



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ”**



Φοιτητής: Γεωργούλιας Επαμεινώνδας

A.M.: 44368010226

Επιβλέπων Καθηγητής: Αυτουσλής Αθανάσιος

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, 2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Diploma Thesis

**“INVESTIGATION OF CONCRETES USING RECYCABLE
MATERIALS”**



Student: Georgoulas Epameinondas

Registration Number: 44368010226

Supervisor: Aftousmis Athanasios

ATHENS-EGALEO, 2022

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Γεωργούλιας Επαμεινώνδας, 2022

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

Όνοματεπώνυμο φοιτητή:

Γεωργούλιας Επαμεινώνδας

Τίτλος

Διπλωματικής Εργασίας:

**“ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ”**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι
Τριμελή Εξεταστική Επιτροπή:

Αθανάσιος Αυτουσμής

Καθηγητής
Επιβλέπων

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος

Αναπληρωτής Καθηγητής
Μέλος

Σταυρούλα Δενεζάκη

Λέκτορας Εφαρμογών
Μέλος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Γεωργούλιας Επαμεινώνδας** του Ανδρέα, με αριθμό μητρώου **44368010226** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο **ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ** και

ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών, που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου».

Ο Δηλών



Γεωργούλιας
Επαμεινώνδας

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Αυτουσμή Αθανάσιο, καθηγητή του τμήματος πολιτικών μηχανικών, για την πολύτιμη καθοδήγηση, συνεργασία και τον χρόνο που αφιέρωσε για την υλοποίηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και γενικότερα στην πορεία μου στην σχολή.

Φυσικά ευχαριστώ την οικογένεια μου για την στήριξη της και την ενθάρρυνση των επιλογών μου, παρά τις δυσκολίες που εμφανίστηκαν, όλα αυτά τα χρόνια.

Ε. Γεωργούλιας.

Περίληψη

Διερεύνηση των Σκυροδεμάτων με χρήση Ανακυκλώσιμων Υλικών

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει σαφές ότι οι φυσικοί πόροι δεν αποτελούν ανεξάντλητα περιβαλλοντικά στοιχεία και οι τρόποι προμήθειας, παρασκευής και απόρριψης με το οποίο πορευόταν μέχρι τώρα η ζωή και η οικονομία με την λογική ότι κάθε προϊόν φτάνει στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του δεν είναι αποτελεσματικό. Υπάρχουν αρκετές αρνητικές συνέπειες όπως η μόλυνση του περιβάλλοντος, η ρύπανση του εδάφους, των υπόγειων υδάτων και της ατμόσφαιρας λόγω της απόρριψης αποβλήτων κάθε είδους.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στον τομέα των κατασκευών έχει το σκυρόδεμα όπου αποτελεί βασικό και κυρίαρχο υλικό των έργων υποδομής, από την αρχαιότητα ακόμη, σε συνδυασμό με την μετακίνηση της ζωής στην πόλη συνεπώς με την σημαντική αυξημένη ζήτηση αδρανών υλικών λόγω νέων κατασκευών κρίνεται πλέον αναγκαία η αναζήτηση και η χρήση εναλλακτικών πρώτων υλών για την παραγωγή αυτού. Ο όρος της ανακύκλωσης έχει εισχωρήσει πλέον στην καθημερινότητα σε διάφορα επίπεδα και με την βοήθεια της ανάπτυξης της τεχνογνωσίας και της τεχνολογίας είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν ανακυκλωμένα υλικά από διαφορετικές πηγές για την παραγωγή σκυροδέματος με την χρήση αλλά και τις ιδιότητες του να ποικίλουν ανάλογα την περίπτωση.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι να καταστήσει σαφές αρχικά τι είναι το σκυρόδεμα και από τι αποτελείται, να παραθέσει εναλλακτικούς τρόπους παρασκευής σκυροδέματος με την χρήση των ανακυκλώσιμων υλικών, είτε αυτά προέρχονται από τις κατασκευές είτε όχι, να αναφερθούν οι κατηγορίες αυτών και ο τρόπος παραγωγής τους καθώς και η διαδικασία της ανακύκλωσης με σκοπό την επίτευξη της καλύτερης προστασίας του περιβάλλοντος αλλά και την βέλτιστη διαχείριση της παρασκευής των υλικών συνεπώς και της οικονομίας.

Abstract

Investigation of Concretes using Recyclable Materials

In recent years it has been realized that natural resources are not inexhaustible elements of the environment and the model of supply, manufacture, disposal with which life and the economy have so far proceeded with the thinking that every product reaches the end of its useful life, is not effective anymore. There are several negative consequences such as environmental pollution, soil pollution, groundwater pollution and atmosphere pollution due to the dumping of waste of all kinds.

Of particular interest in the construction sector is concrete where it is a basic and dominant material of constructions, since antiquity, in combination with the movement of life in the city therefore with the significantly increased demand for aggregates due to new constructions is now necessary to search and use alternative raw materials for its production. The term recycling has now penetrated into everyday life at various levels and with the help of the development of know-how and technology it is possible to use recycled materials from different sources for the production of concrete with its use and its properties to vary depending on the case.

The aim of this paper is to make clear first what concrete is and what it consists of and to list alternative ways of making concrete using recyclable materials, whether they come from construction or not, to list these categories and how they produced, as well as the recycling process in order to achieve environmental protection but also the optimal management of production of materials and therefore the economy.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Ευχαριστίες | 5 |
| Περίληψη | 2 |
| Abstract..... | 3 |
| Κατάλογος Εικόνων | 7 |
| Κατάλογος Πινάκων:..... | 9 |
| Κατάλογος Διαγραμμάτων: | 10 |
| ΕΝΟΤΗΤΑ Α..... | 11 |
| 1.1 Το σκυρόδεμα | 12 |
| 1.2 Παρασκευή και μελέτη σκυροδέματος..... | 13 |
| 1.3 Λόγοι χρήσης σκυροδέματος στις κατασκευές..... | 14 |
| 1.4 Συστατικά σκυροδέματος | 14 |
| 1.4.1 Τσιμέντο | 14 |
| 1.4.2 Αδρανή υλικά..... | 15 |
| 1.4.3 Νερό αναμίξεως..... | 15 |
| 1.4.4 Πρόσμικτα & πρόσθετα υλικά..... | 16 |
| 1.5 Χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος..... | 18 |
| 1.6 Βασικά είδη σκυροδέματος..... | 20 |
| ΕΝΟΤΗΤΑ Β | 26 |
| 2.1 Τι ονομάζουμε αδρανή υλικά..... | 27 |
| 2.2 Κατηγορίες αδρανών υλικών | 28 |
| 2.2.1 Ανάλογα με την προέλευση τους..... | 28 |
| 2.2.2 Ανάλογα την πηγή λήψης..... | 28 |
| 2.2.3 Ανάλογα το ειδικό βάρος | 29 |
| 2.2.4 Ανάλογα το μέγεθος των κόκκων | 30 |
| 2.3 Αδρανή υλικά & σκυρόδεμα..... | 31 |
| 2.3.1 Ιδιότητες αδρανών υλικών..... | 34 |
| 2.3.2 Χρησιμότητα των αδρανών υλικών | 35 |
| 2.4 Τρέχον παγκόσμιο σενάριο | 35 |
| ΕΝΟΤΗΤΑ Γ | 36 |
| 3.1 Η έννοια της ανακύκλωσης..... | 37 |
| 3.2 Κίνητρα που οδηγούν στην ανακύκλωση..... | 37 |
| 3.2.1 Οφέλη ανακύκλωσης..... | 37 |
| 3.2.2 Εμπόδια της διαδικασίας | 38 |
| 3.3 Μονάδες ανακύκλωσης | 39 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.3.1 | Κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης | 39 |
| 3.3.2 | Στατικά συγκροτήματα ανακύκλωσης | 40 |
| 3.4 | Τεχνολογία & εξοπλισμός παραγωγής ανακυκλωμένων αδρανών | 41 |
| 3.5 | Ανακυκλώσιμα υλικά και χρήση στις κατασκευές | 45 |
| 3.5.1 | Απόβλητα από εκσκαφές κατεδαφίσεις και κατασκευές | 45 |
| 3.5.2 | Ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά | 49 |
| 3.5.3 | Ανακύκλωση της ασφάλτου | 49 |
| 3.5.4 | Ανακυκλώσιμα υλικά από οικιακά απορρίμματα | 50 |
| 3.5.5 | Ανακυκλώσιμα υλικά από τη βιομηχανία | 52 |
| 3.5.6 | Ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα ως αδρανές υλικό | 52 |
| ΕΝΟΤΗΤΑ Δ | | 54 |
| 4.1 | Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα ελαστικά οχημάτων | 55 |
| 4.1.2 | Κατηγορίες ελαστικών οχημάτων..... | 55 |
| 4.1.3 | Σύσταση αποβλήτων | 56 |
| 4.1.4 | Διαχείριση ελαστικών | 56 |
| 4.1.5 | Σκυρόδεμα με προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού..... | 57 |
| 4.1.5.1 | Βελτίωση ιδιοτήτων σκυροδέματος | 60 |
| 4.1.5.2 | Προϊόντα προερχόμενα από επεξεργασία ελαστικών | 62 |
| 4.1.6 | Ιδιότητες σκυροδέματος με προσθήκη ελαστικού..... | 62 |
| 4.2 | Σκυρόδεμα με τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού & σκωρία υψικαμίνου | 67 |
| 4.2.1 | Ανακύκλωση χαρτιού..... | 67 |
| 4.2.1.1 | Υλικά | 68 |
| 4.2.2 | Εργαστηριακές δοκιμές..... | 69 |
| 4.2.2.1 | Δοκιμή κάθισης | 70 |
| 4.2.2.2 | Εύρεση κορεσμένης πυκνότητας..... | 71 |
| 4.2.2.3 | Δοκιμή σε θλίψη..... | 72 |
| 4.2.2.4 | Δοκιμή διάρρηξης δοκιμίων..... | 73 |
| 4.2.2.5 | Εύρεση μέτρου ελαστικότητας E | 74 |
| 4.2.3 | Συμπέρασμα..... | 75 |
| 4.3 | Σκυρόδεμα με αδρανή από ανακυκλωμένο γυαλί..... | 76 |
| 4.3.1 | Παραγωγή και ανάγκες | 76 |
| 4.3.2 | Ιδιότητες σκυροδέματος..... | 77 |
| 4.3.2.1 | Μηχανικές Ιδιότητες..... | 77 |
| 4.3.2.2 | Συστολή..... | 77 |
| 4.3.2.3 | Ιδιότητες ανθεκτικότητας..... | 77 |

| | |
|--|-----|
| 4.3.2.4 Αντίδραση των αλκαλίων πυριτίου | 78 |
| 4.3.3 Εργαστηριακές δοκιμές | 79 |
| 4.3.3.1 Παρατηρήσεις..... | 80 |
| 4.4 Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα | 81 |
| 4.4.1 Διαδικασία μελέτης | 81 |
| 4.4.1.1 Προετοιμασία αρχικών δειγμάτων | 81 |
| 4.4.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση..... | 82 |
| 4.4.1.3 Σύνθεση μίγματος..... | 83 |
| 4.4.1.4 Παρασκευή και σκυροδέτηση δοκιμίων | 83 |
| 4.4.2 Δοκιμές αντοχών σε κάμψη & θλίψη..... | 84 |
| 4.4.3 Διαδικασία δημιουργίας ανακυκλωμένου σκυροδέματος..... | 87 |
| 4.4.4 Συμπεράσματα | 89 |
| ΕΝΟΤΗΤΑ Ε | 91 |
| 5.1 Οικονομικές πτυχές | 92 |
| 5.2 Κυκλική οικονομία..... | 93 |
| 5.2.1 Στόχοι Ε.Ε. για τη διαχείριση του περιβάλλοντος..... | 94 |
| 5.3 Εθνικό νομικό πλαίσιο..... | 94 |
| 5.4 Προτάσεις | 97 |
| 5.5 Συμπεράσματα..... | 99 |
| Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές πηγές..... | 100 |

Κατάλογος Εικόνων:

- Εικόνα 1.1: Το σκυρόδεμα. Πηγή: <https://betonpanagiotakis.gr/skirodema.html>
- Εικόνα 1.2: Διαδικασία παρασκευής τσιμέντου Portland. Πηγή: Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, τμήμα έργων υποδομής, εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος, 2007.
- Εικόνα 1.3: Το τσιμέντο, το θεμέλιο του σύγχρονου κόσμου. Πηγή: <https://www.vassiliko.com/el/what-we-do/cement>
- Εικόνα 1.4: Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος. Πηγή: <https://www.buildinghow.com/el-gr/Προϊόντα/Βιβλία/Τόμος-Α/Η-κατασκευή/Σκυρόδεμα>
- Εικόνα 1.5: Tama Art University Library. Πηγή: <https://www.archdaily.com/22711/tama-art-university-library-toyo-ito-by-iwan-baan>
- Εικόνα 1.6: Hyogo Prefectural Museum of Art. Πηγή: <https://www7.kobe-np.co.jp/>
- Εικόνα 1.7: Δείγμα Διαπερατού Σκυροδέματος. Πηγή: <http://ggs.com.cy/proionta/diaperato-skyrodema>
- Εικόνα 1.8: Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα. Πηγή: <http://www.epidomos.gr/gunite.php?id=47&lang=>
- Εικόνα 1.9: Εικόνα: Gunitε Μηχανή Εκτόξευσης Σκυροδέματος. Πηγή: http://www.gunitemagnisia.4ty.gr/more2.php?l=el&id=7368&_ga=2.225297817.2048054748.1638815722-2134892687.1638815722
- Εικόνα 1.10: Ρωγμές στο άοπλο σκυρόδεμα και ινοπλισμένο σκυρόδεμα αντίστοιχα σε δοκίμια υπό πίεση. Πηγή: «Ενίσχυση στοιχείων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα και πλαστικά υλικά», Γεωργακοπούλου Μαριάννα.
- Εικόνα 2.1: Θραυστά Αδρανή Υλικά. Πηγή: <https://www.deyav.gr/enimerosi/prokirykseis-diagonismo/item/199-promitheia-thrafston-adranon-ylikon>
- Εικόνα 2.2: Σημαντικότητα και Ανάγκη δημιουργίας Λατομείων. Πηγή: Βικιπαίδεια
- Εικόνα 2.3: Βασικά είδη αδρανών υλικών, Άμμος – Γαρμπίλι – Χαλίκι. Πηγή: Βικιπαίδεια
- Εικόνα 3.1: Παγκόσμιο σύμβολο ανακύκλωσης. Πηγή: Βικιπαίδεια
- Εικόνα 3.2: Κινητή μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Πηγή: Google εικόνες
- Εικόνα 3.3: Κινητή μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Πηγή: <http://dias-aekk.gr/el/simvevlimes-monades-anakiklosis/>
- Εικόνα 3.4: Εργοστάσιο/σταθερή μονάδα ανακύκλωσης αποβλήτων εκσκαφών και κατεδαφίσεων. Πηγή: <https://kostelidisrecycling.gr/recycling-aekk/>
- Εικόνα 3.5: Φορτηγά οχήματα μεταφοράς αδρανών υλικών. Πηγή: <https://troxoikaitir.gr/article/330/pos-na-ypologisete-kostos-metaforas>
- Εικόνα 3.6: Εκσκαφέας με υδραυλικό σφυρί για την καταστροφή σκυροδέματος. Πηγή: <https://gr.dreamstime.com/%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%AD%CE%B1%CF%82-%CE%BC%CE%B5->

[%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%86%CF%85%CF%81%CE%AF-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AE-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-image173008950](#)

- Εικόνα 3.7: Θρυμματιστής Σκυροδέματος (Concrete Crusher) Πηγή: <https://www.concrete-info.com/concrete-crusher/>
- Εικόνα 3.8: Συγκρότημα πλύσεως & Μονάδα πυκνωτή λάσπης. Πηγή: <https://www.cdeglobal.com/applications/application-categories/sand-aggregates>
- Εικόνα 3.9: Επί τόπου ανακύκλωση οδοστρώματος από σκυρόδεμα. Πηγή: «Ψυχρή Επιτόπου Ανακύκλωση Οδοστρωμάτων με Τσιμέντο» INTERBETON.
- Εικόνα 3.10: Ανακυκλωμένο γυαλί. Πηγή: Το γυαλί Δημήτρης Αντωνίου, Αρχιτέκτων ΕΜΠ.
- Εικόνα 4.1: Ανακύκλωση παλιών ελαστικών. Πηγή: <https://gr.depositphotos.com/44510089/stock-photo-tire-recycling-industry.html>
- Εικόνα 4.2: Δείγματα μειγμάτων CRC και ACRC, περιεκτικότητας 50% σε ελαστικό.
- Εικόνα 4.3: Τύπος γυαλιού προς ανακύκλωση. Πηγή: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-apovliton/20170120STO59356/anakuklosi-apovliton-veltiosi-ton-stochon-gia-mia-kukliki-oikonomia>
- Εικόνα 4.4: Μορφή κόκκου ανακυκλωμένου αδρανούς από σκυρόδεμα. Πηγή: Εφαρμογή Ανακυκλωμένων Υλικών στο Σκυρόδεμα- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα, Εργαστήριο Δομικών Υλικών ΑΠΘ.

Κατάλογος Πινάκων:

- Πίνακας 1.1: Κατηγορίες σκυροδέματος.
- Πίνακας 1.2: Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος. Πηγή: «Δεδομένα για το σκυρόδεμα», ΕΚΩΣ 2000, <http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/EKOS2000/Ch2.pdf>
- Πίνακας 2.1: Φαινόμενο ειδικό βάρος ελαφρών & βαρέων αδρανών υλικών. Πηγή: <https://stalikas-giannakis.gr/%cf%80%cf%81%ce%bf%cf%8a%cf%8c%ce%bd%cf%84%ce%b1/>
- Πίνακας 3.1: Προελεύσεις ΑΕΚΚ. Πηγή: Europa, Environmental Waste Studies
- Πίνακας 3.2: επικίνδυνες ουσίες. Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ 2000
- Πίνακας 4.1: Σύσταση ελαστικών αποβλήτων.
- Πίνακας 4.2: Πρώτη σύνθεση - 33% άμμο (0- 4mm), 27% ρύζι και 40% γαρμπίλι, CEM IV/B 32.5.
- Πίνακας 4.3: Δεύτερη σύνθεση - 35% άμμο (0- 4mm), 15% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 32.5.
- Πίνακας 4.4: Τρίτη σύνθεση - 20% άμμο (0- 4mm), 30% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 32.5.
- Πίνακας 4.5: Τέταρτη σύνθεση - 20% άμμο (0- 4mm), 30% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 42.5.
- Πίνακας 4.6: Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων. Πηγή: <https://www.ecoelastika.gr/>
- Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα ελέγχου τσιμεντοκονιαμάτων.
- Πίνακας 4.8: Διάφορα μείγματα και ιδιότητες νωπού σκυροδέματος.
- Πίνακας 4.9: Ποσοστά τσιμέντου Portland, Τέφρα ανακυκλωμένου Χαρτιού, Σκωρία Υψικαμίνου.
- Πίνακας 4.10: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,5.
- Πίνακας 4.11: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,4.
- Πίνακας 4.12: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,35.
- Πίνακας 4.13: Διάρκεια & Μέθοδος Προετοιμασίας Δοκιμής Κάθισης.
- Πίνακας 4.14: Υπολογισμός συκρατούμενου υλικού.
- Πίνακας 4.15: Συκρατούμενη ποσότητα άμμου.
- Πίνακας 4.16: Συντήρηση συμβατικού σκυροδέματος 7 ημερών.
- Πίνακας 4.17: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 1.
- Πίνακας 4.18: Συντήρηση συμβατικού σκυροδέματος 28 ημερών.
- Πίνακας 4.19: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 11.
- Πίνακας 4.20: Συντήρηση ανακυκλωμένου σκυροδέματος 7 ημερών.
- Πίνακας 4.21: Συντήρηση ανακυκλωμένου σκυροδέματος 28 ημερών.
- Πίνακας 4.22: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 4.

Κατάλογος Διαγραμμάτων:

- Διάγραμμα 1.1: Καμπύλη φορτίου-βύθισης συμβατικού και ινοπλισμένου σκυροδέματος. Πηγή: «Ενίσχυση στοιχείων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα και πλαστικά υλικά», Γεωργακοπούλου Μαριάννα.
- Διάγραμμα 3.1: Ροή Διαχείρισης ΑΕΚΚ. Πηγή: <https://anakem.gr/%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7-%cf%83%cf%84%ce%b5%cf%81%ce%b5%cf%8e%ce%bd-%ce%b1%cf%80%ce%bf%ce%b2%ce%bb%ce%ae%cf%84%cf%89%ce%bd-%ce%b1%ce%b5%ce%ba%ce%ba/%cf%80%cf%81%ce%bf%cf%8a%cf%8c%ce%bd%cf%84%ce%b1/>
- Διάγραμμα 3.2: Σύγκριση ποσοστού αποβλήτων σκυροδέματος με διάφορα είδη. Πηγή: Επαγγελματικό Επιμελητήριο Αθηνών, 2012.
- Διάγραμμα 4.1: Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων 28 ημερών, Μρα
- Διάγραμμα 4.2: Αντοχή σε κάμψη - Μρα
- Διάγραμμα 4.3: Αντοχή σε διάρρηξη - Μρα
- Διάγραμμα 4.4: Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας - GPa
- Διάγραμμα 4.5 Στατικό μέτρο ελαστικότητας - GPa
- Διάγραμμα 4.6: Ειδικό βάρος - t/m³
- Διάγραμμα 4.7: Θλιπτική αντοχή μιγμάτων
- Διάγραμμα 4.8: Επίδραση της περιεκτικότητας αέρα στη κάθιση μείγματος διαφορετικών αναλογιών όγκου ελαστικού (0- 50%)
- Διάγραμμα 4.9: Αποτελέσματα δοκιμής κάθισης
- Διάγραμμα 4.10: Αποτελέσματα εύρεσης κορεσμένης πυκνότητας δοκιμίων, ρ_A kg/m³
- Διάγραμμα 4.11: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυβικών δοκιμίων, N/mm²
- Διάγραμμα 4.12: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων, N/mm²
- Διάγραμμα 4.13: Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη δοκιμίων, N/mm²
- Διάγραμμα 4.14: Αποτελέσματα εύρεσης στατικού μέτρου ελαστικότητας E 28 ημερών, w/b= 0,5-0,4-0,35 N/mm²
- Διάγραμμα 4.15: Βέλτιστο μέγεθος μπλε γυαλιού
- Διάγραμμα 4.16: Σχετική αντίδραση αδρανών γυαλιού μεγέθους 6-12mm διαφορετικών χρωμάτων
- Διάγραμμα 4.17: Επίδραση πρόσμικτων στη μείωση της αντίδρασης αλκαλίων πυριτίου
- Διάγραμμα 4.18: Τάσης, σ - Ανηγμένης παραμόρφωσης, ε% δοκιμίου 1
- Διάγραμμα 4.19: Τάσης, σ - Ανηγμένης παραμόρφωσης, ε% δοκιμίου 11
- Διάγραμμα 4.20: Τάσης, σ - Ανηγμένης παραμόρφωσης, ε% δοκιμίου 4

ΕΝΟΤΗΤΑ Α

1.1 Το σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι το υλικό που κυριαρχεί σε παγκόσμιο επίπεδο όσο αφορά την δόμηση, αφοπλιστικά απλό στην δημιουργία του, μείγμα ορυκτών αδρανών, συνδετικό κονίαμα (τσιμέντο), πρόσμικτα και πρόσθετα υλικά. Η σύνθεση του και η αναλογία των υλικών που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία του ποικίλει και καθορίζεται από την μελέτη σύνθεσης των σκυροδεμάτων. Είναι γνωστό ακόμη από την αρχαιότητα ως κονίαμα με ψηφίδες, εξελίσσεται συνεχώς με την ενσωμάτωση πολλών τεχνολογικών επιτευγμάτων λόγω των διαφόρων αναγκών της καθημερινότητας, της βιομηχανίας, της οικονομίας, όπως είναι τα τσιμέντα υψηλής ποιότητας, τα πρόσθετα και πρόσμικτα, τα ανακυκλωμένα υλικά και οι νέες μέθοδοι παραγωγής και εφαρμογής αυτών. Υπάρχει το εργοταξιακό, το εργοστασιακό και το έτοιμο σκυρόδεμα.



Εικόνα 1.1: Το σκυρόδεμα. Πηγή: <https://betonpanagiotakis.gr/skirodema.html>

Το *εργοταξιακό σκυρόδεμα* είναι αυτό που ο επιβλέπων μηχανικός έχει τη δυνατότητα να ελέγχει τη παραγωγή σε όλα τα στάδια όπως τα υλικά, τα μηχανήματα παραγωγής και τις διαδικασίες ανάμιξης και τέλος δημιουργίας σκυροδέματος, το συγκεκριμένο μπορεί να είναι μικρών έργων και παρασκευάζεται χωρίς να γίνουν δοκιμές με μείγματα ή είναι μεγάλων έργων αλλά με τη χρήση 15-60 δοκιμαστικών μειγμάτων ακολουθώντας όλους τους κανονισμούς και απαιτήσεις.

Το *εργοστασιακό σκυρόδεμα* ελέγχεται από τον επιβλέπων όταν πλέον είναι έτοιμο προϊόν για χρήση την ώρα της παράδοσης του, όπου το σκυρόδεμα αυτό μπορεί να παρασκευάζεται σε μια μονάδα κατασκευής και από τον αναμικτήρα το υλικό με αντλίες σκυροδέματος μεταφέρεται στη θέση διάστρωσης ή πραγματοποιείται μεταφορά με αυτοκίνητα στο έργο.

Το *έτοιμο σκυρόδεμα* είναι εργοταξιακό ή εργοστασιακό σκυρόδεμα το οποίο παρασκευάζεται μακριά από το εργοτάξιο και αναμιγνύεται σε μίξερ μεταφερόμενο από φορτηγά αυτοκίνητα ή αναδευτήρες όπου πραγματοποιείται μερική ανάμιξη των υλικών χωρίς να έχει προστεθεί νερό και ολοκληρώνεται η παραγωγή κατά την διαδρομή.

1.2 Παρασκευή και μελέτη σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα παράγεται με μια συγκεκριμένη διαδικασία όπου:

- Πραγματοποιείται η εξόρυξη των πρώτων υλών από το λατομείο, μεταφέρονται στην εκάστοτε μονάδα παραγωγής με φορτηγά, εκφορτώνονται και αποθηκεύονται στο εργοστάσιο.
- Ζυγίζονται τα αδρανή, το νερό και τα πρόσθετα με τέτοια ακρίβεια για να έχει τη δυνατότητα το νερό να σκληραίνει το σκυρόδεμα και τα πρόσθετα να βελτιώνουν τις ιδιότητες.
- Το τσιμέντο μεταφέρεται στη μονάδα παραγωγής και αφού ζυγιστεί τοποθετείται στον αναμκτήρα την ίδια στιγμή με τα αδρανή υλικά, το νερό και τα πρόσθετα στοιχεία.
- Συνέχεια έχει η ανάμιξη των αδρανών υλικών, του τσιμέντου, του νερού και των αντίστοιχων πρόσθετων, όπου σε συγκεκριμένο χρόνο παράγεται ένα εντελώς ομοιογενές μείγμα.
- Τέλος πραγματοποιείται η παράδοση του σκυροδέματος από οχήματα μεταφοράς που αναμειγνύουν συνεχώς το σκυρόδεμα και το διατηρούν ομοιογενές.

Για την παρασκευή, την μελέτη και τέλος την χρήση για την κατασκευή έργων το σκυρόδεμα έπειτα από πειραματικές διαδικασίες, αναλύεται σε κάποιες κατηγορίες όπου ο πρώτος αριθμός αναφέρει την χαρακτηριστική αντοχή των κυλινδρικών δοκιμίων με διάμετρο 15cm και ύψος 30cm και ο δεύτερος αναφέρει τη χαρακτηριστική αντοχή κυβικών δοκιμίων με πλευρά 15cm.

| Κατηγορίες Σκυροδέματος | f _{ck} κυλινδρικού δοκιμίου (MPa) | f _{ck} κυβικού δοκιμίου (MPa) |
|-------------------------|--|--|
| 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 |

Πίνακας 1.1: Κατηγορίες σκυροδέματος.

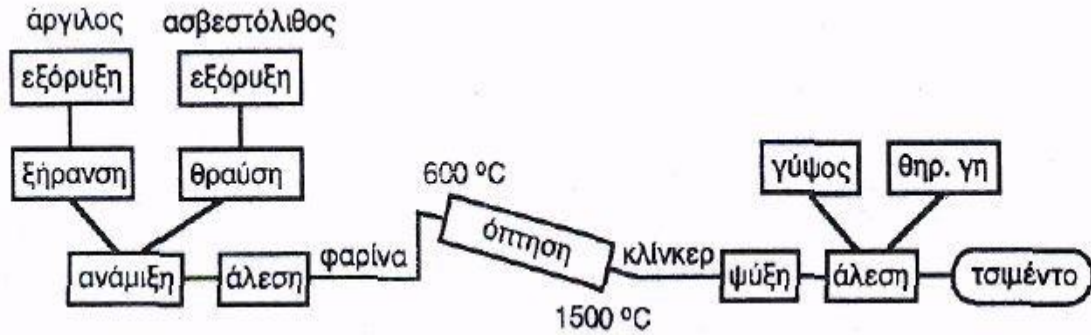
1.3 Λόγοι χρήσης σκυροδέματος στις κατασκευές

- Αρχικά το σκυρόδεμα παρέχει αντίσταση στο νερό αντιθέτως με το ξύλο και τον χάλυβα, η ικανότητα του σκυροδέματος να αντέχει στην επίδραση του νερού χωρίς αξιοσημείωτες βλάβες το καθιστά ένα ιδανικό υλικό για δομικές κατασκευές που ελέγχουν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν νερό. Αξίζει να αναφερθεί ότι κάποιες από τις πρώτες εφαρμογές του υλικού είναι σε υδραγωγεία και παραθαλάσσιους τοίχους αντιστήριξης που κατασκευάστηκαν από τους Ρωμαίους. Η χρήση του άοπλου σκυροδέματος για φράγματα, γραμμές καναλιών και δάπεδα είναι πλέον ένα κοινό θέαμα σχεδόν παντού στον κόσμο.
- Ο δεύτερος λόγος για την ευρεία χρήση του σκυροδέματος είναι ότι τα στοιχεία από σκυρόδεμα μπορούν εύκολα να λάβουν ποικίλα σχήματα και μεγέθη. Αυτό συμβαίνει επειδή το νωπό σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα με πλαστιμότητα και μπορεί να χυτευθεί σε προκατασκευασμένους ειδικούς ξυλότυπους και έπειτα από ένα χρονικό διάστημα το σκυρόδεμα τελικώς πήζει και η μάζα του σκληραίνει και οι ξυλότυποι έχουν την δυνατότητα να αφαιρεθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν.
- Ένας τρίτος λόγος που το σκυρόδεμα βρίσκει δημοτικότητα στους μηχανικούς είναι ότι αποτελεί γενικά το οικονομικότερο και πιο εύκολα διαθέσιμο υλικό και τα βασικά συστατικά παραγωγής σκυροδέματος όπως τα αδρανή, το νερό και το τσιμέντο είναι σε γενικές γραμμές φθηνά και διαθέσιμα στα περισσότερα μέρη του κόσμου. Επίσης το σκυρόδεμα απαιτεί ελάχιστη συντήρηση καθώς δεν διαβρώνεται και η αντοχή του αυξάνεται με τον χρόνο συνεπώς. Όσο αφορά την ανθεκτικότητα σε φωτιά είναι ο σημαντικότερος τομέας στην ασφάλεια στις θαλάσσιες κατασκευές και ο τομέας που είναι πιο προφανή τα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος.

1.4 Συστατικά σκυροδέματος

1.4.1 Τσιμέντο

Το τσιμέντο είναι ένα βιομηχανικό υδραυλικό υλικό, λεπτά κονιοποιημένο, ανόργανο, ξηρό, έχοντας την μορφή σκόνης το οποίο δεν είναι συνδεδετικό από μόνο του αλλά αναπτύσσει τις συνδεδετικές του ιδιότητες λόγω της ενυδάτωσης, ειδικότερα από χημικές αντιδράσεις μεταξύ ανόργανων υλικών του τσιμέντου, του νερού και του αέρα με αποτέλεσμα να πήζει, να σκληραίνει και αποτελεί το πλέον βασικό στοιχείο του σκυροδέματος. Τα τσιμέντα αποτελούνται κυρίως από πυριτικά και αργιλικά άλατα ασβεστίου. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υδραυλικό τσιμέντο είναι το τσιμέντο Portland, υπάρχει ακόμη το τσιμέντο Portland με πρόσμιξη ηφαιστειών γαιών (σκωρία, θηραϊκή γη) και ειδικά τσιμέντα τα οποία έχουν την δυνατότητα να αναπτύσσουν υψηλή αντοχή σε διάστημα 2 ημερών.



Εικόνα 1.2: Διαδικασία παρασκευής τσιμέντου Portland. Πηγή: Τεχνολογικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης, τμήμα έργων υποδομής, εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος, 2007.



Εικόνα 1.3: Το τσιμέντο, το θεμέλιο του σύγχρονου κόσμου. Πηγή: <https://www.vassiliko.com/el/what-we-do/cement>

1.4.2 Αδρανή υλικά

Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από διάφορα πετρώματα ανάλογα την περίπτωση είτε φυσικά είτε τεχνητά και διαφέρουν ως προς το σχήμα και το μέγεθος τους. Υλικά προερχόμενα από την φύση, τα λατομεία ή τα ορυχεία και χρησιμοποιούνται σε πάσης φύσεως τεχνικά έργα. Χρησιμοποιούνται σε μείγματα διαφόρων διαβαθμίσεων των κόκκων, με ένα συγκολλητικό υλικό και αποτελούν το βασικό υλικό για την παρασκευή του σκυροδέματος λόγω του ιδιαίτερου γωνιώδους σχήματος δημιουργείται μια σύνδεση και με την βοήθεια της πάστας του τσιμέντου συγκρατούνται στο σκυρόδεμα.

1.4.3 Νερό αναμίξεως

Το νερό αναμίξεως θα πρέπει να είναι καθαρό ώστε να μην επηρεάζεται η σκλήρυνση του σκυροδέματος από ουσίες διαλυμένες ή αιωρούμενες, όπως νερά με λάδια, λίπη ή σάκχαρα. Σε συγκεκριμένες περιπτώσεις όπου το νερό δίνει μια περίεργη οσμή, γεύση ή και χρώμα τότε είναι αναγκαία η χημική ανάλυση δηλαδή ο έλεγχος του νερού για την διερεύνηση αν είναι κατάλληλο για την παρασκευή σκυροδέματος. Επιπροσθέτως επιτρέπεται να γίνει χρήση του θαλασσινού νερού μόνο για άοπλο σκυρόδεμα σε ειδικές περιπτώσεις διότι εμπεριέχει στοιχεία όπως άλατα με αποτέλεσμα την μείωση της αντοχής του σκυροδέματος.

Ο λόγος νερού – τσιμέντου (N/T), επηρεάζει καθοριστικά την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος για αυτό λοιπόν είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψιν αυστηρά τα όρια που υπογραμμίζει η μελέτη σύνθεσης, με απλά λόγια λιγότερο νερό στο μίγμα μεταφράζεται ως μεγαλύτερες αντοχές και πιο πολύ νερό σημαίνει μεγαλύτερη εργασιμότητα ή ρευστότητα (ελάττωση αντοχής σκυροδέματος).

1.4.4 Πρόσμικτα & πρόσθετα υλικά

Τα χημικά πρόσμικτα έχουν την δυνατότητα τροποποίησης των χαρακτηριστικών της πήξης και σκλήρυνσης του σκυροδέματος επηρεάζοντας το ρυθμό της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Επιπλέον πρόσμικτα μπορούν να δρουν και ως μειωτές νερού, μπορούν να ρευστοποιήσουν ή πλαστικοποιήσουν νωπά μίγματα σκυροδέματος ελαττώνοντας την επιφανειακή τάση του νερού. Ακόμη υπάρχουν αερακτικά πρόσμικτα τα οποία μπορούν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος που εκτίθεται σε κρύο περιβάλλον και ορυκτά πρόσμικτα όπως οι ποζολάνες (υλικά από δραστικό πυρίτιο) μπορούν να μειώσουν τη ρηγματώση λόγω θερμότητας στο σκυρόδεμα μεγάλης μάζας

Πρόσμικτα:

Τα πρόσμικτα υλικά είναι υπεύθυνα για την βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος, νωπού ή στερεού, είναι ουσίες σε ρευστή μορφή ή και σκόνη τα οποία προστίθενται σε μικρές ποσότητες στο σκυρόδεμα κατά την έναρξη της ανάμειξης. Διαφοροποιούνται ανάλογα το αποτέλεσμα των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και η χρήση των πρόσμικτων στο σκυρόδεμα είναι πλέον διαδεδομένη λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που μπορούν να προκύψουν από την χρησιμοποίησή τους. Ορίζονται ως υλικά διαφορετικά από τα αδρανή, είναι ακίνδυνες πολυμερείς ενώσεις περιλαμβάνοντας ουσίες όπως σάκχαρα, ανόργανα και οργανικά άλατα και διαχωρίζονται σε ρευστοποιητικά, επιταχυντικά, επιβραδυντικά, στεγανωτικά και αερακτικά, ανάλογα την δράση και το αποτέλεσμα του σκυροδέματος.

Ρευστοποιητικά: Σκοπός της χρήσης των ρευστοποιητικών είναι η αύξηση της ρευστότητας του σκυροδέματος όσο διαρκεί η δράση τους και αυτό πραγματοποιείται μειώνοντας την επιφανειακή τάση του νερού και των δυνάμεων συνοχής των κόκκων του τσιμέντου. Είναι μια καλή λύση όσο αφορά την δυνατότητα της εργασιμότητας και διάστρωσης του σκυροδέματος χωρίς την επιπρόσθετη αύξηση σε νερό αναμίξεως, λειτουργώντας επίσης επιβραδυντικά.

Επιταχυντικά: Τα συγκεκριμένα υλικά προστίθενται στο σκυρόδεμα έτσι ώστε ο χρόνος πήξης και σκλήρυνσης να μειωθεί με στόχο την επιτάχυνση του χρόνου επίτευξης της πρώιμης αντοχής του. Τα συγκεκριμένα πρόσμικτα όπως είναι οι επιταχυντές πήξης και επιταχυντές σκλήρυνσης χρησιμοποιούνται όταν οι θερμοκρασίες, κατά της διαδικασίας της σκυροδέτησης, είναι αρκετά χαμηλές.

Επιβραδυντικά: Στόχος των συγκεκριμένων υλικών είναι η παράταση του χρόνου σκλήρυνσης του σκυροδέματος κατά μία ώρα ή περισσότερο ώστε το σκυρόδεμα να μεταφερθεί, να διαστρωθεί και να συμπυκνωθεί. Το πιο συνηθισμένο είναι να

προτίθεται στο σκυρόδεμα κατά την παραγωγή του για να επιβραδυνθεί η πήξη και η σκλήρυνση του, σε περιπτώσεις με υψηλές θερμοκρασίες αλλά και διαμόρφωσης της εμφανούς επιφάνειας του.

Στεγανωτικά: Είναι υλικά που μειώνουν την ποσότητα του περιεχόμενου νερού στο σκυρόδεμα αυξάνοντας την στεγανότητα και μειώνοντας τον αριθμό των πόρων και των τριχοειδών αγγείων, επιπλέον δεν δημιουργούνται μικρορηγματώσεις αλλά μπορεί να μεταβληθεί ο χρόνος της πήξης και να επηρεάσει αρνητικά την αντοχή του τελικού σκυροδέματος.

Αερακτικά: Τα υλικά αυτά είναι συγκεκριμένες χημικές ενώσεις με στόχο την δημιουργία μικρών και ομοιόμορφων φυσαλίδων αέρα μεγέθους της τάξης 0,02-0,20 mm στη δομή του σκυροδέματος, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο το ποσοστό περιεχόμενου αέρα σε 6,00-8,00%. Τελικός στόχος αυτών είναι ο έλεγχος των τάσεων που δημιουργούνται στο εσωτερικό και των περιπτώσεων συχνού παγώματος και τήξης του νερού του σκυροδέματος όπου οι φυσαλίδες αέρα που βρίσκονται στο εσωτερικό της μάζας του σκυροδέματος, αναλαμβάνουν την απορρόφηση των τάσεων που δημιουργούνται.

Πρόσθετα:

Τα πρόσθετα είναι ανόργανα υλικά που τοποθετούνται στο σκυρόδεμα σε μεγάλο ποσοστό (5%-20%), με σκοπό την ρύθμιση κάποιων ιδιοτήτων. Με βάση τον Ευρωπαϊκό κανονισμό EN 206-1 τα πρόσθετα διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες, *Κατηγορίας I* και *Κατηγορίας II*. Κατηγορίας I, χαρακτηρίζονται τα ανενεργά υλικά όπως χρωστικές ουσίες, χαλαζιακή και ασβεστολιθική πούδρα ενώ Κατηγορίας II, χαρακτηρίζονται τα ποζολανικά υλικά όπως ποζολάνες, ιπτάμενες τέφρες και η πυριτική πούδρα.

Οι χρωστικές ουσίες είναι αναγκαίες για την διαδικασία χρωματισμού του σκυροδέματος και χαρακτηρίζονται ως χρωστικά μεταλλικά οξείδια κυρίως σιδήρου και προστίθενται σε ποσοστό που κυμαίνεται 0,50%-5% κ.β. του τσιμέντου και ανάλογα τον τύπο αυξάνεται η ανάγκη του μίγματος σε νερό.

Η πούδρα αδρανών είτε ασβεστολιθική είτε χαλαζιακή είναι χρήσιμη σε μείγματα χαμηλής περιεκτικότητας σε λεπτόκοκκα αδρανή υλικά με σκοπό την βελτίωση της κοκκομετρικής καμπύλης αυτών και η χρήση αρκετής ποσότητας νερού είναι αναγκαία στα συγκεκριμένα μείγματα.

Η πυριτική πούδρα γνωστή ως παιπάλη προέρχεται από την παραγωγή πυριτίου με ειδική επιφάνεια 18,00-25,00 m²/gr αποτελώντας μια αρκετά ισχυρή ποζολάνη, με τις προτεινόμενες δοσολογίες να είναι ανάμεσα στο 5,00-10,00% κ.β. τσιμέντου.

Η ιπτάμενη τέφρα είναι στάχτη προερχόμενη από σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας και καύση γαιανθράκων και η σύνθεσή της εξαρτάται άμεσα από τον τύπο του γαιάνθρακα και τις συνθήκες καύσης του.

1.5 Χαρακτηριστικές αντοχές σκυροδέματος

Η μηχανική αντοχή των σκυροδεμάτων και οι υπολογισμοί για την εύρεση της είναι αναγκαία προϋπόθεση του εργολάβου και του μηχανικού και παρασκευάζονται δοκίμια από το ίδιο σκυρόδεμα που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του έργου και σκληρύνονται στις ίδιες συνθήκες για να υπάρξουν σωστά αποτελέσματα. Η θλιπτική αντοχή είναι βασική για την διαστασιολόγηση σε θλίψη και κάμψη ενώ η εφελκυστική αντοχή είναι υπεύθυνη για την ρυγμάτωση και την συνάφεια και λαμβάνεται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις κατασκευών.

| Αντοχές, Μpa | Ποιότητα σκυροδέματος | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | C 12/15 | C 16/20 | C 20/25 | C 25/30 | C 30/37 | C 35/40 | C 40/50 | C 45/55 | C 50/60 |
| Θλιπτική, f_{ck} | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| Εφελκυστική, f_{ctm} 0.005 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2 | 2,2 | 2,5 | 2,7 | 2,7 |
| Εφελκυστική, f_{ctm} | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 |
| Εφελκυστική, f_{ctk} 0.95 | 2 | 2,5 | 2,9 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,6 | 4,9 | 5,3 |
| Διατμητική, t_{RD} | 0,18 | 0,22 | 0,26 | 0,30 | 0,34 | 0,37 | 0,41 | 0,44 | 0,48 |
| Μέτρο Ελαστικότητας, E_{cm} (GPa) | 26 | 28 | 29 | 31 | 32 | 34 | 35 | 36 | 37 |

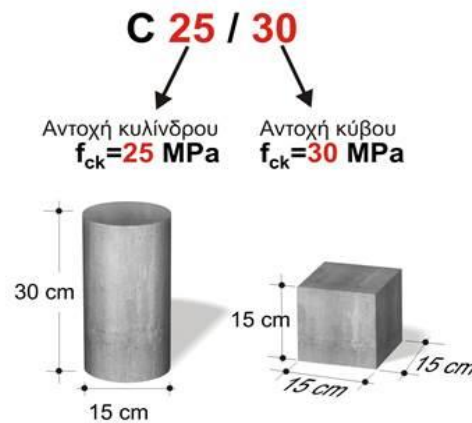
Πίνακας 1.2: Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος. Πηγή: «Δεδομένα για το σκυρόδεμα», ΕΚΩΣ 2000, <http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/EKOS2000/Ch2.pdf>

Θλιπτική αντοχή

Γενικά το σκυρόδεμα έχει υψηλή αντοχή σε θλίψη μεταξύ 12-80 MPa. όμως ιδιαίτερα στα σημαντικά και μεγάλα έργα θα πρέπει να πραγματοποιούνται εργαστηριακοί έλεγχοι. Η ποιότητα κάθε σκυροδέματος χαρακτηρίζεται από την θλιπτική αντοχή η οποία εξαρτάται από

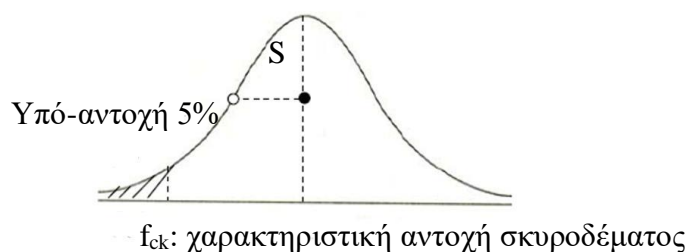
- Την σύνθεση του σκυροδέματος.
- Τις μεθόδους παραγωγής και συντήρησης.
- Την ηλικία του μείγματος καθώς η αντοχή του σκυροδέματος αυξάνεται με τον χρόνο.
- Τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Η θλιπτική αντοχή προσδιορίζεται και μετριέται στις 28 ημέρες σε δύο τύπους δοκιμών, χρησιμοποιώντας κυλίνδρους με διάμετρο 150 mm και ύψος 300 mm ή τα κυβικά δοκίμια 150 mm, ακολουθώντας πάντα τις οδηγίες του κανονισμού τεχνολογίας σκυροδέματος.



Εικόνα 1.4: Χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος. Πηγή: <https://www.buildinghow.com/el-gr/Προϊόντα/Βιβλία/Τόμος-Α/Η-κατασκευή/Σκυρόδεμα>

Η χαρακτηριστική αντοχή δοκιμίου είναι εκείνη η τιμή της αντοχής για την οποία με πιθανότητα 95% ένα τυχαίο δοκίμιο δεν θα έχει αντοχή μικρότερη από αυτή.



Εφελκυστική αντοχή

Η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό είναι σχετικά μικρή και θεωρείται αναξιόπιστη διότι επηρεάζεται από τη ανομοιόμορφη συστολή ξήρανσης, τις θερμοκρασιακές μεταβολές και τους εξωτερικούς παράγοντες. Η θραύση από εφελκυσμό πραγματοποιείται με απότομη θραύση κατά μήκος επιφάνειας κάθετης προς τη διεύθυνση των εφελκυστικών τάσεων και η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος f_{ct} κυμαίνεται από 8-13% της θλιπτικής αντοχής. Η εφελκυστική αντοχή ανάλογα με την καταπόνηση διαχωρίζεται σε κεντρική, εγκάρσια και καμπτική, στις περισσότερες των περιπτώσεων υπολογίζεται εμπειρικά σε συνάρτηση με την θλιπτική αντοχή.

Αντοχή κοπώσεως σε θλίψη

Η κόπωση του σκυροδέματος παίζει σημαντικό ρόλο όσο αφορά τα δομικά στοιχεία στα οποία γίνονται εναλλαγές φορτίσεων όπως για παράδειγμα σε γέφυρες, σε σεισμικές φορτίσεις μεταξύ μιας κατώτερης θλιπτικής τάσης και μιας ανώτερης. Ως αντοχή κοπώσεως ορίζεται η μέγιστη θλιπτική τάση έπειτα από έναν αριθμό εναλλαγών φορτίσεων.

1.6 Βασικά είδη σκυροδέματος

Εμφανές

Το εμφανές σκυρόδεμα ή αλλιώς ανεπίχριστο είναι ακατέργαστο υλικό που αποτελείται από τσιμέντο, άμμο και χαλίκι. Είναι ένα υλικό που εκφράζει μια καθαρή αρχιτεκτονική φόρμα προσδίδοντας στο κτίριο τον χαρακτήρα του πρωταρχικού κελύφους και υπάρχει μια αίσθηση λιτότητας και στιβαρότητας την ίδια στιγμή. Από την άλλη μεριά, λέγεται πως η λιτότητα αυτή του εμφανές σκυροδέματος είναι μονότονη αρχιτεκτονική επιλογή. Επιπλέον εμφανή σκυροδέματα εκτός από το γκρίζο χρώμα του σκυροδέματος είναι δυνατόν να επιλεγθούν διάφοροι χρωματισμοί αλλά και επεξεργασία της επιφάνειας με ειδικές τεχνικές ανάλογα την επιλογή του αρχιτέκτονα ή του εκάστοτε πελάτη.



Εικόνα 1.5: Tama Art University Library. Πηγή: <https://www.archdaily.com/22711/tama-art-university-library-toyo-ito-by-iwan-baan>



Εικόνα 1.6: Hyogo Prefectural Museum of Art. Πηγή: <https://www7.kobe-np.co.jp/>

Διαπερατό

Το διαπερατό σκυρόδεμα γνωστό ως Previous Concrete είναι ανθεκτικό, υψηλούς πορώδους σκυρόδεμα κάνοντας δυνατή την εύκολη αποχέτευση του νερού στο έδαφος χωρίς διαρροές με αποτέλεσμα το νερό να το απορροφάει η γη χωρίς να γίνονται ζημιές στο έδαφος. Σχηματίζεται από την μίξη αδρανών τσιμέντου και νερού με μεγάλα κενά διαστήματα στη μάζα του άνω του 20% επιτρέποντας να διαπεράσει το νερό αλλά και ο αέρας την μάζα του. Η χρησιμότητα του είναι κυρίως για την κάλυψη εξωτερικών μεγάλων επιφανειών όπως για παράδειγμα είναι οι χώροι στάθμευσης και οι δρόμους προσπέλασης πεζών σε πάρκα, επιπλέον πραγματοποιείται η κάλυψη συγκεκριμένων επιφανειών όπως πλατειών και εξωτερικών χώρων εργοστασίων αλλά και η διάστρωση υπογείων με έντονη την παρουσία του νερού.



Εικόνα 1.7: Δείγμα Διαπερατού Σκυροδέματος. Πηγή: <http://ggs.com.cy/proionta/diaperato-skyrodema>

Πλήρωσης Ορυγμάτων

Το σκυρόδεμα πλήρωσης ορυγμάτων είναι ένα υπέρρευστο τσιμεντοειδές μείγμα με σταθερό όγκο και ελεγχόμενα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά. Σχεδιάστηκε με την λογική να περιέχει λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα αδρανή, τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα, χημικά πρόσθετα υλικά και νερό. Η θλιπτική αντοχή του υλικού είναι χαμηλή διότι δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $8,3\text{N/mm}^2$. Οι εφαρμογές στη χρήση του ποικίλουν ανάλογα την αντοχή του και η πιο συνήθεις εφαρμογή είναι ως υλικό πλήρωσης ή επίχωσης με αντικατάσταση του βασικού επιχώματος με την σημαντική ιδιότητα να είναι μελλοντικά επανασκάψιμο με αντοχή σε θλίψη $0,5\text{--}4\text{ N/mm}^2$. Πιο συγκεκριμένα εφαρμογές πλήρωσης είναι οι εκσκαφές, πλήρωσης γενικών εγκαταλελειμμένων δεξαμενών, επισκευές σε έργα οδοποιίας ως υπόστρωμα στον ασφαλτοτάπητα, σταθερότητα πρανών.

Αυτό-συμπυκνούμενο

Το αυτό-συμπυκνούμενο σκυρόδεμα (SCC) ή γνωστό και ως ρεοπλαστικό σκυρόδεμα, ορίζεται ως ένα ρέον σκυρόδεμα που μπορεί να χυθεί απευθείας χωρίς την χρήση δονητών για να σχηματίσει ένα προϊόν χωρίς κενά, ειδικά όπου δεν υπάρχει απλήρωτος χώρος μεταξύ του υλικού και ξυλότυπου και δεν παγιδεύεται αέρας σε κενά. Η ανάγκη δημιουργήθηκε όταν χρειάστηκαν να παρασκευαστούν μίγματα σκυροδέματος με υψηλή εργασιμότητα δηλαδή υψηλής ρευστότητας και υψηλής συνεκτικότητας ταυτόχρονα λόγω του μεγάλου κινδύνου διαχωρισμού των υλικών στο σκυρόδεμα στις βαριά οπλισμένες κατασκευές με τοποθέτηση από μεγάλο ύψος και με υπερβολική χρήση δονητών κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης. Τα υλικά ανάμιξης του συγκεκριμένου σκυροδέματος είναι άμμος, χονδρόκοκκα αδρανή μέγιστου μεγέθους 19 ή 25mm, τσιμέντο Portland και υπερρυστοποιητές, πρόσμικτα τροποποίησης του ιξώδους με ορυκτά πρόσμικτα λεπτόκοκκου μεγέθους.

Ταξινομούνται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με την μέθοδο για τον έλεγχο της εξίδρωσης και της απόμιξης, **α)** εκείνα που περιέχουν υψηλή περιεκτικότητα σε σκόνη (περισσότερα από 400kg/m^3 τσιμέντο, ιπτάμενη τέφρα και κονιοποιημένη σκωρία) **β)** εκείνα που περιέχουν κάποιο χημικό πρόσμικτο τροποποίησης ιξώδους όπως welum gum, υδρολυμένο άμυλο, πυριτική παιπάλη και το πολύ λεπτό άμορφο κολλοειδές πυρίτιο. Ένα τυπικό SCC είναι ένα ρέον σκυρόδεμα που δίνει τιμή κάθισης πάνω από 200mm και με μια τιμή κάθισης ροής πάνω από 600mm, όπου είναι η διάμετρος του σκυροδέματος μετά από την αφαίρεση του κώνου κάθισης, είναι ιδιαίτερα συνεκτικό και μπορεί να τοποθετηθεί και να συμπυκνωθεί χωρίς την βοήθεια των δονητών. Στην Ευρώπη και την Ιαπωνία το SCC έχει χρησιμοποιηθεί σε υποβρύχια σκυροδέτηση και για την κατασκευή βαριά οπλισμένων κατασκευών .

Εκτόξευόμενο

Το εκτόξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα υψηλής αντοχής που εφαρμόζεται με εκτόξευση χρησιμοποιώντας υψηλές πιέσεις . Περιέχει συνήθως αυξημένη περιεκτικότητα σε τσιμέντο και αδρανή υλικά μικρής κοκκομετρικής διαβάθμισης και διαστρώνεται πάνω σε μία επιφάνεια από ακροφύσιο ώστε να σχηματιστεί μια στρώση μανδύα στην επιφάνεια αυτή. Χρησιμοποιείται για την εκτέλεση λεπτών κατασκευών, την ενίσχυση υπόγειων τεχνικών έργων και την ενίσχυση σοβαρών βλαβών όλων των φερόντων στοιχείων ενός κτιρίου. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι η εκτόξευση επιτυγχάνεται σε κατακόρυφες επιφάνειες και επιφάνειες με μεγάλες κλίσεις, δημιουργείται καλύτερη πρόσφυση με το ήδη υπάρχον σκυρόδεμα λόγω της υψηλής πίεσης, έχει μεγάλες αντοχές λόγω του χαμηλού συντελεστή νερού-τσιμέντου και δεν απαιτείται η διαδικασία του καλουπώματος. Υπάρχουν δύο μέθοδοι παρασκευής σκυροδέματος, η ξηρή και η υγρή όπου και στις δύο περιπτώσεις το μείγμα μεταφέρεται με ελαστικούς ή μεταλλικούς σωλήνες στο σημείο επέμβασης με την βοήθεια αεροσυμπιεστή.



Εικόνα 1.8: Εκτοξευμένο Σκυροδέμα. Πηγή: <http://www.epidomos.gr/gunite.php?id=47&lang=>



Εικόνα 1.9: Εικόνα: Gunite Μηχανή Εκτόξευσης Σκυροδέματος. Πηγή: http://www.gunitemagnisia.4ty.gr/more2.php?l=el&id=7368&_ga=2.225297817.2048054748.1638815722-2134892687.1638815722

Ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά

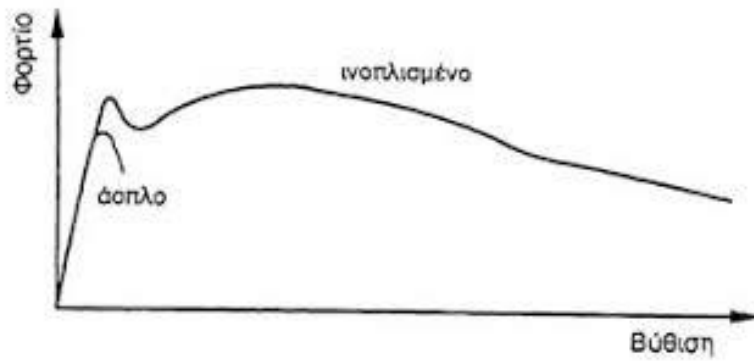
Το ανθεκτικό σε επιφανειακή φθορά σκυρόδεμα χρησιμοποιείται σε οδοστρώματα βαριάς κυκλοφορίας, σε κρηπιδότοιχους λιμενικών έργων και σε επενδύσεις αγωγών και σηράγγων, ειδικότερα όπου η ροή του νερού περιέχει και φερτές ύλες και οι επιφάνειες του σκυροδέματος παρουσιάζουν την ανάγκη αντοχής σε φθορά από κρούσεις και τριβές. Για να είναι δυνατόν και υλοποιήσιμο το σκυρόδεμα αυτό υπάρχουν κάποιοι συγκεκριμένοι κανονισμοί, δηλαδή απαιτούνται χονδρόκοκκα αδρανή, περιεκτικότητα σε τσιμέντο το λιγότερο 350kg/m^3 , κατηγορία σκυροδέματος το λιγότερο C20/25 και χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό με στόχο να ελαχιστοποιηθεί η εξίδρωση θα πρέπει η ποσότητα να είναι συγκεκριμένη με την λογική ότι αν δεν χρησιμοποιείται υπερρευστοποιητικό η κάθιση να είναι το πολύ 50mm, και να γίνεται συντήρηση 14 ημερών.

Ινοπλισμένο

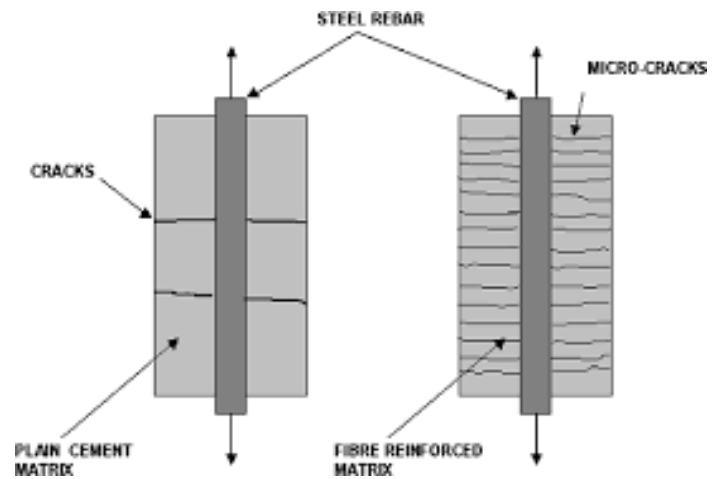
Το σκυρόδεμα που περιέχει υδραυλικό τσιμέντο, νερό, αδρανή και ασυνεχείς διακριτές ίνες καλείται ινοπλισμένο σκυρόδεμα, επιπλέον μπορεί να περιέχει ποζολάνες και άλλα πρόσθετα που χρησιμοποιούνται εξίσου στο συμβατικό σκυρόδεμα. Οι ίνες ποικίλουν ανάλογα με την μορφή τους και το μέγεθος και παράγονται από χάλυβα, πλαστικό, γυαλί και φυσικά υλικά, γενικότερα οι ίνες χάλυβα είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιημένες για δομικές και μη δομικές εφαρμογές. Τα νέα υλικά προσφέρουν δυνατότητες για βελτίωση του σχεδιασμού των κατασκευών και επισκευή των υπαρχουσών καθώς η παγκόσμια ετήσια κατανάλωση ινών που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα είναι 3000.000 τόνοι. Ο τύπος των ινών και το ποσοστό του όγκου τους έχει χαρακτηριστική επίδραση στις ιδιότητες του σκυροδέματος, πιο συγκεκριμένα:

- Ποσοστό όγκου μικρότερο του 1%: οι ίνες χρησιμοποιούνται για να μειώσουν τη ρηγμάτωση λόγω συστολής και παρέχουν τα εξής πλεονεκτήματα όπως, την ομοιόμορφη κατανομή σε τρεις διαστάσεις για καλύτερη κατανομή φορτίων, δεύτερον οι ίνες είναι λιγότερο ευαίσθητες στη διάβρωση συγκριτικά με τις ράβδους χάλυβα, τέλος με την χρήση των ινών μειώνεται το κόστος εργασίας που απαιτείται για την τοποθέτηση ράβδων και πλεγμάτων από χάλυβα. Γίνεται χρήση αυτών των ινών σε δάπεδα και πλάκες με μεγάλη επιφάνεια και εμφάνιση υψηλής ρηγμάτωσης.
- Ποσοστό όγκου μεταξύ 1- 2%: η χρήση των ινών σε αυτό το ποσοστό όγκου αυξάνει την καμπτική αντοχή, την πλαστιμότητα στη θραύση και την αντίσταση σε κρούση. Τα μίγματα αυτά χρησιμοποιούνται σε είδη κατασκευών όπως εκτοξευμένο σκυρόδεμα και δομές που απαιτούν ικανότητα ενεργειακής απορρόφησης και βελτιωμένη ικανότητα στην διαστρωμάτωση της μάζας.
- Ποσοστό όγκου μεγαλύτερο του 2%: σε αυτό το ποσοστό τα μίγματα είναι πιο δύσκαμπτα και εξαιτίας της βελτιωμένης συμπεριφοράς ονομάζονται υψηλής επιτελεστικότητας ινοπλισμένα μίγματα (HPFRC), καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται έχουν δημιουργηθεί και μίγματα που θεωρούνται ως εξαιρετικά υψηλής επιτελεστικότητας ινοπλισμένα σκυροδέματα.

Το συμβατικό σκυρόδεμα αστοχεί ξαφνικά μόλις ξεπεραστεί η βύθιση που αντιστοιχεί στην τελική καμπτική αντοχή αντιθέτως το ινοπλισμένο σκυρόδεμα συνεχίζει να έχει σημαντικές αντοχές σε φορτία ακόμη και για βυθίσεις αρκετά μεγαλύτερες. Η θραύση δοκιμίων ινοπλισμένου σκυροδέματος δείχνει ότι η αστοχία πραγματοποιείται πρώτα λόγω εξόλκευσης των ινών ή αποκόλλησης, συνεπώς αντίθετα από το συμβατικό σκυρόδεμα ένα δοκίμιο ινοπλισμένου σκυροδέματος δεν σπάει αμέσως μετά την έναρξη της πρώτης ρωγμής άρα υπάρχει αύξηση της πλαστιμότητας του υλικού.



Διάγραμμα 1.1: Καμπύλη φορτίου-βύθισης συμβατικού και ινοπλισμένου σκυροδέματος. Πηγή: Ενίσχυση στοιχείων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα και πλαστικά υλικά, Γεωργακοπούλου Μαριάννα.



Εικόνα 1.10: Ρωγμές σε άοπλο και ινοπλισμένο σκυρόδεμα σε δοκίμια υπό πίεση. Πηγή: «Ενίσχυση στοιχείων με ινοπλισμένο σκυρόδεμα από χάλυβα και πλαστικά υλικά», Γεωργακοπούλου Μαριάννα.

ΕΝΟΤΗΤΑ Β

2.1 Τι ονομάζουμε αδρανή υλικά

Αδρανή υλικά ονομάζονται τα βοηθητικά δομικά υλικά προερχόμενα από φυσικούς λίθους με μηχανικό τεμαχισμό ή ως προϊόντα βιομηχανικής δραστηριότητας, επεξηγηματικά είναι το κοκκώδες υλικό, όπως η άμμος, τα χαλίκια, το θραυστό πέτρωμα, η θραυστή σκωρία υψικαμίνων ή τα απορρίμματα επισκευών κατασκευών και κατεδαφίσεων που χρησιμοποιούνται μαζί με κάποιο συνδετικό υλικό για την παραγωγή σκυροδέματος ή κονιάματος. Αποτελούν προσεγγιστικά το 70- 85% του συνολικού βάρους του σκυροδέματος και 60- 75% του όγκου του, συνεπώς επηρεάζουν τις ιδιότητες του στην νωπή μορφή αλλά και στη σκληρυμένη μορφή του. Είναι φθηνά υλικά που δεν υφίστανται σύνθετες χημικές αντιδράσεις με το νερό και πλέον θεωρούνται ευρέως ως συμπληρωματικά υλικά στο σκυρόδεμα. Από την άλλη μεριά εξαιτίας της αυξανόμενης αναγνώρισης του ρόλου τους στο σκυρόδεμα και τον καθορισμό πολλών ιδιοτήτων του η παραδοσιακή αντιμετώπιση τίθενται υπό αμφισβήτηση.



Εικόνα 2.1: Θραυστά Αδρανή Υλικά. Πηγή: <https://www.deyav.gr/enimerosi/prokirykseis-diagonismo/ittem/199-promitheia-thrafston-adranon-ylikon>

Οι ιδιότητες των αδρανών εξαρτώνται από το πορώδες, την κοκκομετρία, την απορρόφηση νερού, το σχήμα και την τραχύτητα της επιφάνειας, τη θραυστική αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας και την παρουσία επιβλαβών συστατικών. Αυτές οι ιδιότητες εξαρτώνται από τη σύνθεση ορυκτών του μητρικού πετρώματος τις περιβαλλοντικές συνθήκες του εκτεθειμένου πετρώματος και τον τύπο του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την παρασκευή των αδρανών υλικών.

2.2 Κατηγορίες αδρανών υλικών

2.2.1 Ανάλογα με την προέλευση τους

- Τα φυσικά αδρανή είναι αδρανή που λαμβάνονται από το φυσικό περιβάλλον και υποβάλλονται σε επεξεργασία με μηχανική σύνθλιψη, πλύσιμο και διαλογή, όπως θρυμματισμένα πετρώματα, ποτάμια, λιμναία ή θαλάσσια ιζήματα, ιζήματα άμμου ή χαλικιού και προϊόντα λατομείου.
- Τα τεχνητά αδρανή προκύπτουν μέσω είτε της χημικής είτε θερμικής επεξεργασίας πρώτων υλών ορυκτής ή άλλης προέλευσης ή υποπροϊόντων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, πιο συγκεκριμένα τέφρα, σκωρία, υπολείμματα καύσης, άργιλο, περλίτη και γυαλιστικά υλικά.
- Τα ανακυκλωμένα αδρανή προέρχονται από διάφορες επεξεργασίες πρώτων υλών με στόχο την επαναχρησιμοποίηση οικοδομικών υλικών σε κάθε τύπο κατασκευής, από υλικά κατεδάφισης σκυροδέματος, τοιχοποιίες και ασφαλτοστρώσεις.

2.2.2 Ανάλογα την πηγή λήψης

Τα Συλλεκτά Αδρανή προέρχονται από φυσικές αποθέσεις χωρίς την ανάγκη της θραύσης πετρωμάτων και βρίσκονται σε ποτάμια ή ορυχεία. Αντιθέτως τα Αδρανή Λατομείων όπου προκύπτουν από εξόρυξη και θραύση όγκων πετρώματος και είναι τα πιο συνηθισμένα στην αγορά, αυτό είναι φανερό διότι στην Ελλάδα υπάρχουν περίπου 230 ενεργά λατομεία.



Εικόνα 2.2: Σημαντικότητα και Ανάγκη δημιουργίας Λατομείων. Πηγή: Βικιπαίδεια

2.2.3 Ανάλογα το ειδικό βάρος

Συμβατικά αδρανή

Συμβατικά αδρανή είναι τα αδρανή υλικά κανονικού βάρους (normal weight aggregates) όπου είναι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αδρανή για τεχνικά έργα, ειδικότερα για ασφαλτικά έργα, οδοστρωσία, παραγωγή σκυροδέματος και κονιαμάτων, με ασβεστολιθική ή ορυκτολογική σύσταση και με ειδικό βάρος να κυμαίνεται από 2000 έως 3000kg/m³.

Ελαφρά αδρανή

Αδρανή υλικά με πυκνότητα μονάδας όγκου κάτω από 1120kg/m³ θεωρούνται ελαφρά και εφαρμόζονται κυρίως στην Παρασκευή τύπων ελαφρό-σκυροδέματος. Η αιτία του χαμηλού βάρους είναι η κυψελωτή μικροδομή τους ή το υψηλό πορώδες. Τα φυσικά ελαφρά αδρανή υλικά παράγονται μέσω της θραύσης πυριγενών ηφαιστιακών πετρωμάτων όπως είναι η ελαφρόπετρα και η σκωρία. Επιπρόσθετα τα τεχνητά ελαφρά αδρανή παράγονται με την θερμική επεξεργασία διαφόρων υλικών, για παράδειγμα ο άργιλος, οι αργιλικόι σχιστόλιθοι, ο διατομίτης, ο βερμικουλίτης, οι σκωρίες υψικαμίνων και η ιπτάμενη τέφρα.

Περνώντας στο πρακτικό κομμάτι και την χρήση αυτών υπάρχει ένα ευρύ φάσμα ελαφρών αδρανών με ειδικό βάρος από 80-900 kg/m³. Τα αδρανή με μεγάλο πορώδες θεωρούνται γενικά αδύναμα συνεπώς πιο κατάλληλα για την παρασκευή μη δομικών μονωτικών σκυροδεμάτων σε αντίθεση με τα λιγότερο πορώδη και όταν η δομή του πορώδους είναι ομοιόμορφα κατανεμημένοι μικροί πόροι τότε τα αδρανή είναι πιο ισχυρά και κατάλληλα για την παραγωγή δομικού σκυροδέματος.

Βαριά αδρανή

Συγκριτικά με το σκυρόδεμα με αδρανή κανονικού βάρους που έχει ειδικό βάρος 2400kg/m³ τα βαριά σκυροδέματα έχουν ειδικό βάρος 2900-6100kg/m³ και βασική τους χρήση είναι η προστασία από πυρηνική ακτινοβολία. Αναφέροντας τον όρο βαριά εννοείται ότι είναι αδρανή με σημαντικά μεγαλύτερη πυκνότητα και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή βαρέων σκυροδεμάτων. Τα φυσικά βαριά αδρανή που θεωρούνται πιο κατάλληλα για βαριά αδρανή είναι κοιτάσματα σιδήρου και ένα κοιτάσμα τιτανίου. Υπάρχει και ένα τεχνητό υλικό που έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό αυτό και ονομάζεται σιδηροφωσφορική σκωρία, το οποίο παρουσιάζει κατά την παραγωγή σκυροδέματος εύφλεκτα και τοξικά αέρια αναπτύσσοντας υψηλές πιέσεις. Σε μίγματα σκυροδέματος τέτοιου τύπου συνήθως προστίθενται ένυδρα σιδηρομεταλλεύματα, ορυκτά βορίου και περιτήγματα στα αδρανή διότι πραγματοποιείται αποτελεσματική δέσμευση νετρονίων με την βοήθεια του βορίου και υδρογόνου. Επίσης γίνεται χρήση ρινισμάτων ατσαλιού, τεμαχισμένων ατσάλινων ράβδων και σιδερένιων σφαιριδίων ως βαρέων αδρανών.

| Ελαφρά αδρανή | Φαιν. ειδ. Βάρος (kg/m ³) | Βαριά αδρανή | Φαιν. ειδ. Βάρος (kg/m ³) |
|-------------------|---------------------------------------|---------------|---------------------------------------|
| Βερμικουλίτης | 60-190 | Ανθρακικά | 2.600-2.850 |
| Περλίτης | 80-180 | Άμμος | 2.600-2.800 |
| Κίσηρη | 400-480 | Σκύρα | 2.600-2.800 |
| Σκωρία | 400-480 | Βωξίτης | 2.600-2.850 |
| Ιπτάμενη τέφρα | 550-850 | Ηφαιστίτης | |
| Σχιστόπηλος | 1.200-1.840 | Γρανίτης | |
| Άργιλος | 1.200-1.840 | Περιοτιτής | 2.600-2.800 |
| Διατομίτης | 2.00-2.300 | Σερπεντινίτης | 2.680-2.780 |
| Γύψος | 2.300-2.400 | Σχιστόλιθοι | 2.820-2.900 |
| Σκωρία υψικαμίνων | 2.160-2.400 | | |

Πίνακας 2.1: Φαινόμενο ειδικό βάρος ελαφρών & βαρέων αδρανών υλικών. Πηγή: <https://stalikas-giannakis.gr/%cf%80%cf%81%ce%bf%cf%8a%cf%8c%ce%bd%cf%84%ce%b1/>

2.2.4 Ανάλογα το μέγεθος των κόκκων

Ο διαχωρισμός των αδρανών και η κατηγοριοποίηση ανάλογα το μέγεθος τους γίνεται με την διαδικασία του κοσκινίσματος. Τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα έπειτα από την διαδικασία διαχωρισμού είναι τα εξής:

- Άμμος: 0-4mm
- Γαρμπίλι: 4-16mm
- Χαλίκι: 16-32mm

Υπάρχουν επίσης και άλλα μεγέθη για εξειδικευμένες χρήσεις όπως:

- Ρυζάκι: 4-8mm
- Σκύρα: 32-64mm

Όλα τα υλικά κατηγοριοποιούνται σε χονδρόκοκκα, λεπτόκοκκα και την παιπάλη.

- Χονδρόκοκκα είναι τα αδρανή υλικά με μέγιστο μέγεθος του κόκκου μεγαλύτερο από 4mm και ελάχιστο μεγαλύτερο από 2mm, όπως ογκόλιθοι, χαλίκι, γαρμπίλι.
- Τα λεπτά αδρανή ή λεπτόκοκκα έχουν μέγιστο μέγεθος κόκκου τα 4mm όπως και η άμμος.
- Παιπάλη είναι το αδρανές υλικό όπου είναι διαβαθμισμένο με μέγιστο μέγεθος κόκκου 2mm και διέρχεται σε ποσοστό 70-100% από το κόσκινο μεγέθους 0,063mm.

2.3 Αδρανή υλικά & σκυρόδεμα

Τα αδρανή που είναι συμμετέχουν στην παραγωγή σκυροδέματος είναι η άμμος, το γαρμπίλι και το χαλίκι και η μίξη όλων των κόκκων ονομάζεται αμμοχάλικο. Το υλικό όπου η διάμετρος του βρίσκεται μεταξύ 0,20mm και 8,00mm είναι η άμμος, το υλικό με διάμετρο κόκκων μεταξύ 8,00mm και 15,00mm είναι το γαρμπίλι και το υλικό με διάμετρο κόκκων μεταξύ 15,00mm και 30,00mm είναι το χαλίκι.



Εικόνα 2.3: Βασικά είδη αδρανών υλικών, Άμμος – Γαρμπίλι – Χαλίκι. Πηγή: Βικιπαίδεια

Ασβεστόλιθος: Σημαντικό υλικό για την βιομηχανία δομικών υλικών και την παραγωγή ξηρών κονιαμάτων το οποίο χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό συνεπώς συμβάλει και στην δημιουργία του σκυροδέματος. Εμφανίζεται στη φύση είτε σα καθαρό ανθρακικό ασβέστιο CaCO_3 είτε σαν δολομίτης όπου είναι ασβεστίτης μαζί με ανθρακικό μαγνήσιο MgCO_3 . Για την καταλληλότητα του πετρώματος όσο αφορά την δημιουργία κονιαμάτων και για το κομμάτι της κατασκευής πραγματοποιούνται έλεγχοι της σύστασης, της σκληρότητας, της απορροφητικότητας και του χρώματος του. Ο ασβεστόλιθος έπειτα από την εξόρυξη του στα εκάστοτε λατομεία διαχωρίζεται σε πολλές κοκκομετρίες για την σύνθεση του κάθε μίγματος αντίστοιχα με την συνταγή.

Άμμος θραυστή: Σύμφωνα με τον ΚΤΣ – 97, Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος 1997, ονομάζεται θραυστό αδρανές υλικό το διερχόμενο από το κόσκινο νούμερο 8 σε ποσοστό 100% και από το κόσκινο νούμερο 4 σε ποσοστό 95%. Η εξόρυξη των πετρωμάτων γίνεται σε υγιείς όγκους στα λατομεία που προορίζονται για παραγωγή άμμου, απορρίπτοντας όλα τα μη καθαρά και μη υγιή τμήματα των περιοχών επαφής με γειτονικά πετρώματα όπως της σκόνης και των προσμίξεων ξένων λοιπών υλικών, των όγκων αποσαθρωμένων πετρωμάτων και όγκοι που περιέχουν επιβλαβή ορυκτολογικά στοιχεία που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα στην ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος. Σημαντικό ρόλο παίζει η επιλογή και η ρύθμιση των μηχανημάτων θραύσης και κοσκίνισης με το παραγόμενο τελικό προϊόν να δείχνει τη σταθερότητα των ποιοτικών χαρακτηριστικών και να είναι απαλλαγμένο από σημαντικές ποσότητες ασβεστολιθικής παιπάλης και αργιλικών προσμίξεων. Συνετό είναι να πραγματοποιούνται εργαστηριακές δοκιμές με σκοπό το τελικό αποτέλεσμα των υλικών να είναι κατάλληλο για χρήση ειδικότερα όσο αφορά τις ιδιότητες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος, αν και τα περισσότερα από τα πετρώματα που βρίσκονται στην Ελλάδα είναι κατάλληλα για την παραγωγή θραυστής άμμου σκυροδέματος.

Άμμος φυσική: Είναι φυσικό κοκκώδες υλικό που αποτελείται από λεπτά πετρώματα και ορυκτά σωματίδια και η σύνθεση της εξαρτάται κάθε φορά από τις συνθήκες του περιβάλλοντος που υπάρχει (ηπειρωτικές, τροπικές, παράκτιες περιοχές). Το μέγεθος των κόκκων σε διάμετρο είναι ανάμεσα από 0.0625 – 2mm και αμέσως επόμενο με μέγεθος κόκκων από 2- 64mm ονομάζεται αμμοχάλικος. Με γνώμονα τον κανονισμό σκυροδέματος θεωρείται το κλάσμα της φυσικής απόθεσης το οποίο περνάει από το κόσκινο νούμερο 8 στο ποσοστό 100% και από το κόσκινο νούμερο 4 σε ποσοστό τουλάχιστον 95%. Η φυσική άμμος βρίσκεται σε φυσικές θαλάσσιες, λιμναίες ή ποτάμιες αποθέσεις και η παραγωγή της γίνεται τροφοδοτώντας τα κόσκινα με καθαρό υλικό και χωρίς αργιλικές προσμίξεις. Σε όλες τις περιπτώσεις το υλικό πλένεται με στόχο την απομάκρυνση της συγκολλημένης αργίλου και άλλων τυχόν επιβλαβών προσμίξεων που περιβάλλουν τους κόκκους. Για την διαδικασία της υγρής κοσκίνισης της άμμου προτιμώνται τα ελαστικά πλέγματα διότι αποφεύγεται το φράξιμο, δε σκουριάζουν και παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη ανθεκτικότητα από τα χαλύβδινα περιορίζοντας ταυτόχρονα το θόρυβο. Για το κεκλιμένο κόσκινο ορθογώνιων οπών πλέγματα με παράλληλη διάταξη της μέγιστης διάστασης στην φορά τροφοδοσίας του υλικού. Κατάλληλο για υψηλής περιεκτικότητας σε άργιλο άμμου συνίσταται η χρήση περιστροφικού κοσκίνου (tumbling scrubber). Προσοχή χρειάζεται κατά την διαδικασία της επιλογής και ρύθμισης της μηχανής κοσκίνισης για να έχει το προϊόν ποιοτικά σταθερά χαρακτηριστικά, απαλλαγμένο από αργιλικές προσμίξεις, υπερμεγέθεις κόκκους και υψηλό ποσοστό παιπάλης.

Στην Ελλάδα, η κύρια πηγή φυσικής άμμου είναι οι κοίτες των ποταμών ή χειμάρρων. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ορυκτολογία και την σύνθεση και επιβάλλεται ο εργαστηριακός έλεγχος αυτών των κοιτασμάτων για τον προσδιορισμό καταλληλότητας για χρήση, ιδιαίτερα όσον αφορά τις ιδιότητές που επηρεάζει την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος το οποίο σημαίνει γενικότερα της κατασκευής στον χρόνο. Προσεκτικό πλύσιμο και κοσκίνισμα της φυσικής άμμου σκυροδέματος είναι ένας από τους κύριους παράγοντες ποιότητας τελικού ολοκληρωμένου προϊόντος.

Χαλίκι: Στην Ελλάδα το χαλίκι θεωρείται το μέγεθος όπου διέρχεται από το κόσκινο 31,5, ανήκει στα χονδρόκοκκα αδρανή όπως αυτά ορίζονται στον Ευρωπαϊκό Κανονισμό. Η εξόρυξη των πετρωμάτων που προορίζονται για παραγωγή χονδρόκοκκων αδρανών σκυροδέματος γίνεται σε υγιείς όγκους στο λατομείο με την απόρριψη όλων των μη καθαρών περιοχών επαφής με γειτονικά πετρώματα όπως της σκόνης και των γαιωδών προσμίξεων, των αποσαθρωμένων όγκων πετρώματος και των όγκων που περιέχουν επιβλαβείς ουσίες που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στην ποιότητα του παραγόμενου σκυροδέματος και κατά την έναρξη των εργασιών σε νέο λατομείο προτείνονται προκαταρκτικοί πετρογραφικοί έλεγχοι και μελέτες των πετρωμάτων. Το θραυστό υλικό παράγεται μετά από πολλαπλή κονιοποίηση σύμφωνα με τα τρέχουσες προδιαγραφές και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πολλαπλά θραυστικά μέσα ανάλογα με την πηγή της προελεύσεως του αδρανούς υλικού, την ορυκτολογία και την πετρογραφική σύνθεση, τη σκληρότητα, την αντοχή σε τριβή και κρούση και τη κοκκομετρική διαβάθμιση. Ένα

συγκρότημα όπου θρυμματίζει και κοσκινίζει αδρανή υλικά με σκοπό την παραγωγή χονδρόκοκκων αδρανών σκυροδέματος περιλαμβάνει:

- Προ-διαλογέα για απομάκρυνση των βλαπτικών αργιλικών συστατικών
- Θραυστήρες πρωτογενούς θραύσης
- Θραυστήρες δευτερογενούς θραύσης
- Κόσκινα διατεταγμένα κατακόρυφα κάθετη με τη μεγαλύτερη διάσταση στην φορά τροφοδοσίας του υλικού

Σημαντικό είναι να δοθεί προσοχή στην επιλογή και ρύθμιση της μηχανής σύνθλιψης και κοσκίνισης έτσι ώστε το τελικό προϊόν να έχει σταθερά ποιοτικά χαρακτηριστικά και να μην περιέχει μεγάλη αναλογία ασβεστολιθικής παιπάλης, αργιλικές προσμίξεις, γωνιώδεις και πεπλατυσμένους κόκκους υπερμεγέθους κόκκους ώστε να διαπιστωθεί η συμμόρφωση των υλικών με τις προδιαγραφές.

Γαρμπίλι: Δεν ορίζεται στον ΚΤΣ - 97, αλλά θεωρείται στην αγορά γαρμπίλι το κλάσμα που διέρχεται από το κόσκινο Νούμερο 16 και ρυζάκι το κλάσμα που διέρχεται από το Νούμερο 8. Ανήκει στα χονδρόκοκκα αδρανή όπως αυτά αναγράφονται στο Ευρωπαϊκό Κανονισμό. Το αντιολισθηρό αδρανές για στρώσεις κυκλοφορίας έχει ικανοποιητική τραχύτητα και εξαιρετικά επιφανειακά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών αντοχών και της ανθεκτικότητας στις διάφορες καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με ελληνικές προδιαγραφές, η προέλευση των αδρανών αυτών μπορεί να είναι είτε λεπτόκοκκα (θραυστά αδρανή ή πλυμένα ποταμίσια υλικά) είτε χονδρόκοκκα (χαλίκια, θραυστά χαλίκια ή θραυστά πετρώματα). Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για αντιολισθητικά αδρανή είναι υψηλών προδιαγραφών γιατί είναι υπό μεγάλη πίεση, έτσι είναι γιατί πρέπει να προέρχονται από σκληρούς βράχους (ηφαιστειογενή ή πλουτώνιο). Αυτά θεωρούνται ότι έχουν ιδιαίτερες μηχανικές και φυσικές ιδιότητες καθώς και υψηλή αντοχή, όπως ανθεκτικότητα. Ο ρόλος του αδρανούς στο αντιολισθητικό στρώμα είναι να του προσφέρει μεγάλη διάρκεια ζωής και υψηλή αντοχή στην ολίσθηση. Το πυριγενές πέτρωμα είναι το καλύτερο μητρικό πέτρωμα για σκληρά αδρανή. Οι ισχυρότεροι και λεπτότεροι κρύσταλλοι περιγράφονται διεθνώς ως Trap (rock) και περιλαμβάνουν δακίτη, ανδεσίτη και βασάλτη. Οι μηχανικές ιδιότητες εξαρτώνται από τη σύνθεση ορυκτών, την υφή, το μέγεθος των κρυστάλλων, τις ασυνέχειες ή τις ατέλειες, το μέγεθος και τις αναλογίες ανομοιογενών συστατικών.

2.3.1 Ιδιότητες αδρανών υλικών

Οι ιδιότητες των αδρανών διακρίνονται στις εξής τρεις κατηγορίες, γεωμετρικές, φυσικές και χημικές.

Στις γεωμετρικές ιδιότητες των αδρανών υλικών περιλαμβάνονται:

- Κοκκομετρική διαβάθμιση.
- Σχήμα χονδρόκοκκων αδρανών.
- Περιεκτικότητα χονδρόκοκκων αδρανών σε κελύφη.
- Περιεκτικότητα αδρανών σε παιπάλη
- Ποιότητα λεπτόκοκκων αδρανών.

Στις φυσικές ιδιότητες περιλαμβάνονται:

- Αντίσταση σε θρυμματισμό (Δοκιμή Los Angeles).
- Αντίσταση σε φθορά (δοκιμή micro-Deval).
- Αντίσταση σε στίλβωση και ολισθηρότητα.
- Ειδικό βάρος και υδροαπορροφητικότητα.
- Ανθεκτικότητα σε: ψύξη – απόψυξη.
- Αλκαλό-πυριτική αντίσταση

Στις χημικές ιδιότητες των αδρανών μελετώνται:

- Περιεκτικότητα σε χλωριόντα.
- Περιεκτικότητα σε θειικά όπου σημειώνονται τα θειικά διαλυτά σε οξύ και το ολικό θείο
- Περιεκτικότητα σε άλλα συστατικά που επηρεάζουν την ταχύτητα της σκλήρυνσης του σκυροδέματος, τη σταθερότητα όγκου αυτού ή άλλα ιδιότητες.

Στην Ευρώπη οι ιδιότητες των αδρανών υλικών σκυροδέματος καθορίζονται από τα πρότυπα του *EN 12620*, τα οποία είναι εμπειριστατωμένα. Το πρότυπο αυτό ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις πηγές των έργων στα οποία θα ενσωματωθούν καθορίζει για τα αδρανή επιλεγμένες δοκιμές οι οποίες πρέπει να εκτελεστούν με σειρά. Επιπλέον, ειδικά για την Ελλάδα ο *ΚΤΣ - 97* θέτει τα επιτρεπτά όρια για τις ιδιότητες και τον προσδιορισμό αυτών εκτελώντας δοκιμές ακολουθώντας τα απαραίτητα πρότυπα όπως είναι τα αμερικάνικα, *ASTM* ή τα ευρωπαϊκά, *EN*.

2.3.2 Χρησιμότητα των αδρανών υλικών

Τα αδρανή υλικά ποικίλουν στην χρήση τους λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών τους, κάθε φορά εξαρτάται το είδος του έργου και οι ανάγκες του, οπότε γίνεται η χρήση τους ανάλογα. Πιο συγκεκριμένα μπορούν να υπάρξουν:

- Αδρανή για σκυρόδεμα
- Σκύρα σιδηροδρομικών γραμμών
- Αδρανή για άσφαλτο-μίγματα
- Αδρανή για βάσεις και υποβάσεις
- Αδρανή υλικά για υδραυλικά και λιμενικά έργα
- Αδρανή για κονιάματα (ανόργανα υλικά σε σκόνη που όταν σχηματίσουν πολτό με το νερό αυτός έχει κολλητικές ιδιότητες, είναι εύπλαστος και μπορεί να συγκολλήσει τα αδρανή υλικά)

2.4 Τρέχον παγκόσμιο σενάριο

Υπάρχει μια απευθείας σχέση μεταξύ πληθυσμιακής αύξησης και αστικοποίησης, κατά τα τελευταία 100 χρόνια ο πληθυσμός του κόσμου έχει αυξηθεί από 1,5 δισεκατομμύρια σε 7,5 δισεκατομμύρια και σχεδόν 4 δισεκατομμύρια ζουν σήμερα μέσα ή γύρω από τις πόλεις. Οι περισσότερες πόλεις βρίσκονται σε υπό ανάπτυξη χώρες όπου απαιτούνται τεράστιες ποσότητες υλικών για την κατασκευή καταλυμάτων, εργοστασίων, εμπορικών κτιρίων, φραγμάτων, δρόμων, γεφυρών και άλλων έργων υποδομής. Το κύριο υλικό των κατασκευών είναι το σκυρόδεμα με Portland τσιμέντο, η μεγαλύτερη σήμερα στον κόσμο παραγωγή υλικού είναι του σκυροδέματος. Στη σημερινή ημέρα ο ρυθμός κατανάλωσης του σκυροδέματος είναι ταχύτερος από ότι πριν από 40 χρόνια, εκτιμάται ότι η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση σκυροδέματος είναι της τάξης των 11 δισεκατομμυρίων μετρικών τόνων ετησίως.

ΕΝΟΤΗΤΑ Γ

3.1 Η έννοια της ανακύκλωσης

Ανακύκλωση είναι η διαδικασία με την οποία πραγματοποιείται η συλλογή και ο διαχωρισμός μεταχειρισμένων υλικών ή απόβλητων και απορριμμάτων κάθε είδους, για την μετατροπή αυτών σε πρώτη ύλη ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν για τους ίδιους σκοπούς ή να δημιουργηθούν εντελώς διαφορετικά και νέα προϊόντα. Υλικά για παράδειγμα όπως οι πρώτες ύλες από γυαλί, πλαστικό, χαρτί, μέταλλα και απορρίμματα οικοδομών τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ξανά στην παραγωγή. Η διαδικασία αυτή είναι μια λύση σε αρκετά προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί από την μαζική συσσώρευση των απορριμμάτων με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση πρώτων υλών με στόχο τη μείωση της ρύπανσης και εξοικονόμησης ενέργειας του πλανήτη. Η αποφυγή της υγειονομικής ταφής ενισχύει επίσης την προστασία του περιβάλλοντος, την πιο έξυπνη και αποτελεσματική χρήση των διαθέσιμων φυσικών πόρων, την εξοικονόμηση ενέργειας, τη αξιοσημείωτη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου και υπάρχει μείωση των εκσκαφών σε αγροτικές ή δασικές περιοχές.



Εικόνα 3.1: Παγκόσμιο σύμβολο ανακύκλωσης. Πηγή: Βικιπαίδεια

3.2 Κίνητρα που οδηγούν στην ανακύκλωση

Η διαδικασία της ανακύκλωσης του σκυροδέματος αλλά και η χρήση ανακυκλωμένων υλικών για την δημιουργία νέων τύπων σκυροδέματος βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη, χρησιμοποιώντας υλικά όπως αδρανή προερχόμενα από κατεδαφίσεις, γυαλί, ελαστικά ακόμη και οικιακά απορρίμματα. Οι λόγοι που οδηγούν στην ανάγκη πλέον της ανακύκλωσης είναι οικονομικοί αλλά και περιβαλλοντικοί.

3.2.1 Οφέλη ανακύκλωσης

Τα οφέλη της ανακύκλωσης των υλικών είναι αρκετά και θεωρείται το τέλος του κύκλου της ζωής αυτών, ξεκινώντας με την εξόρυξη των πρώτων υλών και την κατασκευή των υλικών.

Αρχικά υπάρχει μείωση των παραγόμενων αποβλήτων και των χώρων ταφής, ειδικότερα μειώνονται οι ποσότητες που προορίζονται για τελική διάθεση στους ειδικούς χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ) με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι χώροι αυτοί και είναι ελεύθεροι προς διάθεση για διαφορετικές

χρήσεις. Εκπομπές αποβλήτων, όπως σκόνης και αερίων διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, μειώνονται αισθητά από την διαδικασία της ταφής.

Επιπλέον πραγματοποιείται εξοικονόμηση υλικών, ορυκτών πόρων και ενέργειας, πιο συγκεκριμένα όσο αφορά την ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη των πρώτων υλών, την μεταφορά και την επεξεργασία, εξαρτάται πάντα από την ποσότητα υλικών που χρειάζεται να παραχθούν ως πρώτες ύλες καταναλώνοντας περισσότερη ενεργειακή από την διαδικασία της ανακύκλωσης. Εξοικονόμηση υπάρχει ακόμα στις πρώτες ύλες διότι μέσω της ανακύκλωσης δεν χρησιμοποιούνται νέα υλικά παρά μόνο υλικά που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους, πολύ θετικό γεγονός διότι κάποια υλικά δεν ανανεώνονται και αποφεύγεται το πρόβλημα της εξάλειψής τους.

Όσο αφορά το οικονομικό μέρος της διαδικασίας, η ανακύκλωση δημιουργεί εξοικονόμηση εργασίας και χρημάτων εξαιτίας της μικρότερης επεξεργασίας που χρειάζεται η ανακύκλωση των υλικών σε σχέση με την διαδικασία της εξόρυξης πρώτων υλών. Επεξηγηματικά, οικονομικά οφέλη εκτιμώνται σε όλα τα μέρη της διαδικασίας όπως είναι οι υπεύθυνοι συλλογής και μεταφοράς, το εργοστάσιο επεξεργασίας ανακύκλωσης, το εργοστάσιο παραγωγής και διάθεσης νέων προϊόντων, επιπλέον, δεν είναι αναγκαίο από τον εκάστοτε οργανισμό να διαθέτει χώρους υγειονομικής ταφής και διάθεσης. Τα οφέλη εξαρτώνται με βάση το υλικό, δηλαδή κάποια υλικά έχουν μεγαλύτερη αξία όπως είναι τα μέταλλα, ο χαλκός και ο σίδηρος αλλά και το χαρτί και το χαρτόνι στην σημερινή ημέρα. Επίσης, εξοικονόμηση χρημάτων θα επιτευχθεί μέσω της μείωσης των μεταφορών των υλικών συγκριτικά με τις αρκετά λιγότερες μεταφορές που απαιτούνται για τα ανακυκλωμένα υλικά.

Αξίζει να σημειωθεί πως με την ανακύκλωση πραγματοποιείται συνεχής έλεγχος και σχεδόν εξάλειψη της διασποράς επικίνδυνων ουσιών στο περιβάλλον και αυτό επιτυγχάνεται με την επαναχρησιμοποίηση των υλικών, έπειτα από συγκεκριμένες ενέργειες επεξεργασίας, και τη μη διάθεση αυτών στο περιβάλλον ως απόβλητα μέσω της καύσης ή την τοποθέτησή τους στους ειδικούς χώρους ταφής.

Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας στο τομέα της ανακύκλωσης είναι φυσικά ένα μεγάλο κοινωνικό όφελος, προκύπτουν νέες ανάγκες και νέες θέσεις στους τομείς της διαλογής, της συλλογής και μεταφοράς των υλικών όπως και στην κατασκευή και την λειτουργία των εργοστασίων και εγκαταστάσεων ανακύκλωσης. Ο τομέας της ήδη υπάρχουσας παραγωγής των υλικών δεν θα πραγματοποιηθούν μεγάλες αλλαγές αντιθέτως μπορεί να δημιουργηθεί η ανάγκη για πρόσθετη επεξεργασία των ανακυκλωμένων υλικών. Επιπλέον εμφανίζονται θέσεις που η τεχνογνωσία είναι πλέον απαραίτητη λόγω των νέων τεχνολογιών και μηχανημάτων που προστίθενται για την διαδικασία της ανακύκλωσης.

3.2.2 Εμπόδια της διαδικασίας

Η ανακύκλωση έχει ιδιαίτερη σημασία ως μέθοδος διαχείρισης και είναι ιδανική λύση για συγκεκριμένα υλικά όμως παρουσιάζονται κάποια μειονεκτήματα.

Η ανακύκλωση κάποιες φορές ως εμπόδιο έχει σημαντικό κόστος, όσο αφορά το ξεκίνημα του εργοστασίου, το αρχικό κεφάλαιο που απαιτείται για την γη, τον εξοπλισμό και την τεχνολογία, το λειτουργικό κόστος, το ανθρώπινο δυναμικό αλλά και την κατασκευή του ίδιου του εργοστασίου.

Η επεξεργασία όλων των υλικών που είναι αναγκαία έχει κάποιες επιπτώσεις στο περιβάλλον διότι καταναλώνονται αρκετοί πόροι, ένας από του σημαντικότερους είναι το νερό και χημικές ουσίες για την πλύση των ανακυκλωμένων υλικών. Αξίζει να αναφερθεί πως σε κάθε περίπτωση η παραγωγή των πρωτογενών υλικών απαιτεί περισσότερους πόρους και ενέργεια για να επιτελεστεί η διαδικασία της μεταφοράς, της επεξεργασίας και του καθαρισμού.

Ένα εμπόδιο το οποίο με τον καιρό εξαλείφεται, οφείλεται στην έλλειψη της σωστής ενημέρωσης των πολιτών στα θέματα των τεχνικών ανακύκλωσης και οι λανθασμένες αντιλήψεις που δημιουργούνται για την καταλληλότητα χρήσης των ανακυκλωμένων προϊόντων, περισσότερο όσο αφορά το τσιμέντο και τα αδρανή υλικά και όχι τόσο τον τομέα των μετάλλων. Η πολιτεία θα πρέπει να προσθέσει προγράμματα και δράσεις που θεωρούνται ελλιπή με στόχο την ενημέρωση και την ευαισθητοποίηση των πολιτών .

Στο πρακτικό και κατασκευαστικό κομμάτι θέματα όπως η ανεπαρκής ύπαρξη τεχνικών προδιαγραφών στη νομοθεσία για την ασφάλεια και την πρόβλεψη τυχόν προβλημάτων και η ανακρίβεια της παραγόμενης ποσότητας, προσδιορίζοντας την με εκτιμήσεις προσεγγιστικά, εμποδίζουν την επιλογή και χρήση των ανακυκλωμένων δομικών υλικών από τους κατασκευαστές.

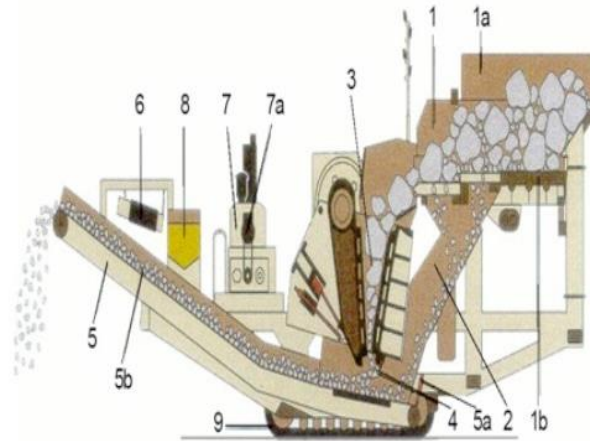
3.3 Μονάδες ανακύκλωσης

3.3.1 Κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης

Τα κινητά συγκροτήματα ανακύκλωσης είναι τοποθετημένα μέσα στο εργοτάξιο του έργου, μειώνουν σημαντικά το κόστος κατασκευής διότι δεν πραγματοποιούνται δρομολόγια από και προς το λατομείο, άρα υπάρχει και μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και είναι δυνατό να γίνει απόσβεση του συγκροτήματος σε ένα μεγάλο έργο. Αναλόγως τις απαιτήσεις του εκάστοτε έργου κάποια κινητά συγκροτήματα μπορούν να επεξεργαστούν μέχρι και 400 m³/h μπαζών αλλά υπάρχουν και μικρότερα με 100 m³/h, τα οποία έχουν την δυνατότητα εγκατάστασης σε μικρούς χώρους ακόμα και μέσα στις πόλεις.

Τα πλεονεκτήματα των κινητών συγκροτημάτων έναντι των σταθερών είναι ότι δεν δημιουργούν πρόσθετο κόστος απόρριψης των υλικών στη χωματερή και μεταφοράς των αδρανών στο εργοτάξιο, ο χρόνος μειώνεται όσο αφορά την αναμονή και την προετοιμασία των οχημάτων, η αυξημένη παραγωγή και το μειωμένο εργατικό κόστος. Αυτά τα συγκροτήματα αποτελούνται από τεμαχιστή απορριμμάτων σκυροδέματος, μεταφορέα ακατάλληλων υλικών και ουσιών, τον θραυστήρα δευτερογενούς θραύσης, το συγκρότημα κοσκινίσματος και ταινίες για την επαναφορά του υλικού από το κόσκινο πίσω στο θραυστήρα για επιπλέον θραύση.

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



Εικόνα 3.2: Κινητή μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Πηγή: Google εικόνες



Εικόνα 3.3: Κινητή μονάδα επεξεργασίας αποβλήτων. Πηγή: <http://dias-aekk.gr/el/simvevlimenes-monades-anakiklosis/>

3.3.2 Στατικά συγκροτήματα ανακύκλωσης

Τα μόνιμα ή στατικά συγκροτήματα ανακύκλωσης είναι συγκροτήματα που τοποθετούνται σε οργανωμένες κεντρικές, δημόσιες ή ιδιωτικές, μονάδες. Είναι ολοκληρωμένα εργοστάσια με εξειδικευμένα μηχανήματα και τεχνολογίες καθαρισμού, θραύσεως, διαχωρισμού κοσκινίσματος, πλύσεως του λεπτόκοκκου υλικού και ελέγχου παραγωγής. Η ποιότητα των υλικών έπειτα από την διαδικασία της ανακύκλωσης είναι όμοια ή και ανώτερη των αρχικών υλικών διότι στο τέλος της διαδικασίας παραγωγής γίνεται πλύση της άμμου, πιο συγκεκριμένα πραγματοποιείται ο έλεγχος του ανεπιθύμητου λεπτόκοκκου υλικού σε επιθυμητές τιμές. Τα μηχανήματα χρησιμοποιούν οπτικό σύστημα για την επεξεργασία και την απομάκρυνση των μη κατάλληλων υλικών, εντοπίζει κάθε φορά τα υλικά και τα διαχωρίζει με στόχο την τροφοδοσία του συγκροτήματος ανακύκλωσης μόνο με καθαρό υλικό. Πολλοί παραγωγείς αδρανών υλικών με κέντρο ανακύκλωσης εφαρμόζουν και τις δύο μεθόδους, με μόνιμα συγκροτήματα αλλά και με σταθερά. Στο λατομείο το υλικό πάει ως πρώτη ύλη, επεξεργάζεται και μετατρέπεται σε αδρανή υλικά έτοιμα για χρήση.

Τα πλεονεκτήματα είναι ότι μπορεί να γίνει επιλογή του πλησιέστερου λατομείου από το εργοτάξιο με κέντρο ανακύκλωσης με σκοπό να επιστρέφουν τα φορητά με ανακυκλωμένα αδρανή αντί να επιστρέφουν άδεια από τις χωματερές (ΧΥΤΑ) οι οποίες συνήθως βρίσκονται αρκετά μακριά. Το κινητό συγκρότημα έχει πλεονέκτημα χαμηλότερου κόστους αλλά δεν έχει την δυνατότητα του ελέγχου του ποσοστού ανεπιθύμητου υλικού, με μόνο μηχανικά μέσα, όπως είναι η παιπάλη και άλλα πρόσμικτα. Υπάρχει η εξαίρεση το εργοτάξιο να βρίσκεται κοντά σε ποτάμι και είναι επιτρεπτό να χρησιμοποιηθεί το νερό πλύσεως(νερό του ποταμού), τότε χρησιμοποιείται συνήθως το κινητό συγκρότημα κοσκίνισης με καταιονισμό νερού σε συνεργασία με τον αποστραγγιστικό κοχλία.



Εικόνα 3.4: Εργοστάσιο/σταθερή μονάδα ανακύκλωσης αποβλήτων εκσκαφών και κατεδαφίσεων.
Πηγή: <https://kostelidisrecycling.gr/recycling-aekk/>

3.4 Τεχνολογία & εξοπλισμός παραγωγής ανακυκλωμένων αδρανών

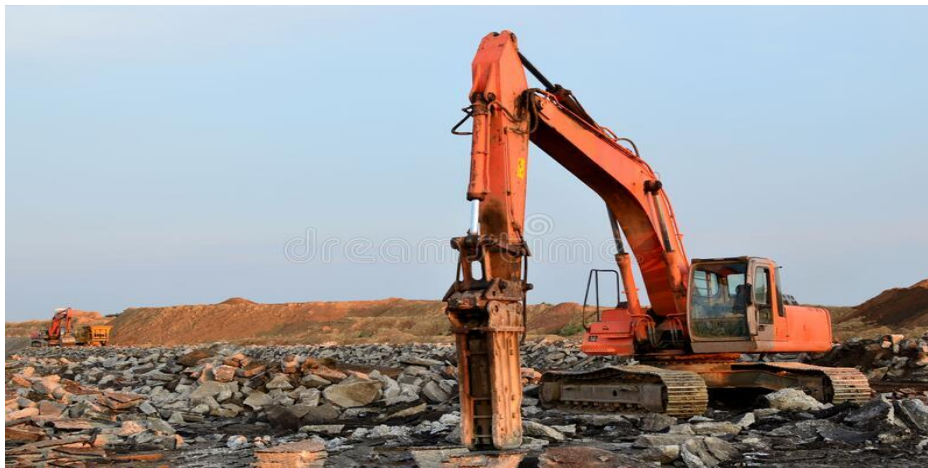
Υπάρχουν συγκεκριμένες προϋποθέσεις για τον τρόπο λειτουργίας των συγκροτημάτων ανακύκλωσης, πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να μπορούν να χειρίζονται μια ποικιλία μικτών υλικών, συμπεριλαμβανομένου του χαρτιού, του πλαστικού και των απορριμμάτων όπως χώμα, άργιλος και ξύλο. Η μονάδα θα πρέπει να καθαρίζει 75 m³/ώρα ανακυκλωμένου υλικού, διαφορετικά η μονάδα θα είναι αφιερωμένη στον καθαρισμό των αποθεμάτων του εργοταξίου και στην αφαίρεση ανεπιθύμητων λεπτών ακαθαρσιών από την άμμο.

Η διαδικασία ξεκινάει με τη μεταφορά διαφόρων υλικών στο εργοτάξιο για ανακύκλωση χρησιμοποιώντας συμβατικά φορητά, συνέχεια έχει η τοποθέτηση τους στο κατάστρωμα ώστε με τη χρήση ειδικών καμερών να ελεγχθεί εάν το φορτίο είναι κατάλληλο για χειρισμό από τη μονάδα πλύσης, καθώς οποιοδήποτε φορτίο κριθεί ακατάλληλο θα σταλεί σε χωματερή για απόρριψη.



Εικόνα 3.5: Φορητά οχήματα μεταφοράς αδρανών υλικών. Πηγή: <https://troxoikaitir.gr/article/330/pos-na-ypologisete-kostos-metaforas>

Συνέχεια στην διαδικασία έχει ο τεμαχισμός των μεγάλων κομματιών από κατεδαφίσεις με κρουστικό σφυρί ή ψαλίδι τα οποία τοποθετούνται στην άκρη του προβόλου του υδραυλικού εκσκαφέα και τα πρόσθετα ψαλίδια είναι δυνατόν να αναπτύξουν δυνάμεις μέχρι και 600 t.



Εικόνα 3.6: Εκσκαφέας με υδραυλικό σφυρί για την καταστροφή σκυροδέματος. Πηγή: <https://gr.dreamstime.com/%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CE%AD%CE%B1%CF%82-%CE%BC%CE%B5-%CF%85%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C-%CF%83%CF%86%CF%85%CF%81%CE%AF-%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%AE-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CE%BF%CE%B4%CE%AD%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-image173008950>

Τα υλικά μεταφέρονται με φορτωτές στον θραυστήρα αλλά πρώτα το υλικό περνάει από δονητικό διαχωριστή για την αφαίρεση των υλικών με μέγεθος μεγαλύτερο των 100 mm. Ο θρυμματιστής σκυροδέματος (concrete cruncher) στόχο έχει τον θρυμματισμό του σκυροδέματος σε μικρά κομμάτια στο δάπεδο του εκάστοτε

εργοταξίου, χρησιμοποιώντας με σωστό τρόπο τα δόντια κόβει και διαχωρίζει το χαλύβδινο οπλισμό. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θραυστήρων όπως σιαγονοφόρος θραυστήρας, κρουστικός θραυστήρας και κωνικός θραυστήρας σκυροδέματος.



Εικόνα 3.7: Θρυμματιστής Σκυροδέματος (Concrete Crusher) Πηγή: <https://www.concrete-info.com/concrete-crusher/>

Ένας ειδικός μαγνήτης τοποθετείται στον ιμάντα τροφοδοσίας για την αφαίρεση μεταλλικών αντικειμένων, ο μεταφορικός ιμάντας μεταφέρει το υλικό σε πλέγμα πλύσης (κόσκινο) και το μίγμα του υλικού που δημιουργείται μικρότερου από 5 mm σε μέγεθος κατευθύνεται στο σύμπλεγμα πλύσης και επεξεργασίας άμμου, όπου αιωρούμενα υλικά όπως παιπάλη και άργιλος αφαιρούνται. Η άμμος αφυδατώνεται σε επίπεδα υγρασίας έως και 12% και περιέχει στοιχεία μεταξύ 10-3 mm, επομένως δεν χρειάζεται κοσκίνισμα ή αφαίρεση του φυτικού εδάφους από το υλικό για να παραχθούν εμπορεύσιμα προϊόντα με βελτιωμένη ποιότητα.

Οι μαγνητικοί διαχωριστές χρησιμοποιούνται για την συλλογή των μεταλλικών υλικών τα οποία πωλούνται αργότερα ως παλιοσίδερα (scrap). Οι μαγνήτες δεν χρησιμοποιούνται μόνο για την ανακύκλωση μετάλλων, αλλά βοηθούν και στην παραγωγή υλικών καθαρισμού όπως αδρανή και ξύλο. Το πρώτο στάδιο προβάλλει υλικά μικρότερα από 30cm και το κόσκινο του δεύτερου σταδίου αφαιρεί τα ανεπιθύμητα λεπτά υλικά. Το υπόλοιπο υλικό οδηγείται από μεταφορικούς ιμάντες σε μαγνήτες, οι οποίοι εκτρέπουν μεταλλικά αντικείμενα από την ροή των υλικών και τα μη μεταλλικά υλικά όπως το αλουμίνιο, ο χαλκός και ο μπρούντζος μπορούν να εκτραπούν χρησιμοποιώντας ειδικούς μαγνήτες δινορευμάτων. Χρησιμοποιούνται μόνιμοι και ηλεκτρικοί μαγνήτες. Οι μόνιμοι μαγνήτες δεν απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια επομένως είναι πιο κατάλληλοι για τα *αυτοφερόμενα κινητά συγκροτήματα*.

Τα *μόνιμα κέντρα ανακύκλωσης* χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνήτες, έχοντας μεγαλύτερη μαγνητική ισχύ είναι σε θέση να σηκώσουν πιο βαριά και μεγάλα αντικείμενα. Τα πλυμένα αδρανή προσθέτουν περισσότερη αξία στο τελικό προϊόν συγκριτικά με τον ξηρό διαχωρισμό. Η ικανότητα παραγωγής άμμου υψηλής ποιότητας όπου θα κατέληγε σε χωματερές είναι άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Πιθανώς το σημαντικότερο κομμάτι του εκάστοτε συγκροτήματος πλύσεως είναι το νερό και οι τρόποι διαχείρισης αυτού τόσο για την καταλληλότητα του τελικού διαθέσιμου προϊόντος όσο και του οικονομικού τομέα της επιχείρησης. Το νερό πλύσεως θα πρέπει να είναι καθαρό ώστε να μην επηρεαστεί το τελικό υλικό μέσω χημικών διεργασιών οφειλόμενα στην ύπαρξη ανεπιθύμητων ουσιών. Εξαιτίας της ρύπανσης του νερού και της αντιμετώπισης της έχει δημιουργηθεί η μέθοδος πυκνωτή λάσπης όπου με πολύ-ηλεκτρολυτική διάταξη οργανικής βάσης, με διαχωριστική ικανότητα, προκαλείται καθίζηση των πλεοναζόντων στερεών υλικών τα οποία με την μορφή πυκνής λάσπης μεταφέρονται με την βοήθεια αντλιών λάσπης σε υπαίθριες αποθέσεις περίπου 400 μέτρα μακριά από το συγκρότημα και το καθαρό νερό υπερχειλίζει τη δεξαμενή του πυκνωτή, φιλτράρεται στη συνέχεια για την αφαίρεση των υπόλοιπων αιωρούμενων ανεπιθύμητων προσμίξεων και σειρά έχει η μεταφορά του στη δεξαμενή όπου το νερό επανακυκλοφορεί από τη θέση αυτή με την απαιτούμενη, επιθυμητή καθαρότητα και ποσότητα πίσω στο συγκρότημα πλύσεως.



Εικόνα 3.8: Συγκρότημα πλύσεως & Μονάδα πυκνωτή λάσπης. Πηγή: <https://www.cdglobal.com/applications/application-categories/sand-aggregates>

Οι πρόσφατες εξελίξεις στη διαχείριση του νερού και των στερεών αποβλήτων είναι η πρέσα με ενσωματωμένο φίλτρο με μήκος περίπου τα 16 m και τοποθετείται αμέσως μετά τον πυκνωτή λάσπης. Λειτουργεί σε πίεση 15 bar και είναι σε θέση να διαχειρίζεται έως και 30 τόνους/ώρα στερεών αποβλήτων ανάλογα με την πολυπλοκότητα, με την βοήθεια φίλτρου, τα απόβλητα αυτά μετατρέπονται σε πίτες μικρού όγκου για εύκολη μεταφορά του προϊόντος. Το ποσοστό περιεχομένων στερεών στη "πίτα" είναι του μεγέθους 90%.

Η λειτουργία της μονάδας είναι αυτόματη και ηλεκτρονικά ελεγχόμενη, όπου τα αδρανή υλικά και τα ανεπιθύμητα σωματίδια περνούν απευθείας από το κόσκινο σε ένα πλυντήριο το οποίο έχει διπλό άξονα μήκους 8 m με πτερύγια μεγάλης

διαμέτρου, 1,5 m. Η ταχύτητα περιστροφής του περιστρεφόμενου άξονα είναι ρυθμιζόμενη ώστε να ταιριάζει στα διαφορετικά χαρακτηριστικά κάθε υλικού, ειδικότερα ελαφροί ρύποι όπως σκουριά, πλαστικά και οργανικά υλικά, ξύλο και γρασίδι αιωρούνται και μετακινούνται στο κόσκινο απομάκρυνσης απορριμμάτων, ανανεώνοντας έτσι το νερό και τα λεπτόκοκκα υλικά στη μονάδα πλύσης άμμου. Διάφορα υπολείμματα από την τριβή μεταφέρονται στο πλέγμα αποστράγγισης. Τα λεπτόκοκκα υλικά που μεταφέρονται μαζί με το νερό κατευθύνονται σε ένα φρεάτιο με την βοήθεια υποβρύχιων αντλιών συλλέγοντας επιπλέον νερά αποπλύσεως και υπόγεια νερά με στόχο την άντληση από το κόσκινο καταιονισμού.

Τα πλυμένα και στραγγισμένα αδρανή μεγαλύτερα από 5mm μεταφέρονται από το κόσκινο αποστράγγισης σε ένα διπλό κόσκινο για την τελική ταξινόμηση κόκκων. Η διαδικασία παράγει πέντε εμπορεύσιμα προϊόντα: άμμος μικρότερη των 5 mm, 5-10 mm, 10-20 mm, 20-40 mm και 40-100 mm, τα οποία πληρούν όλα τα πρότυπα παραγωγής σκυροδέματος. Ακόμη και τα συμπιεσμένα προϊόντα από την πρέσα από συμπαγή λάσπη και άργιλο, θεωρούνται εμπορεύσιμα προϊόντα ως αργιλικό επίχρισμα για την επάλειψη καναλιών αποχετεύσεων και υδρορροών.

Η εφαρμογή νέων εγκαταστάσεων και σύγχρονων τεχνικών πλύσης εμφανίζει πως η παροχή νερού και η διαχείριση των λεπτόκοκκων υλικών δεν αποτελούν πλέον σοβαρά εμπόδια στην αποτελεσματική παραγωγή υλικών κατάλληλα για εμπόριο από αυτά που παλαιότερα ονομάζονταν σκουπίδια και απόβλητα.

3.5 Ανακυκλώσιμα υλικά και χρήση στις κατασκευές

3.5.1 Απόβλητα από εκσκαφές κατεδαφίσεις και κατασκευές

Τα οικοδομικά απόβλητα (C&D Waste) περιλαμβάνουν τρία υποσυστατικά, τα οικοδομικά απόβλητα, τα απόβλητα κατεδάφισης και απόβλητα εκσκαφών. Είναι απόβλητα προερχόμενα από κατασκευές κτιρίων ή δημοσίων έργων, ολική ή μερική κατεδάφιση και συντήρηση των οδών. Σε συγκεκριμένες χώρες όπως για παράδειγμα στην Ελλάδα τα υλικά από ανασκαφές θεωρείται απόβλητο κατασκευών και κατεδαφίσεων και είναι απόρροια πολλών διαφορετικών δομικών υλικών όπως σκυρόδεμα, τούβλα, κεραμικά, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, διαλυτικά και χωμάτων εκσκαφής. Τα παραγόμενα αυτά απόβλητα, ΑΕΚΚ, στην Ευρωπαϊκή Ένωση αποτελούν περίπου το 20% - 30% του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων ενώ στην Ελλάδα έπειτα από επεξεργασία ανακυκλώνεται λιγότερο από 10% του συνόλου.

Τα ΑΕΚΚ προκύπτουν από διαφορετικούς χώρους προέλευσης όπως φαίνεται στον επερχόμενο πίνακα:

| | |
|--|---|
| Κατεδάφιση και Εκκαθάριση Οικοπέδων. | Οικόπεδα με κτίρια ή υποδομές προς κατεδάφιση, όπου καμία νέα κατασκευή δεν είναι προγραμματισμένη βραχυπρόθεσμα. |
| Κατεδάφιση, Εκκαθάριση και Οικοδόμηση Οικοπέδων. | Κατασκευές προς κατεδάφιση με στόχο ανέγερση μιας νέας κατασκευής. |
| Ανεκμετάλλευτες περιοχές όπου πρόκειται να ανεγερθούν νέες κατασκευές. | Χώροι ή Κτήρια όπου η εσωτερική διαρρύθμιση πρέπει να αφαιρεθεί και να αντικατασταθεί. |
| Αναξιοποίητες Ζώνες Πρασίνου. | Ανεκμετάλλευτες περιοχές όπου επρόκειτο να ανεγερθούν νέες κατασκευές. |
| Κατασκευές & Επισκευές Οδικού Δικτύου. | Τοποθεσίες κατασκευής νέων δρόμων με βάση από φυσικό έδαφος ή από μπάζα. |

Πίνακας 3.1: Προελεύσεις ΑΕΚΚ. Πηγή: Europa, Environmental Waste Studies

Τα συγκεκριμένα υλικά ειδικότερα έπεται από τις κατεδαφίσεις παρουσιάζουν ένα ποσοστό επικίνδυνων αποβλήτων και είναι αναγκαία η απομάκρυνση τους από τα υπόλοιπα υλικά.

| Ουσία | Χρήση |
|----------------------|---------------------------|
| Αμίαντος | Εξυγίανση παλαιών κτιρίων |
| Βενζόλιο | Βενζίνη |
| Πριονίδια ξύλου | Ξυλουργικές εργασίες |
| Νικέλιο | Ηλεκτροσυγκολλήσεις |
| Χρωμικός ψευδάργυρος | Αφαίρεση αντισκωρικών |
| Διχλωρομεθάνιο | Διαλύτης |
| Φορμαλδεύδη | Απολύμανση & καθαρισμός |
| Σύνθετες ίνες | Μονώσεις |

Πίνακας 3.2: επικίνδυνες ουσίες. Πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ 2000

Είδη αποβλήτων:

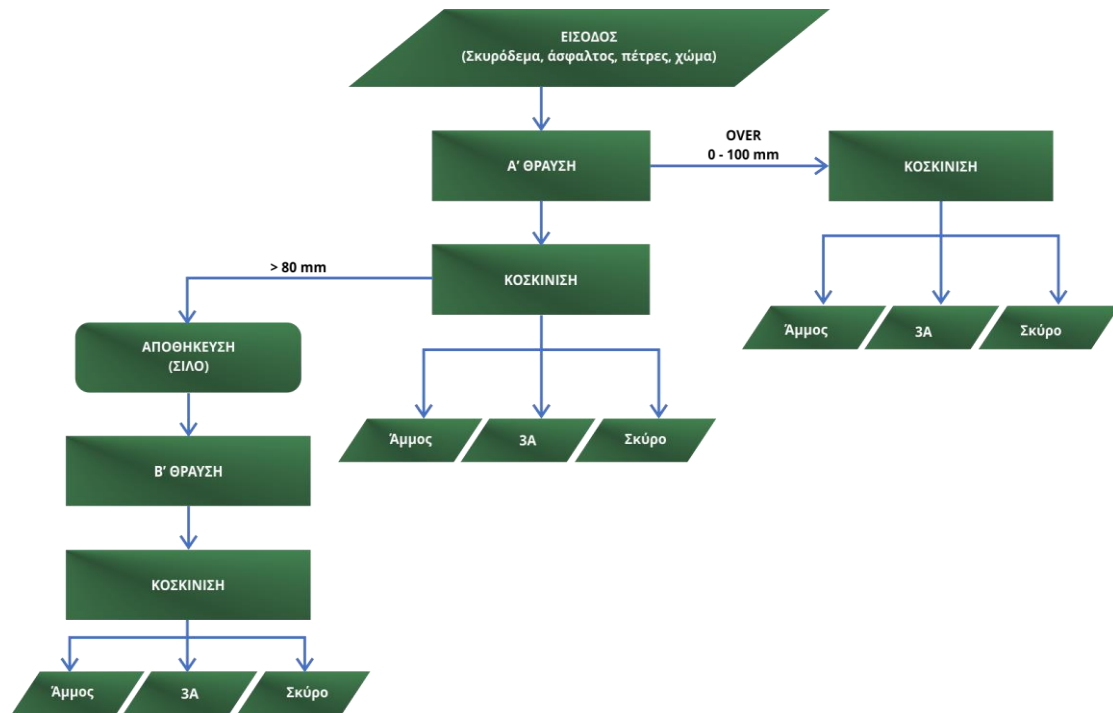
Απόβλητα από εκσκαφές, ισοπεδώσεις και θεμελιώσεις: Αυτά τα υλικά μπορεί να είναι χώμα εκσκαφής, άμμος, χαλίκι, πέτρα και οποιοδήποτε άλλο υλικό που μπορεί να προκύψει από τις εκσκαφές. Άχρηστο εκσκαφικό υλικό υπάρχει σε όλες σχεδόν τις οικοδομικές δραστηριότητες, ιδιαίτερα σε υπόγειες κατασκευές και γεωτεχνικά έργα. Τα υλικά αυτά μπορεί να προέρχονται και από φυσικά φαινόμενα όπως ξαφνικές πλημμύρες και κατολισθήσεις. Σημαντικό είναι πως η σύνθεση του εξορυχθέντος υλικού εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα γεωλογικά δεδομένα.

Απόβλητα οδοποιίας και συντήρησης δρόμων: Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι η ίδια η άσφαλτος και οποιαδήποτε άλλα υλικά οδοποιίας, μείγματα ορυκτής πίσσας, προϊόντα λιθανθρακόπισσας και πίσσας, υλικά θεμελίωσης και βάσεων όπως χαλίκι, άμμος και υλικά που προκύπτουν από την αποξήλωση και ανακαίνιση οδών. Αυτά τα απόβλητα οδοποιίας προέρχονται από την τη συντήρηση των δρόμων και από τις υπόγειες υδραυλικές και ηλεκτρικές εγκαταστάσεις πόλεων καθώς και από έργα επιδιόρθωσης.

Απόβλητα κατεδαφίσεων: Τα υλικά αυτά μπορεί να είναι χώμα, χαλίκι, στοιχεία από μπετόν, τούβλα, πλάκες επιστρώσεως, γύψος, άμμος, λαξευμένες πέτρες, κομμάτια ειδών υγιεινής. Τα υλικά προερχόμενα από κατεδαφίσεις χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και είναι αποτέλεσμα ολικής ή μερικής κατεδάφισης της εκάστοτε κατασκευής.

Απόβλητα από κατασκευές: Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι ξύλο, πλαστικό, χαρτί, γυαλί, μέταλλα, καλώδια, χρώματα, στοιχεία επικαλύψεων προσόψεων, κόλλες και γενικά όλα τα υλικά με προέλευση τις κατασκευές, τις κατεδαφίσεις, τις επισκευές, οπλισμούς και ανακαινίσεις. Πρέπει να σημειωθεί πως μεγάλες ποσότητες απορριμμάτων στα εργοτάξια αποτελούν τα υλικά συσκευασίας οικοδομικών υλικών.

Κατά την απόρριψη σκυροδέματος από ΑΚΚ σε χώρο υγειονομικής ταφής, η πιο σημαντική αρνητική περιβαλλοντική επίπτωση είναι η κατανάλωση χώρου αδρανών απορριμμάτων. Αυτή η μέθοδος είναι ήδη απαγορευμένη σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες με στόχο την επίτευξη 100% επαναχρησιμοποίησης ή ανακύκλωσης αυτών των αδρανών απορριμμάτων. Επιπλέον, η άμεση επαναχρησιμοποίηση δεν παράγεται εκ νέου σκυρόδεμα και συνεπώς μειώνονται οι ανάλογες επιπτώσεις της παραγωγής τσιμέντου που είναι ενεργειακά απαιτητικές (0,735MJ/kg), καθώς και την αποφυγή απελευθέρωσης βλαβερών αερίων και ουσιών κατά τη παραγωγή τσιμέντου όπως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), υποξειδίου του αζώτου (NO_X), διοξειδίου του Θείου (SO₂), μικρές ποσότητες χλωριούχων και φθοριούχων ουσιών, μονοξειδίου του άνθρακα (CO), βαρέα μέταλλα και σκόνη.



Διάγραμμα 3.1: Ροή Διαχείρισης ΑΕΚΚ. Πηγή:

<https://anakem.gr/%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7-%cf%83%cf%84%ce%b5%cf%81%ce%b5%cf%8e%ce%bd-%ce%b1%cf%80%ce%bf%ce%b2%ce%bb%ce%ae%cf%84%cf%89%ce%bd-%ce%b1%ce%b5%ce%ba%ce%ba/%cf%80%cf%81%ce%bf%cf%8a%cf%8c%ce%bd%cf%84%ce%b1/>

Όσο αφορά την ανακύκλωση των υλικών, το σκυρόδεμα από ΑΕΚΚ μπορεί να υποστεί εκ νέου επεξεργασία σε χονδρόκοκκα ή λεπτόκοκκα αδρανή. Το πρώτο βήμα πριν τη θραύση είναι η πλύση του εκάστοτε σκυροδέματος από υπολείμματα άλλων υλικών όπως η μόνωση και ο χαλύβδινος οπλισμός. Αυτά τα υλικά σκυροδέματος μπορούν να ταξινομηθούν επιτόπου από κινητούς θραυστήρες ή ειδικές εγκαταστάσεις. Οι μηχανισμοί μπορεί να περιλαμβάνουν λεπίδες αέρα για την αφαίρεση ελαφρύτερων υλικών όπως το ξύλο ή πλαστικό όπως και οι μαγνήτες με την σειρά τους μπορούν να αφαιρέσουν στοιχεία από και εν συνεχεία να ανακυκλωθούν.

Ειδικότερα, προϊόντα που προκύπτουν από την ανάκτηση υλικών και την ανακύκλωση ΑΕΚΚ είναι:

- Υλικό Οδοστρωσίας 3Α
- Σκύρα
- Χαλίκι
- Γαρμπίλι
- Άμμος
- Καθαρό χώμα
- Χώμα επιχώσεων
- Κεραμικά υλικά επιχώσεων

Έπειτα από διαλογή και συγκεκριμένη επεξεργασία, τα γνωστά ως αδρανή υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε:

- Οδικά έργα
- Επιχωματώσεις
- Κατασκευή χώρων στάθμευσης
- Κατασκευή περιβάλλοντος χώρου
- Θεμέλια κτιρίων
- Σύσταση νέου σκυροδέματος

3.5.2 Ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά

Τα ίδια τα αδρανή μπορούν να ανακυκλωθούν ως αδρανή υλικά και σε αντίθεση με την άμμο και το χαλίκι η πέτρα είναι πιο κατάλληλη για σύνθλιψη. Τα αποθέματα ανακυκλώσιμων υλικών τείνουν να συσσωρεύονται κοντά σε αστικές περιοχές και η παραγωγή τους ούτε αυξάνει ούτε μειώνει την ζήτηση για αδρανή υλικά. Η παροχή ανακυκλωμένου υλικού εξαρτάται από την φυσική φθορά της κατασκευής και την κατεδάφισή τους.

Τα ανακυκλωμένα υλικά είναι σύνηθες να παρουσιάζουν διαφορές στις ιδιότητες και τη ποιότητα όπου σύμφωνα με το USGS το 2005 2,9 εκατομμύρια τόνοι σκυρόδεμα από τσιμέντο Portland αξίας 21,9 εκατομμυρίων δολαρίων περίπου ανακυκλώθηκαν και 1,6 εκατομμύρια τόνοι ασφαλτικού σκυροδέματος αξίας 11,8 εκατομμυρίων δολαρίων ανακυκλώθηκαν από θρυμματισμένες πέτρες. Για την άμμο και το χαλίκι η έρευνα USGS το 2005 έδειξε ότι 4,6 εκατομμύρια τόνοι σκυροδέματος ανακυκλώθηκαν, αξίας 31,0 εκατομμυρίων δολαρίων, καθώς και 6,16 εκατομμύρια τόνοι του ασφαλτομίγματος που μεταφράζεται σε 45,1 εκατομμύρια δολάρια ανακυκλώθηκαν. Μεγάλες αριθμός γεωσυνθετικών υλικών παράγονται από ανακυκλωμένα υλικά, επίσης ανακυκλώσιμα πλαστικά επαναχρησιμοποιούνται για την παραγωγή αδρανών υλικών όπως είναι το πολυστυρένιο που προορίζεται για χώρους υγειονομικής ταφής, ΧΥΤΑ. Τέτοια γεωσυνθετικά μεγέθη με τη χρήση των νέων αδρανών υλικών πραγματοποιούν αύξηση του πορώδους και της υδραυλικής αγωγιμότητας με ταυτόχρονη εξάλειψη της λεπτής σκόνης είναι κατάλληλα για χρήση σε έργα αποστράγγισης.

3.5.3 Ανακύκλωση της ασφάλτου

Τα υλικά των οδοστρωμάτων όταν έχουν φθορές και βλάβες δεν πρέπει να θεωρούνται άχρηστα και προς απόρριψη αντιθέτως πρόκειται για χρήσιμα υλικά τόσο για τη συνδετική ασφάλτο όσο και το οικονομικό σκέλος. Αξίζει να σημειωθεί ότι πάνω από 100 εκατομμύρια τόνοι ασφάλτου ανακτώνται κάθε χρόνο και περίπου το 80% εξ αυτών, μέσω της τεχνολογία συντήρησης των οδοστρωμάτων, ανακυκλώνονται ενώ το υπόλοιπο 20% τοποθετείται σε χώρους υγειονομικής ταφής. Τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος από την θραύση οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα και κατασκευών μεγάλου όγκου μπορεί να αποδειχθούν μια οικονομική πηγή αδρανών εκεί όπου τα καλής ποιότητας αδρανή είναι δυσεύρετα και το κόστος απόρριψης των υλικών κατεδαφίσεων από σκυρόδεμα είναι υψηλό.

Όσο αφορά το κομμάτι της οδοποιίας υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί και προϋποθέσεις ώστε ένα παραπροϊόν να έχει τη δυνατότητα να εφαρμοσθεί σε κατασκευές οδικών έργων.

- Ο ρυθμός παραγωγής των παραπροϊόντων πρέπει να είναι τουλάχιστον 50.000 τόνοι ανά έτος για να εξασφαλιστεί ποσότητα για ευρείας κλίμακας τεχνικής εφαρμογής.
- Οι αποστάσεις μεταφοράς να παραμένουν μικρές, για να παραμένει το κόστος χαμηλό.
- Το προϊόν προς χρήση να μην είναι υπερβολικά τοξικό και να υπόκειται στις εκάστοτε επεξεργασίες ανάλογα την περίπτωση.
- Το παραπροϊόν να μην παρουσιάζει υψηλή διαλυτότητα στο νερό ώστε να μειωθεί η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδροφορών.



Εικόνα 3.9: Επί τόπου ανακύκλωση οδοστρώματος από Σκυρόδεμα. Πηγή: «Ψυχρή Επιτόπου Ανακύκλωση Οδοστρωμάτων με Τσιμέντο» INTERBETON.

3.5.4 Ανακυκλώσιμα υλικά από οικιακά απορρίμματα

Γυαλί.

Το γυαλί είναι ένα από τα πιο γνωστά υλικά και προέρχεται από απορρίμματα και οικιακά σκουπίδια όπως τηλεοράσεις, λαμπτήρες, υπολογιστές και ολόκληρα παράθυρα. Έχει διερευνηθεί η δυνατότητα χρήσης ανακυκλωμένου γυαλιού ως υλικό σκυροδέματος και σκοπός της έρευνας είναι η χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού σε διάφορα προϊόντα σκυροδέματος. Ένας πιο συγκεκριμένος στόχος είναι η εξέλιξη των θραυσμάτων γυαλιού σε αδρανή, μειώνοντας έτσι την κατανάλωση τσιμέντου Portland. Ένα υλικό το οποίο παρουσιάζει ικανοποιητικές ιδιότητες ως αδρανή στο σκυρόδεμα είναι το Αφρώδες Αδρανές Γυαλιού ΑΓΓ διαφορετικά ονομάζεται Foam Glass Gravel FGG. Το υλικό ως αδρανές χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο σε εφαρμογές σκυροδέματος αλλά και για διάφορες άλλες κατασκευές. Η αναγνώριση του κυτταρικού γυαλιού ως καινοτόμου μονωτικού και οικοδομικού υλικού ξεκίνησε

το 1932 και χρησιμοποιείται σε πολλές χώρες της Ευρώπης της Αμερικής και της Ασίας.

Η διαδικασία παραγωγής αφρώδους αδρανούς ονομάζεται και διαδικασία συμπύκνωσης όπου ξεκινάει με τον θρυμματισμό σε μορφή σκόνης και την απαλλαγή από επικίνδυνα στοιχεία όπως μέταλλα και υδράργυρο. Έπειτα περνάει από υψηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 900C° για 30 λεπτά και ξανά στους 950C° για ακόμη 30 λεπτά και με την προσθήκη ειδικών πρόσθετων κυρίως SiC (2-5%) ή (CaCO₃, Ash), δημιουργείται απελευθέρωση του αέρα από την αποσύνθεση του πρόσθετου και η σκόνη διογκώνεται με τον αέρα να εγκλωβίζεται δημιουργώντας το πορώδες υλικό. Με την γρήγορη ψύξη του υλικού σπάει εύκολα σε κομμάτια διαφόρων μεγεθών και με αργή ψύξη παράγονται τα πάνελ με εξαιρετικές φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες. Τα συγκεκριμένα αδρανή λόγω της χαμηλής πυκνότητας ειδικού βάρους, περίπου 350-400 kg/m³ και ελάχιστης απορρόφησης νερού λόγω κλειστής κυτταρικής δομής δεν επιτρέπουν την συγκράτηση νερού και έχουν μικρή θερμική αγωγιμότητα (δηλ. ο αέρας που βρίσκεται στους πόρους εμποδίζει την μετάδοση θερμότητας) λτ=0,050-0,060 W/mK, είναι μη καυστικό, ανθεκτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες και στην χημική διάβρωση.



ρινίσματα γυαλιού από τη βιομηχανία



μπουκάλια προς ανακύκλωση

Εικόνα 3.10: Ανακυκλωμένο γυαλί. Πηγή: Το γυαλί Δημήτρης Αντωνίου, Αρχιτέκτων ΕΜΠ.

Αξίζει να σημειωθεί πως το ανακυκλωμένο γυαλί έχει, κατά την συμπίεση των κόκκων καλή θλιπτική αντοχή, πολύ καλή συνδεδετική ικανότητα είναι αβλαβές προς το περιβάλλον, άοσμο, ανακυκλώσιμο και παρέχει ευκολία στον τρόπο επεξεργασίας και εργασιμότητας με αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος παρασκευής και το κόστος της κατασκευής. Βρίσκει χρήση στον τομέα των κατασκευών και των έργων υποδομών, μονώσεις ολόκληρων κτιρίων, δαπέδων, θεμελίωση κτιρίων, κατασκευή γεφυρών και οδοποιίας.

Πλαστικά δοχεία για μικρές αρχιτεκτονικές φόρμες.

Φυσικά, τα πλαστικά δοχεία είναι οικιακά απορρίμματα και όχι βιομηχανικά. Υπάρχουν και βιομηχανικά πλαστικά απόβλητα από τα μεγάλα συσκευαστήρια και εργοστάσια παιχνιδιών. Τα συγκεκριμένα απόβλητα έχουν την ευελιξία να υποστούν αποτελεσματική επεξεργασία σε υλικά φινιρίσματος και υλικά για τη δημιουργία μικρών νέων αρχιτεκτονικών μορφών. Αρχικά απαιτείται ένας εξωθητήρας για την

ανακύκλωση πλαστικών απορριμμάτων όπου συνθλίβονται και στη συνέχεια αλέθονται δημιουργώντας μια μάζα που λιώνει και τέλος χύνεται σε καλούπια υπό πίεση. Με τη συγκεκριμένη διαδικασία κατασκευάζονται έπιπλα (για σπίτια, εστίαση) όπως καρέκλες και τραπέζια, κάδοι απορριμμάτων, τσουλήθρες και ό,τι βρίσκεται σε πλαστική μορφή σε μια παιδική χαρά, φράχτες και πληθώρα άλλων.

3.5.5 Ανακυκλώσιμα υλικά από τη βιομηχανία

Καταγράφηκε πως ο μεγαλύτερος όγκος των ανακυκλωμένων υλικών προερχόμενα από βιομηχανικές μεθόδους χρησιμεύουν ως αδρανή υλικά κατασκευής. Τα πιο σημαντικά και διαδεδομένα είναι η υψικάμιнос, ο χάλυβας και η σκωρία υψικάμινου. Με βάση το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Ηνωμένων Πολιτειών (USGS), η αερόψυκτος σκωρία υψικάμινου που χρησιμοποιήθηκε τα έτη 2006-2007 ήταν 7,3 τόνους το οποίο μεταφράζεται σε 50 εκατομμύρια δολάρια κι οι χρήσεις ήταν οι βάσεις οδικών δικτύων και των επιφανειών αυτών σε ποσοστό 40%, το ασφαλτικό σκυρόδεμα 14%, το έτοιμο σκυρόδεμα 16% και για άλλες χρήσεις μικρότερης σημαντικότητας. Ενώ όσο αφορά την σκωρία σε κόκκους η ποσότητα ήταν 4,2 εκατομμύρια τόνοι αξίας περίπου 320 εκατομμύρια δολάρια όπου γινόταν χρήση σε υλικά από τσιμέντο σε ποσοστό 94% και ένα 6% σε λοιπές χρήσεις.

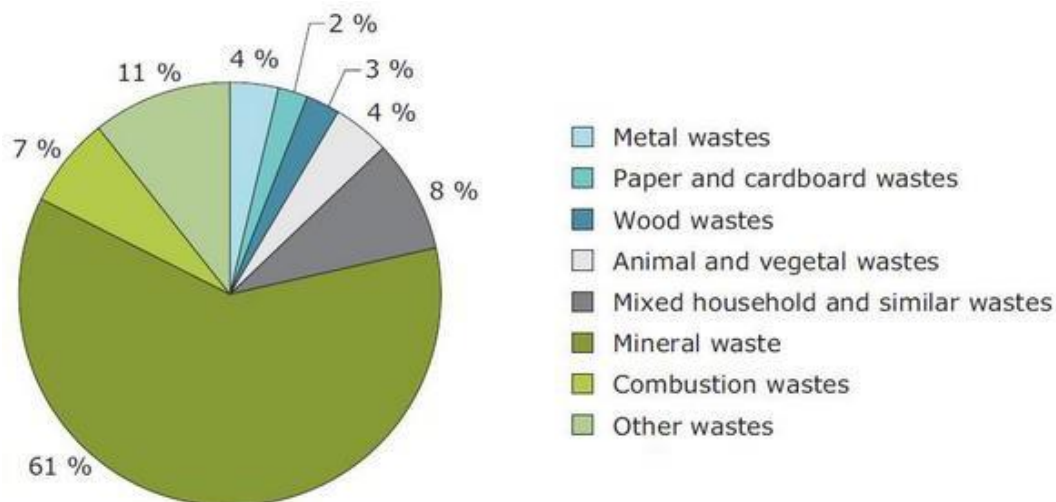
3.5.6 Ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα ως αδρανές υλικό

Ένα από βασικότερα συστατικά των αποβλήτων κατασκευής και κατεδάφισης είναι τα ίδια τα υπολείμματα σκυροδέματος τα οποία τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση των φυσικών αδρανών υλικών στο σκυρόδεμα, έπειτα από έρευνα και κατάλληλη επεξεργασία. Τα αδρανή ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι τα τσιμεντένια χαλάσματα που προέρχονται από κατεδάφιση κτιρίων και περιλαμβάνουν σπασμένα πήλινα τούβλα τα οποία είτε χρησιμοποιούνται σαν δομικά στοιχεία είτε σαν διακοσμητικά στοιχεία και λόγω της δυσκολίας του διαχωρισμού των υλικών αυτών από οικονομικής άποψης χρησιμοποιούνται μαζί.

Σε πρώτο στάδιο για να γίνει η χρήση σαν αδρανή υλικά, πρέπει να πραγματοποιηθεί η θραύση και το κοσκίνισμα των χαλασμάτων του τσιμέντου έτσι ώστε να προσομοιάζουν τα λεπτόκοκκα και τα χονδρόκοκκα αδρανή. Τα αδρανή από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα είναι κατώτερα από τα φυσικά αδρανή λόγω της μη ομοιόμορφης αρχικής μάζας του σκυροδέματος και της εμφάνισης ρωγμών, επομένως τα υλικά αυτά αποκλείονται από τη χρήση σε υποστρώματα δρόμων και αεροδρομίων. Παρατηρήθηκε ότι η μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ τσιμεντένιων χαλασμάτων και φυσικών αδρανών είναι η υδατοαπορροφητικότητα, ενώ των λεπτόκοκκων αδρανών είναι σημαντικά μεγαλύτερη.

Σε δοκιμή που πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια σκυροδέματος όπου τα αδρανή είχαν αντικατασταθεί σε ποσοστό έως και 100% από αδρανή ανακυκλωμένου σκυροδέματος καταγράφηκε μικρή μείωση της πυκνότητας και μεγάλη διαφορά στην απορρόφηση του νερού. Συγκεκριμένα, παρουσιάστηκε ότι το σκυρόδεμα που περιέχει ανακυκλωμένα αδρανή απαιτεί σχεδόν 5% περισσότερο νερό σε σύγκριση με

το συμβατικό σκυρόδεμα για να δημιουργηθεί πλάκα ίδιου πάχους και η πλαστιμότητα του σκυροδέματος με σταθερό νερό βρέθηκε ότι είναι χαμηλότερη ιδιαίτερα όταν οι ανακυκλώσεις είναι πάνω από το 50%. Αξίζει να αναφερθεί πως με βάση μελέτες η αντοχή συμπίεσης του ανακυκλωμένου σκυροδέματος μειώνεται όσο αυξάνεται το ποσοστό των ανακυκλωμένων υλικών από την άλλη μεριά, μέχρι ένα συγκεκριμένο ποσοστό η αντοχή συμπίεσης δεν επηρεάζεται σημαντικά το οποίο μπορεί να εξηγηθεί από την παρουσία του ανακυκλωμένου τσιμέντου, λένε οι ερευνητές. Επιπλέον, η μέγιστη αντοχή του σκυροδέματος βρέθηκε να μην επηρεάζεται από προσθήκες ανακυκλωμένων υλικών έως και 30%.



Διάγραμμα 3.2: Σύγκριση ποσοστού αποβλήτων σκυροδέματος με διάφορα είδη αποβλήτων. Πηγή: ΕΕΑ, 2012.

ΕΝΟΤΗΤΑ Δ

4.1 Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα ελαστικά οχημάτων

Ως ανακυκλωμένα ελαστικά οχημάτων ορίζονται τα ελαστικά τα οποία έχει ολοκληρωθεί ο χρόνος ζωής τους και δεν είναι κατάλληλα πλέον για να χρησιμοποιηθούν σε οχήματα, συμπεριλαμβάνονται τα ελαστικά από όλους τους τύπους οχημάτων όπως επιβατικά αυτοκίνητα, φορτηγά, μηχανήματα έργων, δίκυκλα, τρίκυκλα ακόμη και μοτοποδήλατα.

Τα ελαστικά μετά το πέρας της χρήσης τους μετατρέπονται σε εστίες μόλυνσης για το περιβάλλον και κατά συνέπεια για τον ανθρώπινο οργανισμό και αυτό συμβαίνει διότι δεν αποσυντίθεται εύκολα και με την πάροδο του χρόνου και την ανεξέλεγκτη τοποθέτησή τους σε πολλά διαφορετικά σημεία απελευθερώνονται βλαβερές ουσίες όπως πολυαρωματικοί υδρογονάνθρακες, βενζόλιο και φαινόλες, ειδικότερα έπειτα από την διαδικασία της καύσης είναι εντονότερες αυτές οι ουσίες οι οποίες έχουν καρκινογόνες ιδιότητες.



Εικόνα 4.1: Ανακύκλωση παλιών ελαστικών. Πηγή: <https://gr.depositphotos.com/44510089/stock-photo-tire-recycling-industry.html>

4.1.2 Κατηγορίες ελαστικών οχημάτων

- Ελαστικά μοτοσικλετών, μοτοποδήλατων, ποδηλάτων
- Ελαστικά επιβατικών οχημάτων
- Ελαστικά ημιφορτηγών-φορτηγών
- Ελαστικά αγροτικών οχημάτων
- Ελαστικά βιομηχανικών και χωματουργικών οχημάτων

Τα ελαστικά έχουν συγκεκριμένο κύκλο ζωής αναλόγως την εκάστοτε κατηγορία και πραγματοποιείται ταξινόμηση βασισμένη στον Ευρωπαϊκό κατάλογο αποβλήτων

στην κατηγορία με τα οχήματα. Για τα επιβατικά αυτοκίνητα ο κύκλος ζωής είναι από 35.000-40.000 km, για τα ημιφορτηγά είναι 60.000-70.000 km και για τα φορτηγά είναι μεταξύ 180.000-200.000 km.

4.1.3 Σύσταση αποβλήτων

Τα ελαστικά οχημάτων κατασκευάζονται από φυσικό και συνθετικό καουτσούκ, όπου το μείγμα μπορεί να περιλαμβάνει και 30 διαφορετικά είδη καουτσούκ, υλικών πλήρωσης και άλλων συστατικών επίσης χρησιμοποιείται επίστρωση από χαλύβδινες ζώνες για την αύξηση της αντοχής. Εμπεριέχονται πρόσθετες ουσίες και συστατικά όπως υφασμάτινα στοιχεία, λινά, οξείδιο ψευδαργύρου, θείο και άλλες οργανικές ουσίες.

| <i>Υλικό</i> | <i>Επιβατικά</i> | <i>Φορτηγά</i> |
|---------------------------------|------------------|----------------|
| Φυσικό ή συνθετικό Καουτσούκ | 47% | 45% |
| Άνθρακας | 21,5% | 22% |
| Μέταλλα | 16,5% | 25% |
| Υφάσματα | 5,5% | - |
| Οξείδιο ψευδαργύρου | 1% | 2% |
| Θείο | 1% | 1% |
| Πρόσθετα | 7,5% | 5% |

Πίνακας 4.1: Σύσταση ελαστικών αποβλήτων. Πηγή: <https://www.ecoelastika.gr/>

4.1.4 Διαχείριση ελαστικών

Στη διαδικασία της διαχείρισης των ελαστικών το πρώτο στάδιο είναι η συλλογή μεταχειρισμένων ελαστικών από συγκεκριμένα σημεία όπως είναι τα βουλκανιζατέρ, οι μονάδες τεμαχισμού και τα συνεργεία. Οι πιο σημαντικές μέθοδοι διαχείρισης μεταχειρισμένων ελαστικών είναι η παραγωγή τρίμματος μέσω της μηχανικής κοκκοποίησης και η ενεργειακή αξιοποίηση μέσω της διαδικασίας της αποτέφρωσης σε τσιμεντοβιομηχανίες με τελικό στόχο τη διάθεση τους στο εμπόριο.

Για να ξεκινήσει η διαδικασία της ανακύκλωσης των ελαστικών πρώτα πραγματοποιείται ο τεμαχισμός του και αυτό εξυπηρετεί την απελευθέρωση των ατσαλοσυρμάτων και των ινών και την επεξεργασία του ελαστικού κλάσματος γνωστό ως καουτσούκ ώστε να δημιουργηθούν μεγέθη κόκκων αποδεκτά για το εμπόριο. Για την κοκκοποίηση των παλαιών ελαστικών υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι: η μηχανική κοκκοποίηση και η κρυογενής κοκκοποίηση.

Μηχανική κοκκοποίηση είναι η διαδικασία που πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και αποτελείται από τρία στάδια. **α)** Αρχικά είναι ο τεμαχισμός (Shredding) με τα υλικά σε αυτό το στάδιο να βρίσκουν χρήση σε μονώσεις και υλικά

πλήρωσης κενών, **β**) το επόμενο στάδιο είναι η κοκκοποίηση (Granulating) όπου διαχωρίζονται τα ατσαλοσύρματα με την βοήθεια ειδικών μαγνητών, κοσκίνων και αεροδιαχωριστή και τέλος **γ**) η άλεση (Cutting mill) με παραγόμενα υλικά σε αυτά τα στάδια τα αθλητικά δάπεδα, στρώματα, υλικά για στέγες, υλικά οδοποιίας και ασφαλτοστρώσεων, σε κατασκευές φραγμάτων ποταμών.

Κρυογενής κοκκοποίηση είναι η διαδικασία όπου τα ελαστικά ψύχονται σε θερμοκρασίες μικρότερες των $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ όπου το ελαστικό υαλοποιείται και επεξεργάζεται ευκολότερα, η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου γίνεται σε περιπτώσεις όπου ζητούνται κόκκοι ελαστικού μικρότεροι των 0.6mm. Προϊόντα μέσω της κρυογενής κοκκοποίησης, είναι σόλες παπουτσιών, μέρη αυτοκινήτου, αθλητικός εξοπλισμός, πλακάκια, δάπεδα παιδότοπων και αρκετά ακόμη.

4.1.5 Σκυρόδεμα με προσθήκη ανακυκλωμένου ελαστικού

Το σκυρόδεμα που δημιουργείται ονομάζεται rubber concrete και πραγματοποιούνται συνεχώς έρευνες και εξετάζονται πρακτικές εφαρμογές. Αρχικά γίνεται η χρήση των συγκεκριμένων μιγμάτων σκυροδέματος σε δάπεδα αθλοπαιδιών. Έγιναν μετρήσεις σε δάπεδα με συμβατικό σκυρόδεμα και σε σκυρόδεμα με ανακυκλωμένο ελαστικό και παρασκευάστηκαν μείγματα για την μελέτη αυτή, κατηγορίας C16/20 όπου έγινε η καταγραφή της κατακόρυφης αντίδρασης σε διάφορα είδη αλμάτων αλλά επίσης των μηχανικών αντοχών, δηλαδή θλίψης, κάμψης, διάρρηξης, δυναμικού και στατικού μέτρου ελαστικότητας. Έπειτα έγινε αντικατάσταση της άμμου, 30 και 60% κατά όγκο, με ανακυκλωμένο ελαστικό αυτοκινήτων κοκκομετρίας 0-4mm και πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις των μεγεθών συγκρίνοντας τις συμβατικές αναλογίες υλικών.

Παρασκευάστηκαν τέσσερις σειρές μιγμάτων σκυροδέματος με την χρήση ανακυκλωμένου ελαστικού:

Αναλογίες της 1^{ης} σύνθεσης σκυροδέματος

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Τσιμέντο CEM IV/B 32.5 | 325,0 Kg |
| Νερό (N/T=0,60) | 195,0 Kg |
| Άμμος (33%) | 598,5 Kg |
| Ρύζι (27%) | 489,7 Kg |
| Γαρμπίλι (40%) | 725,5 Kg |
| Ρευστοποιητής 1% κ.β. τσιμ. | 3,25 Kg |
| Νέος λόγος N/T=0,55 | 178,7 Kgr |
| Κάθιση | 4,0 cm |
| Φαιν. ειδ. βάρος νωπού σκυρ/τος | 2,3 t/m ³ |

Πίνακας 4.2: Πρώτη σύνθεση - 33% άμμο (0- 4mm), 27% ρύζι και 40% γαρμπίλι, CEM IV/B 32.5.

Αναλογίες της 2^{ης} σύνθεσης σκυροδέματος

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Τσιμέντο CEM IV/B 32.5 | 325,0 Kg |
| Νερό (N/T=0,60) | 195,0 Kg |
| Άμμος (50%) | 634,8 Kg |
| Ρύζι (50%) | 906,8 Kg |
| Λάστιχο 30% κ.ό. της άμμου | 92,9 Kg |
| Ρευστοποιητής 1% κ.β. τσιμ. | 3,25 Kg |
| Νέος λόγος N/T=0,50 | 162,5 Kgr |
| Κάθιση | 1,5 cm |
| Φαιν. ειδ. βάρος νοπού σκυρ/τος | 2,1 t/m ³ |

Πίνακας 4.3: Δεύτερη σύνθεση - 35% άμμο (0- 4mm), 15% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 32.5.

Αναλογίες της 3^{ης} σύνθεσης σκυροδέματος

| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Τσιμέντο CEM IV/B 32.5 | 325,0 Kg |
| Νερό (N/T=0,60) | 195,0 Kg |
| Άμμος (50%) | 362,7 Kg |
| Ρύζι (50%) | 906,8 Kg |
| Λάστιχο 60% κ.ό. της άμμου | 186,2 Kg |
| Ρευστοποιητής 1%κ.β. τσιμ. | 3,25 Kg |
| Νέος λόγος N/T=0,45 | 146,2 Kgr |
| Κάθιση | 2,5 cm |
| Φαιν. ειδ. βάρος νοπού σκυρ/τος | 2,0 t/m ³ |

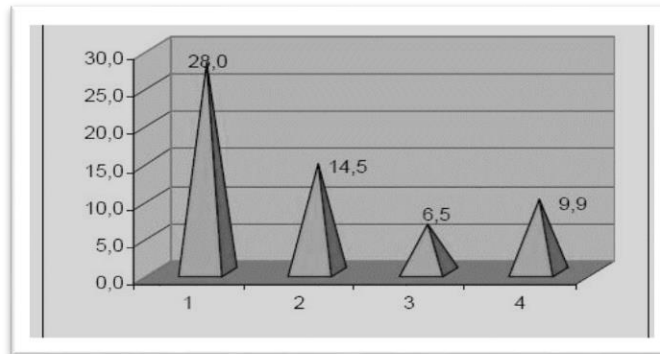
Πίνακας 4.4: Τρίτη σύνθεση - 20% άμμο (0- 4mm), 30% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 32.5.

Αναλογίες της 4^{ης} σύνθεσης σκυροδέματος

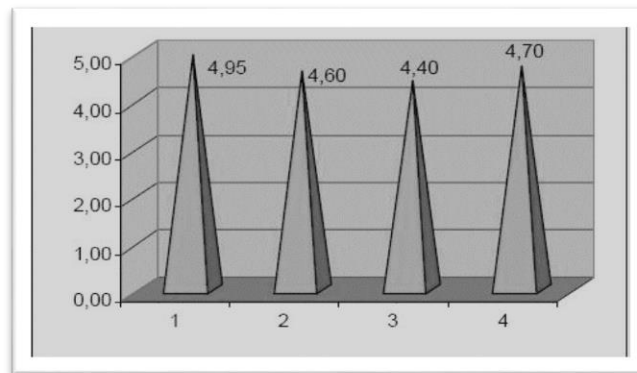
| | |
|---------------------------------|----------------------|
| Τσιμέντο CEM I 42.5 | 300,0 Kg |
| Νερό (N/T=0,70) | 210,0 Kg |
| Άμμος (50%) | 358,0 Kg |
| Ρύζι (50%) | 895,0 Kg |
| Λάστιχο 60% κ.ό. της άμμου | 183,0 Kg |
| Ρευστοποιητής 1%κ.β. τσιμ. | 3,0 Kg |
| Νέος λόγος N/T=0,42 | 126,3 Kgr |
| Κάθιση | 2,0 cm |
| Φαιν. ειδ. βάρος νοπού σκυρ/τος | 2,0 t/m ³ |

Πίνακας 4.5: Τέταρτη σύνθεση - 20% άμμο (0- 4mm), 30% ανακυκλωμένο ελαστικό (2mm) και 50% ρύζι, CEM IV/B 42.5.

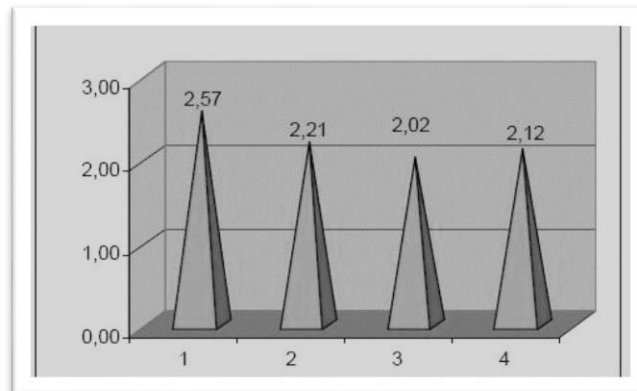
Τα αποτελέσματα για τις τέσσερις συνθέσεις, για τις αντοχές αυτών, παρουσιάζονται στα επόμενα διαγράμματα.



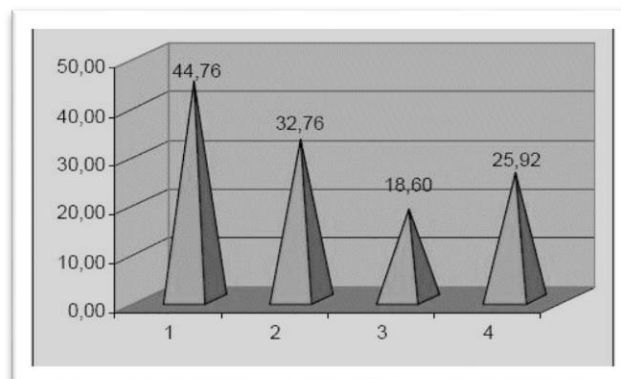
Διάγραμμα 4.1: Θλιπτική αντοχή κυβικών δοκιμίων 28 ημερών, MPa.



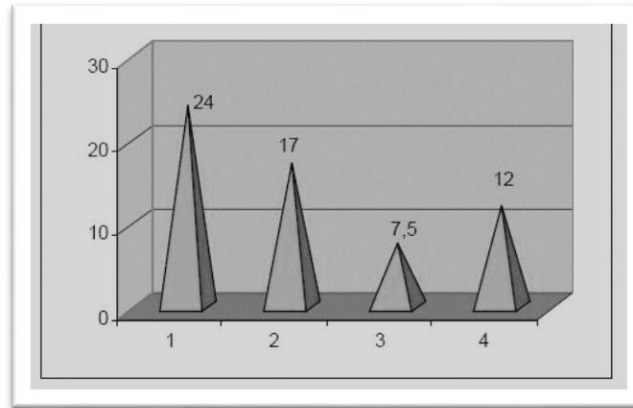
Διάγραμμα 4.2: Αντοχή σε κάμψη, MPa.



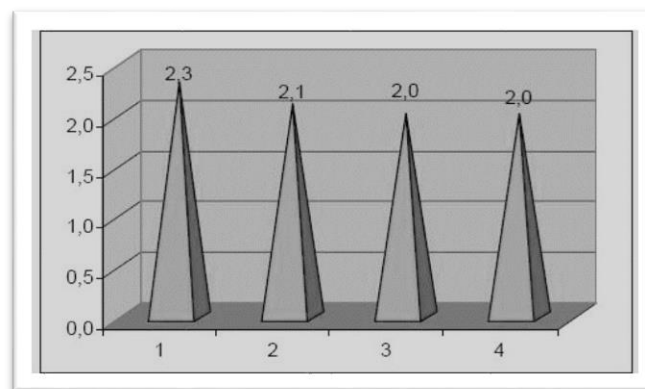
Διάγραμμα 4.3: Αντοχή σε διάρρηξη, MPa.



Διάγραμμα 4.4: Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, GPa.



Διάγραμμα 4.5: Στατικό μέτρο ελαστικότητας, GPa.



Διάγραμμα 4.6: Ειδικό βάρος t/m³.

Με βάση τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν, η αντικατάσταση της άμμου με ελαστικό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζει μειωμένες μηχανικές αντοχές σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα αλλά θεωρείται κατάλληλο, το νέο σκυρόδεμα με ελαστικό, για την χρήση αυτού σε δάπεδα αθλοπαιδιών.

4.1.5.1 Βελτίωση ιδιοτήτων σκυροδέματος

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε, έγινε μελέτη όσο αφορά την αντικατάσταση κάποιας ποσότητας άμμου με τσιμεντοκονιάματα με φθαρμένο ελαστικό αυτοκινήτων, με τελικό σκοπό την σύνδεση μεταξύ ελαστικού και τσιμεντόπαστας. Δοκίμια κατασκευάστηκαν είτε με προσθήκη φθαρμένου ελαστικού και πρόσθετων υλικών είτε με προ-επεξεργασμένου ελαστικού οχημάτων με την χρήση φυσικών και χημικών μέσων. Στις συνθέσεις αντικαταστάθηκε 5% κ.β. από πούδρα ελαστικού και η εργασιμότητα των τσιμεντοκονιαμάτων είναι 10- 12cm, τα δοκίμια είχαν διαστάσεις 4x4x16cm και η συντήρηση του έγινε σε νερό με θερμοκρασία 18- 22°C.

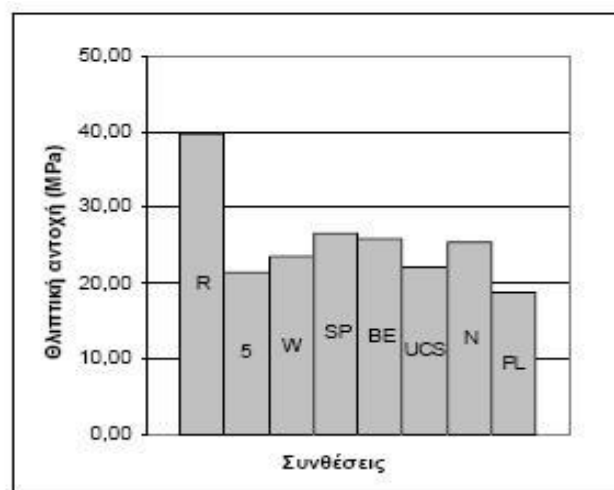
| Συστατικά | Συνθέσεις | | | | | | | |
|---------------------------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | R | 5 | W | N | UCS | SP | PL | BE |
| Τσιμέντο IV/B 32,5N (g) | 450.0 | 450.0 | 450.0 | 450.0 | 450.0 | 450.0 | 450.0 | 450.0 |
| Άμμος πρότυπη, (g) | 1350.0 | 1282.5 | 1282.5 | 1282.5 | 1282.5 | 1282.5 | 1282.5 | 1282.5 |
| Ελαστικό, % κ.β. άμμου | 0.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| Τρόπος επεξεργασίας | | | Νερό | NaOH | UCS | SP | Latex | BE |
| Πρόσμικτο %κ.β. τσιμέντου | | | | | 1.0 | 1.0 | 5.0 | 5.0 |
| Νερό, (g) | 225.0 | 225.0 | 225.0 | 225.0 | 225.0 | 200.0 | 216.0 | 216.0 |
| Εξάπλωση, (cm) | 12.0 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.5 | 10.2 | 12.5 | 11.0 |

Πίνακας 4.6: Συνθέσεις τσιμεντοκονιαμάτων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ειδικού βάρους, του πορώδους και των ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

| Χαρακτηριστικά | Συνθέσεις | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | R | 5 | W | N | UCS | SP | PL | BE |
| Ειδικό βάρος (g/cm ³) | 2.23 | 2.03 | 2.09 | 2.08 | 2.12 | 2.05 | 1.99 | 2.03 |
| Θλιπτική αντοχή (MPa) | 40.75 | 21.33 | 23.55 | 25.32 | 22.15 | 26.15 | 18.83 | 25.80 |
| Εφελκυστική καμπτική αντοχή (MPa) | 9.0 | 5.7 | 5.9 | 6.35 | 5.85 | 6.6 | 5.3 | 6.40 |
| Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας (GPa) | 39.67 | 27.67 | 30.44 | 30.45 | 28.75 | 29.64 | 24.52 | 27.65 |
| Ενεργό Πορώδες (%) | 8.81 | 7.37 | 7.18 | 7.10 | 7.25 | 6.60 | 5.61 | 5.86 |

Πίνακας 4.7: Αποτελέσματα ελέγχου τσιμεντοκονιαμάτων.



Διάγραμμα 4.7: Θλιπτική αντοχή μγμάτων

Παρατηρείται πως η θλιπτική αντοχή μειώνεται με την προσθήκη 5% κ.β. της άμμου και 47% ελαστικού, ενώ η μείωση είναι κάθε φορά μικρότερη για τα δοκίμια BE, SP, N με την μείωση να είναι 36,7, 34,7, και 37,9% συγκριτικά με το αρχικό δείγμα. Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων συνθέσεων χαρακτηρίζονται ως ικανοποιητικά(W, N, SP, PL, UCS) με καλύτερες τις συνθέσεις PL και BE λόγω των ρητινών, καθώς και της σύνθεσης SP. Υπολογίσθηκαν οι μειώσεις τους πορώδους, των δοκιμίων των συγκεκριμένων συνθέσεων, ίσες με 23.9, 33.5 και 25.1%, αντιστοίχως. Δηλαδή υπήρχε μείωση των μηχανικών αντοχών των τσιμεντοκονιαμάτων και αυτό εξηγείται στη μη αποδοτική σχέση μεταξύ του ελαστικού και της τσιμεντόπαστας.

4.1.5.2 Προϊόντα προερχόμενα από επεξεργασία ελαστικών

Τα υλικά που προέρχονται από την επεξεργασία των ελαστικών διαφοροποιούνται με βάση το μέγεθος τους σε

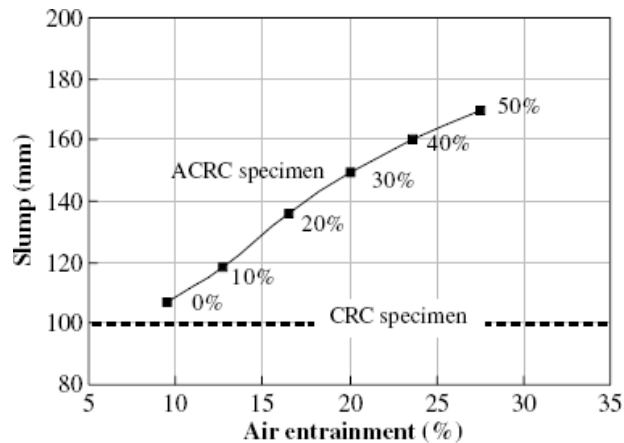
- Τεμάχια ελαστικού: 40- 300mm.
- Chips ελαστικού: 10- 50 mm.
- Τρίμμα ελαστικού: 1- 10mm.
- Την πούδρα ελαστικού: 0- 1mm.

Τα παραγόμενα υλικά έχουν πληθώρα χρήσεων, όπως από το τρίμμα ελαστικού παράγονται αθλητικά δάπεδα, μάντες κάθε τύπου, αντικραδασμικά και μονωτικά υλικά, ακόμη και στον τομέα της οδοποιίας ως πρόσθετο για την κατασκευή αντιολισθητικού ασφαλτοτάπητα. Η πούδρα ελαστικού στην οποία έχει αφαιρεθεί το μέταλλο χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή πλαστικών ειδών από ανακυκλωμένα υλικά.

4.1.6 Ιδιότητες σκυροδέματος με προσθήκη ελαστικού

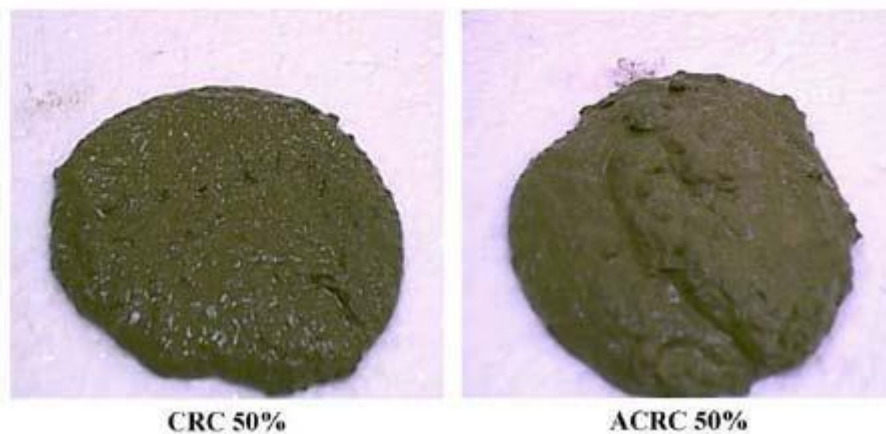
Κάθιση

Η κάθιση είναι ένα μέτρο που χαρακτηρίζει την εργασιμότητα του σκυροδέματος το οποίο υπολογίζεται με την απώλεια ύψους σε εκατοστά, την οποία παρουσιάζει ένας κώνος νωπού σκυροδέματος με την αφαίρεση της αντίστοιχης μήτρας. Τα μείγματα με ενσωματωμένα τεμάχια ελαστικού παρουσιάζουν κάποια ευκολία στη χρήση, την ανάμιξη, μεταφορά και τοποθέτηση συγκριτικά με το μείγμα χωρίς ελαστικά. Πιο συγκεκριμένα, η μείωση που προκύπτει στο κάθισμα είναι ανάλογη με την αύξηση της περιεκτικότητας των ελαστικών ως ποσοστό του συνολικού όγκου. Όταν το ποσοστό προσθήκης ελαστικού είναι περίπου 40%, η καθίζηση είναι σχεδόν μηδενική, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα να μην μπορεί να χειριστεί με το χέρι, και παρατηρείται ότι το μείγμα που παράγεται με λεπτότερα τεμάχια ελαστικών είναι πιο εύκολο να τοποθετηθεί συγκριτικά με εκείνο που δημιουργήθηκε από μεγαλύτερα κομμάτια ελαστικού. Αξίζει να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα του μείγματος σε αέρα στην διαδικασία της κάθισης του σκυροδέματος και η ικανότητα επεξεργασίας του νωπού μείγματος ACRC, aerated cement rubber composite, παρουσιάζουν βελτίωση εξαιτίας της προσθήκης αυξημένου ποσοστού αέρα στο μείγμα, δηλαδή διογκωτικού υλικού.



Διάγραμμα 4.8: Επίδραση της περιεκτικότητας αέρα στη κάθιση μείγματος διαφορετικών αναλογιών όγκου ελαστικού (0- 50%)

Η κάθιση μετράει την ρευστότητα ενός υλικού και αυξάνεται ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αέρα. Για το ACRC, aerated cement rubber composite, που περιέχει 50% μόρια ελαστικού καταγράφηκε βελτίωση καθώς οι τιμές της κάθισης καταγράφηκαν μεταξύ 100 και 169,5 mm σε σύγκριση με το αντίστοιχο CRC, cement rubber composite.



Εικόνα 4.2: Δείγματα μειγμάτων CRC και ACRC, με 50% σε ελαστικό.

Σε μια ακόμα μελέτη, που πραγματοποιήθηκε, ερευνήθηκε η επίδραση της περιεκτικότητας ελαστικού στην κάθιση αλλά και στο ειδικό βάρος. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τιμές αύξησης της περιεκτικότητας του μείγματος σε ελαστικό όπου οδήγησαν στη μείωση της κάθισης και του ειδικού βάρους.

| Περιεκτικό τητα ελαστικού - % | Αναλογίες μιγμάτων σκυροδέματος - kg/m ³ | | | | | Αναλογία νερού- τσιμέντο w/c | Κάθιση - mm | Ειδικό βάρος - kg/m ³ |
|--|---|----------|-----------------------------------|------------------------------|----------|---------------------------------------|----------------|--|
| | Νερό | Τσιμέντο | Χονδροειδή Μείγματα Αδρανών | Λεπτά Μείγματα Αδρανών | Ελαστικό | | | |
| 0 | 252 | 446 | 961 | 585 | 0 | 0,56 | 75,33 | 2399 |
| 20 | 252 | 446 | 961 | 468 | 67,51 | 0,56 | 60,7 | 2217 |
| 40 | 252 | 446 | 961 | 351 | 135 | 0,56 | 35,7 | 2068,3 |
| 60 | 252 | 446 | 961 | 234 | 202,5 | 0,56 | 17,7 | 1987 |
| 80 | 252 | 446 | 961 | 117,2 | 270 | 0,56 | 10,3 | 1830,6 |
| 100 | 252 | 446 | 961 | 0 | 337,6 | 0,56 | 4,7 | 1740,6 |

Πίνακας 4.8: Διάφορα μείγματα και ιδιότητες νεπού σκυροδέματος.

Περιεκτικότητα σε αέρα

Έπειτα από μελέτη καταγράφηκε υψηλότερη περιεκτικότητα σε αέρα στα μείγματα rubber concrete σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα και αυτό εκτιμάται ότι είναι απόρροια της μη πολικής φύσης των ελαστικών μορίων και στην τάση τους να κρατούν τον αέρα στις τραχιές επιφάνειες. Επίσης, με την προσθήκη ελαστικού στο μείγμα προσελκύεται αέρας διότι υπάρχει η τάση απομάκρυνσης του νερού άρα ο αέρας προσκολλάται στα ελαστικά μόρια. Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της προσθήκης ελαστικών είχε ως αποτέλεσμα υψηλότερη περιεκτικότητα σε αέρα στο μείγμα καουτσούκ-σκυροδέματος, μειώνοντας έτσι το ειδικό βάρος του μείγματος. Πραγματοποιήθηκε μια πρόσθετη μελέτη και σημειώθηκε ότι η επίδραση της προσθήκης σκόνης καύσης τέφρας καουτσούκ TRA στην περιεκτικότητα αέρα του φρέσκου μείγματος είχε ως αποτέλεσμα αύξηση ανάλογη με το επίπεδο TRA, δηλαδή από 2,6% περιεκτικότητα σε αέρα για ένα μείγμα που περιέχει 10% TRA μειώθηκε στο 1,5% για το συμβατικό σκυρόδεμα.

Ειδικό βάρος

Το ειδικό βάρος των μειγμάτων που έχει προστεθεί ελαστικό μειώνεται και ανάλογα αυξάνεται το ποσοστό του ελαστικού εξαιτίας της χαμηλής πυκνότητας των μορίων του υλικού. Σημαντικό είναι πως η αύξηση προσθήκης ελαστικού αυξάνει την περιεκτικότητα σε αέρα η οποία ταυτόχρονα μειώνει το ειδικό βάρος των μειγμάτων. Εάν η περιεκτικότητα ελαστικού είναι μικρότερη από 10-20% του συνολικού όγκου, η μείωση του ειδικού βάρους, rubber concrete, είναι αμελητέα

Βασικές μηχανικές ιδιότητες

Έρευνες και μελέτες παρουσιάζουν πως το μέγεθος, η σύσταση του υλικού και τα ποσοστά ελαστικών μορίων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη θλιπτική αντοχή των μιγμάτων rubber concrete όπου τα μείγματα με κομμάτια από ελαστικά εμφανίζουν χαμηλότερες θλιπτικές και καμπτικές αντοχές από το κανονικό σκυρόδεμα.

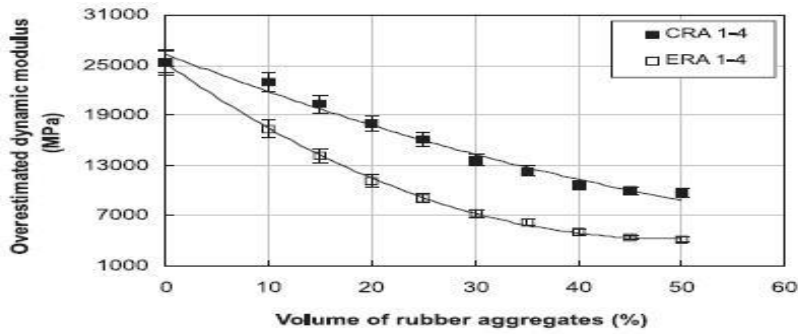
Παρατηρήθηκε μείωση σχεδόν 85% στη θλιπτική αντοχή, με μείωση 50% στην αντοχή σε κάμψη με την προσθήκη ελαστικών αντί για την χρήση χονδρόκοκκων υλικών. Από την άλλη πλευρά, η αντοχή σε θλίψη μειώνεται κατά περίπου 65% και 50% αντοχή σε κάμψη όταν γίνεται αντικατάσταση των λεπτόκοκκων αδρανών από λεπτότερα ελαστικά. Σημειώθηκε συγκριτικά η προσθήκη ακατέργαστων χονδρών κομματιών ελαστικού στο σκυρόδεμα μειώνει την αντοχή σε θλίψη σε μεγαλύτερο βαθμό από την προσθήκη λεπτών κομματιών ελαστικού. και είναι μεγαλύτερη από τα πρόσθετα λεπτά μπλοκ ελαστικών. Επιπλέον, εάν η επιφάνεια των σωματιδίων του ελαστικού είναι τραχιά με ορισμένες ειδικές προεπεξεργασίες μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλότερες αντοχές σε θλίψη

Αποτελέσματα από μελέτες που πραγματοποιήθηκαν επιπλέον, παρουσίασαν πως το σκυρόδεμα με προσθήκη ελαστικών μορίων έπειτα από πλύση με νερό παρουσιάζει μεγαλύτερη θλιπτική αντοχή σχεδόν 16% συγκριτικά από το συμβατικό σκυρόδεμα με την βελτίωση να είναι 56% με την χρήση των επεξεργασμένων ελαστικών συνόλων.

Σε μια συγκριτική μελέτη, δύο τσιμέντα, το τσιμέντο Portland και το τσιμέντο οξυχλωριούχου μαγνησίου, χρησιμοποιήθηκαν για την προσθήκη καουτσούκ και την παραγωγή σκυροδέματος με το ποσοστό αδρανών που αντικαθίσταται από καουτσούκ να κυμαίνεται από 0% έως 90% κατά βάρος. Παρατηρήθηκε απώλεια 90% στη θλιπτική αντοχή για το σύνθετο σκυρόδεμα τσιμέντου Portland (PCRC) και το σύνθετο σκυρόδεμα τσιμέντου με οξυχλωριούχο μαγνήσιο (MOCRC). Η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος τσιμέντου με οξυχλωριούχο μαγνήσιο είναι περίπου 2,5 φορές υψηλότερη από αυτή του σκυροδέματος τσιμέντου Portland με και χωρίς την προσθήκη καουτσούκ. Όσον αφορά την αντοχή στην κάμψη, το δείγμα τσιμέντου Portland που κατασκευάστηκε με 25% καουτσούκ κατ' συνολικό όγκο διατήρησε το 20% της αντοχής σε κάμψη, ενώ το δείγμα τσιμέντου οξυχλωριούχου μαγνησίου με την ίδια περιεκτικότητα ελαστικού διατήρησε το 34% της αντοχής σε κάμψη.

Μέτρο ελαστικότητας

Παρουσιάζονται κάποιες αλλαγές στο μέτρο ελαστικότητας όπου μειώνεται από περίπου 20.000 έως 10.000 MPa και σε 4000 MPa για τον τύπο CRA και ERA για δείγματα που περιέχουν ελαστικό σε ποσοστό 50% έναντι του συμβατικού σκυροδέματος. Πρέπει να αναφερθεί πως ο συντελεστής ελαστικότητας του CRA είναι πενταπλάσιος του ERA

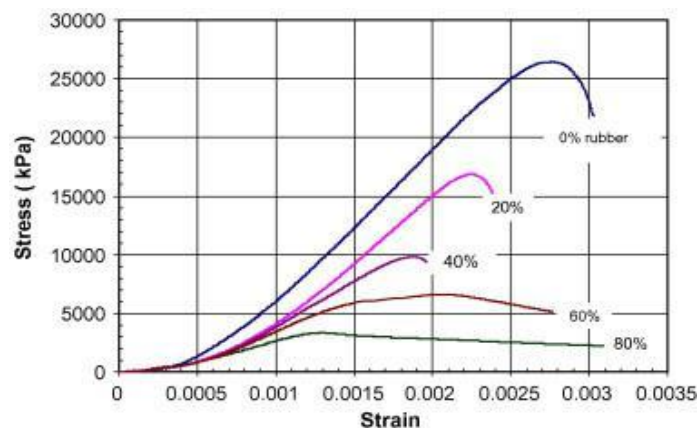


Διάγραμμα 2.12. Μεταβολή της θλιπτικής αντοχής συναρτήσει της πυκνότητας.

Διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων

Το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης, σ - ϵ των δειγμάτων που περιέχουν ελαστικό έως 40% έχουν πανομοιότυπη συμπεριφορά όσο αφορά την τάση στο αρχικό δείγμα έχοντας ταυτόχρονα μια μικρότερη κορύφωση όπου παρατηρείται ότι υπάρχει γραμμική αύξηση των πιέσεων μέχρι το σημείο της αιχμής προτού απελευθερωθεί η ενέργεια από το σπάσιμο του μείγματος. Το δείγμα έχει την συμπεριφορά εύθραυστου υλικού και η συνολική ενέργεια που παράγεται κατά την αστοχία είναι ελαστική ενέργεια. Η μη γραμμική συμπεριφορά μπορεί να φανεί για τα άλλα δυο δείγματα που περιέχουν 60% και 80% ελαστικό. Μόλις επιτευχθεί η μέγιστη τάση το δείγμα ακόμη παράγει μια συμπεριφορά όμοια με των σκληρών υλικών, όπου το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας τους παράγεται ως πλαστική κατά την αστοχία.

Η πλαστική ενέργεια ορίζεται ως το ποσό ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μια συγκεκριμένης παραμόρφωσης ενός ελαστικού, αυξάνοντας την αντοχή του υλικού ακόμα και μετά την δημιουργία ρωγμών. Συμπερασματικά, μπορεί να ειπωθεί ότι το σκυρόδεμα με υψηλότερη αναλογία ελαστικού έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα επειδή η ενέργεια είναι κυρίως πλαστική.



Διάγραμμα 2.13: Αποτελέσματα διαφορετικών ποσοστών ελαστικού.

4.2 Σκυρόδεμα με τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού & σκωρία υψικαμίνου

Το σκυρόδεμα αποτελείται από νερό αναμίξεως, χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα αδρανή υλικά και σε μεγάλο ποσοστό από τσιμέντο, λόγω της μεγάλης ζήτησης οι βιομηχανίες έχουν στραφεί στην δημιουργία σκυροδέματος από διαφορετικές αναλογίες ανακυκλωμένων υλικών. Μια από τις μεθόδους που εξετάζεται είναι η ποσοτική αφαίρεση του τσιμέντου Portland από το σκυρόδεμα με την αντικατάσταση του με ισόποση ποσότητα ανακυκλωμένων υλικών, στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού, wastepaper sludge ash, WSA, σε συνδυασμό με την σκωρία υψικαμίνων, ground granulated blastfurnace slag, GGBS.

4.2.1 Ανακύκλωση χαρτιού

Η ανακύκλωση 3.500 τόνων χαρτιού εξοικονομεί:

- Πάνω από 55.000 δένδρα.
- Ενέργεια ίση με 4.000.000kWh.
- Νερό ως και 1.000.000 m³.

Διαδικασία ανακύκλωσης χαρτιού(Ecotec):

Συλλογή και διαχωρισμός του χαρτιού από άλλα υλικά και στη συνέχεια, διαχωρισμός του χαρτιού ανάλογα με τα επίπεδα ποιότητάς του.

Διαχωρισμός και απομάκρυνση όποιων προσμίξεων βρίσκονται στο διαχωρισμένο χαρτί.

Δημιουργία δεμάτων σε μπάλες, που οδηγούνται στην αποθήκη για ταξινόμηση ανά είδος.

Το χαρτί είναι κυτταρίνη ξύλου, ένα στερεό ινώδες υλικό στη φυσική του κατάσταση. Καθώς ο πολτός στεγνώνει, δημιουργείται υψηλό πορώδες, το οποίο οδηγεί στην παραγωγή ενός υλικού που είναι ελαφρύ και έχει καλές μονωτικές ιδιότητες. Μάλιστα, πολλά είδη χαρτιού είναι βαμμένα ή περιέχουν χλωρίνη, η οποία είναι επιβλαβής για το έδαφος, γι' αυτό θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αντί να καταλήγουν σε χωματερές. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της παραγωγής papercete είναι ότι απαιτεί λιγότερη επεξεργασία χαρτοπολτού. Συχνά τα απλά μείγματα χαρτιού και νερού χρειάζονται πολύ χρόνο για να στεγνώσουν και μειώνουν τον όγκο τους κατά 15-25%. Ενώ το μείγμα με τσιμέντο Πόρτλαντ και χαρτί (50-50) μείωσε το χρόνο στο μισό και μείωσε τον όγκο κατά 3% σε 5%. Το σκυρόδεμα στο οποίο προστίθεται χαρτί ή χάρτινο σκυρόδεμα έχει μια ποικιλία μορφών εφαρμογής, για παράδειγμα με τη μορφή μονωτικών πάνελ ή κτιριακών μονάδων, τούβλων ή τσιμεντόλιθων.

Είναι ένα υλικό που χρησιμοποιείται ευρέως σε προσωρινά προκατασκευασμένα κτίρια έκτακτης ανάγκης (κατοικίες για σεισμόπληκτους, κατοίκους υπανάπτυκτων

χωρών, μεταβατικές κατοικίες), τα οποία κατασκευάζονται με πολύ χαμηλό κόστος. Το Papercete είναι ένα οργανικό υλικό που αποκτά αντοχή και ακαμψία μέσω των ινών που μοιάζουν με κηρήθρα, επιτρέποντάς του να αντέχει φορτία σε όλο το μήκος του χωρίς να λυγίζει κάτω από κάθετα φορτία. Συνήθως παράγεται σε μορφή πάνελ, αν και το μέγεθός του μπορεί εύκολα να αλλάξει. Ανακυκλώνεται με πολύ γρήγορο ρυθμό κατά την παραγωγική διαδικασία, με ελάχιστο υλικό να καταλήγει ως απόβλητο. (Life on Paper 2007)

4.2.1.1 Υλικά

Τα υλικά που χρειάστηκαν για την επίτευξη της συγκεκριμένης πειραματικής διαδικασίας είναι τα εξής:

- Το τσιμέντο Portland που χρησιμοποιήθηκε ως σημαντικότερο υλικό, έχει χρώμα γκρι και ειδικό βάρος 3,15.
- Η σκωρία υψικαμίνου, GGBS, που έχει το μέγεθος της παιπάλης με ειδικό βάρος 2,9.
- Η τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού, WSA, με παρόμοιο μέγεθος και ειδικό βάρος 2,6.
- Η φυσική άμμος θαλάσσης έπειτα από επεξεργασία αφαίρεσης του αλατιού, τα χονδρόκοκκα αδρανή έχουν δύο διαφορετικά μεγέθη 10 mm και 20 mm.
- Σε ένα δείγμα χρησιμοποιήθηκε ως πρόσθετο υπερρυστοποιητή με χαρακτηριστικά το καφέ χρώμα και περιεκτικότητα αλκαλίου 0,5% Na₂O, περιεκτικότητα θείου 0,2% SO₃ και περιεκτικότητα χλωριούχου άλατος 0% με προτεινόμενη δοσολογία τα 500-1.500 ml ανά κιλό τσιμέντο.

Τα δοκίμια με βάση τους κανονισμούς και τις οδηγίες τοποθετούνται σε δεξαμενές νερού θερμοκρασίας 19-21 °C, όπου ο χρόνος σκλήρυνσης των δοκιμίων, κυβικών και κυλινδρικών, στο νερό είναι 7 μέρες και 28 μέρες.

| Τσιμέντο Portland - % | Τέφρα ανακυκλωμένου Χαρτιού - % | Σκωρία Υψικαμίνου - % |
|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| 100 | 0 | 0 |
| 80 | 10 | 10 |
| 70 | 15 | 15 |
| 60 | 20 | 20 |
| 40 | 30 | 30 |

Πίνακας 4.9: Ποσοστά τσιμέντου Portland, Τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού, σκωρία υψικαμίνου.

4.2.2 Εργαστηριακές δοκιμές

Η εργαστηριακή δοκιμή για την δημιουργία σκυροδέματος από τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού είναι η εξής:

Ημέρα πρώτη πραγματοποιείται η προετοιμασία των υλικών, δηλαδή η ζύγιση τους, η τοποθέτηση τους στο μίξερ και η Παρασκευή νωπού σκυροδέματος. Έπειτα γίνεται η χρήση του νωπού σκυροδέματος για την δοκιμή κάθισης και τέλος τοποθετείται το σκυρόδεμα στις μήτρες για την ομογενοποίηση των δοκιμίων με το τραπέζι δόνησης.

Ημέρα δεύτερη γίνεται η εξαγωγή των δοκιμίων σκυροδέματος από τις μήτρες, η μέτρηση της κορεσμένης πυκνότητας και η τοποθέτηση των δοκιμίων σε δεξαμενές νερού.

Ημέρα έβδομη διερευνάται η αντοχή των δοκιμίων σε θλίψη μέσω της θραύσης των δοκιμίων.

Ημέρα εικοστή όγδοη διερευνάται η εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη τριών κυλινδρικών δοκιμίων και η εύρεση του στατικού μέτρου ελαστικότητας των ίδιων διατάσεων δοκιμίων.

Να σημειωθεί ότι ακόμη πραγματοποιείται και απαιτείται επιπλέον έρευνα για την συγκεκριμένη ανάμειξη υλικών, των αντιδράσεων των ποζολάνων και την εύρεση πυριτίου και τελικώς της επίδρασης στην αντοχή του τελικού σκυροδέματος.

| PC-% | WS-% | GGB-% | Συνδ. Υλικό-g | PC-g | WS-g | GGB-g | Νερό-g | Άμμος-g | 10mm-g | 20mm-g |
|------|------|-------|---------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|
| 100 | 0 | 0 | 18.797 | 18.797 | 0 | 0 | 9.450 | 22.096 | 15.651 | 31.302 |
| 80 | 10 | 10 | 18.797 | 1.503 | 1.880 | 1.880 | 9.450 | 22.096 | 15.651 | 31.302 |
| 70 | 15 | 15 | 18.797 | 1.315 | 3.524 | 3.524 | 9.450 | 22.096 | 15.651 | 31.302 |
| 60 | 20 | 20 | 18.797 | 11.278 | 3.759 | 3.759 | 9.450 | 22.096 | 15.651 | 31.302 |
| 40 | 30 | 30 | 18.797 | 7.519 | 5.639 | 5.639 | 9.450 | 22.096 | 15.651 | 31.302 |

Πίνακας 4.10: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,5.

| PC-% | WS-% | GGB-% | Συνδ. Υλικό-g | PC-g | WS-g | GGB-g | Νερό-g | Άμμος-g | 10mm-g | 20mm-g |
|------|------|-------|---------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|
| 100 | 0 | 0 | 23.496 | 23.496 | 0 | 0 | 9.398 | 20.471 | 14.500 | 29.001 |
| 80 | 10 | 10 | 23.496 | 18.797 | 2.350 | 2.350 | 9.398 | 20.471 | 14.500 | 29.001 |
| 70 | 15 | 15 | 23.496 | 16.447 | 3.524 | 3.524 | 9.398 | 20.471 | 14.500 | 29.001 |
| 60 | 20 | 20 | 23.496 | 14.097 | 4.699 | 4.699 | 9.398 | 20.471 | 14.500 | 29.001 |

Πίνακας 4.11: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,4.

| PC-% | WS-% | GGB-% | Συνδ. Υλικό-g | PC-g | WS-g | GGB-g | Νερό-g | Άμμος-g | 10mm-g | 20mm-g |
|------|------|-------|---------------|--------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|
| 100 | 0 | 0 | 26.852 | 26.852 | 0 | 0 | 9.398 | 19.397 | 13.740 | 27.479 |
| 80 | 10 | 10 | 26.852 | 21.482 | 2.685 | 2.685 | 9.398 | 19.397 | 13.740 | 27.479 |
| 70 | 15 | 15 | 26.852 | 18.797 | 4.028 | 4.028 | 9.398 | 19.397 | 13.740 | 27.479 |
| 60 | 20 | 20 | 26.852 | 13.111 | 5.370 | 5.370 | 9.398 | 19.397 | 13.740 | 27.479 |

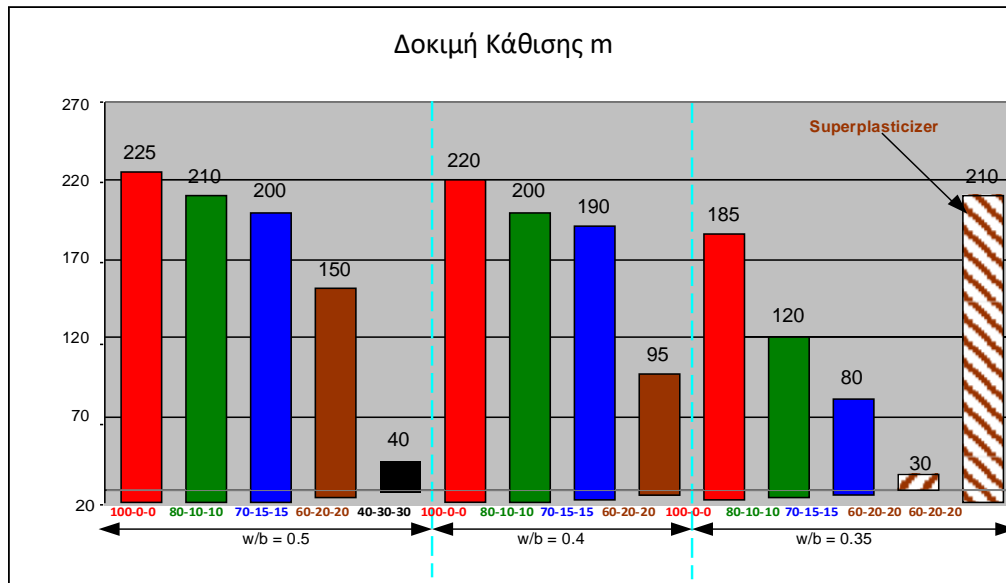
Πίνακας 4.12: Ποσότητες σκυροδέματος με λόγο νερού-συνδετικού υλικού 0,35.

4.2.2.1 Δοκιμή κάθισης

| Διάρκεια sec. | Επεξεργασία |
|---------------|--|
| 47 | Προσθήκη σκυροδέματος στο 1/3 του ύψους του κώνου με εφαρμογή 25 ραβδώσεων. |
| 47 | Προσθήκη σκυροδέματος στα 2/3 του ύψους του κώνου με εφαρμογή 25 ραβδώσεων. |
| 47 | Προσθήκη σκυροδέματος στα 3/3 του ύψους του κώνου με εφαρμογή 25 ραβδώσεων. |
| 5-10 | Μέτρηση της κάθισης του σκυροδέματος. |
| 2,5-150 | Προσθήκη σκυροδέματος στις μήτρες, έπειτα στο τραπέζι δόνησης για ομογενοποίηση. |

Πίνακας 4.13: Διάρκεια & Μέθοδος Προετοιμασίας Δοκιμής Κάθισης.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής κάθισης πραγματοποιήθηκαν με βάση τον κανονισμό του Slump Test και διακρίνουμε μέσω του διαγράμματος πως το νωπό σκυρόδεμα με ποσότητες σκυρίας και τέφρας χαρτιού έχει μικρότερη κάθιση με το σκυρόδεμα και τσιμέντο Portland σε ποσοστό 100%, με την προσθήκη του υλικού WSA μειώνει την εργασιμότητα και αυξάνει την ανάγκη σε νερό του σκυροδέματος. Επιπρόσθετα με την προσθήκη GGBS αυξάνεται η κάθιση του σκυροδέματος.



Διάγραμμα 4.9: Αποτελέσματα δοκιμής κάθισης

4.2.2.2 Εύρεση κορεσμένης πυκνότητας

Η πυκνότητα κορεσμού βρέθηκε για τα παραπάνω καθορισμένα βασισμένα δείγματα ζυγίζοντας τα παρουσία αέρα και νερού χρησιμοποιώντας μια ζυγαριά Sartorius Calibration. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών της κορεσμένης πυκνότητας έγινε χρήση του εξής τύπου:

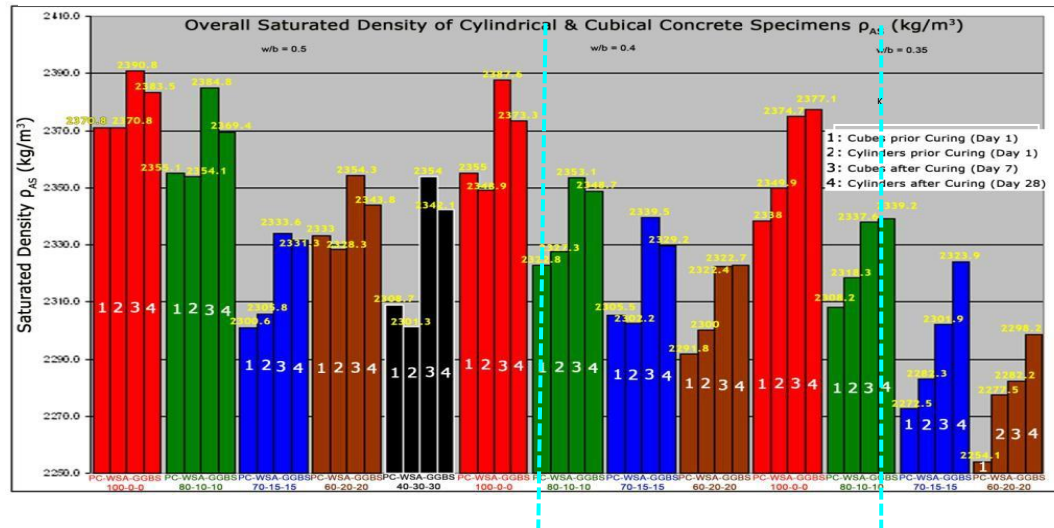
- $\rho_s = \frac{m}{V}$ και $V = \frac{mA - mW}{\rho_w}$
- ρ_s : Κορεσμένη Πυκνότητα kg/m^3
- ρ_A : Μέσος Όρος Κορεσμένης Πυκνότητας
- m : Μάζα του δοκιμίου kg
- V : Όγκος του δοκιμίου m^3
- mA : Μάζα δοκιμίου στον αέρα
- mW : Μάζα δοκιμίου στο νερό
- ρ_w : Πυκνότητα νερού = 998 kg/m^3 στους 20°C

Καταγράφηκαν τιμές κορεσμένων πυκνοτήτων, ανάλογα την περίπτωση του τύπου σκυροδέματος και του αντίστοιχου λόγου νερού με το συνδετικό υλικό, από $2300\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$ με το σκυρόδεμα που υπερیشύει σε πυκνότητα να είναι με την χρήση τσιμέντου Portland 100%, λόγο 0,5 και χρόνο σκλήρυνσης 7 ημέρες με τιμή $2390,8 \text{ kg/m}^3$.

Η προσθήκη ανακυκλωμένων υλικών στο σκυρόδεμα παρουσιάζει καλές τιμές κορεσμένης πυκνότητας σε σύγκριση με το συμβατικό σκυρόδεμα όμως παρουσιάζεται μια μείωση οφειλόμενη στην προσθήκη της τέφρας ανακυκλωμένου χαρτιού.

4.2.2.3 Δοκιμή σε θλίψη

Πραγματοποιήθηκε η δοκιμή αντοχής σε θλίψη με χρήση του μηχανήματος Denison Mayes με δυνατότητα φορτίου θλίψης 3000 κΝ. Ειδικότερα, χρειάστηκαν για την δοκιμή τρία κυβικά δοκίμια με διαστάσεις 150x150x150 mm και τρία κυλινδρικά



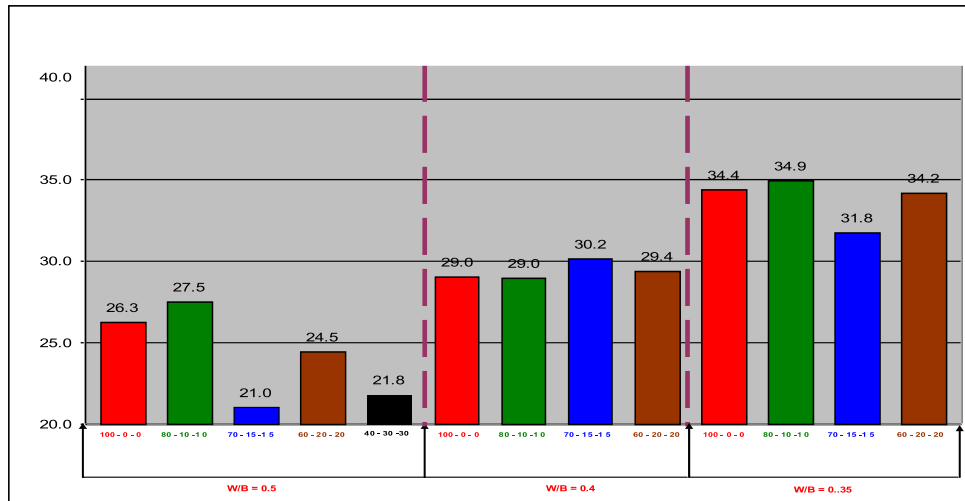
Διάγραμμα 4.10: Αποτελέσματα εύρεσης κορεσμένης πυκνότητας δοκιμίων, ρ_A kg/m³

δοκίμια με διαστάσεις, 300 mm (ύψος) και 150 mm (διάμετρος), για τους εκάστοτε τύπους σκυροδέματος. Με την βοήθεια του μηχανήματος εφαρμόστηκαν φορτία 180 kN/min. στα κυβικά δοκίμια και 336 kN/min. στα κυλινδρικά δοκίμια με χρόνο σκλήρυνσης της συγκεκριμένης δοκιμής να είναι 7 ημέρες και 28 ημέρες για τα κυβικά και κυλινδρικά δοκίμια αντιστοίχως.

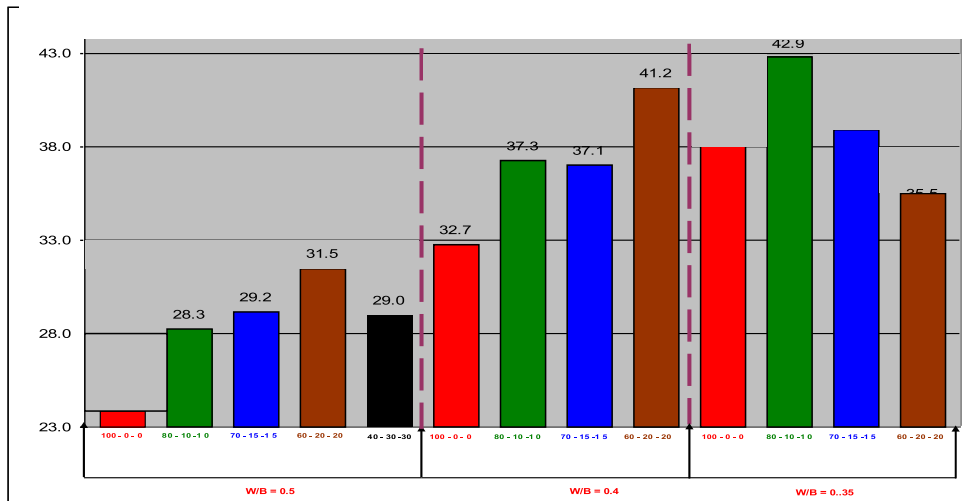
Για τον υπολογισμό έγινε χρήση του συγκεκριμένου τύπου:

- **$f_c = F/A_c$**
- f_c : η αντοχή σε θλίψη, N/mm²
- F: Μέγιστο φορτίο αντοχής, N
- A_c : Εμβαδόν εφαρμογής θλιπτικών δυνάμεων κυβικών δοκιμίων $A_c = 10.000$ mm² και κυλινδρικών δοκιμίων $A_c = 17.671,46$ mm².

Αποτελεσματικά στις 7 ημέρες οι αντοχές σε θλίψη του σκυροδέματος με την προσθήκη WSA, GGBS είναι σχεδόν ίσες με του συμβατικού σκυροδέματος, στις 28 ημέρες οι αντοχές σε θλίψη του σκυροδέματος με την προσθήκη WSA, GGBS είναι μεγαλύτερες σε όλες τις περιπτώσεις με εξαίρεση μία, PC-WSA-GGBS με 60-20-20% και λόγο 0,35 και είναι απόρροια της καθυστερημένες ποζολανικές αντιδράσεις. Διακρίνεται επίσης πως με την αύξηση σε ποσοστό έως 40% σε σκωρία και τέφρα χαρτιού βελτιώνεται η αντοχή σε θλίψη με σκλήρυνση 28 ημερών και ο τύπος σκυροδέματος με την μέγιστη αντοχή είναι το PC-WSA-GGBS με 80-10-10% με λόγο 0,35 και τιμή 42,9 N/mm².



Διάγραμμα 4.11: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυβικών δοκιμίων, N/mm²



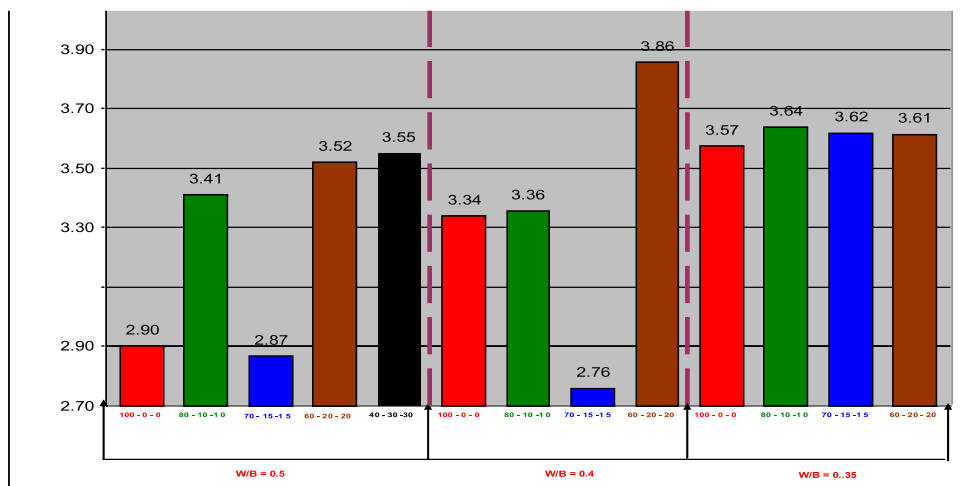
Διάγραμμα 4.12: Αποτελέσματα αντοχής σε θλίψη κυλινδρικών δοκιμίων, N/mm²

4.2.2.4 Δοκιμή διάρρηξης δοκιμίων

Για την δοκιμή εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη των δοκιμίων χρειάστηκαν τρία κυλινδρικά δοκίμια με όμοιες διαστάσεις με την προηγούμενη δοκιμή και χρόνο σκλήρυνσης τις 28 ημέρες, επιπλέον το μηχάνημα που χρησιμοποιήθηκε είναι ίδιο με την δοκιμή αντοχής σε θλίψη και το σταθερό φορτίο που επιβλήθηκε ήταν ίσο με 212 kN/min. με τελικό στάδιο την καταγραφή των αποτελεσμάτων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε χρήση του τύπου:

- $f = (2 \cdot F) / (\pi \cdot L \cdot d)$
- F: Εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη δοκιμίων N/mm²
- L: Μήκος γραμμής επαφής δοκιμίου mm, L= 300 mm, d: διατομή διάστασης mm, d= 150 mm

Τα αποτελέσματα που παρατηρήθηκαν είναι ότι σε ηλικία σκλήρυνσης 28 ημερών η εφελκυστική αντοχή με χρήση WSA, GGBS σκυροδέματος είναι μεγαλύτερη από στο συμβατικό σκυρόδεμα με τσιμέντο Portland 100% με εξαίρεση το PC, WSA, GGBS με 70,15,15% και λόγο 0,5 και 0,4. Αυξάνοντας το ποσοστό των ανακυκλωμένων υλικών έως 40% παρατηρείται βελτίωση της εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη και την μέγιστη τιμή σε αντοχή εμφανίζεται στο σκυρόδεμα PC, WSA, GGBS 60,20,20% με λόγο 0,5 και τιμή 3,86 N/mm².



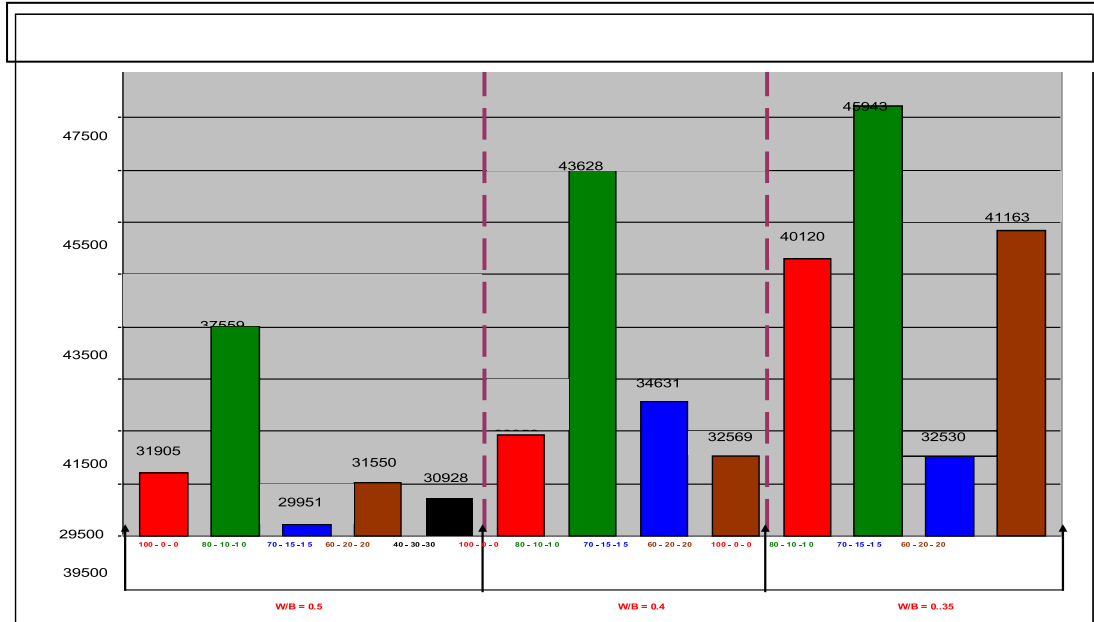
Διάγραμμα 4.13: Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής σε διάρρηξη δοκιμίων, N/mm²

4.2.2.5 Εύρεση μέτρου ελαστικότητας E

Σε αυτή την διαδικασία για την εύρεση του μέτρου ελαστικότητας E σε θλίψη επίσης επιλέχθηκαν τρία κυλινδρικά δοκίμια με ηλικία σκλήρυνσης 28 ημερών χρησιμοποιώντας την ίδια ακριβώς μηχανή με τις προηγούμενες δοκιμές με πρόσθετα, ένα πλαίσιο και ένα κάλυμμα στην κορυφή του κυλίνδρου έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια επίπεδη επιφάνεια θλίψης. Η αρχική τάση είναι στα 0,50 N/mm² για χρόνο ίσο με 30 δευτερόλεπτα, έπειτα αυξήθηκε με σταθερό ρυθμό το φορτίο στα 636 kN/min. και τάση ίση με το 1/3 της αντοχής σε θλίψη. Στο τέλος των 60 δευτερολέπτων ξανά εφαρμόστηκε η αρχική τάση 0,50 N/mm² με καταγραφή όλων των αποτελεσμάτων. Η ίδια διαδικασία πραγματοποιήθηκε τρεις φορές με αυξομείωση των φορτίων. Με την βοήθεια του τύπου υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας E:

- $E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon = (\sigma_a - \sigma_b) / [(\varepsilon_a - \varepsilon_b) * 300 * 0,002]$
- E= Στατικό Μέτρο Ελαστικότητας N/mm²
- σ_a = Μέγιστο φορτίο $f_c / 3$ N /mm²
- σ_b = Βασικό φορτίο 0,5 N /mm²
- ε_a = Μέση επιμήκυνση από το μέγιστο φορτίο, ε_b = Μέση επιμήκυνση
- 300= Μήκος περιοχής με παραμόρφωση επί δύο, 0,002= Απόσταση μεταξύ των διαίρεσεων επιμηκυνσιόμετρου.

Συμπερασματικά, όσο αυξάνεται η ποσότητα WSA, GGBS στο μίγμα σκυροδέματος έως 20% παρατηρείται βελτίωση του στατικού μέτρου ελαστικότητας στην ηλικία σκλήρυνσης των 28 ημερών και η μέγιστη τιμή του μέτρου ελαστικότητας E παρουσιάζεται στα ποσοστά 80-20-20% με λόγο 0,35 και τιμή 45.943N/mm².



Διάγραμμα 4.14: Αποτελέσματα εύρεσης στατικού μέτρου ελαστικότητας E 28 ημερών, w/b= 0,5-0,4-0,35 N/mm²

4.2.3 Συμπέρασμα

Τελικώς, ακολουθώντας τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης ως ιδανικότερο ποσοστό αντικατάστασης του τσιμέντου Portland με τέφρα ανακυκλωμένου χαρτιού είναι το 20% διότι με κάθε αύξηση του ανακυκλωμένου υλικού το μίγμα χαρακτηρίζεται ως ασταθές και το σκυρόδεμα μη κατάλληλο για χρήση λόγω διαφορετικών ιδιοτήτων. Επιπρόσθετα, χρειάζεται να πραγματοποιηθούν περισσότερες έρευνες για την ποζολανικότητα και τον προσδιορισμό του ενεργού πυριτίου για να καθοριστούν με σιγουριά οι επιδράσεις των WSA και GGBS στην αντοχή του τελικού σκυροδέματος.

4.3 Σκυρόδεμα με αδρανή από ανακυκλωμένο γυαλί

Το γυαλί δημιουργείται από διαθέσιμα εγχώρια υλικά όπως χαλαζιακή άμμος, σόδα, ασβεστόλιθο, υαλοπίνακες επίπλευσης και σε σύγκριση με τα υπόλοιπα ΑΕΚΚ μπορεί να ανακυκλωθεί επανειλημμένα χωρίς να χάσει τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του δηλαδή την ποιότητα ή την καθαρότητα του. Στην Ευρώπη το έτος 2012-2013 εκτιμάται ότι το ποσοστό αποβλήτων ήταν 0,66%, του συνόλου αποβλήτων, το οποίο μεταφράζεται σε 2,6 εκατομμύρια τόνους.



Εικόνα 4.3: Τύπος γυαλιού προς ανακύκλωση. Πηγή:

<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-apovliton/20170120STO59356/anakuklosi-apovliton-veltiosi-ton-stochon-gia-mia-mia-kukliki-oikonomia>

Το ανακυκλωμένο γυαλί υποκαθιστά έως και το 70% των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέου γυαλιού. Η ανακύκλωση του γυαλιού έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως την μείωση των εκπομπών, η επέκταση της διάρκειας ζωής του εξοπλισμού της μονάδας όπως είναι οι φούρνοι και η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και εξίσου σημαντικό είναι το γεγονός ότι δεν δημιουργούνται πρόσθετα απόβλητα ή υποπροϊόντα. Όσο αφορά το περιβαλλοντικό κομμάτι, το γυαλί αποτελείται κατά 70% από διοξείδιο του πυριτίου, 14% οξείδιο του ασβεστίου και το υπόλοιπο από οξείδιο του νατρίου τα οποία δεν παράγουν ρύπους αλλά υπάρχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή λόγω της διατήρησης υψηλών θερμοκρασιών, πάνω από τους 15.000°C αλλά και για την μεταφορά του. Τα προϊόντα γυαλιού διαφέρουν ως προς την χημική σύσταση και το χρώμα και διαχωρίζονται με βάση το χρώμα σε λευκό, πράσινο και καφέ.

4.3.1 Παραγωγή και ανάγκες

Το αρχικό στάδιο την ανακύκλωσης του γυαλιού είναι η θραύση με τελικό υλικό το υαλόθραυσμα μεγέθους 25-100mm. Έπειτα το υλικό αποθηκεύεται σε ειδικούς χώρους για να μην υπάρξει αλλοίωση. Το συγκεκριμένο υλικό είναι κατάλληλο για χρήση στην παραγωγή τούβλων, ασφάλτου, σε κατασκευή ηχομονωτικών και θερμομονωτικών υλικών και στη παραγωγή και ενίσχυση του σκυροδέματος. Ακόμη το στάδιο θεωρείται πρώιμο και χρειάζονται επιπρόσθετε έρευνες και μελέτες για την σταθερή χρήση του στην παραγωγή σκυροδέματος. Αρχικά θα πρέπει να ελεγχθούν οι χημικές αντιδράσεις του τελικού υλικού, η προτεινόμενη βέλτιστη αναλογία χρήση του γυαλιού, το μέγιστο ποσοστό αντικατάστασης του με τα αδρανή υλικά και το

τσιμέντο και τελικώς να δημιουργηθούν εκτιμήσεις για το προσδόκιμο ζωής του τελικού ανακυκλωμένου σκυροδέματος.

4.3.2 Ιδιότητες σκυροδέματος

4.3.2.1 Μηχανικές Ιδιότητες

Το ανακυκλωμένο γυαλί τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται σε θρυμματισμένη μορφή στο σκυρόδεμα αντικαθιστώντας μέχρι και 30% των συνθετικών αδρανών υλικών. Το σκυρόδεμα με προσθήκη αδρανών από αφρώδες κυτταρικό γυαλί παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά και αυτό συμβαίνει διότι δημιουργείται ελάχιστη απορρόφηση νερού με αποτέλεσμα την καλύτερη ενυδάτωση της τσιμεντοκονίας αυξάνοντας έτσι την αντοχή του σκυροδέματος όσο περνάει ο χρόνος και βελτιώνεται η πρόσφυση της τσιμεντόπαστας στην τραχιά επιφάνεια του υλικού, τέλος η ποζολανική αντίδραση μεταξύ του τσιμέντου και του γυαλιού είναι ένα βοήθημα για την ενίσχυση του δεσμού αυτού. Η δύναμη του σκυροδέματος επηρεάζεται από διάφορους επιπλέον παράγοντες όπως είναι ακόμη από η σύσταση της επιφάνειας, η μορφή, η δύναμη και η ακαμψία των αδρανών αλλά και ο συντελεστής ελαστικότητας επηρεάζουν τη πίεσης που δημιουργείται στο εσωτερικό μέρος του σκυροδέματος έχοντας ως γνώση ότι τα αδρανή δρουν ως επιβραδυντές των ρωγμών.

4.3.2.2 Συστολή

Αποτελεσματικά, το μείγμα αποτελούμενο με 30% αφρώδες κυτταρικό γυαλί έδειξαν αύξηση της συστολής στην τιμή των 120 έπειτα από 21 ημέρες, ενώ με μείγμα σε ποσοστό 40% και 50% η τιμή της αύξησης ανέρχεται στα 420 και 600 αντιστοίχως με σταθεροποίηση με το πέρασ 56 ημερών. Για τα μείγματα με ποσοστό 30%-50% παρουσιάζεται μια μικρή αύξηση της τάξης του 16% διότι το νερό απορροφήθηκε από τα αδρανή. Ο λόγος μετακίνησης και εξάτμισης ποσού υγρασίας όταν αυξάνεται υπάρχει και αύξηση της συστολής.

4.3.2.3 Ιδιότητες ανθεκτικότητας

Η απορρόφηση νερού των επιφανειών σκυροδέματος είναι γενικά 30% κατ'όγκο και του GF/GG είναι συγκρίσιμη με το συνηθισμένο σκυρόδεμα. Η επίδραση είναι εμφανές για GF/GG περισσότερο του 30% και όσο μεγάλωνε το ποσοστό τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Επιπλέον, καθώς αυξάνεται το w/c από 0,40 σε 0,77 η απορρόφηση νερού αυξάνεται επίσης με τη μείωση της αντοχής σε θλίψη. Βρέθηκε επιπλέον ότι η απορρόφηση νερού στις 60 ημέρες ήταν χαμηλότερη η τιμή από αυτή στις 28 ημέρες, εξαιτίας του ότι η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος αυξήθηκε με το χρόνο. Επιβεβαιώθηκε ότι ο ρυθμός απορρόφησης νερού μειώθηκε με την αύξηση της αναλογίας w/c λόγω καλύτερης ενυδάτωσης της πάστας τσιμέντου, καθώς και η αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος αυξάνεται από 15 Μpa σε 50 Μpa όσο μειώνεται η διαπερατότητα.

Επιπλέον, η καθυστέρηση απορρόφησης μειώθηκε με την αύξηση του ποσοστού GFGG, υποδεικνύοντας ταχύτερη απορρόφηση αδρανών και τσιμεντόπαστας, αλλά και την παρουσία πόρων στο εσωτερικό του σκυροδέματος που μειώνουν την ανθεκτικότητα. Η αύξηση του GFGG δεν επηρεάζει την απορρόφηση του νερού όπου η υδατοπερατότητα του σκυροδέματος είναι συγκρίσιμη με αυτή του συνηθισμένου σκυροδέματος CONTROL, το αποτέλεσμα εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες. Φυσικά, η τιμή στις 60 ημέρες είναι χαμηλότερη από τις 28 ημέρες όπως ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της αυξημένης αντοχής με την πάροδο του χρόνου. Συγκεκριμένα, οι συνδέσεις μεταξύ των πόρων είναι καλύτερες για τη διείσδυση υγρών και αερίων και όσο το σύστημα πόρων είναι κλειστό όπως το GFGG (σύστημα κλειστών πόρων), η διαπερατότητα του νερού δεν θα αυξηθεί ακόμη και αν το αδρανές είναι πορώδες. ΜΕ την λογική αυτή, τα συγκεκριμένα λεπτόκοκκα αδρανή GFGG σε ποσοστό 0-15% δεν επηρεάζουν την υδατοπερατότητα και την αντοχή του σκυροδέματος αλλά και τα χονδρόκοκκα αδρανή δεν επηρεάζουν αρνητικά έως το ποσοστό του 30% σε αντίθεση όταν το ποσοστό αυξηθεί στο 40,50, 60 και 100%.

4.3.2.4 Αντίδραση των αλκαλίων πυριτίου

Προβλήματα εμφανίζονται με τη χρήση ανακυκλωμένου γυαλιού ως αδρανές σκυροδέματος εξαιτίας της αντίδρασης των αλκαλίων πυριτίου οδηγώντας στην πραγματοποίηση ερευνών για την επίλυση αυτής της αντίδρασης και μέχρι στιγμής λαμβάνονται κάποια μέτρα για την μετρίαση του φαινομένου όπως είναι:

Ο θρυμματισμός του γυαλιού σε μικρούς κόκκους της τάξης των 300 μm.

Ορυκτές προσμίξεις όπως η μετακολίνη ή ιπτάμενη τέφρα βοηθούν στην μείωση της αντίδρασης στο σκυρόδεμα.

Χρησιμότητα γυαλιού στα αλκάλια.

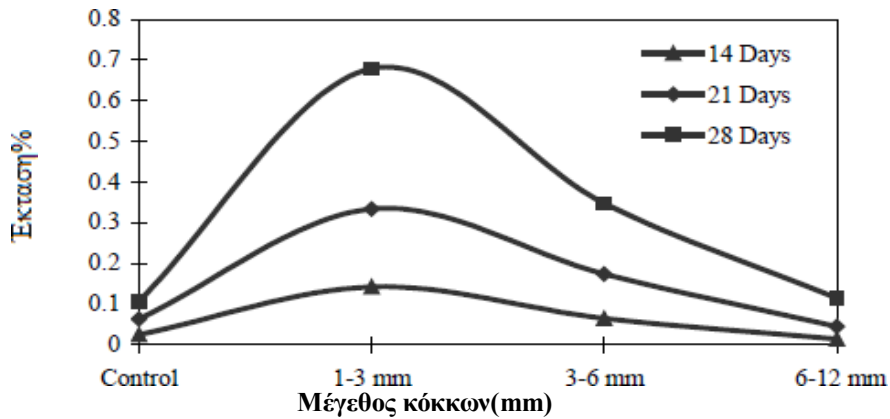
Μετατροπή της χημικής σύνθεσης του γυαλιού.

Χρήση στεγανοποιητικών πρόσθετων στο σκυρόδεμα .

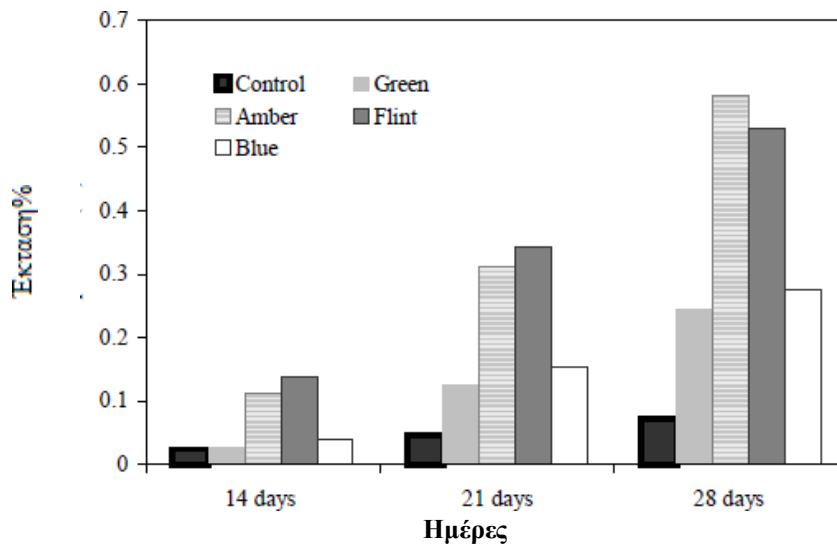
Χρήση τσιμέντου με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια.

4.3.3 Εργαστηριακές δοκιμές

Πραγματοποιούνται εργαστηριακές έρευνες και δοκιμές συνεχώς για την εξέταση των αντιδράσεων αλκαλίων πυριτίου με χρήση γυαλιού διαφορετικού χρώματος και κοκκομετρικής διαβάθμισης των αδρανών σκυροδέματος. Τα πρώτα αποτελέσματα υποδεικνύουν την ύπαρξη του καλύτερου μεγέθους γυαλιού για την μείωση της αντίδρασης αυτής.

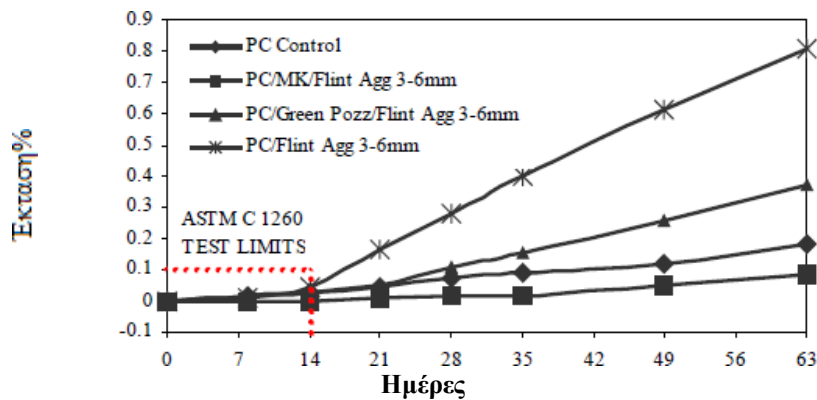


Διάγραμμα 4.15: Βέλτιστο μέγεθος μπλε γυαλιού



Διάγραμμα 4.16: Σχετική αντίδραση αδρανών γυαλιού μεγέθους 6-12mm διαφορετικών χρωμάτων

Ερευνήθηκε επίσης η αντίδραση με την χρήση πρόσθετων ως κατασταλτικά, όπως είναι το λευκό τσιμέντο, παραφορμαλδεΐδη, GGBS, μετακαολίνη και ποζολανικό γυαλί διαφορετικού χρώματος και διαβάθμισης.



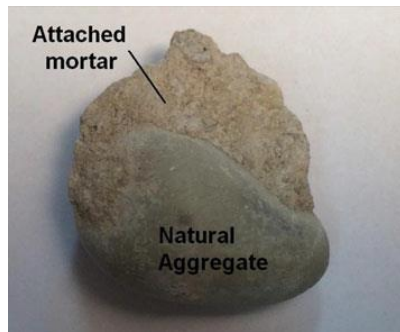
Διάγραμμα 4.17: Επίδραση πρόσμικτων στη μείωση της αντίδρασης αλκαλίων πυριτίου.

4.3.3.1 Παρατηρήσεις

Οι δοκιμές δείχνουν πως το ιδανικότερο μέγεθος κόκκων για να επιτευχθεί μικρότερη αντίδραση αλκαλίων πυριτίου κυμαίνεται από 6-12mm διότι διατηρεί σε χαμηλά ποσοστά τις αντιδράσεις μετά το πέρας των 28 ημερών ωρίμανσης του σκυροδέματος, επιπλέον παρατηρείται διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων ανάλογα το χρώμα του υλικού. Τέλος έχει διερευνηθεί και η αντίδραση με χρήση πρόσθετων υλικών με στόχο την μείωση αυτής (π.χ. λευκό τσιμέντο).

4.4 Σκυρόδεμα από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα

Οι ερευνητικές και πειραματικές διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν ακολουθούν τη βασική αρχή της επαναχρησιμοποίησης του ίδιου του σκυροδέματος ως ανακυκλώσιμου υλικού για την κατασκευή νέου σκυροδέματος και συγκρίνοντας δοκίμια σε θλίψη και κάμψη μετά από 7 ημέρες και 28 ημέρες αντίστοιχα υπό τις ίδιες συνθήκες σύνθεσης.



Εικόνα 4.4: Μορφή κόκκου ανακυκλωμένου αδρανούς από σκυρόδεμα. Πηγή: Εφαρμογή Ανακυκλωμένων Υλικών στο Σκυρόδεμα- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα, Εργαστήριο Δομικών Υλικών ΑΠΘ.

4.4.1 Διαδικασία μελέτης

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνθεση του μείγματος σε αυτή τη μελέτη ακολουθώντας τους κανονισμούς είναι:

- Το τσιμέντο Portland, CEM II.
- Τρία διαφορετικά μεγέθη χαλαζιακής άμμου: **α)** μέγεθος κόκκου 0.01-0.50 mm, **β)** μέγεθος κόκκου 0.70-1.45mm, **γ)** μέγεθος κόκκου 0.40-0.80 mm.

4.4.1.1 Προετοιμασία αρχικών δειγμάτων

Παρασκευή δοκιμίων:

- Η άμμος ταξινομείται πρώτα για κατανομή μεγέθους των σωματιδίων και την δημιουργία της κοκκομετρικής καμπύλης.
- Η σύνθεση του μίγματος αποτελούμενο από τσιμέντο, τρία είδη ξηρής χαλαζιακής άμμου και νερό.
- Έπειτα πραγματοποιήθηκε η παρασκευή και σκυροδέτηση δοκιμίων διαστάσεων 40mm×40mm×160mm.
- Τέλος τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε δοκιμές αντοχών θλίψης και κάμψης 7 ημερών και 28 ημερών.

Παρασκευή δοκιμίων από ανακυκλώσιμο σκυρόδεμα

- Πρώτο στάδιο είναι η θραύση των δοκιμίων για επαναχρησιμοποίηση στο νέο ανακυκλωμένο σκυρόδεμα.
- Στη συνέχεια έγινε κοσκίνισμα της άμμου για τον προσδιορισμό του μεγέθους των κόκκων.
- Το νέο μείγμα αποτελείται από ανακυκλωμένο τσιμέντο, τρία μέρη ξηρής χαλαζιακής άμμου, νερό και 0,15% κ.β. (επί της μάζας του τσιμέντου) υπερρευστοποιητή.
- Συνέχεια έχει η τελική παρασκευή και σκυροδέτηση των δοκιμίων με συγκεκριμένες διαστάσεις, 40mm×40mm×160mm.
- Τέλος τα δοκίμια υποβλήθηκαν εκ' νέου σε δοκιμές αντοχών θλίψης και κάμψης έπειτα από συντήρηση 7 ημερών και μετά από συντήρηση 28 ημερών.

4.4.1.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Για το κοσκίνισμα χρησιμοποιήθηκαν τα ASTM κόσκινα No16, No30, No100, No200 για την δημιουργία της κοκκομετρικής καμπύλης έπειτα από την κατανομή των κόκκων σύμφωνα με το πρότυπο διάγραμμα.

Κοσκινίστηκαν 75kg χαλαζιακής άμμου όπου στο κόσκινο

- No16 με άνοιγμα 1,180mm έχει συγκρατούμενο 23.732g,
- No30 με άνοιγμα 0,600mm έχει συγκρατούμενο 19.983g,
- No100 με άνοιγμα 0,105mm έχει συγκρατούμενο 22.817g,
- No 200 με άνοιγμα 0,075mm έχει συγκρατούμενο 3.168g.

Από το τελικό κοσκινισμένο υλικό χρησιμοποιήθηκαν 39kg για τον υπολογισμό της κοκκομετρικής καμπύλης και για να μην υπερβούν τα όρια της καμπύλης αυτής στα 39kg απαιτείται αναγκαίο συγκρατούμενο υλικό από τα κόσκινα:

- No16 -> 14430g,
- No30 -> 13260g,
- No100 -> 8190g,
- No200 -> 3120g.

| Κόσκινο ASTM | Άνοιγμα (mm) | Συγκρατούμενο ποσοστό (%) | Υπολογισμός | Συγκρατούμενο υλικό (g) |
|--------------|--------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| No.16 | 1,18 | 37 | 370 *39kg | 14.430 |
| No.30 | 0,60 | 71 | (710-370) *39kg | 13.260 |
| No.100 | 0,15 | 92 | (920-710) *39kg | 8.190 |
| No.200 | 0,075 | 100 | (1.000-920) *39kg | 3.120 |

Πίνακας 4.14: Υπολογισμός συγκρατούμενου υλικού.

4.4.1.3 Σύνθεση μίγματος

Για την παρασκευή του αρχικού μείγματος ή για την κατασκευή μιας μήτρας η οποία συγκροτείται από τρία δοκίμια, σε κάθε περίπτωση πρέπει να αναμιγνύονται 450 g τσιμέντο, 1.350 g άμμου και 225 g νερό.

Από τα 39kg άμμου που διανεμήθηκαν στα τέσσερα κόσκινα, υπολογίσθηκαν οι απαραίτητες ποσότητες των συστατικών στα 1.350g.

| Κόσκινο ASTM | Ποσότητα άμμου (g) |
|--------------|--------------------|
| No.16 | 499,5 |
| No.30 | 459,0 |
| No.100 | 283,5 |
| No.200 | 108,0 |

Πίνακας 4.15: Συγκρατούμενη ποσότητα άμμου.

4.4.1.4 Παρασκευή και σκυροδέτηση δοκιμίων

Κατά την προετοιμασία χρησιμοποιήθηκε ηλεκτροκίνητος εργαστηριακός αναδευτήρας με υποδοχή με ανοξείδωτο χάλυβα χωρητικότητας 4,7lt.

Η διαδικασία:

- Αρχικά το νερό προστέθηκε στον αναμικτήρα λειτουργώντας σε χαμηλή ταχύτητα.
- Έπειτα προστέθηκε τσιμέντο και χρειάστηκε αναμονή 30sec.
- Επόμενο βήμα η προσθήκη άμμου με σταθερό ρυθμό με αναμονή ακόμη 30sec.
- Πραγματοποιείται αύξηση της ταχύτητας στο νούμερο II του αναμικτήρα με αναμονή ξανά 30sec.
- Ο αναμεικτήρας κλείνει για περίπου 1,5 min και καθαρίζονται τα τοιχώματα με συγκεκριμένου τύπου, πλαστικό, ξύστρο.
- Ο αναμικτήρας ενεργοποιείται ξανά σε λειτουργία με υψηλή ταχύτητα για 1 min.
- Συνεχίζεται η λίπανση κάθε μήτρας εσωτερικά και τοποθετείται στην πλάκα της συσκευής του συμπυκνωτή με κρούση και μέσα σε αυτή κατευθείαν από τον αναμικτήρα τοποθετείται το πρώτο στρώμα μείγματος περίπου μέχρι την μέση, 320 g. Με την βοήθεια μιας ατσάλινης σπάτουλας απλώνεται το στρώμα όπου σύρεται δυο φορές εμπρός - πίσω κατά μήκος. Αυτό το στρώμα κονιάματος υποβάλλεται σε 60 κρούσεις σε χρόνο 60 δευτερολέπτων. Κατανέμεται ομοιόμορφα και η δεύτερη στρώση από το ίδιο ακριβώς κονίαμα όπου ισοπεδώνεται και συμπυκνώνεται.
- Η άνω επιφάνεια της μήτρας και καθαρίστηκε με μυστρί.
- Στην συνέχεια οι μήτρες καλύπτονται με υγρά πανιά σε όλη τους την επιφάνεια για την αποφυγή εξατμίσεως του νερού αναμίξεως.
- Μια μέρα μετά την έκχυση του σκυροδέματος τα δείγματα αφαιρέθηκαν από τα καλούπια και αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις και τα βάρη τους με ηλεκτρονικό μικρόμετρο και αναλυτική ζυγαριά ακριβείας τοποθετήθηκαν μέσα σε νερό όπου αφέθηκαν για συντήρηση για 7 ή 28 ημέρες αντίστοιχα.

- Τέλος καθαρίζονται οι μήτρες και λιπαίνονται με ορυκτέλαιο ώστε να είναι έτοιμες για την επανάληψη της διαδικασίας της σκυροδέτησης.

4.4.2 Δοκιμές αντοχών σε κάμψη & θλίψη

Κατά την φάση αυτή η αντοχή των δοκιμίων μετά από συντήρηση 7 και 28 ημερών πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σε θλίψη με χρήση μηχανής κάμψεως.

- Η αντοχή σε κάμψη R_f δίνεται από τον τύπο:

$$R_f = \frac{1.5 \cdot F_f \cdot L}{b^3} \text{ N/mm}^2$$

F_f : Το φορτίο που εφαρμόστηκε στην μέση του δοκιμίου σε Newton.

L : Η απόσταση μεταξύ των στηριγμάτων σε mm.

b : Η πλευρά της τετραγωνικής διατομής σε mm.

Παράδειγμα υπολογισμού για το δοκίμιο 1:

$$F_f = 254 \text{ dan} \cdot 10 \text{ N} = 2.540 \text{ N}$$

$$R_f = (1,5 \cdot F_f \cdot L) / b^3 = (1,5 \cdot 2.540 \cdot 110) / 403 = 6,5484 \text{ N/mm}^2$$

- Η αντοχή σε θλίψη R_c δίνεται από τον τύπο:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \text{ N/mm}^2$$

F_c : μέγιστο φορτίο στο σημείο θραύσης με F_{c1} , F_{c2} τα δύο θραύσματα μετά την κάμψη, όπου δίνεται από τον τύπο:

$$F_c = \frac{(F_{c1} + F_{c2}) \cdot 1000}{2} \text{ N}$$

A : η επιφάνεια των πλακών σε mm^2

Παράδειγμα υπολογισμού για το δοκίμιο 1:

$$F_c = [(71,7 + 75,4) \cdot 1000] / 2 = 73.550 \text{ N}$$

$$R_c = 73.550 / (40 \cdot 40,44) = 45.4686 \text{ N/mm}^2$$

Παρασκευάστηκαν 10 δοκίμια και παρέμειναν σε συντήρηση για 7 ημέρες και τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν τα εξής:

| Δοκίμιο | Διαστάσεις- mm | Βάρος- g | Ff- N | Rf- N/mm ² | Μέσος όρος Rf- N/mm ² | Fc- N | Rc- N/mm | Μέσος όρος Rc |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------------------------|---|--------|-------------|---------------------|
| 1 | 40,00*40,44 | 587 | 2.540 | 6,5484 | 6,9498 | 73.550 | 45,4686 | 44,5296 |
| 2 | 40,18*38,11 | 569 | 2.890 | 7,3511 | | 68.500 | 43,5906 | |
| 3 | 40,07*38,91 | 573,5 | 2.485 | 6,3731 | 6,3748 | 72.750 | 45,4917 | 44,1504 |
| 4 | 40,09*40,70 | 591 | 2.490 | 6,3731 | | 69.850 | 42,8091 | |
| 5 | 39,98*40,47 | 577 | 2.720 | 7,0230 | 7,0268 | 69.450 | 42,9236 | 42,7574 |
| 6 | 40,09*39,71 | 577,5 | 2.690 | 6,8885 | | 66.050 | 41,4894 | |
| 7 | 40,14*40,67 | 585,5 | 2.810 | 7,1690 | | 71.600 | 43,8593 | |
| 8 | 40,09*38,78 | 572 | 2.520 | 6,4532 | 6,4866 | 69.800 | 43,7678 | 42,7978 |
| 9 | 40,07*39,77 | 574,5 | 2.650 | 6,7963 | | 69.850 | 43,8320 | |
| 10 | 40,04*40,23 | 582 | 2.570 | 6,6059 | | 67.950 | 42,1838 | |

Πίνακας 4.16: Συντήρηση συμβατικού σκυροδέματος 7 ημερών.

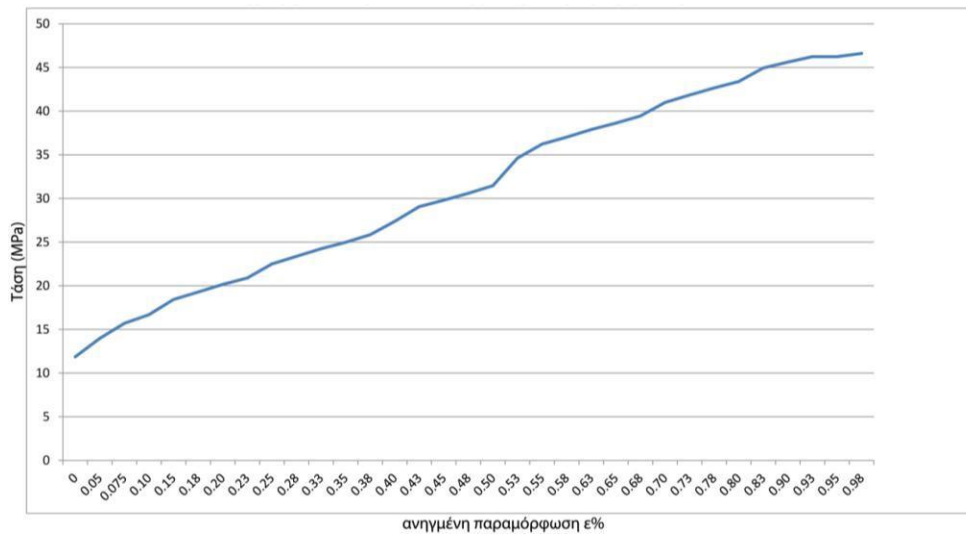
Γενικός Μέσος Όρος: Rf -> 6,66 & Rc -> 43,68

Δημιουργία διαγράμματος σ-ε%

- Δοκίμιο 1
- Εμβαδόν: 1.616 mm²
- Φορτίο θραύσης: 75,4 kN ή 75400 N
- Τάση θραύσης: 46,66 Μpa

| Δύναμη – κN | ΔL – mm | Τάση – Μpa (N/mm ²) | Ανοιγμένη παραμόρφωση ε% [(ε=ΔL/L ₀)*100] |
|-------------|---------|------------------------------------|---|
| 19,2 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| 25,4 | 0,03 | 16 | 0,075 |
| 29,8 | 0,06 | 18 | 0,15 |
| 32,6 | 0,08 | 20 | 0,20 |
| 36,4 | 0,10 | 23 | 0,25 |
| 39,2 | 0,13 | 24 | 0,33 |
| 41,8 | 0,15 | 26 | 0,38 |
| 47 | 0,17 | 29 | 0,43 |
| 49,5 | 0,19 | 31 | 0,48 |
| 56 | 0,21 | 35 | 0,53 |
| 59,9 | 0,23 | 37 | 0,58 |
| 62,5 | 0,26 | 39 | 0,65 |
| 66,3 | 0,28 | 41 | 0,70 |
| 69 | 0,31 | 43 | 0,78 |
| 72,7 | 0,33 | 45 | 0,83 |
| 74,8 | 0,37 | 46 | 0,93 |
| 75,4 | 0,39 | 47 | 0,98 |

Πίνακας 4.17: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 1.



Διάγραμμα 4.18: Τάσης, σ - Ανηγμένης παραμόρφωσης, $\epsilon\%$ δοκιμίου 1, (7 ημερών)

Παρασκευάστηκαν 10 δοκίμια και παρέμειναν σε συντήρηση για 28 ημέρες και τα αποτελέσματα των μετρήσεων ήταν τα εξής:

| Δοκίμιο | Διαστάσεις- mm | Βάρος- g | Ff- N | Rf- N/mm ² | Μέσος όρος Rf- N/mm ² | Fc- N | Rc- N/mm | Μέσος όρος Rc |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------------------------|---|--------|-------------|---------------------|
| 11 | 40,24*39,32 | 563,5 | 2.770 | 7,0144 | 7,1692 | 84.600 | 53,4686 | 54,9228 |
| 12 | 40,05*39,91 | 581 | 2.710 | 6,9815 | | 91.100 | 56,8664 | |
| 13 | 40,25*41,35 | 580,5 | 2.780 | 7,1404 | 7,2810 | 87.400 | 54,6798 | 55,0396 |
| 14 | 40,29*40,00 | 604 | 2.980 | 7,5405 | | 91.000 | 54,6764 | |
| 15 | 39,98*40,56 | 573 | 3.060 | 7,7199 | 7,3642 | 89.950 | 55,8141 | 53,7441 |
| 16 | 40,37*39,40 | 583,5 | 2.770 | 7,0564 | | 90.600 | 56,6259 | |
| 17 | 40,04*39,92 | 584,5 | 2.740 | 7,0747 | | 87.100 | 53,7128 | |
| 18 | 40,04*39,78 | 571,5 | 2.900 | 7,2792 | | 85.900 | 54,0055 | |
| 19 | 39,83*39,16 | 573,5 | 2.830 | 7,4542 | | 86.050 | 53,8352 | |
| 20 | 40,05*39,94 | 572 | 2.970 | 7,2742 | | 80.700 | 54,0247 | |

Πίνακας 4.18: Συντήρηση συμβατικού σκυροδέματος 28 ημερών.

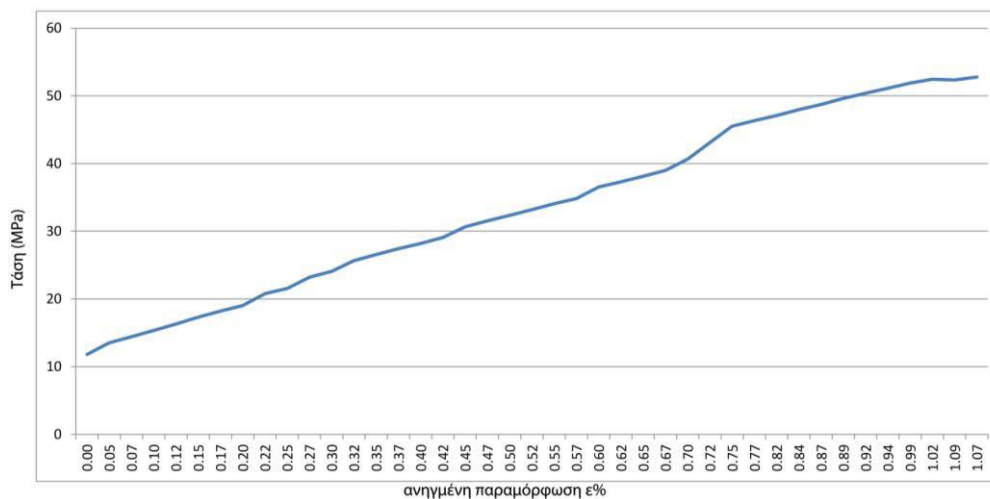
Γενικός Μέσος Όρος: Rf -> 7,48 & Rc -> 53,93

Δημιουργία διαγράμματος σ - $\epsilon\%$

- Δοκίμιο 11
- Εμβαδόν: 1.582 mm²
- Φορτίο θραύσης: 83,5 kN ή 83.500 N
- Τάση θραύσης: 52,77 Mpa

| Δύναμη – κN | ΔL – mm | Τάση – Μpa (N/mm ²) | Ανοιγμένη παραμόρφωση ε% [(ε=ΔL/L ₀)*100] |
|-------------|---------|------------------------------------|---|
| 18,7 | 0,00 | 12 | 0,00 |
| 22,8 | 0,03 | 14 | 0,07 |
| 25,8 | 0,05 | 16 | 0,12 |
| 28,8 | 0,07 | 18 | 0,17 |
| 32,9 | 0,09 | 21 | 0,22 |
| 36,7 | 0,11 | 23 | 0,27 |
| 40,6 | 0,13 | 26 | 0,32 |
| 43,4 | 0,15 | 27 | 0,37 |
| 46,0 | 0,17 | 29 | 0,42 |
| 49,9 | 0,19 | 32 | 0,47 |
| 52,5 | 0,21 | 33 | 0,52 |
| 55,1 | 0,23 | 35 | 0,57 |
| 59,0 | 0,25 | 37 | 0,62 |
| 61,7 | 0,27 | 39 | 0,67 |
| 68,2 | 0,29 | 43 | 0,72 |
| 73,3 | 0,31 | 46 | 0,77 |
| 75,9 | 0,34 | 48 | 0,84 |
| 78,5 | 0,36 | 50 | 0,89 |
| 80,9 | 0,38 | 51 | 0,94 |
| 83,0 | 0,41 | 52 | 1,02 |
| 83,5 | 0,43 | 53 | 1,07 |

Πίνακας 4.19: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 11.



Διάγραμμα 4.19: Τάσης, σ - Ανοιγμένης παραμόρφωσης, ε% δοκιμίου 11, (28 ημερών)

4.4.3 Διαδικασία δημιουργίας ανακυκλωμένου σκυροδέματος

- Αρχικά πραγματοποιείται η θραύση του συμβατικού σκυροδέματος που δημιουργήθηκε
- Ακολουθεί το κοσκίνισμα του υλικού για την κατανομή μεγέθους των κόκκων

- Τα δοκίμια που δημιουργήθηκαν έπειτα από τις δοκιμές θραύσης και κάμψης καταστράφηκαν με την χρήση μιας βαριοπούλας και ο λόγος που δεν χρησιμοποιήθηκε η μηχανή Los Angeles είναι ότι αυξάνει την ποσότητα παιπάλης και δεν μπορεί να ικανοποιήσει το απαιτούμενο μέγεθος κόκκων για την παρασκευή του μείγματος.
- Ομοίως κατασκευάστηκε η κοκκομετρική καμπύλη και στο ανακυκλωμένο σκυρόδεμα.
- Η νέα σύνθεση που δημιουργήθηκε για την παρασκευή του νέου ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι η ίδια που πραγματοποιήθηκε στη δημιουργία του συμβατικού με μόνη διαφορά την προσθήκη ρευστοποιητή. Πιο συγκεκριμένα η σύνθεση αποτελείται από ένα μέρος ανακυκλωμένου τσιμέντου, τρία μέρη ξηρής χαλαζιακής άμμου, μισό μέρος νερού αναμιξέως και 0,15% επί της μάζας του τσιμέντου υπερρευστοποιητή, όπου για την κατασκευή μιας μήτρας χρειάζονται τρία δοκίμια και οι ποσότητες αριθμητικά είναι 450g τσιμέντο, 1.350g άμμου, 225g νερό και 3g υπερρευστοποιητή.
- Τελικό στάδιο είναι η παρασκευή και σκυροδέτηση των δοκιμίων με διαστάσεις 40x40x160 (mm).

Δοκιμή αντοχής σε θλίψη και κάμψη συντήρησης 7 ημερών

Στις δοκιμές προσδιορίστηκε η αντοχή θλίψης των δοκιμίων με συντήρηση 7 ημερών χρησιμοποιώντας την συσκευή κάμψεως.

| Δοκίμιο | Διαστάσεις- mm | Βάρος- g | Ff- N | Rf- N/mm ² | Μέσος όρος Rf- N/mm ² | Fc- N | Rc- N/mm | Μέσος όρος Rc |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------------------------|---|--------|-------------|---------------------|
| 1. | 40,29*42,59 | 550,0 | 3.160 | 7,97 | 7,92 | 78.250 | 45,60 | 46,59 |
| 2 | 40,25*40,04 | 546,8 | 3.160 | 8,00 | | 77.250 | 47,93 | |
| 3 | 40,00*39,69 | 5544,5 | 3.020 | 7,79 | | 73.400 | 46,23 | |

Πίνακας 4.20: Συντήρηση ανακυκλωμένου σκυροδέματος 7 ημερών.

Δοκιμή αντοχής σε θλίψη και κάμψη συντήρησης 28 ημερών

Στις δοκιμές προσδιορίστηκε η αντοχή θλίψης των δοκιμίων με συντήρηση 28 ημερών χρησιμοποιώντας την συσκευή κάμψεως.

| Δοκίμιο | Διαστάσεις- mm | Βάρος- g | Ff- N | Rf- N/mm ² | Μέσος όρος Rf- N/mm ² | Fc- N | Rc- N/mm | Μέσος όρος Rc |
|---------|-------------------|-------------|-------|--------------------------|---|--------|-------------|---------------------|
| 4 | 40,35*42,85 | 561 | 3.340 | 8,40 | 7,51 | 88.150 | 50,98 | 51,84 |
| 5 | 40,25*41,33 | 543 | 3.080 | 7,79 | | 83.550 | 50,22 | |
| 6 | 40,70*40,64 | 555,5 | 2.800 | 6,85 | | 90.050 | 54,44 | |
| 7 | 40,46*40,57 | 553 | 2.850 | 7,10 | | 89.300 | 54,40 | |
| 8 | 40,84*41,35 | 560,5 | 3.150 | 7,63 | | 83.650 | 49,53 | |
| 9 | 40,11*40,18 | 544 | 2.850 | 7,29 | | 82.950 | 51,47 | |

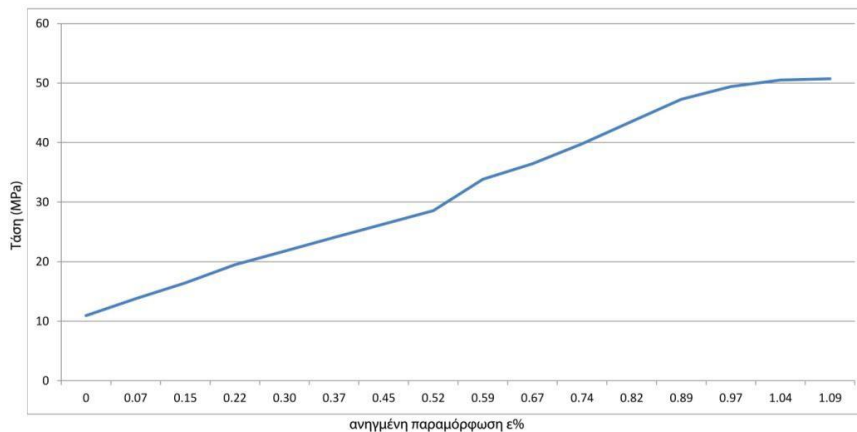
Πίνακας 4.21: Συντήρηση ανακυκλωμένου σκυροδέματος 28 ημερών.

Δημιουργία διαγράμματος σ - $\epsilon\%$

- Δοκίμιο 4
- Εμβαδόν: 1.729 mm²
- Φορτίο θραύσης: 87,7 kN ή 87.700 N
- Τάση θραύσης: 50,72 MPa

| Δύναμη – κN | ΔL – mm | Τάση – Mpa (N/mm ²) | Ανοιγμένη παραμόρφωση $\epsilon\%$ [($\epsilon = \Delta L / L_0$)*100] |
|-------------|-----------------|------------------------------------|--|
| 18,9 | 0 | 11 | 0 |
| 28,4 | 0,06 | 16 | 0,15 |
| 37,6 | 0,12 | 22 | 0,30 |
| 41,6 | 0,15 | 24 | 0,37 |
| 45,5 | 0,18 | 26 | 0,45 |
| 49,4 | 0,24 | 29 | 0,52 |
| 63,0 | 0,30 | 36 | 0,67 |
| 75,3 | 0,36 | 44 | 0,82 |
| 85,4 | 0,42 | 49 | 0,97 |
| 87,7 | 0,44 | 51 | 1,09 |

Πίνακας 4.22: Τιμές θλιπτικής αντοχής δοκιμίου 4.



Διάγραμμα 4.20: Τάσης, σ - Ανηγμένης παραμόρφωσης, $\epsilon\%$ δοκιμίου 4, (28 ημερών)

4.4.4 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα με βάση την σύγκριση των τιμών των αποτελεσμάτων από τις εκάστοτε δοκιμές του συμβατικού και ανακυκλωμένου σκυροδέματος είναι:

I. Θλιπτική αντοχή: συμβατικό σκυρόδεμα 53,93 MPa > ανακυκλωμένο 51,84 MPa, 28 ημερών ωρίμανσης παρουσιάζει διαφορά 2MPa.

II. Θλιπτική αντοχή: συμβατικό σκυρόδεμα 43,59 MPa < ανακυκλωμένο 46,59 MPa, 7 ημερών ωρίμανσης παρουσιάζει διαφορά 3MPa.

III. Αντοχή σε κάμψη: συμβατικό σκυρόδεμα 7,48 MPa < ανακυκλωμένο 7,51 MPa, 28 ημερών ωρίμανσης παρουσιάζει διαφορά 0,03MPa.

IV. Αντοχή σε κάμψη: συμβατικό σκυρόδεμα 6.66 MPa < ανακυκλωμένο 7.92 MPa, 7 ημερών ωρίμανσης παρουσιάζει διαφορά 1.26MPa.

ΕΝΟΤΗΤΑ Ε

5.1 Οικονομικές πτυχές

Ο κατασκευαστικός κλάδος αποτελούσε εξ' αρχής ένα σημαντικό τομέα της οικονομίας αλλά η έλλειψη οργανωμένης αγοράς ανακυκλώσιμων υλικών εμποδίζει την αξιολόγηση οικονομικής κλίμακας οδηγώντας σε αξιολόγηση δευτερογενών αδρανών υλικών.

Είναι αποδεδειγμένο πως η ανακύκλωση σκυροδεμάτων είναι κερδοφόρα και υγιής επιχείρηση όμως εμφανίζονται συγκεκριμένα εμπόδια που απαιτούν προσοχή.

- Ξεκινώντας με τα έξοδα μεταφοράς που επιβάλλει την αγορά απέναντι σε αστικές περιοχές, θα πρέπει να διατηρεί χαμηλότερες τιμές.
- Η διαθεσιμότητα των τροφοδοτούμενων υλικών στο συγκρότημα εξαρτάται από το μέγεθος των κατεδαφίσεων οι οποίες πραγματοποιούνται μέσα σε παλαιότερες και μεγαλύτερες αστικές περιοχές.
- Οι τιμές κόστους διαφοροποιούνται και αυξομειώνονται ανάλογα την κατάσταση δηλαδή, την τοποθεσία και τις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.
- Με ειδικές οικονομοτεχνικές μελέτες η διοίκηση θα πρέπει να βελτιώσει και να εξοπλίσει τεχνολογικά τη παραγωγή της ανακύκλωσης όπου θα συντελέσει στη μείωση του κόστους εκμετάλλευσης.

Τα τελευταία στατιστικά στοιχεία από χώρες που χρησιμοποιούν τεχνολογία ανακύκλωσης εδώ και πολλά χρόνια δείχνουν ότι το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, τα υπολείμματα πεζοδρομίων και τα συντρίμια από διάφορες κατασκευές και κατεδαφίσεις μπορούν να μετατραπούν σε ένα επιπλέον κερδοφόρο προϊόν εμπορεύσιμων αδρανών. Το τελικό συμπέρασμα είναι ότι η τεχνολογία της ανακύκλωσης εξασφαλίζει σημαντικά οικονομικά οφέλη και ταυτόχρονα την προστασία του περιβάλλοντος επομένως δεν αποτελεί μόνο υποχρέωση προς τη φύση αλλά πλέον είναι μια κερδοφόρα επιχείρηση.

Το μέλλον των ανακυκλωμένων αδρανών υλικών θα εξαρτηθεί από τη σταδιακή μείωση της απορροφητικής ικανότητας της υγειονομικής ταφής, την αυξανόμενη ζήτηση για υλικά, τους συνεχείς περιορισμούς διαχείρισης και ακόμη και τις ανάγκες της εθνικής οικονομίας καθώς πρόκειται για εθνικό υλικό και σύντομα θα αναγνωρισθεί ως υλικό σε ανεπάρκεια.

5.2 Κυκλική οικονομία

Το μοντέλο της οικονομίας που λειτουργούσε μέχρι τώρα είναι το γραμμικό μοντέλο παραγωγής, Προμήθεια - Παρασκευή - Απόρριψη, το οποίο δεν είναι πλέον βιώσιμο. Η κυκλική οικονομία αναγνωρίζεται ως ένας τύπος βιώσιμης ανάπτυξης δίνοντας βαρύτητα στην λογική της επαναχρησιμοποίησης και στις νέες αγορές το οποίο βοηθά και οδηγεί στην επάρκεια των φυσικών πόρων του πλανήτη μας, Παραγωγή - Κατανάλωση – Ανακύκλωση. Σε πρακτική εφαρμογή αυτό το οικονομικό μοντέλο τα επεξεργαζόμενα συστατικά και υλικά μπορούν να επιστρέψουν πίσω στον κύκλο, δηλαδή οτιδήποτε ονομάζεται απόβλητο έως τώρα υπάρχει η επιλογή της μετατροπής σε πρώτη ύλη με στόχο την μείωση της σπατάλης των πόρων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγική διαδικασία στο σύνολο.



Εικόνα 5.: Επεξήγηση μοντέλου γραμμικής και κυκλικής οικονομίας. Πηγή: <https://www.ekt.gr/el/magazines/features/23377>

Η κυκλική οικονομία είναι εν μέρει μια εξέλιξη της ανακύκλωσης, αλλά με μια σημαντική διαφορά, στην ανακύκλωση τα παλιά προϊόντα αναλύονται σε πρώτες ύλες που ανακυκλώνονται και επαναχρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων προϊόντων. Σε μια κυκλική οικονομία, τα προϊόντα σχεδιάζονται από την αρχή, ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν σαν καινούργια. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συνεχίσει η κοινωνία μας να αναπτύσσεται και να διασφαλίζει την επάρκεια, τη σταθερότητα και τη διάρκεια των φυσικών πόρων είναι να ακολουθήσει ένα νέο μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης που θα μειώσει τα απόβλητα, μειώνοντας ταυτόχρονα την ανάγκη για νέους πόρους που πρέπει να εξορυχθούν με τεράστια οικονομικά και περιβαλλοντικά "έξοδα". Βιωσιμότητα σημαίνει ότι βελτιώνουμε το βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων μέσω μιας σύγχρονης οικονομίας ου χρησιμοποιεί τους πόρους πιο έξυπνα και προάγει την ευημερία των πολιτών.

5.2.1 Στόχοι Ε.Ε. για τη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Τα απόβλητα έχουν σημαντικές επιβλαβείς επιπτώσεις στο περιβάλλον, το κλίμα, στην ανθρώπινη υγεία και στην οικονομία. Παρά τις σημαντικές βελτιώσεις στη διαχείριση των απορριμμάτων στην Ε.Ε. τις τελευταίες δεκαετίες, περισσότερο από το ένα τέταρτο των αστικών απορριμμάτων συνεχίζουν να καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής και λιγότερο από το μισό της ποσότητας αυτής ανακυκλώνεται, με σημαντικές διαφορές μεταξύ των κρατών μελών.

Η Ε.Ε. έχει θέσει κοινό στόχο για την ανακύκλωση του 55% των αστικών απορριμμάτων έως το 2025, αυξάνοντας σε 60% έως το 2030, 65% έως το 2035, 65% έως το 2025 και πιθανώς 70% έως το 2030, και έχει ξεχωριστούς στόχους για συγκεκριμένες ομάδες υλικών. Έθεσε επίσης δεσμευτικό στόχο μείωσης των χωματερών στο 10% των αστικών απορριμμάτων έως το 2035. Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία είναι μια ευκαιρία για την δημιουργία ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος σε βιώσιμη βάση και την εφαρμογή των αρχών της κυκλικής οικονομίας σε όλους τους τομείς, σύμφωνα με το Έγγραφο "*Προς μια βιώσιμη Ευρώπη έως το 2030*" της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, δύναται η παραγωγή καθαρού οικονομικού οφέλους ύψους 1,8 τρισεκατομμύριων ευρώ έως το 2030 και να αποφέρει περισσότερες από 1 εκατομμύριο νέες θέσεις εργασίας στην Ε.Ε. και να διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στη μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

5.3 Εθνικό νομικό πλαίσιο

Η ανάπτυξη και η λειτουργία μονάδας εναλλακτικής ολοκληρωμένης διαχείρισης απορριμμάτων προτείνεται μέσω της εφαρμογής της κατάλληλης νομοθεσίας και της υιοθέτησης από τους επενδυτές. Καθώς οι ΧΥΤΑ σπανίζουν στην Ελλάδα, η νομοθεσία για την διαχείριση των αδρανών αποβλήτων είναι ανεπαρκής και οι εργολάβοι αδιαφορούν ή αγνοούν που καταλήγουν τα απόβλητα.

Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο να υπάρχουν οι κατάλληλοι νόμοι για να ενημερωθούν και συμμορφωθούν όλοι όσοι ασχολούνται στον κατασκευαστικό κλάδο, με την προστασία του περιβάλλοντος. Δεδομένου ότι η διάθεση των απορριμμάτων στους χώρους υγειονομικής ταφής και στο περιβάλλον είναι υπανάπτυκτη,, πρέπει να γίνεται σωστή διαχείριση τους ώστε να μην μολύνουν το έδαφος, την ατμόσφαιρα και το νερό και συνεπώς τους ίδιους τους ανθρώπους.

Οι νομοθετικές πράξεις που αφορούν κοινωνικά και περιβαλλοντικά θέματα για την διαχείριση των αποβλήτων στη Ελλάδα:

Πλαίσιο Διαχείρισης Αποβλήτων

• Νόμος 4042/2012 (ΦΕΚ 24Α/13-2-2012): «Ποινική προστασία του περιβάλλοντος. Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/99 / ΕΚ - Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων - Εναρμόνιση με την οδηγία 2008/98 / ΕΚ - Κανονισμός του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» - Θεσπίζεται η προστασία του περιβάλλοντος μέσω του ποινικού δικαίου, ο ΕΟΑΝ αντικαθιστά τον ΕΟΕΣΔΑΡ και ορίζεται η ευθύνη του Παραγωγού.

Εναλλακτική Διαχείριση αποβλήτων

• Νόμος 2939/2001 (ΦΕΚ 179Α/6-8-2001): «Συσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π) και άλλες διατάξεις» - Για πρώτη φορά οι ορίζονται οι έννοιες «Εναλλακτική Διαχείριση» και «Σύστημα Εναλλακτικής Διαχείρισης» καθώς και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους. Ο Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π ιδρύεται επίσης (αντικαταστάθηκε από τον ΕΟΑΝ με το Ν. 4042/2012).

• ΚΥΑ 36259/1757/Ε103/2010: «Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ)». Δίνονται βασικοί ορισμοί για τα ΑΕΚΚ (ανά βνήφιο κωδικό - κεφάλαιο 17, συμπεριλαμβανομένων των κωδικών 01 04 03 και 10 13 14), τα ΣΣΕΔ την Εναλλακτική Διαχείριση, οι υποχρεώσεις των ΣΣΕΔ, γενικοί όροι για τη διαχείριση των ΑΕΚΚ (συλλογή, μεταφορά, ανακύκλωση) και ποσοτικοί στόχοι για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και ανάκτηση υλικών από ΑΕΚΚ.

• Εγκύκλιος Νο. 129043/4345/8-7-2011: «Εφαρμογή νομοθεσίας για τη διαχείριση των μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων» - Διευκόλυνση της εφαρμογής της ισχύουσας νομοθεσίας σχετικά με τη διαχείριση στερεών (μη επικίνδυνων) αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων των ΑΕΚΚ. Πιο συγκεκριμένα, αποσαφηνίζεται το νομικό πλαίσιο συλλογής και μεταφοράς των ΑΕΚΚ.

• Νόμος 4496/2017 (ΦΕΚ 170Α/8-11-2017): «Τροποποίηση του Ν. 2939/2001 για την εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων, προσαρμογή στην Οδηγία 2015/720/ΕΕ, ρύθμιση θεμάτων του Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης και άλλες διατάξεις» – Περιλαμβάνει λεπτομερείς διατάξεις για τη λειτουργία των ΣΣΕΔ και τις νομικές τους υποχρεώσεις. Τροποποιεί επίσης συγκεκριμένα άρθρα του Ν. 2939/2001. Βελτίωση Πλαισίου Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) στην Ελλάδα.

Σχέδια Διαχείρισης Αποβλήτων

• ΥΑ 62952/5384/2016 (ΦΕΚ 4326/ Β` 30-12-2016): «Εγκριση του Εθνικού Σχεδίου Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων (ΕΣΔΕΑ), σύμφωνα με το άρθρο 31 του Νόμου 4342/2015».

Περιβαλλοντική Νομοθεσία/Περιβαλλοντική Αδειοδότηση

• Νόμος 4014/2011 (ΦΕΚ 209Α/21.9.2011): «Περιβαλλοντική αδειοδότηση έργων και δραστηριοτήτων, ρύθμιση αυθαιρέτων σε συνάρτηση με δημιουργία

περιβαλλοντικού ισοζυγίου και άλλες διατάξεις αρμοδιότητας Υπουργείου Περιβάλλοντος» - Περιγράφει το πλαίσιο, τους όρους και τις απαιτήσεις για την περιβαλλοντική αδειοδότηση.

- Νο. ΔΙΠΑ/37674/10-8-2016 (ΦΕΚ 2471B/2016): «Τροποποίηση και κωδικοποίηση της υπουργικής απόφασης 1958/2012 - Κατάταξη δημοσίων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων σε κατηγορίες και υποκατηγορίες σύμφωνα με το άρθρο 1 παράγραφος 4 του Ν. 4014/21.9.2011 (ΦΕΚ 209/A/2011) όπως αυτή έχει τροποποιηθεί και ισχύει».

- ΚΥΑ 43942/4026/2016: «Οργάνωση και λειτουργία του Ηλεκτρονικού Μητρώου Αποβλήτων (ΗΜΑ), σύμφωνα με τις διατάξεις του Άρθρου 42 του Νόμου 4042/2012 (Α '24), όπως ισχύει» - Ρυθμίζει την οργάνωση και λειτουργία του ΗΜΑ, την υποχρεωτική ηλεκτρονική καταχώριση και καταγραφή φορέων, εταιρειών και εγκαταστάσεων που εμπλέκονται στην παραγωγή και επεξεργασία αποβλήτων, καθώς και στις διαδικασίες συλλογής και μεταφοράς αποβλήτων.

- ΚΥΑ ΥΠΕΝ/ΔΙΠΑ/11936/836/2019: «Καθορισμός διαδικασίας και δικαιολογητικών για την εγκατάσταση και τη λειτουργία έργων και δραστηριοτήτων Συστημάτων Περιβαλλοντικών Υποδομών» - Συσχετίζει τη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας ΑΕΚΚ και τις οργανωμένες περιοχές για την απόρριψη αδρανών υλικών και υπολειμμάτων από την επεξεργασία ΑΕΚΚ.

- Νόμος 4685/2020 (ΦΕΚ 92Α/7-5-2020): «Εκσυγχρονισμός περιβαλλοντικής νομοθεσίας, ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία των Οδηγιών 2018/844 και 2019/692 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου και λοιπές διατάξεις» - Το άρθρο 89 τροποποιεί το Νόμο 4495/2017 σχετικά με τις δραστηριότητες κατασκευής/κατεδάφισης. Επίσης, το άρθρο 85 Βελτίωση Πλαισίου Διαχείρισης Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών & Κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) στην Ελλάδα 53 εξαιρεί τους Συλλέκτες/Μεταφορείς μη επικίνδυνων στερεών αποβλήτων (συμπεριλαμβανομένων των ΑΕΚΚ), από οποιαδήποτε υποχρέωση αδειοδότησης.

Λατομική/Δασική Νομοθεσία

- Νόμος 998/79 (ΦΕΚ 289Α/ 29-12-1979): «Σχετικά με την προστασία των δασών και των δασικών περιοχών γενικά της χώρας» - Μια πρώτη προσπάθεια έγινε για την αποκατάσταση του περιβάλλοντος, ορίζοντας επιτρεπόμενες παρεμβάσεις στο άρθρο 57, σύμφωνα με τις συγκεκριμένες διατάξεις των άρθρων 16 και 45 του ίδιου Νόμου. Τροποποιήθηκε με τον Ν. 4280/2014.

- Νόμος 4280/2014 (ΦΕΚ 159Α/9-8-2014): «Περιβαλλοντική αναβάθμιση και ιδιωτική πολεοδόμηση - Βιώσιμη ανάπτυξη οικισμών, Ρυθμίσεις δασικής νομοθεσίας και άλλες διατάξεις» - Το άρθρο 52 ορίζει τη δυνατότητα απόθεσης και επεξεργασίας ΑΕΚΚ σε ανενεργά ορυχεία και λατομεία από τα πιστοποιημένα συστήματα εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ. Το άρθρο 51 τροποποιεί επίσης το άρθρο 40 του Ν. 4030/2011 για θέματα που σχετίζονται με τη διαχείριση των ΑΕΚΚ και την αποκατάσταση λατομείων.

• Νόμος 4512/2018 (ΦΕΚ 5Α/17-01-2018): «Ρυθμίσεις για την εφαρμογή των Διαρθρωτικών Μεταρρυθμίσεων του Προγράμματος Οικονομικής Προσαρμογής και άλλες διατάξεις» - Ρυθμίζει θέματα που αφορούν τη θέση και τη λειτουργία των λατομείων. Τα άρθρα 43 και 46 διευκρινίζουν το πεδίο εφαρμογής και συσχετίζουν τις λατομικές περιοχές με τα ΑΕΚΚ και τα δευτερογενή προϊόντα, ενώ το άρθρο 55 αναφέρεται στην αποκατάσταση λατομείων και τη λειτουργία μονάδων ανακύκλωσης εντός λατομείων.

Πολεοδομική Νομοθεσία

• Νόμος 4067/2012 (ΦΕΚ 79Α/9-4-2012): «Νέος Οικοδομικός Κανονισμός» - Το άρθρο 17 ορίζει ότι για την κατασκευή οποιουδήποτε κτηρίου και τον εξωραϊσμό του περιβάλλοντος χώρου αυτού, πρέπει να εφαρμόζονται οι διατάξεις της σχετικής νομοθεσίας για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις.

• Νόμος 4495/2017 (ΦΕΚ 167Α/3-11-2017): «Έλεγχος και προστασία του Δομημένου Περιβάλλοντος και άλλες διατάξεις» - Προβλέπει τους μηχανισμούς και τα μέσα ποιοτικού ελέγχου του οικοδομικού περιβάλλοντος, ρυθμίζει το πλαίσιο κατασκευής, τον έλεγχο της εφαρμογής χωροταξικού σχεδιασμού, τα θέματα που σχετίζονται με τους δημόσιους χώρους και την περιβαλλοντική ισορροπία. Αντιμετωπίζει επίσης την αυθαίρετη κατασκευή και άλλα θέματα που εμπίπτουν στην αρμοδιότητα του ΥΠΕΝ.

Δημόσια Έργα

• ΚΥΑ/ΔΙΠΑΔ/Οικ./273/2012 (ΦΕΚ 2221/2012): «Έγκριση τετρακόσιων σαράντα (440) Ελληνικών Τεχνικών Προδιαγραφών (ΕΤΕΠ), με υποχρεωτική εφαρμογή σε όλα τα Δημόσια Έργα».

• Εγκύκλιος νο. 4834/25 -1-2013 του ΥΠΕΝ: «Διαχείριση περίσσειας υλικών εκσκαφών που προέρχονται από δημόσια έργα - Διευκρινίσεις επί των απαιτήσεων της ΚΥΑ 36259/1757/Ε103/2010 (ΦΕΚ 1312 Β)» - Ασχολείται με τη διαχείριση πλεοναζόντων εκσκαφών από Δημόσια Έργα και παρέχει διευκρινίσεις σχετικά με τις απαιτήσεις της ΚΥΑ 36259/1757/Ε103/2010, εξαιρώντας τη διαχείριση των πλεοναζόντων υλικών από δραστηριότητες εκσκαφών κατά την εκτέλεση δημοσίων έργων μέσω συστημάτων εναλλακτικής διαχείρισης ΑΕΚΚ, εφόσον η περίσσεια υλικών αντιμετωπίζεται με ορθό περιβαλλοντικό τρόπο.

• Εγκύκλιος νο. 11/19-06-2017 ΥΠΟΜΕΔΙ: «Δημοσίευση Κανονισμού Περιγραφικών Τιμολογίων Εργασιών για δημόσιες συμβάσεις έργων».

5.4 Προτάσεις

Όσο αφορά το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα και το μέλλον της ανακύκλωσης στον κατασκευαστικό τομέα προτείνονται κάποιες ιδέες ή λύσεις που αφορούν την υπάρχουσα κατάσταση τόσο στον Ελλαδικό χώρο αλλά και στο εξωτερικό.

- Η σωστή πρόληψη, ενημέρωση και ευαισθητοποίηση από την πολιτεία και το κράτος όλων των αρμόδιων, των επιχειρηματιών και γενικότερα των πολιτών είναι αναγκαία ώστε να γίνουν γνωστά τα σημαντικά πλεονεκτήματα που επιφέρει η ανακύκλωση και τα υλικά προερχόμενα από αυτή, συγκριτικά με τα συμβατικά υλικά σε θέματα ποιότητας και αξιοπιστίας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις.
- Η δημιουργία διαφημίσεων και προβολής στο διαδίκτυο και στα τοπικά κανάλια, ενημερωτικές δράσεις και εκδηλώσεις σε συνεργασία με τεχνικά και εμποροβιομηχανικά επιμελητήρια, συνέδρια ανά νομό, καθώς και υποτροφίες συμμετοχής σε προγράμματα επιμορφωτικών σεμιναρίων σχετικά με την ανακύκλωση.
- Σημαντική είναι η δημιουργία ενός οργανωμένου δικτύου διαχείρισης υλικών προς απόρριψη πιο συγκεκριμένα, συλλογή, διαχωρισμός, μεταφορά, μεταφόρτωση, αποθήκευση, αξιοποίηση και διάθεση τελικού προϊόντος έχοντας ως τελικό στόχο τα υλικά αυτά να μην καταλήγουν σε ΧΥΤΑ αλλά να αξιοποιούνται. Θετική θα ήταν και η συμβολή του κράτους σε αυτό το έργο προσφέροντας κίνητρα όπως φοροελαφρύνσεις και οι πολεοδομικές αρχές να εγκρίνουν τέτοιες δομές.
- Η ανακύκλωση των οικοδομικών ή άλλων υλικών θα πρέπει να λειτουργεί με βασικές αρχές όπως, την λογική οικονομίας και τη σχεδίαση για αποσυναρμολόγηση. Με τον κατάλληλο σχεδιασμό μειώνονται τα απόβλητα των κατεδαφίσεων και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πιο συγκεκριμένα, ο καλύτερος τρόπος είναι η αύξηση της ζωής των κτιρίων μέσω της χρήσης ποιοτικών υλικών και του ευέλικτου σχεδιασμού του κτιρίου. Στόχος είναι από την αρχική μελέτη η κατασκευή να είναι σε θέση για επαναχρησιμοποίηση είτε με αλλαγή χρήσης είτε με ανακύκλωση των υλικών και όχι η μελέτη να διεξάγεται με βάση τη τελική ταφή των υλικών.
- Καλύτερος σχεδιασμός και έλεγχος των εργασιών του έργου προς αποφυγή παραβίασης των χρονοδιαγραμμάτων και οι κατασκευές να έχουν μεγαλύτερο προσδόκιμο ζωής και να δοθεί έμφαση στην διαδικασία συντήρησης και επισκευής των έργων.
- Πρέπει να επιβάλλονται οι ανάλογε κυρώσεις για την κάθε παράνομη δραστηριότητα, ανεξαρτήτως παράνομης υγειονομικής ταφή και απόρριψης αποβλήτων. Οι ποινές να είναι αρκετά υψηλές ώστε να λειτουργούν ως αποτρεπτικά μέτρα, ειδικότερα στις περιπτώσεις των επικίνδυνων αποβλήτων.
- Κατά την ταυτοποίηση, τη συλλογή και τη διαλογή των αποβλήτων πρέπει να πραγματοποιούνται έλεγχοι των ρύπων πριν από την κατεδάφιση και να δημιουργηθεί σχέδιο διαχείρισης αποβλήτων πριν από την έναρξη των εργασιών κατεδάφισης, και να προάγουν τον διαχωρισμό των ροών αποβλήτων. Μέτρα αυτού του είδους λαμβάνονται ήδη σε αρκετές χώρες όπως είναι η Αυστρία, το Λουξεμβούργο, η Σουηδία και η Φινλανδία.

5.5 Συμπεράσματα

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση της διαδικασίας της ανακύκλωσης υλικών με σκοπό τη χρήση του στον οικοδομικό τομέα και η μελέτη των ιδιοτήτων ποικίλων μειγμάτων σκυροδέματος με ανακυκλώσιμα υλικά προερχόμενα από διαφορετικές πηγές, όπως το γυαλί, τα ελαστικά, το χαρτί, η σκωρία ακόμη και το ίδιο το σκυρόδεμα ως ανακυκλώσιμο υλικό. Υλικά τα οποία μετά το πέρας της "ζωής" τους στο παρελθόν χαρακτηρίζονταν ως άχρηστα και μονή λύση ήταν η εναπόθεση σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

Το μέλλον των ανακυκλώσιμων υλικών για την δημιουργία νέων σκυροδεμάτων αλλά και γενικότερα της διαδικασίας της ανακύκλωσης προβλέπεται πως θα μειώσει τη διαθεσιμότητα των ΧΥΤΑ, τα νέα προϊόντα θα γίνονται ευκολότερα αποδεκτά λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας, των συνεχών ερευνών και της σωστής ενημέρωση. Με τη χρήση ανακυκλώσιμων υλικών, οικοδομικών ή μη, και την δημιουργία νέων υλικών στον κατασκευαστικό τομέα μειώνεται ο όγκος απορριμμάτων αισθητά και γίνεται εξοικονόμηση των πρώτων υλών, δίνοντας στο περιβάλλον μια "ανάσα" από την αλόγιστη εξόρυξη πρώτων υλών και δημιουργίας απορριμμάτων κάθε είδους.

Αν και στη σήμερον ημέρα υπάρχουν προκαταλήψεις για την ασφάλεια και την αισθητική των κτιρίων από ανακυκλώσιμα υλικά, μέσω των μελετών και πειραμάτων αλλά και την χρήση αυτών σε πραγματικές κατασκευές σε συγκεκριμένες περιπτώσεις διαπιστώνεται πως τέτοιες κατασκευές μπορούν να είναι ασφαλείς, λειτουργικές και πολύ ωραίες αισθητικά. Να σημειωθεί ότι, εδώ και πολλά χρόνια, στον κατασκευαστικό κλάδο κυριαρχούν το ξύλο και η πέτρα, αλλά αυτό αλλάζει, με τις μορφές να εξελίσσονται παράλληλα με τεχνικές, υλικά, ιδέες και αξίες. Τα διάφορα σκυροδέματα με χρήση ανακυκλωμένων αδρανών και διαφόρων ανακυκλωμένων υλικών που προέρχονται από επεξεργασία παλαιών σκυροδεμάτων από κατεδαφίσεις δηλαδή άγνωστης προέλευσης, ηλικίας και κατηγορίας αντοχής και άλλων υλικών παρουσιάζουν ικανοποιητικές συμπεριφορές και αντοχές, πάντα κατά περίπτωση.

Σε τελική ανάλυση, το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα είναι μια καινοτομία στη γνωστή ως εποχή της οικολογίας και της ανακύκλωσης. Αντίθετα, εάν το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα μπορεί να αντικαταστήσει το παραδοσιακό σκυρόδεμα σε στατικές κατασκευές απαιτεί περαιτέρω μελέτη και έρευνα. Μπορεί όμως να αντικαταστήσει ένα μεγάλο μέρος του κονιάματος που χρησιμοποιείται στην κατασκευή όσο αφορά το στατικό φορέα ενός κτιρίου.

Βιβλιογραφία - Διαδικτυακές πηγές

1. Αναστασοπούλου Μαρία, Βασιλείου Βασίλης, Καραλής Κώστας, Πάτρα 2012, «Ανακύκλωση οικοδομικών απορριμμάτων», ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΟΣ.
2. Αντώνιος Λιόλιος, Διδακτορική Διατριβή, 2019, «Δόμηση και Περιβάλλον: Βιώσιμα Δομικά Υλικά και η συμπεριφορά τους στο περιβάλλον», Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
3. Γ. Καλκάνης, Ι. Χατήρης, Χ. Σταθουλοπούλου, Δεύτερη Έκδοση 2014, «ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ», Εκδόσεις Ίων Αθήνα.
4. Γ. Συγγούνας Πολιτικός Μηχανικός Διδάκτωρ Τμήματος Μηχανικής Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Θ.Ε. Ματίκας, Αν. Καθηγητής Τμήματος Επιστήμης Υλικών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, «ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΕΦΡΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟΥ ΧΑΡΤΙΟΥ»
5. Δράκου Μαρούλλα, Λεμεσός 2016, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «Χρήση Ανακυκλωμένων Αδρανών στο Σκυρόδεμα», Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
6. ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ, «Κανονισμοί Σκυροδέματος» από: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>
7. Επιδόμος Ε.Π.Ε., Επισκευές – Ενισχύσεις Κτιρίων, «Gunite-Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα», από: <http://www.epidomos.gr/gunite.php?id=47&lang=>
8. ΕΥΔΑΠ, «Το Περιβάλλον», από: <https://www.eydap.gr/SocialResponsibility/Enviroment/>
9. Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, «Κυκλική Οικονομία: νέοι στόχοι της ΕΕ για την ανακύκλωση», 2017, από: <https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/priorities/kukliki-oikonomia-kai-meiosi-apovliton/20170120STO59356/anakuklosi-apovliton-veltiosi-ton-stochon-gia-mia-kukliki-oikonomia>
10. Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Γενική Διεύθυνση Εσωτερικής Αγοράς, Βιομηχανίας, Επιχειρηματικότητας και ΜΜΕ, 2016, «Πρωτόκολλο της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων».
11. Κακλόπουλος Σωτήριος, Χανία 2015, Διπλωματική Εργασία, «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»
12. Κλαίρη Πετροτσάτου, Μαρίνα Μαρινέλλη, «Δομικές Μηχανές, Λειτουργική Ανάλυση και Κοστολόγηση Έργων Πολιτικού Μηχανικού», Εκδόσεις ΚΡΙΤΙΚΗ.

13. Κούγκολος Αθανάσιος, Βόλος 2012, Πτυχιακή Εργασία, «*ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΜΑ ΑΝΘΡΑΚΑ*», Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
14. Κωστάρας-Κωνσταντίνου Άγγελος, 2017, Πτυχιακή Εργασία, «*Διερεύνηση αντοχών κονιάματος παρασκευασμένο με ανακυκλωμένα αδρανή*»
15. Κωστάρας Άγγελος, Αθήνα 2017, Πτυχιακή εργασία, «*Διερεύνηση αντοχών κονιάματος παρασκευασμένο με ανακυκλωμένα αδρανή*».
16. Μάλαμας, Μελαμπιανάκης, Τσιτσιριδάκης, 2010, «*Ινοπλισμένο Σκυρόδεμα*», από: http://kataskevh.blogspot.com/2010/02/blog-post_14.html
17. Μαρία Παραλίκα, 2008, «*ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ*», Αθήνα.
18. Παναγιωτακόπουλος Δημήτριος Χ., Β' Έκδοση 2007, «*ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΣΤΕΡΕΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ*», Εκδόσεις Ζυγός Θεσσαλονίκη.
19. Σταμάτιος Περδικάρης, Bsc Chemist, MSc Organic Synthesis, 2016, «*Τσιμέντο – Το Θεμέλιο του σύγχρονου κόσμου*», από: <http://atmitos.gr/tsimento/>
20. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΓΕΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, Τμήμα Περιβάλλοντος, Κύπρος 2016, «*ΠΑΡΟΧΗ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΚΑΙΡΟΠΟΙΗΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΥΜΒΑΣΗ: ΤΠ 19/2014 ΣΧΕΔΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ*»
21. Χαράλαμπος Ι. Εφραιμίδης, Ομότιμος Καθηγητής Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 2008, «*ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΑΛΑΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ*», 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών και Στοιχείων, ΤΕΕ
22. Χρήστος Γ. Καραγιάννης, Α' Έκδοση 2019, «*ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ*», Εκδόσεις Σοφία Αθήνα.
23. Χρήστος Π. Σαρακατσάνος, Διπλωματική Εργασία, Χανιά 2009, «*ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΩ*», Πολυτεχνείο Κρήτης
24. Andrew Sweet Firecone, Ιανουάριος 2014, «*MANAGEMENT OF END-OF-LIFE TYRES*».
25. Akash Rao, Kumar N. Jha, 2007, «*Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete*», από: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344906001315>

26. Bill Mosley, John Bungey, Ray Hulse, έβδομη Αμερικάνικη έκδοση, «*ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*», Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2, Εκδόσεις Κλειδάριθμος Αθήνα.
27. Construction Waste Recycling, 2013, από: <https://civildigital.com/construction-waste-recycling/>
28. Concrete Information, «*Concrete Crusher Its Types & Specifications*», από: <https://www.concrete-info.com/concrete-crusher/>
29. CDE GLOBAL, «C&D Waste Recycling», από: <https://www.cdeglobal.com/applications/cd-waste-recycling>
30. Concrete Network, «*Concrete Recycle and Crushed Concrete*», από: https://www.concretenetwork.com/concrete/demolition/recycling_concrete.htm
31. Ecoelastica, Οικολογική Διαχείριση Ελαστικών, «*Μεταχειρισμένα Ελαστικά*», 2021, από: <https://www.ecoelastika.gr/metacheirismena-elastika/#eidos-apovlitou>
32. ENVITERRA, τελική έκθεση, Αθήνα 2020, «*ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ & ΚΑΤΕΛΑΦΙΣΕΩΝ (ΑΕΚΚ) ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ*»
33. KOSTEIDIS Recycling, «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ Α.Ε.Κ.Κ.», από: <https://kostelidisrecycling.gr/recycling-aekk/>
34. MWH, Ιούλιος 2004, «*END-OF-LIFE TYRE MANAGEMENT: STORAGE OPTIONS*», Final Report for the Ministry for the Environment.
35. P. Kumar Mehta, Paulo J. M. Monteiro, μετάφραση Ιωάννα Παπαγιάννη, τρίτη Αμερικάνικη Έκδοση, «*ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ μικροδομή, ιδιότητες, και υλικά*», Εκδόσεις Κλειδάριθμος Αθήνα.
36. Retire, life to the environment, «*Τρίμμα Ελαστικού*», από: <http://www.retire-recycle.com/%CE%A0%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD%CF%84%CE%B1/>
37. S. G. Τεχνοδομική, «*Είδη & Οικογένειες των Αδρανών Υλικών*», 2020, από: <https://stalikas-giannakis.gr/%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B7-%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B1%CE%B4%CF%81%CE%B1%CE%BD%CF%8E%CE%BD-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>
38. Sherif Yehia, Kareem Helal, Amani Zaher, and Hiba Istaitiyeh, 2015, «*Strength and Durability Evaluation of Recycled Aggregate Concrete*», International Journal of Concrete Structures and Materials.

39. Sika Hellas ABEE, «*ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ SIKA*», από: <https://grc.sika.com/el/construction/concrete-cement-mortars-tech/fibers.html>
40. T. Sandeep, Asst. Professor, DIT University, Dehradun, Uttarakhand, India, 2018, «*Effective Use of Steam Cured Recycled Aggregate Materials in Conventional Concrete*», από: https://www.researchgate.net/publication/335160740_Effective_Use_of_Steam_Cured_Recycled_Aggregate_Materials_In_Conventional_Concrete
41. Wendehorst Reinhard, 2017, μετάφραση Πλέσσα Άρτεμις, «*ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ*», Εκδόσεις Γκιουρδας Μ.
42. <https://www.eoan.gr/>