       | Τοξικό, Οικοτοξικό                 | Ανακύκλωση/ απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση  |
| Συστήματα εξαερισμού  | CFCs  | Καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος | Απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση  |
| Σύστημα πυροπροστασίας  | CFCs  | Καταστρέφουν το στρώμα του όζοντος | Απομάκρυνση με σκοπό την εξειδικευμένη απόθεση  |
| Ρυπασμένες υφάνσιμες ίνες που χρησιμοποιούνται στις οικοδομές | Ραδιονουκλίδια  | Τοξικό                             | Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση   |
|   | Βαριά μέταλλα περιλαμβανόμενου καδμίου, υδραργύρου            | Τοξικό                             | Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση   |
|   | Άνθρακας  | Τοξικό                             | Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση   |
| Ζωικά προϊόντα <sup>[1]</sup>                                 | Άνθρακας  | Τοξικό                             | Εξειδικευμένη απολύμανση πριν την κατεδάφιση/ανακαίνιση   |
| Φιάλες γκαζιού  | Προπάνιο, βουτάνιο, ακετυλένιο                                | Εύφλεκτα                           | Επιστροφή στον προμηθευτή   |
| Πληρωτικές ίνες   | Ισοκυανιούχες ενώσεις, φθαλικός ανυδρίτης                     | Τοξικό, Διεγερτικό                 | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση   |
| Έλαια και καύσιμα   | H/C   | Εύφλεκτο, Οικοτοξικό               | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση   |
| Γυψοσανίδες   | Πιθανή πηγή H <sub>2</sub> S στο χώρο διάθεσης                | Εύφλεκτο, Τοξικό                   | Επιστροφή στον προμηθευτή, ανακύκλωση, απομάκρυνση για εξειδικευμένη διαχείριση   |
| Γυαλί   |   |                                    | Παρουσιάζει δυσκολίες στη συλλογή και μεταφορά προς επεξεργασία   |
| Δρόμοι  | Πίσσα, διαλύτες   | Εύφλεκτο Τοξικό                    | Ανακύκλωση, και ανάκτηση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι χαμηλή. Ξεχωριστή διάθεση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι μεγάλη |
| Υπόστρωμα τέφρας/ κλίνκερ                                     | Βαριά μέταλλα περιλαμβανόμενου του υδραργύρου και του χαλκού. | Τοξικά                             | Ανακύκλωση, και ανάκτηση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι χαμηλή. Ξεχωριστή διάθεση αν η ικανότητα εκχύλισης είναι μεγάλη |