



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΣΤΑ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ
ΥΛΙΚΑ ΣΤΟ ΚΟΙΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ**



Φοιτητής: Αρκουζή Μαρία
ΑΜ: 18394079

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : ΔΕΝΕΖΑΚΗ ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Diploma Thesis

**INVESTIGATION OF COMPOSITION RATIOS IN RECYCLABLE
MATERIALS IN COMMON CONCRETE FROM A COMPOSITION
STUDY**



**Student: Arkouzi Maria
Registration Number: 18394079**

Supervisor : Denezaki Stavroula

ATHENS-EGALEO, APRIL 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Τριαντ. ΚΟΚΚΙΝΟΣ Αν. Καθηγητής	Ν. Πνευματικός Καθηγητής	Δενεζάκη Σταυρούλα, Λέκτορας Εφαρμογών

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Αρκουζή Μαρία , Μήνας, 2023

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.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αρκουζή Μαρία του Γερασίμου , με αριθμό μητρώου 18394079 φοιτήτης/τρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος Πολιτικών μηχανικών,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας 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.

Η Δηλούσα
Αρκουζή Μαρία



Είμαι ευγνώμων για την στήριξη της οικογένειας, των φίλων και των καθηγητών καθ'όλη την διάρκεια της σύνταξης της παρούσας διπλωματικής όπως και της προπτυχιακής μου πορείας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Δενεζάκη Σταυρούλα για τον συντονισμό και την ευκαιρία που μου έδωσε , όπως επίσης και τον λέκτορα Αυτουσμή Αθανάσιο για τις συμβουλές που μου προσέφερε.

Περίληψη

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού οδηγεί στην υπερβάλλουσα ζήτηση όλων των υλικών πρώτης ανάγκης και των προϊόντων τους. Τα σπίτια που μένουμε, οι δρόμοι που μετακινούμαστε και οι χώροι που εργαζόμαστε είναι κάποια από αυτά τα παραπροϊόντα. Ωστόσο τα αγαθά αυτά δεν είναι ατελείωτα ούτε τα παράγωγα τους μπορούν να χρησιμοποιούνται για πάντα. Κατά συνέπεια απορρίπτονται γεμίζοντας τους χώρους ταφής και ρυπαίνοντας περιβαλλοντικά και οικονομικά. Η διαδικασία της ανακύκλωσης που προσπαθεί να ενταχθεί στις ζωές των νοικοκυριών και των επιχειρήσεων, θα μπορούσε να συνεισφέρει και στο σκυρόδεμα το οποίο αποτελεί το πλέον σύνηθες και ευρέως διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι μέσω της ερευνητικής διαδικασίας και της μελέτης σύνθεσης να διερευνηθούν αναλογίες ανακυκλωμένων υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα.

Η παρούσα εργασία είναι στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφική και βασισμένη πάνω σε σημαντικές έρευνες ενώ σε δεύτερη φάση υπάρχουν κάποια πειραματικά δεδομένα με αναλογίες για τον έλεγχο της ποιότητας. Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα απόβλητα τα οποία με βάση στατιστικά αποτελούν ένα παγκόσμιο πρόβλημα δημιουργίας ρύπανσης. Ψάχνοντας να βρούμε μια λύση σε αυτά ξεκινάμε να αναφερόμαστε σε όρους όπως ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση και κυκλική οικονομία. Το σκυρόδεμα είναι αυτό το οποίο μπορεί να αξιοποιήσει αυτούς του όρους. Κάνουμε λοιπόν μια περιγραφή στο κοινό σκυρόδεμα δηλαδή στις εφαρμογές του, στην σύνθεση του και τα χαρακτηριστικά του. Έπειτα σε επόμενη ενότητα είναι σημαντικό να καταστεί σαφής ο ορισμός της ανακύκλωσης και των υλικών που μπορούν να ανακυκλωθούν σε σχέση με τον κατασκευαστικό κλάδο. Η προσοχή μας θα εστιάσει τελικά στα ανακυκλώσιμα υλικά που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε στην παραγωγή σκυροδέματος και στις ιδιότητες που προσφέρουν σε αυτό.

Λέξεις – κλειδιά

Διαχείριση αποβλήτων , σκυρόδεμα , ανακύκλωση , κυκλική οικονομία , βιοαπόβλητα , αφρώδες κοκκοποιημένο γυαλί , βιωσιμότητα , κατασκευές , μελέτη σύνθεσης , ελαστικά

Abstract

The continuous growth of the population leads to the excessive demand of all basic necessities and their products. The houses we live in, the roads we travel on and the places we work are some of these by-products. However, these products are not endless, nor can their derivatives be used forever. They are discarded, filling landfills and polluting the environment and economy. The process of recycling tries to integrate itself into the lives of households and businesses. it could also contribute to concrete, which is the most common and widespread construction material.

The purpose of this thesis is, through the research process and composition study, to investigate proportions of recycled materials that can be used in concrete.

The present work is for the most part bibliographic and based on important research, while in the second phase there are some experimental data with ratios for quality control. First, a reference is made to waste, which statistically is a global problem, creating pollution. Looking to find a solution to them, we begin to refer to terms such as recycling, reuse and circular economy. Concrete is the one that can take advantage of these conditions. So we make a description of common concrete its applications, its composition and its characteristics. Then, in the next section, it is important to clarify recycling and materials that can be recycled related to the construction industry. Our attention will focus finally to the recyclable materials that we can use in the production of concrete and the properties they offer to it.

Keywords

waste management , concrete , recycling , circular economy , biowaste , foamed granulated glass , sustainability , construction , composition study , tires

Περιεχόμενα

Κατάλογος Πινάκων	13
Κατάλογος Εικόνων	14
Κατάλογος Διαγραμμάτων	17
Αλφαβητικό Ευρετήριο	17
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Διαχείριση αποβλήτων	23
1.1 Κατηγορίες αποβλήτων.....	24
1.2 Στερεά απόβλητα.....	25
1.2.1 Αστικά στερεά απόβλητα.....	26
1.2.2 Ειδικά στερεά απόβλητα.....	26
1.2.2.1 Απόβλητα εκσκαφών , κατασκευών και κατεδαφίσεων.....	28
1.3 Κατάσταση στην Ελλάδα.....	29
1.4 Προβλήματα που προκαλούν τα απόβλητα.....	30
1.5 Διαχείριση αποβλήτων.....	31
1.5.1 Υγειονομική ταφή των απορριμάτων.....	31
1.5.2 Καύση.....	32
1.5.3 Ανακύκλωση.....	33
1.5.4 Κομποστοποίηση.....	33
1.5.5 Διάθεση.....	34
1.6 Οφέλη Διαχείρισης αποβλήτων.....	35
1.7 Κατάσταση στην Ευρώπη.....	36
1.8 Μειονεκτήματα υγειονομικής ταφής.....	36
1.9 Συμβολή στη μείωση των αποβλήτων.....	37
1.10 Κυκλική οικονομία.....	38
1.11 Συμπεράσματα.....	39
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Σκυρόδεμα	40
2.1 Εισαγωγή.....	40
2.2 Χρήσεις σκυροδέματος.....	42
2.3 Είδη σκυροδέματος.....	42
2.3.1 Κατάσταση σκλήρυνσης.....	42
2.3.2 Ειδικό βάρος.....	42

2.3.3	Θέση ανάμιξης και χρήσης	42
2.3.4	Τρόπος μεταφοράς.....	43
2.3.5	Ειδικά σκυροδέματα.....	43
2.3.5.1	Οπλισμένο σκυρόδεμα	43
2.3.5.2	Ινοπλισμένο σκυρόδεμα	44
2.3.5.3	Πολυμερές σκυρόδεμα	45
2.3.5.4	Αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα	45
2.3.5.5	Υψηλής αντοχής σκυρόδεμα	46
2.3.5.6	Μη συρρικνωμένο σκυρόδεμα	46
2.3.5.7	Εμφανές σκυρόδεμα.....	46
2.4	Πρώτες ύλες σκυροδέματος.....	47
2.4.1	Αδρανή	47
2.4.1.1	Κατηγορίες Αδρανών.....	48
2.4.1.2	Ποιότητα των αδρανών.....	50
2.4.2	Τσιμέντο.....	51
2.4.3	Νερό ανάμιξης	52
2.4.4	Τσιμεντοπολτός	52
2.4.5	Πρόσμικτα και πρόσθετα	53
2.5	Δοκιμή Los Angeles	55
2.6	Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος	55
2.7	Διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος	61
2.8	Δομή του σκυροδέματος	62
2.9	Νωπό σκυρόδεμα	63
2.9.1	Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος.....	63
2.9.1.1	Ρευστότητα	63
2.9.1.2	Εργασιμότητα	63
2.9.1.3	Πλαστικότητα.....	64
2.9.1.4	Αντοχή σε ένταση	64
2.9.1.5	Αρχική ρύθμιση	64
2.9.2	Έλεγχος νωπού σκυροδέματος	65
2.9.3	Δοκιμή κάθισης	65
2.9.4	Διάστρωση, συμπύκνωση,τελείωμα	67
2.9.5	Τράπεζα δόνησης	68

2.9.6	Συντήρηση.....	68
2.10	Σκληρυμένο σκυροδέμα.....	69
2.10.1	Ιδιότητες	69
2.10.1.1	Αντοχή.....	69
2.10.1.2	Παραμορφώσεις σκυροδέματος	70
2.10.1.3	Συστολή ξήρανσης και ερπυσμός.....	71
2.10.1.4	Θερμική συστολή	72
2.10.1.5	Ανθεκτικότητα	72
2.10.1.6	Αντίσταση σε παγετό	73
2.10.1.7	Επίδραση της φωτιάς	73
2.10.2	Λόγος του roisson	74
2.11	Ποιότητες σκυροδέματος	74
2.11.1	Παράγοντες.....	74
2.11.2	Παράμετροι.....	75
2.11.3	Εφαρμογές.....	76
2.12	Πως επηρεάζεται η αντοχή.....	77
2.12.1	Τύπος τσιμέντου	77
2.12.2	Αδρανή.....	77
2.12.3	Νερό ανάμιξης.....	78
2.12.4	Πρόσμικτα.....	79
2.12.5	Πρότυπα	79
2.13	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σκυροδέματος	79
2.13.1	Πλεονεκτήματα	79
2.13.2	Μειονεκτήματα	80
2.14	Μείωση περιβαλλοντικής επίδρασης σκυροδέματος.....	80
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Ανακυκλώσιμη ύλη.....	82
3.1	Τύποι ανακύκλωσης	83
3.2	Οφέλη ανακύκλωσης	84
3.3	Κατηγορίες ανακυκλωμένων υλικών.....	85
3.4	Κατάσταση στην Ελλάδα	85
3.5	Κατάσταση στην Ευρώπη.....	87
3.6	Ανακυκλωμένα αδρανή	87
3.7	Χρήσεις ανακυκλωμένων υλικών στις κατασκευές	88

3.8	Συστήματα ανακύκλωσης Α.Ε.Κ.Κ	90
3.9	Αγορά δευτερογενών υλικών	91
3.10	Τεχνολογία και εξοπλισμός παραγωγής ανακυκλωμένων υλικών	92
3.11	Παραδείγματα κατασκευών με χρήση ανακυκλωμένων υλικών	93
3.11.1	BedZed	93
3.11.2	Πύργος του πειραιά	94
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : Πειραματική διαδικασία.....	95
4.1	Σκυρόδεμα με χρήση αδρανών από ΑΕΚΚ.....	95
4.1.1	Απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων	95
4.1.1.1	Κατηγοριοποίηση ΑΕΚΚ.....	96
4.1.1.2	Χρήσεις.....	96
4.1.1.3	Επεξεργασία ΑΕΚΚ	97
4.1.1.4	Απαιτήσεις.....	98
4.1.2	Πείραμα	98
4.1.2.1	Υλικά	98
4.1.2.2	Μείγματα σκυροδέματος.....	99
4.1.2.3	Αποτελέσματα	101
4.1.2.4	Περιορισμοί	105
4.1.3	Μελέτες του μέλλοντος	105
4.2	Σκυρόδεμα με χρήση Κοκκοποιημένου αφρώδες γυαλιού.....	106
4.2.1	Ανακύκλωση γυαλιού	107
4.2.2	Αφρώδες κοκκοποιημένο γυαλί	108
4.2.3	Πειραματική διαδικασία.....	109
4.2.3.1	Μεθοδολογία	109
4.2.3.2	Υλικά	110
4.2.3.3	Προετοιμασία Δειγμάτων	112
4.2.3.4	Αναλογίες μείγματος.....	112
4.2.3.5	Δοκιμές.....	113
4.2.3.6	Αποτελέσματα δοκιμών και ανάλυση.....	115
4.2.4	Συμπεράσματα	121
4.2.5	Περιορισμοί	122
4.2.6	Άλλες λύσεις.....	122
4.3	Σκυρόδεμα με χρήση Οργανικών αποβλήτων	123

4.3.1	Παραγωγή αποβλήτων	124
4.3.2	Οφέλη χρήσης οργανικών αποβλήτων	125
4.3.3	Διαδικασία επεξεργασίας.....	125
4.3.3.1	Συλλογή.....	126
4.3.3.2	Μεταφορά	126
4.3.3.3	Διαχωρισμός.....	126
4.3.3.4	Υγιεινοποίηση.....	126
4.3.3.5	Θράυση	127
4.3.3.6	Κοσκινισμός.....	127
4.3.3.7	Ενσωμάτωση βακτηρίων	127
4.3.3.8	Μηχανή αυτοκλειστού	128
4.3.4	Πειραματική διαδικασία.....	129
4.3.4.1	Υλικά	129
4.3.4.2	Αναλογίες μιγμάτων.....	130
4.3.4.3	Δοκιμές	131
4.3.4.4	Αποτελέσματα	133
4.3.5	Συμπεράσματα	137
4.4	Σκυρόδεμα με χρήση Ελαστικών	137
4.4.1	Ελαστικά απόβλητα.....	137
4.4.1.1	Μειονεκτήματα ταφής ελαστικών	137
4.4.1.2	Οφέλη ανακύκλωσης.....	139
4.4.1.3	Ιδιότητες παραπροϊόντων ελαστικών.....	139
4.4.1.4	Εφαρμογές	140
4.4.2	Πειραματική διαδικασία.....	140
4.4.2.1	Υλικά	140
4.4.2.2	Διαδικασία παρασκευής	141
4.4.2.3	Αναλογίες μίγματος.....	142
4.4.2.4	Πειραματικά αποτελέσματα	143
4.4.2.5	Ανάλυση αποτελεσμάτων	148
4.4.3	Συμπεράσματα	149
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	151
	Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές	154
	Παράρτημα Α.....	163

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Στατιστικά παραγωγής αποβλήτων πηγή

<https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Πίνακας 1.2 Στατιστικά Διαχείρισης αποβλήτων Πηγή :

<https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Πίνακας 2.1 Καθορισμός αντοχής Πηγή: ΚΤΣ -1997

Πίνακας 2.2 Συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης Πηγή: ΚΤΣ 2016

Πίνακας 2.3 Κατηγορίες κάθισης , για μελέτη σύνθεσης Πηγή ΚΤΣ 2016

Πίνακας 2.4 συντελεστής W1 πηγή ΚΤΣ 1997

Πίνακας 2.5 Απαιτήσεις αδρανών υλικών Πηγή ΚΤΣ'2016

Πίνακας 2.6 Συντελεστής νερού w2 Πηγή ΚΤΣ '97

Πίνακας 2.7 Απαιτηση σε νερό Πηγή ΚΤΣ '2016

Πίνακας 2.8 Λόγος νερού/τσιμέντου Πηγή : ΚΤΣ ' 2016

Πίνακας 2.9 , Κατηγορίες κάθισης Πηγή:

https://www.ggde.gr/dmdocuments/imer1ban_skirodema_elot-en-206-1.pdf

Πίνακας 2.10. Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος Πηγή :

https://www.ggde.gr/dmdocuments/imer1ban_skirodema_elot-en-206-1.pdf

Πίνακας 3.1 Στατιστικά ανακύκλωσης προϊόντων συσκευασίας Πηγή :

<https://www.eoan.gr/wp->

[content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf](https://www.eoan.gr/wp-content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf)

Πίνακας 3.2 Εξερχόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ Πηγή : <https://www.eoan.gr/wp->

[content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf](https://www.eoan.gr/wp-content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf)

Πίνακας 3.3 Στατιστικά ανακύκλωσης ελαστικών αυτοκινήτου Πηγή :

<https://www.eoan.gr/wp->

[content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf](https://www.eoan.gr/wp-content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3_7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf)

Πίνακας 3.4 , Γεωγραφική κάλυψη διαχείρισης ΑΕΚΚ , Πηγή : Διαδικτυακή ημερίδα ΑΝΑΚΕΜ ΑΕ 29.6.2021

Πίνακας 3.5 , Μέση κατανάλωση αδρανών υλικών ανά μονάδα κατασκευής , Πηγή:
<https://www.e-archimedes.gr/faq/item/4603->

Πίνακας 4.1. Αναλογίες Μιγμάτων πειράματος

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα δοκιμών νωπής κατάστασης

Πίνακας 4.3 , Ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου

Πίνακας 4.4 , πίνακας ιδιοτήτων αδρανών

Πίνακας 4.5 αναλογία υλικών

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα δοκιμών θλιπτικής αντοχής

Πίνακας 4.7 συντελεστής κσ

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυστικής αντοχής

Πίνακας 4.9 αναλογίες μίγματος αναφοράς

Πίνακας 4.10 Αναλογίες παραλλαγών μιγμάτων με χρήση οργανικών αποβλήτων

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα Δοκιμής θλίψης 7 ημερών

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης 28 ημερών

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 7 ημερών

Πίνακας 4.14 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 28 ημερών

Πίνακας 4.15 Δοκιμή απορρόφησης κορεσμένου νερού

Πίνακας 4.16 Δοκιμή αντίστασης στα οξέα

Πίνακας 4.17 Αναλογίες μιγμάτων με χρήση ελαστικών υλικών

Πίνακας 4.18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής

Πίνακας 4.19 Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1 Βιομηχανία αποβλήτων Πηγή: <https://global-recycling.info/archives/7162>

Εικόνα 1.2. , Κατηγορίες στερεών αποβλήτων , Πηγή : <https://www.edсна.gr/wp-content/uploads/2021/10/%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%9F%CE%A5-%CE%A3%CE%A0%CE%91%CE%A4%CE%A9%CE%9D-%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%95%CE%9C%CE%99%CE%94%CE%91%CE%A3.pdf>

Εικόνα 1.3 Χώρος υγειονομικής ταφής ,Πηγή : <https://mesogeos.gr/%CF%84%CE%B1-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1-%CE%BC%CE%B1%CF%82/%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/>

%CF%87-%CF%85-%CF%84-%CE%B1-

%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA
%CE%BF%CF%8D/

Εικόνα 1.4, Μηχανή καύσης , Πηγή : <https://addfield.com/machines/solid-waste-incinerator-machines-g350/>

Εικόνα 1.5. , Λογότυπο ανακύκλωσης , Πηγή:

<http://www.agroenergy.gr/categories/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7->

[%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-](#)

[%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD](#)

Εικόνα 1.6 Συγκέντρωση προϊόντων κομποστοποίησης Πηγή : <https://www.clabel.org/el/>

Εικόνα 1.7 Διαδικασία Κυκλικής οικονομίας Πηγή:

<https://www.eea.europa.eu/el/pressroom/grafikes-pliories/pos-mporoyme-na-kanoyme-tin/view>

Εικόνα 2.1 ,Σκυρόδεμα , Πηγή : <https://www.nrmca.org/about-nrmca/about-concrete/>

Εικόνα 2.2, οπλισμός σκυροδέματος Πηγή :

https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fget.pxhere.com%2Fphoto%2Freinforced-concrete-composite-material-construction-architecture-floor-metal-mesh-concrete-foundation-steel-1606408.jpg&tbnid=KiSoAzm2NKmOOM&vet=12ahUKEwjCzNOGhcGBAxUW9bsIHT85CXgQMygAegQIARBT..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fpxhere.com%2Fen%2Fphoto%2F1606408&docid=5RRRPz8M1URfYM&w=4000&h=2667&q=reinforced%20concrete&hl=el&ved=2ahUKEwjCzNOGhcGBAxUW9bsIHT85CXgQMygAegQIARBT#imgcr=KiSoAzm2NKmOOM&imgdii=Smd_kINvAxm0gM

Εικόνα 2.3, ίνες σκυροδέματος , Πηγή :

https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fjatlasc.com.tr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2FSteel-Fiber-for-Concrete-Reinforcement.png&tbnid=a_5JLGp0fK81CM&vet=12ahUKEwiOydjMhsGBAxUFgv0HHTIVCc8QMygGegQIARBP..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fjatlasc.com.tr%2Fproduct%2Fsteel-fiber-for-concrete-reinforcement%2F&docid=A3vghn9MjAYRtM&w=700&h=467&q=fiber%20reinforced%20concrete&hl=el&ved=2ahUKEwiOydjMhsGBAxUFgv0HHTIVCc8QMygGegQIARBP

Εικόνα 2.4 , Πολυμερές σκυρόδεμα , Πηγή : <https://resource-erectors.com/career-blog/advanced-composites-to-meet-demand-in-mining-concrete-and-aggregates/>

Εικόνα 2.5 , Εμφανές σκυρόδεμα , Πηγή : <https://www.made-by-architects.com/user/u6-robert/buildings/3680-Wohn-und-Geschaefthaus-Weststrasse-133-in-Schweiz-Zuerich-von-Unbekannt>

Εικόνα 2.6 Φυσικά αδρανή σκυροδέματος

Πηγή: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8821048/fig1/>

Εικόνα 2.7 , τσιμεντοπολτός , Πηγή: <https://www.european-coatings.com/articles/archiv/reactive-transport-modelling-of-cement-paste-leaching-in-brines>

Εικόνα 2.8, νωπό σκυροδέμα , Πηγή :

<https://www.flickr.com/photos/airandspace/49315831583>

Εικόνα 2.9, Δοκιμή κάθισης , Πηγή :

[https://www.researchgate.net/publication/311558256_El-](https://www.researchgate.net/publication/311558256_El-Maghraby_E_Frick_J_Irgens_C_2011_Analysing_the_factors_affecting_productivity_of_pouring_concrete_using_tower_cranes_in_Egyptian_construction_projects_Proceeding_of_the_Advan)

[Maghraby E Frick J Irgens C 2011 Analysing the factors affecting productivity of pouring concrete using tower cranes in Egyptian construction projects Proceeding of the Advan](https://www.researchgate.net/publication/311558256_El-Maghraby_E_Frick_J_Irgens_C_2011_Analysing_the_factors_affecting_productivity_of_pouring_concrete_using_tower_cranes_in_Egyptian_construction_projects_Proceeding_of_the_Advan)

Εικόνα 2.10 , έλεγχος κάθισης Πηγή: [https://www.flickr.com/photos/mtacc-](https://www.flickr.com/photos/mtacc-esa/50887549448)

[esa/50887549448](https://www.flickr.com/photos/mtacc-esa/50887549448)

Εικόνα 2.11 Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη κατά Ευρωκώδικα 2

Πηγή :

https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1534/%CE%86%CE%BB%CE%B%CE%B1%20%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/BETON%201_FINAL_ALL.pdf

Εικόνα 3.1. , Πηγή: <https://www.ny-engineers.com/blog/recycling-construction-materials>

Εικόνα 3.12 ανακυκλωμένα αδρανή Πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Typical-recycled-aggregates_fig2_351999910

Εικόνα 3.3 , μονάδα επεξεργασίας αδρανών υλικών , Πηγή : ANPAR 2008

Εικόνα 3.4 , Κτίριο bed zed Πηγή <https://en.wikipedia.org/wiki/BedZED>

Εικόνα 3.5 , κτίριο Πύργος Πειραιά :

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Peiraias_wiezowiec.jpg

Εικόνα 4.1 , Μηχάνημα εκσκαφέα , Πηγή : <https://easyplanthire.com/blog/what-are-the-different-types-of-excavators/>

Εικόνα 4.2 , αδρανή κατεδάφισης , πηγή

<https://www.flickr.com/photos/cdeimages/4865299925>

Εικόνα 4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για έλεγχο πορώδεις

Εικόνα 4.4 κύκλος γυαλιού Πηγή : <https://glass-products.com/News/Glass-is-100-recyclable-and-can-be-recycled-endlessly-without-loss-in-quality-or-purity--something-few-food-and-beverage-packaging-options-can-claim->

Εικόνα 4.5 , αφρώδες κυτταρικό γυαλί , πηγή :

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glasschaumgranulat.jpg>

Εικόνα 4.6 Διατομές του δοκιμίου όταν η συμπύκνωση γίνεται α) μέσω δόνησης του ολόκληρου του καλουπιού και β) χειροκίνητη συμπύκνωση με το χέρι με χρήση χαλύβδινης ράβδου.

Εικόνα 4.7 Διατομή του δοκιμίου κατά τη δόνηση ολόκληρου του μίγματος στο καλούπι με με μηχανική ράβδο δόνησης.

Εικόνα 4.8 Διατομή του δοκιμίου κατά τη συμπύκνωση με χρήση μηχανικής ράβδου δόνησης

κάθε 100mm του δοκιμίου

Εικόνα 4.9 Συλλογή οργανικών αποβλήτων Πηγή :

<https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/sustainability/food-waste/>

Εικόνα 4.10 , μηχανή αυτοκλειστού πηγή :

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Autoclave_for_trash.jpg

Εικόνα 4.11 Εμποτισμός δοκιμίων στο νερό για τον καθορισμένο χρόνο σκλήρυνσης

Εικόνα 4.12 Συνολικά αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής

Εικόνα 4.13 Συνολικά αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής

Εικόνα 4.14 Οπτικό αποτέλεσμα θραύσης σκυρόδεμα χωρίς ελαστικό (Α) σκυρόδεμα με ελαστικό (Β)

Εικόνα 4.15 φορτίο κρούσης

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1.1 καμπύλη παραγωγής αποβλήτων(κόκκινη) και καμπύλη διαχείρισης αποβλήτων (μπλε) ετη 2004-2020 Πηγή:

<https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Διάγραμμα 4.1 , Μέγεθος κοσκίνου αδρανών υλικών

Διάγραμμα 4.2 ,αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής με χρήση νερού δικτύου

Διάγραμμα 4.3 , αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής με χρήση απιονισμένου νερού.

Διάγραμμα 4.4. , αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής με χρήση νερού δικτύου

Διάγραμμα 4.5 , Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής με χρήση απιονισμένου νερού .

Διάγραμμα 4.6. Απορρόφηση τριχοειδών

Διάγραμμα 4.7 , καμπύλη κατανομής κόκκων φυσικών αδρανών

Διάγραμμα 4.8 καμπύλες κανανομής κόκκων κοκκοποιημένου αφρώδες γυαλιού

Διάγραμμα 4.9 , Σύγκριση πυκνότητα σκληρυμένου σκυροδεματος

Διάγραμμα 4.10 , Σύγκριση πυκνότητας σκληρυμένου σκυροδέματος σε ποσοστά

Διάγραμμα 4.11 θλιπτική αντοχή

Διάγραμμα 4.12 , αποτελέσματα δοκιμών εφελκυστικής αντοχής

Διάγραμμα 4.13 Αποτελέσματα Δοκιμής θλίψης 7 ημερών

Διάγραμμα 4.14 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης 28 ημερών

- Διάγραμμα 4.15 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 7 ημερών
Διάγραμμα 4.16 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 28 ημερών
Διάγραμμα 4.17 , Δοκιμή απορρόφησης νερού για 1 εβδομάδα
Διάγραμμα 4.18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 1
Διάγραμμα 4.19 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 2
Διάγραμμα 4.20 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 3
Διάγραμμα 4.21 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής mix 4

Αλφαβητικό Ευρετήριο

AEKK : Απόβλητα Εκσκαφών Κατασκευών Κατεδαφίσεων

ΕΕ : Ευρωπαϊκή Ένωση

ASR: Αλκαλοπυρρηκτική αντίδραση

Actm: accelerated test method -Μέθοδος επιταχυνόμενης δοκιμής

CAD : Απόβλητα εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων

CEM: cement – τσιμέντο

CLS : θρυμματισμένη ασβεστολιθική άμμος

EN: Ευρωπαϊκή προδιαγραφή

fasc : Απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού

favn: Μέση τιμή αποτελεσμάτων δοκιμής

fck: χαρακτηριστική αντοχή

fp: τιμή κλασματικού 5%

GFG : Αφρώδες κοκκοποιημένο γυαλί

Ks : παράγοντας που καθορίζει το περιθώριο αντοχής πέρα της απαιτούμενης

NA : Φυσικά αδρανή

NCA : Φυσικά χονδρόκοκκα αδρανή

RAC : Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή

RACFST: Χαλύβδινες σωλήνες με ανακυκλωμένο σκυρόδεμα

RCA : Χονδρόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή

RFA: Λεπτόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή

s: Τυπική απόκλιση= σχ

IE : Ενέργεια κρούσης (N,m)

N : Αριθμός των χτυπημάτων

m: Μάζα (kg)

g: Επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,81 m/s²

h : ύψος (m)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Πολλά έχουν ειπωθεί σχετικά με τη βιωσιμότητα η οποία είναι σημαντική για την ευημερία του πλανήτη μας, τη συνεχή ανάπτυξη μιας κοινωνίας και την ανθρώπινη εξέλιξη. Από το 1950 ο παγκόσμιος πληθυσμός έχει αυξηθεί σημαντικά, για να φθάσει σχεδόν τους οκτώ δισεκατομμύρια ανθρώπους σήμερα, ενώ ταυτόχρονα η παραγωγή αγαθών έχει πολλαπλασιαστεί. Αυτή η μαζική ανάπτυξη οδήγησε στον πληθωρισμό της χρήσης των φυσικών πόρων, όπως το έδαφος, το νερό, το ξύλο, ορυκτούς και ενεργειακούς πόρους.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το 1970 εξορύσσονταν περίπου 22 δισεκατομμύρια τόνοι πρώτων υλών, ενώ το 2010 αυτός ο αριθμός εκτινάχθηκε στους 70 δισεκατομμύρια τόνους. Αυτή η έντονη επιτάχυνση έχει βελτιώσει τις συνθήκες ζωής εκατομμυρίων ανθρώπων, απομακρύνοντάς τους από τη φτώχεια, ωστόσο, έχει επίσης έντονο αρνητικό αντίκτυπο στα οικοσυστήματα καθώς παγκοσμίως, το 75% του εδάφους και το 40% των θαλάσσιων περιοχών έχουν υποστεί σοβαρές αλλοιώσεις λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Ως αποτέλεσμα της συνεχιζόμενης καύσης ορυκτών, των μεταβολών που λαμβάνουν χώρα στον τρόπο που αξιοποιούμε το έδαφος και τους χώρους γύρω μας, εκπέμπονται αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας την κλιματική αλλαγή.

Οι επιστήμονες έχουν αποδείξει ότι η απαίτηση για φυσικούς πόρους αναμένεται να διπλασιαστεί έως το 2060, την ίδια στιγμή που η κατανάλωση αυτών των πόρων υπερβαίνει ήδη το τριπλάσιο από ό,τι μπορεί να προσφέρει ο πλανήτης μας. Σημαντικός είναι επίσης ο κύκλος ζωής των φυσικών πόρων, τα οποία όταν χρησιμοποιηθούν καταλήγουν άμεσα ή έμμεσα σε χωματερές. Έτσι η ετήσια παραγωγή αποβλήτων αναμένεται να αυξηθεί κατά 70% έως το 2050. Για να επιτύχουμε πραγματική και μακροχρόνια βιωσιμότητα επομένως, θα πρέπει να βρεθούν λύσεις οι οποίες συνδυάζουν την παραγωγή, την κατανάλωση και το τέλος ζωής των προϊόντων αντιμετωπίζοντας έτσι την έλλειψη υλικών και την περιβαλλοντική καταπόνηση. Ένα καινούργιο σχέδιο που στοχεύει στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης χρήσης των πόρων, ξεκίνησε από τον Μάρτιο του 2020 και αποτελεί τη βάση των προσπαθειών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό το σχέδιο περιλαμβάνει πολλές δράσεις που αφορούν τον τρόπο που

σχεδιάζουμε τα προϊόντα, τις διεργασίες που χρησιμοποιούμε στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, την προώθηση μιας πιο βιώσιμης κατανάλωσης και τον προληπτικό χαρακτήρα που επιδιώκουμε στην παραγωγή των αποβλήτων. Για να επιτευχθεί η αειφόρος αξιοποίηση των πόρων στην Ελλάδα και παγκοσμίως, απαιτούνται σημαντικές μεταρρυθμίσεις στον τρόπο λειτουργίας και αξιοποίησης τους στα συστήματα παραγωγής και κατανάλωσης. Η ιδέα αυτών των μεταρρυθμίσεων έχει απασχολήσει τους ειδικούς για αρκετό καιρό και είναι πλέον γνωστό ότι είναι απαραίτητη η συνεργασία πολλών φορέων.

Στο πλαίσιο αυτό, η συμβολή και η έρευνα των επιστημόνων υλικών, καθώς και των πολιτικών και περιβαλλοντολόγων μηχανικών είναι πολύ σημαντική. Η αυξανόμενη ζήτηση για οικοδομικά υλικά στις αστικές περιοχές, λόγω της οικονομικής ανάπτυξης και της αύξησης του πληθυσμού, έχει δημιουργήσει μεγάλη ζήτηση για παραδοσιακά κατασκευαστικά υλικά. Τα τελευταία χρόνια, η κατασκευαστική δραστηριότητα έχει αυξηθεί παγκοσμίως, κάνοντας το σκυρόδεμα ένα από τα πολυπώθητα υλικά. Αυτό το δομικό υλικό χρησιμοποιείται σχεδόν σε κάθε κατασκευαστικό έργο και αποτελεί το δεύτερο πιο καταναλωτικό αγαθό μετά το νερό. Ακόμα, άλλα δύο σημαντικά στοιχεία του σκυροδέματος, όπου είναι τα λεπτά και χονδρά αδρανή, έχουν μεγάλη ζήτηση. Ωστόσο, παρά τις πολλές εφαρμογές τους στη βιομηχανία κατασκευών, υπάρχει έλλειψη στην αγορά, που περιοδικά οδηγεί σε ανεπάρκεια αυτών των υλικών. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, έχουν διεξαχθεί πολλές επιστημονικές έρευνες που αναζητούν υλικά που προέρχονται από φυσικούς πόρους που ανανεώνονται και έχουν μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον για να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά αδρανή του σκυροδέματος.

Ταυτόχρονα, πυκνώνει η ανησυχία για την αύξηση των οικοδομικών απορριμμάτων, ιδιαίτερα, σε χώρες με έντονη επιχειρησιακή δραστηριότητα στον κλάδο της κατασκευής, όπως η Ινδία και η Κίνα. Η υπερεκμετάλλευση των κοιτασμάτων πρώτων υλών λόγω της μεγάλης ζήτησης για νέες κατασκευές προκαλούνται αρκετά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η βιώσιμη διαχείριση των οικοδομικών αποβλήτων αποτελεί μια αναγκαία πρόκληση για την προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Με το σχέδιο και το σύνολο πρωτοβουλιών που έχουν θεσπιστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό την προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών προκλήσεων καθώς και το

σχέδιο της κυκλικής οικονομίας που προωθεί την προσαρμογή της κοινωνίας μας σε ένα νέο μοντέλο οικονομίας, όπου τα προϊόντα, υλικά και πόροι αξιοποιούνται με βιώσιμο τρόπο, καταβάλλεται μια συλλογική προσπάθεια για τη δημιουργία κτιρίων με μηδενικό ανθρακικό αποτύπωμα. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται αποκλειστικά υλικά φιλικά προς το περιβάλλον και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Σε ορισμένες χώρες, η ανακύκλωση των οικοδομικών αποβλήτων και των αδρανών υλικών έχει ξεκινήσει με γρήγορους ρυθμούς, αλλά η διαδικασία αυτή δεν προχωρά με τον ίδιο ρυθμό με την παγκόσμια ρύπανση. Επομένως, είναι επιτακτική ανάγκη να ανακαλύψουμε νέα δομικά υλικά που να είναι άφθονα στη φύση και να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Η κατασκευαστική βιομηχανία αντιμετωπίζει προκλήσεις που αφορούν την ενεργειακή απόδοση και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι, πέρα από τα αέρια του θερμοκηπίου που παράγονται από τη χρήση των κτιρίων, αναγνωρίζουμε ότι πρέπει να έχουμε προοπτική του κύκλου ζωής των υλικών. Αυτό σημαίνει να εξετάζουμε τις εκπομπές που προέρχονται από την εξόρυξη, παραγωγή, μεταφορά και εγκατάσταση υλικών κατασκευής καθώς και την κατεδάφιση, απόθεση και ανακύκλωση των προϊόντων.

Ο στόχος μας είναι να αποδείξουμε ότι η κατασκευαστική βιομηχανία μπορεί να παίξει ένα ρόλο στην εκμετάλλευση αυτών των υλικών με βιώσιμο τρόπο. Μια προσέγγιση είναι η χρήση τους στην παραγωγή σκυροδέματος, το οποίο αποτελεί ένα από τα κύρια δομικά υλικά. Με την παγκόσμια περιβαλλοντική κρίση μπροστά μας, η κατασκευαστική βιομηχανία πρέπει να υιοθετήσει πιο βιώσιμες μεθόδους παραγωγής σκυροδέματος και να προωθήσει είδη που σέβονται το περιβάλλον και έχουν μεγάλο κύκλο ζωής. Η κεντρική ερώτηση που δίνει κίνητρο σε αυτή την εργασία είναι πως μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ανακυκλώσιμα υλικά στο σκυρόδεμα δηλαδή υλικά που μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν ή να υποστούν ανακύκλωση για την παραγωγή νέου σκυροδέματος. Η ενσωμάτωση ανακυκλώσιμων υλικών στο σκυρόδεμα έχει πολλαπλά οφέλη, όπως η μείωση των αποβλήτων, η προστασία των φυσικών πόρων και η μείωση της ανθρακικής εκπομπής από την κατασκευαστική βιομηχανία. Αυτή η προσέγγιση συμβάλλει στην πιο βιώσιμη διαχείριση των πόρων και προωθεί την προστασία του περιβάλλοντος.

Σκοπός λοιπόν της παρούσας εργασίας είναι μέσα από μια ερευνητική διαδικασία , να εστιάσουμε στο ποια είναι αυτά τα ανακυκλώσιμα υλικά ,από που ανακτώνται και τι αποτελέσματα έχουν όταν αναμιγνύονται με το σκυρόδεμα.

Η ανάλυση μας θα ξεκινήσει όμως από κάποια στάδια νωρίτερα, το οποίο είναι τα απόβλητα που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Διαχείριση αποβλήτων



Εικόνα 1.1 Βιομηχανία αποβλήτων Πηγή: <https://global-recycling.info/archives/7162>

Η ιδέα ότι τα απόβλητα αποτελούν όχι μόνο πρόβλημα για το περιβάλλον αλλά και οικονομική επιβάρυνση έχει απασχολήσει του ειδικούς για αρκετό καιρό. Οι πολίτες της Ευρώπης, σε μέσο όρο, παράγουν 480 κιλά αστικών αποβλήτων ετησίως. Παρόλο που ένα μεγάλο μέρος από αυτά ανακυκλώνεται ή χρησιμοποιείται ως λίπασμα, εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη να αλλάξουμε τον τρόπο παραγωγής και κατανάλωσης, προκειμένου να μειώσουμε την παραγωγή αποβλήτων και να εκμεταλλευτούμε πλήρως όλα τα απόβλητα ως πόρους.

Ο τρόπος που καταναλώνουμε και παράγουμε είναι στενά συνδεδεμένος με τον όγκο των αχρησιμοποίητων υλικών ή αντικειμένων που παράγονται καθημερινά. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο αριθμός των προϊόντων που κατασκευάζονται και πωλούνται στην αγορά, που αποτελεί μια πρόκληση καθαυτή. Τα απόβλητα που παράγονται είναι πολύπλοκα και ποικίλα, καθιστώντας δύσκολο να αποκτήσουμε μια πλήρη εικόνα για τον τύπο και την τοποθεσία αυτών. Υπάρχουν πληροφορίες για κάθε είδος αποβλήτων αλλά η ποιότητα τους διαφέρει. Το κέντρο δεδομένων της ΕΕ για τα απόβλητα συλλέγει πληροφορίες σχετικά με αυτά σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Είναι ευρέως κατανοητό ότι η κατασκευή υποδομής για τη συλλογή, η διαδικασία του διαχωρισμού και της ανακύκλωσης απαιτεί μια σημαντική οικονομική επένδυση, αλλά όταν λειτουργεί πλήρως, η ανακύκλωση μπορεί να γίνει μια πηγή εσόδων και να δημιουργήσει νέες θέσεις εργασίας. Το πρόβλημα των αποβλήτων πρέπει να

έχει μια παγκόσμια διάσταση. Θα επικεντρωθούμε στις κατηγορίες αποβλήτων που ενδέχεται να παρουσιάσουν χρησιμότητα για την παραγωγή σκυροδέματος, καθώς και στις μεθόδους διαχείρισής τους.

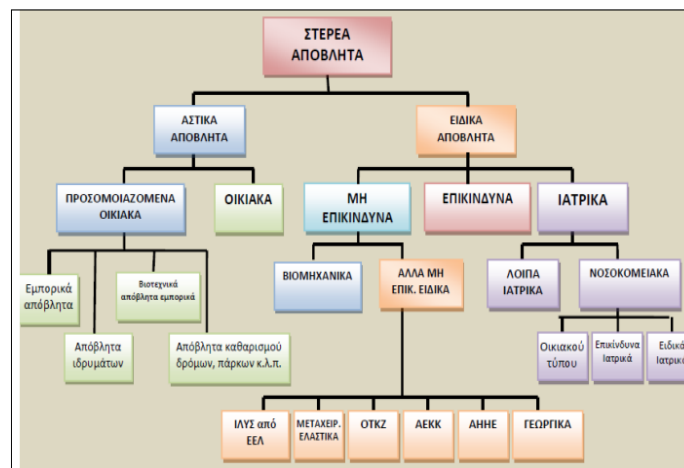
1.1 Κατηγορίες αποβλήτων

Τα απόβλητα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τη μορφή τους: στερεά, υγρά και αέρια.

- Τα αέρια απόβλητα, γνωστά και ως αερολύματα, περιλαμβάνουν κυρίως τα αέρια από βιομηχανικές και οικιακές δραστηριότητες. Κάποια παραδείγματα είναι από, σταθμούς παραγωγής ενέργειας, τις συσκευές θέρμανσης στα σπίτια, τα αυτοκίνητα και την οδική κυκλοφορία, τα διυλιστήρια, τις μονάδες χαρτοποιίας, τα βαφεία και πολλές άλλες δραστηριότητες. Αυτές οι δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για την παραγωγή και εκπομπή αερολυμάτων, περιλαμβάνοντας διάφορες επιβλαβείς ουσίες και σωματίδια που επηρεάζουν την ποιότητα του αέρα που αναπνέουμε. Τα κύρια συστατικά των αερολυμάτων περικλείουν τις ακόλουθες ουσίες και σωματίδια: το μονοξειδίο του άνθρακα, το διοξειδίο του άνθρακα, τα οξειδία του θείου τα οξειδία του αζώτου , τους υδρογονάνθρακες και σωματίδια.
- Τα στερεά απόβλητα αντιπροσωπεύουν τα απορρίμματα που βρίσκονται σε στερεή μορφή. Στην κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα αστικά απορρίμματα, τα οποία προέρχονται από τις καθημερινές μας δραστηριότητες, τα βιομηχανικά απορρίμματα όπως άδειες συσκευασίες, κενά βαρέλια, χαρτοκιβώτια και πλαστικά περιτυλίγματα, αλλά και άλλες μορφές αποβλήτων όπως τα υλικά κατεδαφίσεων, τα πετρελαιοειδή, τα κτηνοτροφικά και γεωργικά απόβλητα, τα απόβλητα των ορυχείων και μεταλλείων, τα υλικά από εκσκαφές, λάσπη ή την υγρή μάζα που παράγεται κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των αστικών λυμάτων και βιομηχανικών διεργασιών, νοσοκομειακά απόβλητα, ελαστικά και σκραπ, κα.
- Τα υγρά απόβλητα είναι τα υπολείμματα που είτε είναι διαλυμένα σε νερό είτε σε άλλο οργανικό διαλύτη. Αποτελούν σήμερα έναν από τους κυριότερους ρυπογόνους παράγοντες που επηρεάζουν το περιβάλλον. Οι κύριες πηγές αυτών των αποβλήτων περιλαμβάνουν τα απόβλητα που προέρχονται από καθημερινές δραστηριότητες, όπως τα νοικοκυριά, οι αστικοί οικισμοί και οι βιομηχανίες. Στα υγρά απόβλητα περιέχονται ορισμένες κύριες μορφές ρύπων, όπως οργανικά

υλικά που μπορούν να αποτελέσουν υλικά τα οποία είναι σε θέση να υποστούν φυσική διάσπαση ή αποσύνθεση από βιολογικούς παράγοντες, υλικά που δεν υπόκεινται στη βιολογική αποσύνθεση και παραμένουν ανεπηρέαστα από βιολογικούς παράγοντες, θρεπτικά υλικά, τοξικές ουσίες, βαρέα μέταλλα, ανόργανα υλικά και παθογόνοι μικροοργανισμοί.

Στην παρούσα διπλωματική θα μας απασχολήσει η κατηγορία των στερεών αποβλήτων η οποία όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα χωρίζεται στις παρακάτω υποκατηγορίες, σύμφωνα με την εικόνα 1.2, οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια:



Εικόνα 1.2. , Κατηγορίες στερεών αποβλήτων , Πηγή : <https://www.edsna.gr/wp-content/uploads/2021/10/%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%9F%CE%A5-%CE%A3%CE%A0%CE%91%CE%A4%CE%A9%CE%9D-%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%95%CE%9C%CE%99%CE%94%CE%91%CE%A3.pdf>

1.2 Στερεά απόβλητα

Τα στερεά απόβλητα προέρχονται από διάφορες δραστηριότητες όπως νοικοκυριά, εμπορικά και βιομηχανικά καταστήματα, γεωργικές και εξορυκτικές δραστηριότητες. Ωστόσο, ένα αντικείμενο που έχει καταστεί απόβλητο για τον έναν άνθρωπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από κάποιον άλλον που έχει ανάγκη για αυτό. Έτσι, μερικά πράγματα όπως παλιά έπιπλα, μεταχειρισμένα ρούχα, υλικά κατεδαφίσεων, μπορούν να αποκτήσουν νέο σκοπό ύπαρξης όταν δίνονται σε άλλους ανθρώπους που τα χρειάζονται, κάνοντας έτσι την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση σημαντικές πρακτικές για την αειφορία του περιβάλλοντος.

Ο κύριος στόχος είναι η καθορισμός σαφών ορισμών που να προσδιορίζουν τη διαφορά μεταξύ πόρου , δευτερογενούς πόρου και αποβλήτου. Σημαντικό είναι

επίσης να καθοριστεί πότε και πώς ένα απόβλητο μπορεί να μετατραπεί και πάλι σε χρήσιμο αγαθό. Κάθε προϊόν φέρει ένα περιβαλλοντικό φορτίο που αντιπροσωπεύει τις επιπτώσεις στο φυσικό περιβάλλον από την αρχική φάση έως την τελική φάση της ύπαρξής του. Αυτό περιλαμβάνει τις συνέπειες που προκύπτουν από την ανάγκη να εξορύσσονται τα αρχικά υλικά που απαιτούνται για την παραγωγή του προϊόντος, δηλαδή την εξόρυξη των πρώτων υλών.

Αναλύοντας τις κατηγορίες των στερεών αποβλήτων είμαστε σε θέση να λάβουμε πληροφορίες για την μελλοντική τους χρήση και αποδοτικότητα έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία. Χρειάζεται ωστόσο οι άμεσα συνδεδεμένοι φορείς όπως μηχανικοί, πολίτες, δήμος να συνεργάζονται πλήρως.

Για να απαντήσουμε στην ερώτηση πως όλοι αυτοί οι φορείς μπορούν να συνεισφέρουν θα επικεντρωθούμε πρώτα στις δυο υποκατηγορίες των στερεών αποβλήτων τα αστικά στερεά απόβλητα και τα ειδικά στερεά απόβλητα.

1.2.1 Αστικά στερεά απόβλητα

Οι κατηγορίες των αστικών στερεών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- Οικιακά απόβλητα: Προέρχονται από τις κατοικίες και πολυκατοικίες και περιλαμβάνουν τρόφιμα που δεν καταναλώνονται, χαρτιά, πλαστικά, υφάσματα, ξύλα, κήπους, γυαλί, μέταλλα, και άλλα.
- Εμπορικά απόβλητα: Προέρχονται από εστιατόρια, καταστήματα, χώρους εργασίας, ξενοδοχεία, μικρές βιοτεχνίες, και άλλες επιχειρήσεις. Περιλαμβάνουν χαρτιά, πλαστικά, ξύλα, τρόφιμα, γυαλί, μέταλλα και ειδικά απόβλητα.
- Απόβλητα ιδρυμάτων: Προέρχονται από σχολεία, νοσοκομεία, διοικητήρια και άλλα κοινά κτίρια, εκτός από τα μολυσματικά απόβλητα.
- Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων: Προέρχονται από πρόσφατες κατασκευές, έργα δρόμων, και διαδικασίες κατεδαφίσεων και κάποια από τα υλικά που περιλαμβάνουν είναι σκυρόδεμα, ξύλα, καλώδια, τούβλα, μέταλλα, πέτρες, χρώματα.

1.2.2 Ειδικά στερεά απόβλητα

Χωρίζονται σε επικίνδυνα και σε μη επικίνδυνα απόβλητα.

Επικίνδυνα απόβλητα αναφέρονται σε απόβλητα που περιέχουν ουσίες που έχουν επιβλαβείς χαρακτηριστικά, όπως τοξικότητα, εκρηκτικότητα, εύφλεκτο, καρκινογόνες, ραδιενεργές και μεταλλαξιογόνες ιδιότητες. Επίσης, περιλαμβάνουν οποιαδήποτε ουσία μπορεί να προκαλέσει ανεπιθύμητες επιπτώσεις ή βλάβες στις υδάτινες πηγές (επιφανειακά ή υπόγεια), την ατμόσφαιρα ή το χώμα.

Οι πιο σημαντικές κατηγορίες επικίνδυνων αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- Βιομηχανικά απόβλητα, προερχόμενα κυρίως από τη μεταλλουργία, τη διύλιση του πετρελαίου, και την παραγωγή χημικών προϊόντων και λιπασμάτων.
- Νοσοκομειακά απόβλητα, που παράγονται από δραστηριότητες σχετικές με την υγειονομική περίθαλψη ανθρώπων και ζώων.
- Χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια.
- Πολυχλωροδιφαινύλια και πολυχλωροτριφαινύλια (PCB/PCT).
- Συσσωρευτές μολύβδου και ηλεκτρικές στήλες.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν και να διαχειριστούν σωστά τα επικίνδυνα απόβλητα, έχει γίνει έντονος προβληματισμός για τη νομική διάκριση μεταξύ προϊόντος και αποβλήτου, καθώς και το πότε και πώς ένα απόβλητο μπορεί να ανακυκλωθεί και να γίνει και πάλι χρήσιμο.

Μη επικίνδυνα ειδικά απόβλητα

- Βιομηχανικά απόβλητα
- ιλύς από εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων
- μεταχειρισμένα ελαστικά
- οχήματα στο τέλος κύκλου ζωής
- απόβλητα εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων
- απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού
- Γεωργικά

1.2.2.1 ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΕΚΣΚΑΦΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ

Την παρούσα διπλωματική απασχολούν σε μεγάλο βαθμό τα απόβλητα που ανήκουν στην κατηγορία με τα μη επικίνδυνα ειδικά απόβλητα. Αυτά είναι τα ΑΕΚΚ δηλαδή τα απόβλητα εκσκαφών κατασκευών και κατεδαφίσεων τα οποία έχουν άμεση σχέση με το σκυρόδεμα και τον κύκλο ζωής των κτιρίων. Γι' αυτό 'τον λόγο θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά σε αυτό το είδος .

Κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής ενός κτιρίου, παράγονται υλικά τα οποία δεν είναι πλέον χρήσιμα που διαφέρουν σημαντικά τόσο στην σύνθεσή τους όσο και στις ποσότητες που προκύπτουν. Το μεγαλύτερο ποσοστό των αποβλήτων προκύπτει κατά την κατασκευή και την κατεδάφιση του κτιρίου, εκτός από τα απορρίμματα που παράγονται από τους κατοίκους του κτιρίου κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του.

Ένα σταθερό θέμα στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι πως τα ΑΕΚΚ αποτελούν από τα πιο μεγάλα όγκου και βαριά απόβλητα που παράγονται. Αντιπροσωπεύουν περίπου το ένα τρίτο από τα συνολικά παραγόμενα απόβλητα στην ΕΕ και περιλαμβάνουν υλικά όπως τσιμέντο, μέταλλα, τούβλα, γυψοσανίδες, ξύλο, γυαλί, πλαστικά, υλικά από μέταλλα, αμίαντο και χώμα. Τα απόβλητα αυτά πιο συγκεκριμένα προκύπτουν από δραστηριότητες όπως η κατασκευή νέων κτιρίων, η ολική ή μερική κατεδάφιση, η κατεδάφιση υπαρχόντων κτιρίων και υποδομών, καθώς επίσης δραστηριότητες που περιλαμβάνουν την ανανέωση, ανακατασκευή των κτιρίων ή διαμερισμάτων και την κατασκευή και συντήρηση του οδικού δικτύου. Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως τα υλικά ΑΕΚΚ μπορούν να υποστούν ανακύκλωση, προσφέροντας ένα υψηλό δυναμικό αξιοποίησης, καθώς μερικά από αυτά είναι πολύτιμα. Παρά το γεγονός ότι υπάρχουν τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για να απομονώσουν και να επαναχρησιμοποιήσουν τα ποιοτικά υλικά που περιέχονται σε αυτά τα απόβλητα, η ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση τους διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στα κράτη μέλη της ΕΕ, με ποσοστά ανακύκλωσης που κυμαίνονται από λιγότερο από 10% έως πάνω από 90%.

Σε ορισμένες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η κατηγορία αποβλήτων που προκύπτει από εργασίες εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων απορρίπτεται χωρίς προσεκτική διαχείριση, προκαλεί το πρόβλημα της απαίτησης πολύτιμου

χώρου σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αυτό σημαίνει ότι καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος των αποθεμάτων των χώρων όπου πραγματοποιείται η τελική διάθεση. Ολοκληρώνοντας, αν τα απόβλητα δεν διαχωρίζονται κατά την παραγωγή τους, ενδέχεται να περιέχουν μικρές ποσότητες υλικών που αποτελούν κίνδυνο για την υγεία ή το περιβάλλον. Αυτό συνιστά έναν ακόμα πρόβλημα, καθώς οι επικίνδυνες ουσίες μπορούν να προκαλέσουν περιβαλλοντικούς κινδύνους και απειλούν τη δημόσια υγεία. Στην Ελλάδα, εκτιμάται ότι παράγονται ετησίως περίπου 6-7 εκατομμύρια τόνοι αποβλήτων από διάφορες οικοδομικές εργασίες, όπως κατασκευές και κατεδαφίσεις.

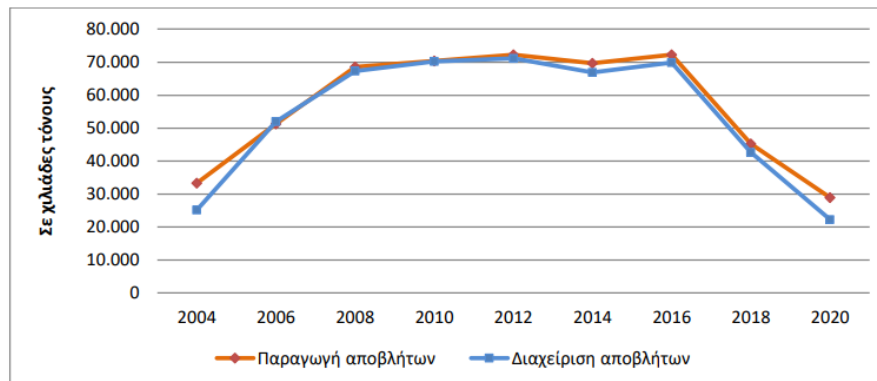
1.3 Κατάσταση στην Ελλάδα

Η σημερινή κατάσταση της κοινωνίας μας διαμορφώνεται από τον σύγχρονο τρόπο ζωής, τον έντονο καταναλωτισμό και την ανάγκη για υψηλότερο βιοτικό επίπεδο. Η εκβιομηχάνιση, η αστικοποίηση και η τεχνολογική πρόοδος προκαλούν γρήγορη αύξηση των λυμάτων και των απορριμμάτων. Η ιδέα πως η τεχνολογική εξέλιξη μπορεί να αντιμετωπίσει άνετα τα απόβλητα και δεν επηρεάζει την ανθρώπινη ζωή είναι λανθασμένη. Στην πραγματικότητα, το πρόβλημα διαχείρισης των απορριμμάτων παραμένει πολύπλοκο, ανησυχητικό και δύσκολο να λυθεί. Ειδικά στην Ελλάδα, και ιδιαίτερα στην Αττική, η διάθεση των αποβλήτων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αυτό συνεπάγεται περιβαλλοντικές δαπάνες, προβλήματα στη διαχείριση, την μετακίνηση και την επεξεργασία των απορριμμάτων, και πιθανά στο μέλλον προβλήματα για το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων.

Έτος	Χημικά και νοσοκομειακά απόβλητα	Ανακυκλώσιμα απόβλητα	Αστικά στερεά απόβλητα	Λάσπες	Απόβλητα εξορυκτικών και λουιτών δραστηριοτήτων	Σύνολο	Ποσοστιαία μεταβολή (%)
2004	471.779	1.701.765	5.074.791	116.678	25.981.949	33.346.962	-
2006	348.908	3.446.512	5.262.410	139.964	42.126.868	51.324.662	53,9%
2008	171.796	3.913.450	5.159.916	158.732	59.240.070	68.643.964	33,7%
2010	202.070	2.849.335	5.922.904	117.789	61.340.607	70.432.705	2,6%
2012	174.524	2.193.687	5.547.016	109.274	64.303.779	72.328.280	2,7%
2014	251.623	1.313.524	7.495.065	138.035	60.560.621	69.758.868	-3,6%
2016	474.508	2.329.179	5.483.633	116.977	63.928.056	72.332.353	3,7%
2018	846.129	2.816.572	5.319.260	120.663	36.137.709	45.240.333	-37,5%
2020*	875.403	1.998.297	6.056.479	159.379	19.854.338	28.943.897	-36,0%

Πίνακας 2.1 Στατιστικά παραγωγής αποβλήτων πηγή <https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Βάση των ανωτέρω δεδομένων κατά το 2020, η παραγωγή αποβλήτων ανήλθε σε περίπου 28.943.897 τόνους, σημειώνοντας μείωση 36,0% σε σύγκριση με το 2018. Παράλληλα, η διαχείριση των αποβλήτων αντιστοιχούσε σε περίπου 22.279.515 τόνους, με μείωση 47,8% σε σχέση με το 2018. Παρατηρήθηκαν επομένως θετικά αποτελέσματα τις 2 τελευταίες χρονολογίες του πίνακα, μια μείωση δηλαδή της παραγωγής των αποβλήτων σε σχέση με την μέγιστη παραγωγή του έτους 2016.



Διάγραμμα 1.1 καμπύλη παραγωγής αποβλήτων(κόκκινη) και καμπύλη διαχείρισης αποβλήτων (μπλε) ετη 2004-2020 Πηγή: <https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Παρατηρείται και από σχετικά διαγράμματα ότι τα απόβλητα που παράχθηκαν στην Ελλάδα από πιο πρόσφατες καταγραφές είναι σίγουρα πολλά περισσότερα από όσα μπορούσαμε να διαχειριστούμε. Η μικρή μείωση που παρατηρήθηκε στις ποσότητες των απορριμμάτων που παράγονται στις χώρες της ΕΕ μπορεί να συμβάλει κάποιως έκτασης στην ελάττωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα απόβλητα. Ωστόσο, παρόλο που η ποσότητα των αποβλήτων είναι σημαντική, η σωστή διαχείριση των αποβλήτων διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο.

Η ανεπαρκής διαχείριση των αποβλήτων έχει αρνητικές επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή και την ατμοσφαιρική ρύπανση, επηρεάζοντας άμεσα πολλά οικοσυστήματα και είδη.

1.4 Προβλήματα που προκαλούν τα απόβλητα

- Προβλήματα υγιεινής από τα απορρίμματα

Οι επιπτώσεις των απορριμμάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τις βιογενείς, που προκύπτουν από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών, και τις μη βιογενείς, που προέρχονται από παράγοντες, όπως τα βαρέα μέταλλα στα στραγγίσματα, αυταναφλέξεις και την αντιαισθητική θέα. Όσο αφορά τους κίνδυνους για τη δημόσια υγεία είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη ότι ένα υλικό που περιέχει οργανική ύλη, όπως μαγειρεμένο κρέας, μπορεί να μετατραπεί σε δυνητικά

θανατηφόρα πηγή τοξικών ή παθογόνων οργανισμών μέσα σε λίγες ώρες, αν εκτεθεί σε θερμό περιβάλλον. Οι μικροοργανισμοί δεν απαιτούνται να υπάρχουν αρχικά στο υλικό, διότι το περιβάλλον είναι ήδη εφοδιασμένο με σπόρους, βακτηρίδια, ιούς, έντομα, σκώληκες και άλλους παράγοντες που αναζητούν κατάλληλο υπόστρωμα για να πολλαπλασιαστούν. Ωστόσο, αυτά τα μικρόβια μεταφέρονται κυρίως από έντομα και τρωκτικά.

- Προβλήματα περιβάλλοντος από απορρίμματα :

Οι επιπτώσεις των απορριμμάτων από περιβαλλοντικής άποψης σχετίζονται κυρίως με χημικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα, αναφέρονται στον σχηματισμό στραγγισμάτων, τους κινδύνους από αυταναφλέξεις των απορριμμάτων και την παραγωγή αερίου.

1.5 Διαχείριση αποβλήτων

Ακολούθως θα εξετάσουμε ορισμένες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση των προαναφερθέντων αποβλήτων, με σκοπό να αποκτήσουμε μια πιο σφαιρική κατανόηση της διαδικασίας. Η διαχείριση αποβλήτων αναφέρεται στον συνολικό κύκλο δραστηριοτήτων που περιλαμβάνει την προσωρινή αποθήκευση, συλλογή, μεταφορά, φόρτωση, επεξεργασία, αξιοποίηση, επαναχρησιμοποίηση ή τελική διάθεση των αποβλήτων προς φυσικούς παραλήπτες. Αυτή περιέχει επίσης την επίβλεψη και έλεγχο των διαδικασιών αυτών, καθώς και τη φροντίδα για τον χώρο τελικής διάθεσης μετά την ολοκλήρωση των εργασιών.

Οι πιο γνωστές μέθοδοι διαχείρισης αποβλήτων είναι:

1.5.1 ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΤΑΦΗ ΤΩΝ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ



Εικόνα 1.3 Χώρος υγειονομικής ταφής, Πηγή : <https://mesogeos.gr/%CF%84%CE%B1-%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B1-%CE%BC%CE%B1%CF%82/%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/%CF%87-%CF%85-%CF%84-%CE%B1-%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CF%8D/>

Η διαδικασία της υγειονομικής ταφής, γνωστή και ως ελεγχόμενη διάθεση ή πλήρωση εδάφους, αποτελεί μια παραδοσιακή μέθοδο που ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε για λόγους υγιεινής και περιβαλλοντικής προστασίας. Σε ένα χώρο υγειονομικής ταφής δημοτικών απορριμμάτων, μπορούν να γίνουν δεκτά διάφορα είδη απορριμμάτων, όπως οικιακά απορρίμματα, τέφρες και σκουριές που δεν περιέχουν βαρέα μέταλλα άνω των επιτρεπόμενων ορίων, μπάζα και σταθεροποιημένες λάσπες. Παρόλα αυτά, ορισμένα απόβλητα αποκλείονται από την υγειονομική ταφή, όπως τα ραδιενεργά, τα ειδικά απορρίμματα και τα τοξικά επικίνδυνα, τα οποία απαιτούν ειδικούς χώρους διάθεσης και ειδική μεταχείριση.

1.5.2 Καύση

Η διαδικασία της καύσης των απορριμμάτων μπορεί να χωριστεί σε δυο κατηγορίες όπως με παραγωγή ενέργειας και χωρίς παραγωγή ενέργειας. Ωστόσο, η επεξεργασία αυτή συνεπάγεται τη δημιουργία λίγων καταλοίπων που κυμαίνονται περίπου από 10-30%. Το κόστος της καύσης απορριμμάτων είναι υψηλό, καθώς η ρύπανση του αέρα απαιτεί επιπλέον δαπάνες που αυξάνουν ακόμη περισσότερο το συνολικό κόστος. Η καύση των απορριμμάτων επιτρέπει τη μείωση σημαντικού μέρους του όγκου και βάρους, μετατρέπει τα οικιακά απόβλητα σε αέρια, όπως μεθάνιο και άλλα αέρια που μπορούν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή διαφόρων μορφών ενέργειας. Επίσης, παράγει θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή παραγωγή ατμού για τον κινητήρα πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων. Τέλος, τα αποστειρωμένα αχρείαστα υλικά είναι τα κατάλοιπα που παράγονται μετά την καύση και δεν μπορούν να ξανά χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 1.4, Μηχανή καύσης , Πηγή : <https://addfield.com/machines/solid-waste-incinerator-machines-g350/>

1.5.3 Ανακύκλωση

Είναι σημαντικό να καταστεί σαφές ο ορισμός της ανακύκλωσης, η οποία είναι μια πρακτική διαχείρισης αποβλήτων που ξεχωρίζει από τις άλλες, και αποτελεί το κύριο θέμα της παρούσας εργασίας. Μέσω αυτής της διαδικασίας, τα απόβλητα χωρίζονται και επεξεργάζονται, ώστε να επιστρέφουν στην αγορά ως επαναχρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, απομακρύνοντας τα μη ανακυκλώσιμα υλικά. Προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπου από τα πιο βασικά αναφορικά με το θέμα είναι ότι εξοικονομείται πολύτιμη πεπερασμένη πρώτη ύλη, ελαττώνοντας την ανάγκη για εξόρυξη νέων υλικών και μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις . Στην συνέχεια πρόκειται να αναλυθεί περισσότερο η διαδικασία ανακύκλωσης υλικών τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν στο σκυρόδεμα. Η ανακύκλωση μπορεί να πετύχει όταν υπάρχουν καλές οικονομικές συνθήκες που την υποστηρίζουν, όχι εκεί που προάγεται μερικώς.



Εικόνα 1.5. , Λογότυπο ανακύκλωσης , Πηγή:

<http://www.agroenergy.gr/categories/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8E%CE%BD-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD>

1.5.4 ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗ

Σε πολλές χώρες, τα απόβλητα που προέρχονται από τα τρόφιμα και τον κήπο αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος των αστικών στερεών αποβλήτων. Αυτός ο τύπος αποβλήτων, όταν συλλέγεται ξεχωριστά, μπορεί να υποστεί επεξεργασία και να μετατραπεί σε πηγή ενέργειας ή σε λίπασμα. Η διαδικασία της κομποστοποίησης μπορεί να περιλαμβάνει διάφορες βιολογικές και χημικές διεργασίες, όπως η αερόβια και αναερόβια λιπασματοποίηση. Κατά τη διάρκεια αυτών των διεργασιών, τα οργανικά συστατικά των απορριμμάτων υφίστανται μία ρύθμιση ή αδρανοποίηση, με τη βοήθεια μικροοργανισμών, προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν.

Ο στόχος είναι η δημιουργία ενός σταθερού και ασφαλούς προϊόντος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βελτιωτικό για το έδαφος ενώ γίνονται έρευνες και για άλλες χρήσεις. Υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση αυτού του προϊόντος, καθώς μπορεί να περιέχει βλαβερές ουσίες που ενδέχεται να απειλούν την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια. Παραδείγματα τέτοιων ουσιών είναι βαρέα μέταλλα, θραύσματα γυαλιών και παθογόνοι οργανισμοί. Παρόλα αυτά, οι συγκεντρώσεις αυτών των ουσιών είναι χαμηλότερες σε σχέση με τα υπολείμματα από άλλες διαδικασίες επεξεργασίας. Για να επιτύχει η μετατροπή των οργανικών υλικών σε κομπόστ και η διαδικασία ανακύκλωσης, είναι απαραίτητο να γίνουν με τον κατάλληλο τρόπο και υπευθυνότητα.



Εικόνα 1.6 Συγκέντρωση προϊόντων κομποστοποίησης Πηγή : <https://www.clabel.org/el/>

1.5.5 Διάθεση

Η διάθεση των στερεών αποβλήτων αποτελεί το τελικό στάδιο της διαχείρισής τους. Σήμερα, η συνηθέστερη μέθοδος διάθεσης είναι η ταφή στο έδαφος (landfilling). Αυτό συμβαίνει για όλα τα είδη αποβλήτων, όπως τα οικιακά απόβλητα που πηγαίνουν απευθείας σε χώρους υγειονομικής ταφής, τα υπολειμματικά υλικά από κέντρα ανακύκλωσης, τα υπολείμματα από την καύση στερεών αποβλήτων, τα βελτιωτικά εδάφους και άλλα υλικά από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων. Τα παρακάτω στατιστικά στοιχεία του έτους 2020 , αναφέρουν την διαχείριση που έχει πραγματοποιηθεί .

Σε τόνους

	Αποτέφρωση	Ανάκτηση	Διάθεση	Σύνολο	Ποσοστιαία Διάρθρωση (%)
Χημικά και νοσοκομειακά απόβλητα	4.557	368.982	48.580	422.119	1,9%
Ανακυκλώσιμα απόβλητα	21.581	1.259.930	7.048	1.288.558	5,8%
Αστικά στερεά απόβλητα	161.448	215.582	3.378.981	3.756.010	16,9%
Λάσπες	40.876	91.462	25.196	157.534	0,7%
Απόβλητα εξορυκτικών και λοιπών δραστηριοτήτων	174.701	5.228.185	11.252.407	16.655.293	74,8%
Σύνολο	403.163	7.164.140	14.712.212	22.279.515	100,0%

* Προσωρινά Στοιχεία

Πίνακας 1.2 Στατιστικά Διαχείρισης αποβλήτων Πηγή : <https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>

Όσον αφορά τη διαχείριση των αποβλήτων ανά κατηγορία το 2020, τα απόβλητα που προέρχονται από εξορυκτικές και άλλες δραστηριότητες ανήλθαν σε 16.655.293 τόνους, αντιπροσωπεύοντας το 74,8% του συνολικού όγκου αποβλήτων. Αντίστοιχα, τα αστικά στερεά απόβλητα ανέρχονταν σε 3.756.010 τόνους, καταλαμβάνοντας το 16,9% του συνόλου. Οι παρατηρούμενες στατιστικές παρουσιάζουν ότι ο αριθμός των υλικών που υποβλήθηκαν στη διαδικασία ανάκτησης ενέργειας, περιλαμβάνοντας την ανακύκλωση και την επαναχρησιμοποίηση, είναι υψηλότερος σε σύγκριση με τους άλλους δύο τρόπους διαχείρισης που αναφέρθηκαν. Τα αποτελέσματα αυτά προβάλλουν θετικές πτυχές για την πρακτική της παρούσας ερευνητικής εργασίας καθώς γίνεται γνωστή σε εμάς η ύπαρξη δευτερογενών υλικών, τα οποία είναι δυνατόν να ενσωματωθούν στην κατασκευή σκυροδέματος. Με αυτόν τον τρόπο αντιλαμβανόμαστε και αισθανόμαστε την συλλογικότητα της πολιτείας προς την βιωσιμότητα.

1.6 Οφέλη της διαχείρισης των στερεών αποβλήτων

Είναι γενικά αποδεκτό ότι όταν τα στερεά απόβλητα διαχειρίζονται σωστά, μπορούν να ανακτηθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά ως πόροι. Η ποσότητα των υλικών που πετιούνται σε χωματερές μειώνεται σημαντικά αυτό συμβαίνει διότι ορισμένα από τα απόβλητα μπορούν να ανακυκλωθούν ή και να επαναχρησιμοποιηθούν. Έτσι επιτυγχάνεται η εξοικονόμηση του χώρου που χρησιμοποιείται για την ταφή των απορριμμάτων ενώ ο ελεύθερος χώρος μπορεί να αξιοποιηθεί για πιο χρήσιμους σκοπούς πέρα από την απλή απόρριψη απορριμμάτων. Επίσης συντελεί στην προστασία του ανθρώπου και, πάνω απ' όλα, του φυσικού

περιβάλλοντος. Παρ'όλο που ενδέχεται να φαίνεται δαπανηρή στην αρχή, στην πραγματικότητα αποτελεί οικονομικά προσιτή και αποδοτική λύση μακροπρόθεσμα.

1.7 Κατάσταση στην Ευρώπη

Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι οι χώρες της βορειοδυτικής Ευρώπης, όπως το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γερμανία και η Αυστρία, εφαρμόζουν ευρέως την αποτέφρωση και την ανακύκλωση για τη διαχείριση των αποβλήτων τους, και σχεδόν δεν χρησιμοποιούν την μέθοδο της υγειονομικής ταφής. Πιο συγκεκριμένα, η Γερμανία και η Αυστρία ξεχωρίζουν με τα υψηλότερα ποσοστά ανακύκλωσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Από την άλλη πλευρά, σε πολλές χώρες του Νοτιοανατολικού τμήματος της ΕΕ, η υγειονομική ταφή παραμένει η κυρίαρχη μέθοδος διάθεσης των αποβλήτων. Για παράδειγμα, περισσότερες από 10 χώρες, όπως η Μάλτα, η Κύπρος, η Ρουμανία, η Βουλγαρία, η Σλοβακία, η Ισπανία και η Πορτογαλία, αποστέλλουν περισσότερο από το 60% των αχρείαστων υλικών τους σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αντίθετα, άλλες χώρες, όπως η Ιρλανδία, η Ιταλία, η Γαλλία, και το Λουξεμβούργο, μόνο το 33% ή ακόμη και λιγότερο των απορριμμάτων που παράγουν διατίθενται σε χώρους υγειονομικής ταφής., ενώ ανακυκλώνουν πάνω από το 40% των οικιακών αποβλήτων, εκτός από την Εσθονία και τη Λετονία, όπου η ανακύκλωση είναι χαμηλότερη.

Από το 2006 έως το 2017, η αναστολή της υγειονομικής ταφής των αποβλήτων έγινε σημαντικά πιο επιτυχημένη σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης. Ένα σημαντικό ποσοστό αποστέλλεται σε άλλες χώρες με σκοπό την επεξεργασία και επαναχρησιμοποίηση. Το μεγαλύτερο μέρος των αποβλήτων που αποστέλλονται σε άλλες χώρες για εξαγωγή περιλαμβάνει απόβλητα που περιέχουν μεταλλικά υλικά, όπως τα σιδηρούχα και τα μη σιδηρούχα, μαζί με απορρίμματα που προκύπτουν από την κατανάλωση χαρτιού, πλαστικού, υφάσματος και γυαλιού.

1.8 Γιατί η υγειονομική ταφή είναι επιβλαβής για το περιβάλλον και την υγεία;

Η υγειονομική ταφή, μια μέθοδος διαχείρισης πολύ διαδομένη στην Ελλάδα παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα κάποια από τα πιο σημαντικά είναι:

- Σε περιοχές με πυκνή κατοίκηση, συχνά είναι δύσκολο να βρεθεί κατάλληλος χώρος για να διατεθούν τα απορρίμματα σε απόσταση που να είναι οικονομικά εφικτή η μεταφορά τους.

- Η επιτυχία της μεθόδου της υγειονομικής ταφής βασίζεται στον καθημερινό χειρισμό των απορριμμάτων, διαφορετικά υπάρχει η πιθανότητα να εξελιχθεί σε ανεξέλεγκτη απόρριψη.
- Οι τελειωμένοι χώροι ταφής υφίστανται καθίζηση για πολλά χρόνια και απαιτούν περιοδική συντήρηση.
- Η ανέγερση κτιρίων πάνω χώρους που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί ως χωματερές ή για τη διάθεση απορριμμάτων απαιτεί ειδική κατασκευή λόγω των συνεχιζόμενων καθιζήσεων στον χώρο.
- Το παραγόμενο μεθάνιο, που είναι ένα εκρηκτικό αέριο, και άλλα παραγόμενα αέρια από την αποσύνθεση των απορριμμάτων μπορούν να προκαλέσουν κινδύνους ή ενοχλήσεις, όπως ρύπανση αέρα και οσμές. Αυτά περιορίζουν τις χρήσεις των τελειωμένων χώρων διάθεσης απορριμμάτων.
- Οι διαρροές διασταλμένου νερού μέσω διήθησης εντός του εδάφους μπορούν να ρυπάνουν το υπόγειο νερό όταν το συναντήσουν. Η ρύπανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων απαιτεί σοβαρές δαπάνες για την απορρύπανση, που μπορεί να φτάσουν σε δεκάδες εκατομμύρια δολάρια για ένα χώρο διάθεσης με μεσαία χωρητικότητα.

1.9 Συμβολή στην μείωση των αποβλήτων

Πώς θα ήταν αν μπορούσαμε να αξιοποιήσουμε τα απορρίμματα ως πηγή, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για νέους πόρους; Λιγότερη εξόρυξη, περισσότερη χρήση των υπαρχόντων πόρων των υφιστάμενων πόρων θα βοηθούσε στην αποτροπή μερικών επιπτώσεων που δημιουργούνται κατά μήκος της αλυσίδας. Με βάση αυτά, τα αχρησιμοποίητα απόβλητα μπορούν να συνιστούν και ένα πιθανό πρόβλημα ή κίνδυνο.

Η Ευρώπη θέλει να μεταβεί σε μια οικονομία που χρησιμοποιεί αποδοτικά τους πόρους και δεν επηρεάζει το κλίμα, και η κύρια προσπάθεια για αυτό είναι η πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων. Η έγκριση εθνικών προγραμμάτων πρόληψης αποβλήτων δεν είναι αρκετή για να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων, πρέπει να γίνουν περισσότερες προσπάθειες για να μειωθούν πραγματικά τα απόβλητα σε μια αναπτυσσόμενη οικονομία.

Πλέον, η Ευρωπαϊκή Ένωση βρίσκεται σε μια μεταβατική περίοδο προς την υιοθέτηση της Κυκλικής Οικονομίας. Αυτή η μετάβαση περιλαμβάνει νομοθετικές μεταρρυθμίσεις και θεσμικές αλλαγές, καθώς και εκπόνηση σχεδίων δράσης.

Σκοπός είναι να επιστρέφουμε περισσότερους πόρους στον πλανήτη μας από όσους καταναλώνουμε, διατηρώντας έναν πιο βιώσιμο και ισορροπημένο τρόπο ζωής.

1.10 Κυκλική οικονομία



Εικόνα 1.7 Διαδικασία Κυκλικής οικονομίας Πηγή: <https://www.eea.europa.eu/el/pressroom/grafikes-pliροφοries/pos-mporoyme-na-kanoyme-tin/view>

Η κυκλική οικονομία, είναι ένας νέος τρόπος που η κοινωνία λειτουργεί με τη φύση, με στόχο να προλαμβάνει την εξάντληση των πόρων και να μειώνει τη στενή εξάρτηση από ενέργεια και υλικά. Επίσης, προωθείται η προσπάθεια να αξιοποιούμε υλικά που είναι απόβλητα, προσδίδοντας μια διάσταση βιωσιμότητας στο παραγωγικό μοντέλο. Βασίζεται στο να εκμεταλλευόμαστε τους πόρους όσο το δυνατόν καλύτερα, να επεκτείνουμε τη διάρκεια ζωής των προϊόντων, να αυξήσουμε την ανακύκλωση, να προωθούμε την κυκλικότητα στις παραγωγικές διαδικασίες. Όλα αυτά συντελούν στην προσπάθεια να δημιουργηθεί μια πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον οικονομία.

Η κεντρική ιδέα επομένως είναι να διατηρηθούν οι πόροι στον κύκλο της οικονομίας, αντί να απορρίπτονται ως απόβλητα. Μέσω αυτού του μοντέλου, η παραγωγικότητα των πόρων αυξάνεται, και ταυτόχρονα μειώνεται η εξάρτηση από πόρους που δεν ανανεώνονται, όπως τα ορυκτά και να εξοικονομούνται χρήματα. Επιπλέον, δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας και προωθείται η οικονομική ανάπτυξη. Τα προϊόντα σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ανθεκτικά, επισκευάσιμα, επαναχρησιμοποιήσιμα και ανακυκλώσιμα, μέσω τεχνικών ή βιολογικών κύκλων.

1.11 Συμπεράσματα

Η εξόρυξη λιγότερων πόρων και η εκμετάλλευση των υπαρχόντων θα μπορούσε να βοηθήσει στην αντιμετώπιση ορισμένων προβλημάτων που προκύπτουν κατά μήκος της αλυσίδας παραγωγής. Με αυτό τον τρόπο, τα αχρησιμοποίητα απόβλητα θα αποτελούσαν ένα δυνητικό κεφάλαιο.

Η μετατροπή των αποβλήτων σε πόρο είναι ένας κεντρικός στόχος για την Ευρωπαϊκή Ένωση προς την κατεύθυνση μιας οικονομίας που να λειτουργεί αποδοτικά ως προς τους πόρους. Ο συγκεκριμένος στόχος επίσης τονίζει την ανάγκη να διασφαλίσουμε υψηλής ποιότητας ανακύκλωση, να μειώσουμε τις χωματερές, να περιορίσουμε την ανάκτηση ενέργειας από τα μη ανακυκλώσιμα υλικά και να σταματήσουμε τις παράνομες μεταφορές αποβλήτων. Ο στόχος είναι να αποτρέψουμε όσο το δυνατόν περισσότερη δημιουργία αποβλήτων, να αξιοποιήσουμε τα απόβλητα που παράγονται ως πόρο και να ελαχιστοποιήσουμε την ποσότητα των αχρησιμοποίητων υλικών που αποθηκεύονται σε ειδικούς χώρους για απόρριψη.

Καθώς η κατασκευαστική βιομηχανία αποτελεί μια από τις πιο ενεργές παραγωγικές βιομηχανίες τόσο για τους πόρους που απαιτεί για την παρασκευή του πλέον διαδεδομένου αλλά και τα απόβλητα που παράγει ο στόχος μας είναι να αρχίσουν να χρησιμοποιούνται υλικά φιλικά προς το περιβάλλον και την κατασκευή ταυτόχρονα που παρέχουν ίδιες ιδιότητες με αυτές του σκυροδέματος. Οδηγούμαστε έτσι στο επόμενο κεφάλαιο όπου θα γίνει ανάλυση του όρου των συστατικών και των ιδιοτήτων του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : Σκυρόδεμα



Εικόνα 2.1 ,Σκυρόδεμα , Πηγή : <https://www.nrmca.org/about-nrmca/about-concrete/>

2.1 Εισαγωγή

Το σκυρόδεμα αποτελεί το πλέον χρησιμοποιούμενο από οποιοδήποτε άλλο υλικό, όχι μόνο στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως. Κάθε χρόνο, καταναλώνονται πάνω από 10 δισεκατομμύρια τόνοι σκυροδέματος , και η Ελλάδα διαθέτει έναν σημαντικό όγκο εργασιών σχετικά με το σκυρόδεμα, αξίας πολλών εκατομμυρίων ευρώ. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων του. Κάποιες από τις ιδιότητες περιλαμβάνουν την ανθεκτικότητά του στο νερό και στο πέρασμα του χρόνου, την ευκολία με την οποία μπορεί να διαμορφωθεί σε πολλά διάφορα σχήματα και διαστάσεις, το χαμηλό του κόστος και την εύκολη διαθεσιμότητα των υλικών που το απαρτίζουν. Επιπλέον, η παραγωγή του απαιτεί σχετικά λίγη ενέργεια. Αναφερόμαστε λοιπόν σ'ένα πολύπλοκο υλικό, κατασκευασμένο κυρίως από ένα ενωτικό υλικό , μέσα στην οποία περιέχονται κόκκοι αδρανών υλικών.

Η ιστορία του σκυροδέματος είναι πολύ παλιά, με ρίζες που φτάνουν πίσω στην αρχαιότητα. Το πρώτο παράδειγμα γνωστού σκυροδέματος χρονολογείται από το 7000 π.Χ. στη νότια Γαλιλαία. Η τεχνική της κατασκευής με σκυρόδεμα φαίνεται ότι μεταδόθηκε και στην αρχαία Ελλάδα, όπου χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μείγματα ασβέστη για το κτίσιμο και την επικάλυψη πλίνθων φτιαγμένων από πηλό και στεγνωμένων στον ήλιο. Το πρώτο βήμα προς τη δημιουργία του σύγχρονου τσιμέντου όπως το γνωρίζουμε σήμερα μπορεί να αποδοθεί στον Άγγλο μηχανικό John Smeaton, περίπου το 1700 μ.Χ., όταν του ανατέθηκε η κατασκευή ενός φάρου που απαιτούσε ανθεκτικότερο υλικό από το ξύλο λόγω της περιβαλλοντικής του θέσης. Ο Smeaton άρχισε να πειραματίζεται με ποικιλία υλικών και ανακάλυψε ότι

τα ασβεστοκονιάματα, που προέρχονταν από τον θέρμανση του ασβεστολίθου με προσθήκη άργιλου, μπορούσαν να πήξουν τόσο σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες όσο και κάτω από το νερό. Αυτή η παρατήρηση θεωρείται το πρώτο σημαντικό βήμα προς τη δημιουργία του τσιμέντου στη μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Όσον αφορά την ιστορία, τα πρώτα γνωστά παραδείγματα χρήσης αυτού του υλικού αφορούν την κατασκευή υδραγωγείων και παραθαλάσσιων τοίχων στήριξης από τους Ρωμαίους.

Σήμερα, το άοπλο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή φραγμάτων, γραμμών καναλιών και δαπέδων και είναι διαδεδομένο παντού στον κόσμο. Με την επιδείνωση της περιβαλλοντικής κατάστασης, η βιομηχανία κατασκευών είναι απαραίτητο να αναπτύξει πιο φιλικές προς το περιβάλλον μεθόδους για την παραγωγή σκυροδέματος και να προωθήσει προϊόντα με μεγάλο κύκλο ζωής. Οι αρνητικές επιπτώσεις του σκυροδέματος στο περιβάλλον είναι σχετικά μικρές σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά. Ωστόσο, λόγω του μεγάλου όγκου παραγωγής, οι συνολικές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή κτιρίων από σκυρόδεμα είναι σημαντικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό έχει αναγνωριστεί όλο και περισσότερο από την ακαδημαϊκή κοινότητα και τη βιομηχανία αυξάνοντας την ανάγκη για άμεση δράση για να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες που δημιουργούνται από τη παραγωγή σκυροδέματος. Συνεπώς, ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι να δείξει πώς το σκυρόδεμα μπορεί να συμβάλει στην προώθηση της ανάπτυξης που μπορεί να διατηρηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα χωρίς να βλάπτει το περιβάλλον και ταυτόχρονα να δημιουργηθούν αποδοτικές και ασφαλής εναλλακτικές.

Εντός αυτής της συγκυρίας, η σημασία και η συνεισφορά των επιστημόνων υλικών, καθώς και των πολιτικών και περιβαλλοντικών μηχανικών, είναι εξαιρετικά σημαντικοί. Σκοπός είναι να σχεδιαστούν μείγματα σκυροδέματος, προϊόντα σκυροδέματος και κατασκευές από σκυρόδεμα που θα μειώνουν τις αρνητικές επιπτώσεις και θα αυξάνουν τις θετικές επιπτώσεις στην κοινωνία, το περιβάλλον και την οικονομία. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βελτίωση των σχεδιαστικών μεθόδων, την εξέλιξη των υλικών σκυροδέματος, την αναβάθμιση της τεχνολογίας παραγωγής στοιχείων σκυροδέματος σε κτίρια και υποδομές, καινοτομίες στις τεχνικές κατασκευής, αξιολόγηση και ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών και των σχετικών διαδικασιών διαχείρισης του κύκλου ζωής, καθώς και καινοτομίες στις διαδικασίες συντήρησης, επισκευής, κατεδάφισης και ανακύκλωσης.

2.2 Χρήσεις σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα, εξυπηρετεί πολλαπλές εφαρμογές στον τομέα της κατασκευής, περιλαμβάνοντας:

- Δομικά στοιχεία όπως στήλες, δοκάρια, πλάκες και βάσεις, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κτιρίων, γεφυρών, φραγμάτων και άλλων δομικών κατασκευών.
- Υλικό για την κατασκευή οδοστρωμάτων και πεζοδρομίων.
- Σε περιπτώσεις αρχιτεκτονικού σχεδιασμού που απαιτούν μη συμβατικά σχήματα και δομές, το σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την κατασκευή αρχιτεκτονικών έργων που δεν ακολουθούν τα συνηθισμένα πρότυπα.
- Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την επισκευή και επένδυση δομών, καθώς και για την ανακαίνιση τους.

2.3 Είδη σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί με βάση διάφορα κριτήρια, συμπεριλαμβανομένων:

2.3.1 Κατάσταση Σκλήρυνσης

Ανάλογα με το χρόνο που έχει παραχθεί, χωρίζεται σε δυο κατηγορίες:

- Νωπό: Το σκυρόδεμα που παράγεται πριν από 1 έως 3 ώρες.
- Σκληρυμένο: Το σκυρόδεμα που έχει σκληρύνει για τουλάχιστον 6 έως 12 ώρες από την παραγωγή του και έχει φτάσει στην τελική του κατάσταση.

2.3.2 Ειδικό Βάρος

Ανάλογα με το ειδικό του βάρος στην τελική σκληρυμένη κατάσταση, διακρίνεται σε:

- Κανονικό Σκυρόδεμα: Περιλαμβάνει φυσική άμμο μικρού και μεγάλου κόκκου και χονδρόκοκκο αδρανές. Το ειδικό του βάρος κυμαίνεται γενικά γύρω στα 2400 kg/m³ και είναι το πιο συνηθισμένο σκυρόδεμα σε δομικές εφαρμογές.
- Βαρύ Σκυρόδεμα: Έχει ειδικό βάρος πάνω από 28 KN/m³ και χρησιμοποιείται για προστασία από τη ραδιενέργεια.
- Ελαφρύ Σκυρόδεμα: Έχει ειδικό βάρος κάτω από 1800 kg/m³.

2.3.3 Θέση Ανάμιξης και Χρήσης

Ανάλογα με τον τρόπο παρασκευής και χρήσης, διακρίνουμε:

- Εργοταξιακό Σκυρόδεμα: Το σκυρόδεμα είναι παραγμένο στον τόπο της κατασκευής.

- Έτοιμο Σκυρόδεμα: Παραδίδεται νωπό αλλά αναμιγνύεται στον τόπο της κατασκευής.
- Προκατασκευασμένο Σκυρόδεμα: Παραδίδεται σκληρυμένο ως έτοιμα δομικά στοιχεία.

2.3.4 Τρόπος Μεταφοράς

Ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς, διακρίνεται σε:

- Σύνηθες Σκυρόδεμα: Μεταφέρεται σε δοχεία και χύνεται με τη βοήθεια της βαρύτητας στα καλούπια.
- Αντλούμενο Σκυρόδεμα: Μεταφέρεται με τη βοήθεια σωληνώσεων.
- Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα: Εκτοξεύεται με ειδικά μηχανήματα.

2.3.5 Ειδικά σκυροδέματα

2.3.5.1 Οπλισμένο σκυρόδεμα



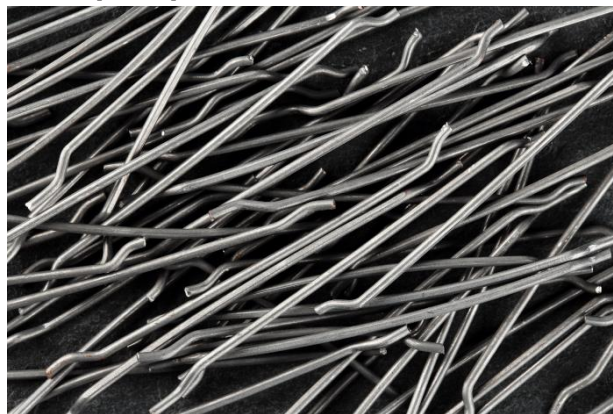
Εικόνα 2.2, οπλισμός σκυροδέματος Πηγή : https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fget.pxhere.com%2Fphoto%2Freinforced-concrete-composite-material-construction-architecture-floor-metal-mesh-concrete-foundation-steel-1606408.jpg&tbnid=KiSoAzm2NKmOOM&vet=12ahUKEwjCzNOGhcGBAxUW9bsIHT85CXgQMvgAegQIARB T..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fpxhere.com%2Fen%2Fphoto%2F1606408&docid=5RRRPz8M1URfYM&w=4000&h=2667&q=reinforced%20concrete&hl=el&ved=2ahUKEwjCzNOGhcGBAxUW9bsIHT85CXgQMvgAegQIARB T#imgsrc=KiSoAzm2NKmOOM&imgdii=Smd_klNvAxm0gM

Το οπλισμένο σκυρόδεμα αναφέρεται σε σκυρόδεμα που έχει ενισχυθεί με έναν εσωτερικό χαλύβδινο σκελετό. Ο χάλυβας που χρησιμοποιείται γι' αυτόν το σκοπό ονομάζεται "οπλισμός," και το συνολικό υλικό που περιλαμβάνει το σκυρόδεμα και τον χάλυβα ονομάζεται «οπλισμένο σκυρόδεμα». Το τσιμέντο, κατά τη διαδικασία σκλήρυνσής του, έχει την ικανότητα να συνδέεται στερεά με τον χάλυβα. Γι' αυτόν τον λόγο, μπορούμε να εισάγουμε χαλύβδινες ράβδους στον νωπό όγκο του σκυροδέματος, και μετά τη σκλήρυνση, το σκυρόδεμα και ο χάλυβας γίνονται ένα. Τα κτίρια που κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν μεγαλύτερη

αντοχή σε διάφορα είδη φόρτωσης, όπως η τάση, η επιμήκυνση και η κάμψη, σε σύγκριση με κατασκευές που χρησιμοποιούν άλλα υλικά.

Ένα εξειδικευμένο είδος οπλισμένου σκυροδέματος είναι το "προεντεταμένο σκυρόδεμα". Σε αυτό, ο ενισχυμένος χάλυβας (προεντεταμένος) τεντώνεται πριν τοποθετηθούν εξωτερικά βαριά φορτία σε αυτόν. Αυτό σημαίνει ότι οι χάλυβες στο εσωτερικό του υλικού έχουν τεντωθεί εκ των προτέρων, προσδίδοντας του μεγαλύτερη αντοχή σε διάφορες δυνάμεις. Οι προδιαγραφές για την παραγωγή και χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος καθορίζονται από πρότυπα στην Ευρώπη, το πρότυπο EN 206-1, και στην Ελλάδα, τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Αυτά τα πρότυπα ορίζουν πολλές πτυχές του οπλισμένου σκυροδέματος, όπως την σύνθεσή του, ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί, όπως σε περιβάλλοντα που εκτίθενται σε διαφορετικά είδη διάβρωσης.

2.3.5.2 Ινοπλισμένο σκυρόδεμα



Εικόνα 2.3, ίνες σκυροδέματος, Πηγή : https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fjatlasc.com.tr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F09%2FSteel-Fiber-for-Concrete-Reinforcement.png&tbnid=a_5JLGp0fK81CM&vet=12ahUKEwiOydjMhsGBAxUFgv0HHTIVCc8QMygGegQIARBp..i&imgrefurl=https%3A%2F%2Fjatlasc.com.tr%2Fproduct%2Fsteel-fiber-for-concrete-reinforcement%2F&docid=A3vghn9MjAYRtM&w=700&h=467&q=fiber%20reinforced%20concrete&hl=el&ved=2ahUKEwiOydjMhsGBAxUFgv0HHTIVCc8QMygGegQIARBp

Πρόκειται για σκυρόδεμα το οποίο ενισχύεται με ειδικές ίνες, είτε μικρού είτε μεγάλου μήκους. Αυτές οι ίνες ενσωματώνονται στο υλικό του τσιμέντου και βελτιώνουν την αντοχή του στην κάμψη και την ικανότητά του να απορροφά ενέργεια, καθιστώντας το πιο εύκαμπτο. Επίσης, αποτρέπουν τον σχηματισμό μεγάλων και επικίνδυνων ρωγμών όταν υπάρχουν μεγάλα φορτία που τραβούν το υλικό. Αντίθετα, επιτρέπουν τον σχηματισμό μικρότερων, πιο συχνών, αλλά λιγότερο επικίνδυνων ρωγμών. Συνήθως χρησιμοποιούνται ίνες από γυαλί, χάλυβα και άνθρακα. Επιπλέον, μπορεί να περιέχει ορισμένα πρόσμικτα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται στο συμβατικό σκυρόδεμα. Οι εφαρμογές του αυτού του ειδικού

τύπου σκυροδέματος ξεκίνησαν από το 1971 και περιλαμβάνουν την κατασκευή πανελ για γκαράζ-χώρο στάθμευσης, δοκιμές σε πλάκες διαδρόμων αεροσκαφών και την επίστρωση μιας περιοχής στάθμευσης αεροσκαφών.

2.3.5.3 Πολυμερές σκυρόδεμα



Εικόνα 2.4 , Πολυμερές σκυρόδεμα ,Πηγή : <https://resource-erectors.com/career-blog/advanced-composites-to-meet-demand-in-mining-concrete-and-aggregates/>

Γνωστό και ως «χυτό ορυκτό» σκυρόδεμα σε αυτόν τον τύπο σκυροδέματος, το υλικό που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του υλικού δεν είναι τσιμέντο αλλά κάποιο πολυμερές υλικό. Το τσιμέντο στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν δρα για την ενίσχυση του, αλλά απλώς συνθέτει το μείγμα έτσι ώστε να έχει την ανάλογη συνοχή ως προς την κοκκώδη μέτρηση. Το πολυμερές υλικό που χρησιμοποιείται, είναι συνήθως ακόρεστη πολυεστερική ρητίνη ή εποξειδική ρητίνη, λειτουργεί ως κόλλα. Αυτές οι ρητίνες είναι συχνά τοξικές. Το χαρακτηριστικό αυτού του σκυροδέματος είναι ότι σκληραίνει γρήγορα. Χρησιμοποιείται σε κατασκευές που πρέπει να είναι ανθεκτικές στους κραδασμούς, όπως υδρορροές και σωλήνες, και σε μηχανικές κατασκευές.

2.3.5.4 Αυτο-συμπυκνούμενο σκυρόδεμα (ΑΣΣ)

Αυτό το είδος σκυροδέματος συμπιέζεται μόνο με την εσωτερική πίεση που ασκείται από την τάση του και το ίδιο του το βάρος, χωρίς να απαιτείται δόνηση. Έχει υψηλή ρευστότητα , καθιστώντας το κολλώδες υλικό, δίχως να χωρίζονται τα συστατικά του. Για να το παράγουμε, χρησιμοποιούμε δυνατούς αντισταθμιστές νερού, καθώς επίσης και ουσίες που αλλάζουν το ιξώδες του. Αυτό το είδος σκυροδέματος είναι κατάλληλο για την επεξεργασία μεγάλων επιφανειών και μάζας πολύ γρήγορα, με μειωμένο κόστος εργασίας, ακόμη και για την κατασκευή στοιχείων με εξαιρετικά περίπλοκες διαστάσεις.

2.3.5.5 Υψηλής αντοχής σκυρόδεμα

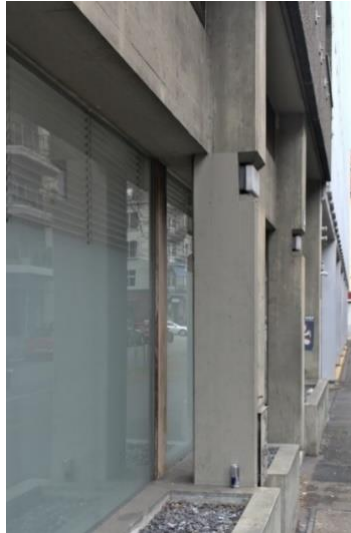
Το υψηλής αντοχής σκυρόδεμα καθορίζεται κυρίως με βάση τη θλιπτική του αντοχή σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Συνήθως, αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση αντοχής σχεδιασμού όπως 55 MPa ή ακόμη και υψηλότερους στον σχεδιασμό του σκυροδέματος.

2.3.5.6 Μη συρρικνωμένο σκυρόδεμα

Το μη συρρικνούμενο σκυρόδεμα είναι ένα είδος διογκούμενου σκυροδέματος που, όταν περιοριστεί με ορισμένο τρόπο από οπλισμό ή άλλα μέσα, διογκώνεται κατά ένα ποσό που είναι τουλάχιστον το ίδιο με την προβλεπόμενη συστολή που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ξήρανσης. Αυτή η διογκωτική ικανότητα βοηθά να αντιμετωπιστούν οι εσωτερικές τάσεις που προκαλούνται κατά τη διάρκεια της διόγκωσης, επιτρέποντας στο σκυρόδεμα να παραμένει συμπαγές χωρίς τον κίνδυνο της ρήγματος λόγω συστολής. Διογκωτικά τσιμέντα έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες χώρες για την κατασκευή αεροδρομίων, κτιρίων στάθμευσης, γραφείων, αποθηκών προϊόντων και βιομηχανικών αποθηκών.

2.3.5.7 Εμφανές

Αναφέρεται σε σκυρόδεμα που παραμένει ορατό κατά την κατασκευή για λόγους αισθητικής και αρχιτεκτονικής. Για να παραχθεί, απαιτείται προσεκτική επιλογή υλικών και επεξεργασίας. Η σύνθεση και η κοκκομετρία των αδρανών υλικών πρέπει να είναι προσεκτικά διαχειρισμένα για να επιτευχθεί η καλύτερη εμφάνιση. Επιπλέον, η επιλογή του ξυλότυπου είναι σημαντική πρέπει να είναι λείος, με σωστές συνδέσεις στους αρμούς, για να αποτραπεί η απώλεια του τσιμεντοπολτού και να επιτραπεί η εύκολη απομάκρυνση με κατάλληλο αποκαλουπωτικό λάδι. Επιπλέον, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην τεχνική της σκυροδέτησης και στη δόνηση για να αποφευχθούν ατέλειες όπως κενά , φυσαλίδες και διαφοροποιήσεις στο χρώμα.



Εικόνα 2.5 , Εμφανές σκυροδέμα , Πηγή : <https://www.made-by-architects.com/user/u6-robert/buildings/3680-Wohn-und-Geschaefthaus-Weststrasse-133-in-Schweiz-Zuerich-von-Unbekannt>

2.4 Πρώτες ύλες σκυροδέματος

2.4.1 Αδρανή

Τα αδρανή, που ονομάζονται έτσι για την αδράνειά του σε σχέση με το τσιμέντο, καθορίζουν κυρίως το βάρος, την ελαστικότητα και τον όγκο του σκυροδέματος. Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του σκυροδέματος είναι η φύση, η υφή και το σχήμα αυτών των αδρανών. Για παράδειγμα, τα αδρανή που προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως η άμμος ή το χαλίκι, έχουν συνήθως στρογγυλεμένες και λείες επιφάνειες, ενώ τα αδρανή που προέρχονται από ρωγμές βράχου μπορεί να είναι κυβικά, γωνιακά, σε σχήμα πλάκας ή αναμεμειγμένα με μια τραχιά επιφάνεια.

Με εξαίρεση ορισμένα ελαφρά αδρανή που έχουν κυψελοειδή δομή, αυτά τα αδρανή είναι γενικά πιο ανθεκτικά από άλλα εξαρτήματα σκυροδέματος. Τα αδρανή δεν επηρεάζουν απευθείας την αντοχή του σκυροδέματος, αλλά την επηρεάζουν με έμμεσο τρόπο λόγω του μεγέθους και του σχήματος τους.

Συγκεκριμένα, αδρανή όπως είναι άμμος, χαλίκι, χαλίκι, θρυμματισμένη σκωρία υψικαμίνου, απόβλητα κατασκευών και άλλα υλικά εκτός από τη χρήση τους στην κατασκευή σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται και σε άλλες εφαρμογές όπως επιστρώσεις, οδοποιία, σιδηρόδρομοι και βιομηχανία, ως πρώτες ύλες (π.χ. τσιμέντο, ασβέστης) ή πρόσθετα (π.χ. κατασκευή χαρτιού και ελαστικών).

Σε σκυροδέμα όπου τα αδρανή υλικά αποτελούν το 75-80% της συνολικής τους μάζας, η σημαντικότητά τους έγκειται στον κρίσιμο ρόλο που διαδραματίζουν στη δημιουργία ενός ανθεκτικού και συνεκτικού υλικού. Αυτό το υλικό πρέπει να αντέχει

τα βάρη κατασκευής και να αντιστέκεται στις επιβλαβείς επιδράσεις του περιβάλλοντος, κυρίως από άποψη φυσικής και χημικής αντοχής.



Εικόνα 2.6 Φυσικά αδρανή σκυροδέματος Πηγή: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2020/8821048/fig1/>

2.4.1.1 Κατηγορίες Αδρανών

A) Βάσει του μεγέθους τους

Τα αδρανή υλικά διακρίνονται σε δύο κατηγορίες χονδρά και λεπτά, ανάλογα με το αν ο μεγαλύτερος κόκκος τους είναι μεγαλύτερος από 4 χιλιοστά. Πιο αναλυτικά ο όρος "χονδρόκοκκα αδρανή" εκφράζει κόκκους που είναι μεγαλύτεροι από 4,75 χιλιοστά, δηλαδή αυτούς που περνούν από το κόσκινο No 4. Ο όρος "χάλικες" χρησιμοποιείται για τα χονδρόκοκκα που προέρχονται από τη φυσική διάβρωση ενός πετρώματος.

Ο όρος "άμμος" αναφέρεται στους λεπτόκοκκους που προκύπτουν είτε από φυσική διάβρωση είτε από θραύση πετρωμάτων. Τα "λεπτόκοκκα αδρανή" αναφέρονται σε κόκκους που είναι μικρότεροι από 4,75 χιλιοστά, αλλά μεγαλύτεροι από 75 μικρόμετρα, δηλαδή αυτούς που κινούνται μεταξύ του κοσκίνου No 4 και του κοσκίνου No 200. Γενικά, τα λεπτόκοκκα αδρανή περιλαμβάνουν κόκκους μεγέθους από 75 μικρόμετρα(κόσκινο No 200) έως 4,75 χιλιοστά, ενώ τα χονδρόκοκκα αδρανή κυμαίνονται από 4,75 χιλιοστά έως 50 χιλιοστά, εκτός από το σκυρόδεμα μεγάλου όγκου, που μπορεί να περιλαμβάνει κόκκους μέχρι και 150 χιλιοστά.

B) Βάσει του βάρους τους

Τα αδρανά υλικά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- **Αδρανή κανονικού βάρους:** Αυτά έχουν πυκνότητα κόκκων μεταξύ 2000-3000 kg/m³.
- **Ελαφρά αδρανή:** Αυτά έχουν πυκνότητα κόκκων κάτω από 2000 kg/m³ ή μια φαινόμενη πυκνότητα σωρού που είναι μικρότερη ή ίση με 1200 kg/m³. Τα ελαφρά αδρανά υλικά, με πυκνότητα κάτω από 1120 kg/m³, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ελαφρών σκυροδεμάτων. Η χαμηλή πυκνότητα αυτών των υλικών οφείλεται είτε σε υψηλό πορώδες είτε στην κυψελωτή μικροδομή τους.

- **Βαριά αδρανή:** Αυτά έχουν πυκνότητα κόκκων άνω των 3000 kg/m^3 . Τα βαριά αδρανά, με πυκνότητα άνω των 3000 kg/m^3 , χρησιμοποιούνται κυρίως για προστασία από την πυρηνική ακτινοβολία. Αυτά τα υλικά έχουν ειδικό βάρος από 2900 έως 6100 και είναι πολύ πιο βαριά από τα αδρανά κανονικού βάρους, τα οποία έχουν συνήθως ειδικό βάρος περίπου 2400 kg/m^3 .

Γ)Ανάλογα με την προέλευσή τους:

- Φυσικά αδρανή: Αυτά προέρχονται από φυσικές πηγές, όπως ανθρακικά πετρώματα, ασβεστόλιθοι, γρανίτες, διορίτες, γαύροι και βασάλτες. Αυτά τα υλικά αποτελούν σημαντικό μέρος της παραγωγής σκυροδέματος.
- Θραυστά αδρανή: Αυτά παράγονται από βιομηχανική θραύση πετρωμάτων, ογκολίθων ή μεγάλων βότσαλων. Έχουν τραχεία επιφάνεια και μπορεί να περιέχουν πεπλατυσμένα ή επιμήκη τεμάχια υλικού που επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.
- Τεχνητά αδρανή: Αυτά παράγονται από ειδική επεξεργασία ορισμένων υλικών, όπως διογκωμένα άργιλος. Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαφρών σκυροδεμάτων.
- Αδρανή σκωρίας υψικαμίνου: Αργή ψύξη της σκωρίας υψικαμίνων μπορεί να γίνει σε διάφορα είδη δοχείων, όπως κάδους, ταφροκάμινους ή σιδερένια καλούπια. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα προϊόν που μπορεί να σπάσει σε κομμάτια με σκοπό να παραχθούν ισχυροί κόκκοι με μεγάλη πυκνότητα, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή σκυροδέματος. Οι ιδιότητες αυτών των αδρανών εξαρτώνται από το πώς παρασκευάστηκαν, συμπεριλαμβανομένου του τρόπου ψύξης. Η πυκνότητά τους είναι περίπου όπως αυτή των φυσικών αδρανών κανονικού βάρους και των ελαφρών αδρανών που χρησιμοποιούνται στη δομική κατασκευή.
- Αδρανή από ιπτάμενη τέφρα : Η χρήση της ιπτάμενης τέφρας, η οποία παράγεται από την καύση κονιορτοποιημένου κάρβουνου σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ως αδρανές υλικό. Η ποιότητα της ιπτάμενης τέφρας μπορεί να ποικίλει, και αυτό αποτελεί πρόκληση στη χρήση της στην κατασκευή.
- Ανακυκλωμένα αδρανή: Τα υλικά κατεδαφίσεως που προκύπτουν από κατασκευές, όπως κτίρια από σκυροδέμα, περιλαμβάνουν κομμάτια όπου το αδρανές υλικό δεν είναι ακέραιο, αλλά έχει επικολληθεί με τσιμέντο και άλλες ουσίες. Το μέρος αυτό που αντιστοιχεί στο λεπτό κομμάτι αδρανών περιέχει πολλές ποσότητες τσιμέντου και γύψου, ενώ το μέρος αυτό που αντιστοιχεί στο

μεγαλύτερο κομμάτι αδρανών έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σε πολλές μελέτες κατασκευής με τη σωστή επεξεργασία.

Δ) Με βάση το σχήμα τους: χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες: στρογγυλά, κυβοειδή, γωνιώδη, πλακοειδή και επιμήκη. Οι φυσικοί χάλικες συνήθως έχουν στρογγυλό σχήμα και λεία επιφάνεια.

2.4.1.2 Ποιότητα των αδρανών

Τα χαρακτηριστικά που ελέγχονται για να καθοριστεί η ποιότητα των αδρανών υλικών. Αυτά τα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν

- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν τον τρόπο σύνθεσης και αντλησιμότητας του σκυροδέματος.
- Φυσικά χαρακτηριστικά που επιδρούν στην ικανότητα του σκυροδέματος να αντέχει και να διατηρεί την ανθεκτικότητά του.
- Ειδικό βάρος, το οποίο διακρίνεται σε: απόλυτο, φαινόμενο και μικτό και μετριέται για την μέτρηση των κενών. Οι τιμές του ειδικού βάρους πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ 2,40 και 3,0.
- Πορώδες χαρακτηριστικό, το οποίο είναι αντίστροφα ανάλογο με την αντοχή και την ανθεκτικότητα των αδρανών. Η τιμή αυτού του χαρακτηριστικού προσδιορίζεται με τη μέτρηση της υδατοαπορροφητικότητάς τους.
- Κοκκομετρική διαβάθμιση, που αναφέρεται στην ποσοστιαία σύνθεση των αδρανών υλικών σε κόκκους διαφόρων μεγεθών, όπως άμμος, ρυζάκι, γαρμπίλι και χαλίκι.

Τέλος, οι υποχρεώσεις των λατομείων που πρέπει να λειτουργούν σύμφωνα με τη νομοθεσία ,Νομος 21150/93 και τις απαιτήσεις του Κώδικα Μεταλλευτικών Λατομικών Εργασιών και να παράγουν αδρανή υλικά που πληρούν τις προδιαγραφές ΕΛΟΤ 408 , ΚΤΣ-97 και ΚΤΣ 2016 για την κατασκευή σκυροδέματος. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή των κατάλληλων τοποθεσιών , τη σωστή παραγωγική διαδικασία, την εκπαίδευση του προσωπικού, τον ποιοτικό έλεγχο των παραγομένων αδρανών υλικών και την εποπτεία από διπλωματούχο μηχανικό

2.4.2 Τσιμέντο

Το υλικό τσιμέντο που χρησιμοποιείται για να φτιαχτεί το σκυρόδεμα είναι ένα είδος βιομηχανικής σκόνης που όταν ανακατεύεται με νερό σε συγκεκριμένη αναλογία, μετατρέπεται σε μια πάστα που σκληραίνει και διατηρεί το σχήμα και την αντοχή της, ακόμα και όταν βρίσκεται υπό το νερό. Το είδος τσιμέντου που χρησιμοποιείται συνήθως ονομάζεται τσιμέντο τύπου Portland και παράγεται από το άλεσμα κλινκερ, το οποίο προέρχεται από την θέρμανση μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου. Αυτό το τσιμέντο αποκαλείται υδραυλικό γιατί όταν ενυδατώνεται, οι χημικές αντιδράσεις μεταξύ των συστατικών του το καθιστούν συνδετικό υλικό σε υγρό περιβάλλον..

Υπάρχουν υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του τσιμέντου και να μειώσουν το κόστος της παραγωγής. Συγκεκριμένα:

A) Φυσικές ποζολάνες, όπως η μηλαϊκή γη και η θηραϊκή γη (υλικά που προέρχονται από ηφαιστειακές δραστηριότητες), μπορούν να προστεθούν στο τσιμέντο.

B) Ιπτάμενη τέφρα, που είναι ένα παραπροϊόν της καύσης του λιγνίτη στους ατμοηλεκτρικούς σταθμούς της ΔΕΗ, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί.

Γ) Σκωρία καμίνου, που είναι η κοκκοποιημένη σκωρία που παράγεται κατά την κατεργασία σιδηρομεταλλεύματος σε κλίβανο, είναι ένα άλλο υλικό που μπορεί να προστεθεί στο τσιμέντο.

Τα πρότυπα EN-197 περιγράφουν τις προδιαγραφές για διάφορους τύπους τσιμέντου, και αυτοί κατηγοριοποιούνται σε πέντε κύριες κατηγορίες:

- CEM I καλύπτει τα παραδοσιακά τσιμέντα Portland που περιέχουν τουλάχιστον 95% Portland clinker και μέχρι 5% πρόσθετα συστατικά, όπως γύψος.
- CEM II καλύπτει 19 διάφορους τύπους ανάμικτου τσιμέντου Portland που περιέχουν τουλάχιστον 65% Portland clinker. Τα συστατικά ανάμιξης, όπως σκωρίες υψικαμίνων, πυριτικές τέφρες και άλλες ποζολάνες.
- CEM III καλύπτει τρεις διάφορους τύπους ανάμικτου τσιμέντου Portland με ποσοστό σκωρίας που κυμαίνεται από 36% έως 95%.
- CEM IV καλύπτει τρεις τύπους τσιμέντων ποζολάνης Portland που περιέχουν ποσοστό σκωρίας από 11% έως 85%.
- CEM V καλύπτει δύο σύνθετα τσιμέντα Portland που περιέχουν ποσοστό σκωρίας από 36% έως 80%, με ένα μίγμα συστατικών κυρίως σκωρίας υψικαμίνων, ιπτάμενης τέφρας και άλλων ποζολάνων.

2.4.3 Νερό ανάμιξης

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες κατηγορίες από τις οποίες μπορεί να προέρχεται το νερό και η καταλληλότητα τους για την ανάμιξη με το σκυρόδεμα :

- Πόσιμο νερό
Κατάλληλο για σκυρόδεμα. Δεν απαιτείται έλεγχός του.
- Υπόγεια ύδατα
Ενδείκνυνται για χρήση σε σκυρόδεμα, ωστόσο απαιτείται προηγούμενος έλεγχος για να βεβαιωθούμε ότι είναι κατάλληλα.
- Νερό φυσικών πόρων και νερό βιομηχανικών διεργασιών
Ενδείκνυνται για χρήση σε σκυρόδεμα, ωστόσο απαιτείται προηγούμενος έλεγχος για να βεβαιωθούμε ότι είναι κατάλληλα.
- Θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό
Κατάλληλο για άοπλο σκυρόδεμα, ωστόσο δεν προτείνεται για οπλισμένα ή προεντεταμένα σκυροδέματα.
- Νερά αποβλήτων
Δεν είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα.

2.4.4 Τσιμεντοπολτός

Ο τσιμεντοπολτός είναι το αποτέλεσμα της αντίδρασης μεταξύ τσιμέντου και νερού. Ο ενυδατωμένος πολτός τσιμέντου αναφέρεται σε πολτό που περιέχει τσιμέντο Portland. Ο τσιμεντοπολτός είναι σημαντικός λόγω της αντοχής του, της δυνατότητάς του να προσαρμόζεται σε διάφορες μορφές και σχήματα, καθώς και της ανθεκτικότητάς του σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Χρησιμοποιείται επίσης για τη διαμόρφωση περιβάλλοντων χώρων και για διάφορες εφαρμογές στον τομέα της κατασκευής και του σχεδιασμού.



Εικόνα 2.7 , τσιμεντοπολτός , Πηγή: <https://www.european-coatings.com/articles/archiv/reactive-transport-modelling-of-cement-paste-leaching-in-brines>

2.4.5 Πρόσμικτα και πρόσθετα

Το γεγονός ότι τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, είτε είναι σε υγρή είτε σε σκληρυμένη κατάσταση, μπορούν να αλλάξουν με την προσθήκη ορισμένων υλικών σε αυτό, έχει οδηγήσει σε μεγάλη ανάπτυξη της βιομηχανίας των χημικών προσμίκτων σκυροδέματος τα τελευταία 50 χρόνια. Σήμερα, πωλούνται εκατοντάδες προϊόντα για αυτόν τον σκοπό. Συνολικά, χρησιμοποιούνται για να επηρεάσουν την πλαστικότητα, τον χρόνο πήξης, την ανάπτυξη αντοχής, την αντοχή στη θερμότητα, και την αντοχή στη διάβρωση του οπλισμού του σκυροδέματος. Τα πρόσμικτα ποικίλλουν από ενεργές ενώσεις και διαλυτά άλατα μέχρι πολυμερή και αδιάλυτα ορυκτά

Στην προδιαγραφή ASTM C125, ως πρόσμικτο ορίζεται το υλικό που προστίθεται στο σκυρόδεμα αμέσως πριν την ανάμιξη. Αυτά τα υλικά διαφέρουν από το νερό, τα αδρανή, το τσιμέντο βάσης και τις ενισχυτικές ίνες που χρησιμοποιούνται ως συστατικά σκυροδέματος. Τα πρόσμικτα είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και συχνά αποτελούν μεγάλο ποσοστό του συνολικού σκυροδέματος που παράγεται στις ανεπτυγμένες χώρες.

- Τασιενεργά πρόσμικτα: Τα τασιενεργά πρόσμικτα χρησιμοποιούνται συχνά ως σαρωτές ή μειωτές νερού σε μείγματα σκυροδέματος.
- Αερακτικά: Τα αερακτικά είναι πολύ χρήσιμα για το σκυρόδεμα, ιδίως όταν αυτό περιέχει λιγότερη ποσότητα τσιμέντου και νερού, όταν έχει χοντρή υφή ή ελαφρά αδρανή. Πρέπει να σημειωθεί ότι όταν αυτά καθιστούν τα μόρια του τσιμέντου ανθεκτικά στο νερό, μια υπερβολική ποσότητα μπορεί να προκαλέσει υπερβολική καθυστέρηση στην πρόσληψη νερού από το τσιμέντο. Επιπλέον, ανάλογα με την ποσότητα που προστίθεται, το σκυρόδεμα μπορεί να χάσει κάποια από την αντοχή του.
- Μειωτές νερού: Οι μειωτές νερού, από την άλλη πλευρά, προστίθενται σε μικρές ποσότητες και αυξάνουν την ρευστότητα του σκυροδέματος χωρίς την ανάγκη για περισσότερο τσιμέντο και νερό. Αυτή η προσέγγιση είναι χρήσιμη όταν το σκυρόδεμα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε πολύ ενισχυμένα τμήματα με αντλία.
- Υπερρευστοποιητές: Οι υπερρευστοποιητές, οι οποίοι είναι επίσης γνωστοί ως υψηλής κλίμακας μειωτές νερού, μπορούν να μειώσουν την ποσότητα του νερού που χρειάζεται για το ανάμιγμα του σκυροδέματος κατά 2-3 φορές σε σύγκριση με τους απλούς μειωτές νερού. Πρέπει να σημειωθεί ότι μπορεί να προστεθεί

περίπου το 1% κατά βάρος τσιμέντου σε αναμίγματα σκυροδέματος χωρίς να δημιουργηθούν προβλήματα υπερβολικής εκκένωσης νερού και καθυστέρησης στον χρόνο πήξης.

- **Επιταχυντές:** Οι επιταχυντές είναι χρήσιμοι για την τροποποίηση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος που περιέχει τσιμέντο Portland, ειδικά όταν αντιμετωπίζουμε ψυχρές καιρικές συνθήκες. Κατά αυτόν τον τρόπο, α) επιταχύνουν την έναρξη των διάφορων λειτουργιών όταν είναι απαραίτητη η εφαρμογή μονωτικών υλικών για προστασία, β) μειώνουν τον απαιτούμενο χρόνο για τη σωστή αποκατάσταση και προστασία, γ) αυξάνουν το ρυθμό ανάπτυξης της αρχικής αντοχής, επιτρέποντας την ταχύτερη απομάκρυνση των ξυλοτύπων και την παράδοση της κατασκευής για χρήση, και δ) διευκολύνουν την αποτελεσματική σφράγιση των διαφορών στις κατασκευές σκυροδέματος αντιμετωπίζοντας υδραυλικές πιέσεις.
- **Επιβραδυντές:** Οι επιβραδυντές χρησιμοποιούνται σε δύσκολες θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως κατασκευές κατά το θερινό καύσωνα. Η εκτεταμένη χρήση επιβραδυντών επιτρέπει την πραγματοποίηση και την ολοκλήρωση των εργασιών, καθώς αντιμετωπίζεται η πιθανότητα ρήγματος λόγω γρήγορης πήξης εξαιτίας υψηλών θερμοκρασιών. Επιπλέον, ο έλεγχος του χρόνου πήξης σε μεγάλες κατασκευές μπορεί να διατηρήσει την εργασιμότητα του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της περιόδου τοποθέτησης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την αποφυγή ρωγμών σε μεγάλα κατασκευαστικά έργα. Τέλος, ο έλεγχος της ποσότητας του επιβραδυντή κατά τη διάρκεια της τοποθέτησης μπορεί να επιτρέψει σε διάφορα τμήματα μιας μονάδας, όπως μια μεγάλη δοκός, να φτάσουν σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο αντοχής σε περίπου τον ίδιο χρόνο.
- **Ορυκτά πρόσμικτα :** Ορυκτά πρόσμικτα είναι λεπτόκοκκα υλικά πυριτίου που προστίθενται στο σκυρόδεμα σε σημαντικές ποσότητες, συνήθως από 20% έως 70% του συνολικού βάρους των συνδετικών υλικών. Διακρίνονται στις φυσικές ποζολάνες και στα βιομηχανικά παραπροϊόντα. Οι φυσικές ποζολάνες προέρχονται από γεωλογικά πετρώματα και ορυκτά όπως ηφαιστογενείς ύαλοι και θερμικά επεξεργασμένους άργιλους ή σχιστόλιθους. Τα βιομηχανικά παραπροϊόντα έχουν γίνει η κύρια πηγή ορυκτών προσμίξεων στο σκυρόδεμα. Προέρχονται από την καύση άνθρακα, υπολείμματα καλλιεργειών όπως το αποφλοιωμένο ρύζι και άλλες μεταλλουργικές διεργασίες. Οι μηχανικές βελτιώσεις που προκύπτουν από τη χρήση ορυκτών προσμίξεων περιλαμβάνουν

αυξημένη αντίσταση στη θερμική ρηγμάτωση λόγω χαμηλής θερμότητας ενυδάτωσης, ενίσχυση της τελικής αντοχής και της αδιαπερατότητας λόγω της βελτίωσης της κατανομής των σωματιδίων, δημιουργία ισχυρής επιφανειακής ζώνης αδρανούς τσιμεντόπαστας και υψηλή ανθεκτικότητα στην προσβολή από αλκαλική πυρετική αντίδραση.

- Στεγανοποιητικά: Σκοπός τους είναι να μειώσουν το πορώδες και να περιορίσουν την ανάμειξη μειώνοντας την αναλογία νερού-τσιμέντου. Ορισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό περιλαμβάνουν αδρανή που γεμίζουν πόρους, ανόργανα υλικά που διαστέλλονται όταν ενυδατώνονται (όπως πηλός) και υδρόφοβες και υδατοαπωθητικές ενώσεις. Ωστόσο, η χρήση τους μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της συνολικής αντοχής του υλικού.

2.5 Δοκιμή Los Angeles

Η δοκιμή Los Angeles είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσουμε πόσο ανθεκτικά είναι τα διάφορα υλικά στην τριβή και την κρούση. Αυτός ο έλεγχος είναι κρίσιμος για να κατανοήσουμε πώς επηρεάζεται η αντοχή τους όταν χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που απαιτούν ανθεκτικά υλικά, όπως δρόμοι, δάπεδα και αεροδιάδρομοι, αλλά και για να αξιολογήσουμε πώς αντέχουν τα υλικά τα οποία εξορύσσονται από λατομεία. Κατά τη διαδικασία αυτή, το υλικό τοποθετείται σε μια συσκευή, του Λος Άντζελες, η οποία είναι ένας ασάλινος κύλινδρος με κλειστά άκρα και δύο ανοίγματα σε κάθε άκρο, με συγκεκριμένες διαστάσεις. Ένα από αυτά τα ανοίγματα χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του δείγματος και κλείνει με καπάκι για να αποτραπεί η διαρροή σκόνης. Υπάρχει μια χαλύβδινη ράβδος μέσα στη συσκευή σε μια ορισμένη απόσταση από το άνοιγμα και η συσκευή περιστρέφεται με ορισμένο αριθμό στροφών ανά λεπτό. Το υλικό τοποθετείται μέσα στη συσκευή μαζί με έναν προκαθορισμένο αριθμό σφαιρών και η δοκιμή αξιολογεί τη φθορά του υλικού καθώς η συσκευή περιστρέφεται.

2.6 Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος

Η εξέταση της σύνθεσής του σκυροδέματος είναι μια διαδικασία η οποία πραγματοποιείται πριν από την παρασκευή του. Κατά την προετοιμασία του σκυροδέματος, τα διάφορα συστατικά όπως το τσιμέντο, η άμμος, τα χονδρόκοκκα αδρανή υλικά και το νερό μετριοούνται ακριβώς και ανακατεύονται με βάση συγκεκριμένες αναλογίες.

Σκοπός είναι να δημιουργηθεί σκυρόδεμα με το χαμηλότερο δυνατό κόστος, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι θα έχει τις απαιτούμενες ιδιότητες για συγκεκριμένες εφαρμογές. Αυτές οι απαιτήσεις περιλαμβάνουν την αντοχή, την εργασιμότητα καθώς και την ικανότητά του να αντιμετωπίζει άλλες προκλήσεις, όπως τον παγετό ή την διάβρωση από χημικές ουσίες.

Αυτή η διαδικασία, δηλαδή η βελτιστοποίηση της σύνθεσης του σκυροδέματος για να πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις, βασίζεται στην εμπειρία και την πρακτική προσέγγιση, και όχι τόσο σε επιστημονικούς υπολογισμούς.

Το κόστος των υλικών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος κυρίως εξαρτάται από το κόστος του τσιμέντου, το οποίο είναι σημαντικά ακριβότερο από τα υλικά αδρανή. Γι' αυτό το λόγο, είναι σημαντικό όχι μόνο να χρησιμοποιούμε όσο το δυνατόν λιγότερο τσιμέντο στο μείγμα, αλλά επίσης να επιλέγουμε οικονομικότερα είδη τσιμέντου που περιέχουν προσμίξεις, όταν αυτό είναι δυνατό, χωρίς να επηρεάζουμε αρνητικά τα χαρακτηριστικά του τελικού σκυροδέματος.

Η μελέτη σύνθεσης περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα :

1. Καθορίζουμε πόση αντοχή χρειάζεται να έχει το σκυρόδεμα, σύμφωνα με τους κανόνες.

Κατηγορία σκυροδέματος	Αντοχή στο έργο Mpa	Κύλινδρος 15/30 (cm) fck (Mpa)	Κύβος 15/15/15 (cm) fck (Mpa)
C 8/10	12,9	8	10
C 12/15	18,0	12	15
C 16/20	23,0	16	20
C 20/25	28,2	20	25
C 25/30	33,2	25	30
C 30/37	40,4	30	37
C 35/45	48,6	35	45
C 40/50	53,5	40	50
C 45/55	58,8	45	55
C 50/60	63,7	50	60

Πίνακας 2.1 Καθορισμός αντοχής Πηγή: ΚΤΣ -1997

2.Απαιτούμενη αντοχή δοκιμίου σύμφωνα με το άρθρο Β2.2.2 του ΚΤΣ-2016. Κατά το άρθρο Β2.2.2 του ΚΤΣ-2016 αν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την τυπική απόκλιση ,συμβολίζεται ως s, τα οποία προέκυψαν από τουλάχιστον 35 συνεχόμενα αποτελέσματα αντοχής σε καταπόνηση για διάφορα μείγματα. Τα συγκεκριμένα μείγματα παρασκευάστηκαν με τα ίδια υλικά, στις ίδιες εγκαταστάσεις παραγωγής, και για σκυρόδεμα με χαρακτηριστική αντοχή που διαφέρει κατά πολύ λιγότερο από 7 N/mm² σε σχέση με το κανονικό σκυρόδεμα της συγκεκριμένης κατηγορίας. Σε

αυτήν την περίπτωση, η απαιτούμενη αντοχή σχεδιασμού παραγωγής, συμβολίζεται ως f_{sd} πρέπει να είναι τουλάχιστον η τιμή που υπολογίζεται από τη Σχέση $f_{sd} = f_{ck} + k_s$. Αυτή η σχέση εφαρμόζεται είτε για εργοστασιακό σκυρόδεμα είτε για εργοταξιακό σκυρόδεμα. $f_{sd} = f_{ck} + k_s$. Περιλαμβάνει έναν παράγοντα (συμβολίζεται ως k_s) που καθορίζει το περιθώριο αντοχής πέραν της απαιτούμενης. Αυτός ο παράγοντας εξαρτάται από την πιθανότητα αποδοχής που επιλέγει ο παραγωγός, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια ελέγχου (εσωτερικού και εξωτερικού) και τις αντίστοιχες Καμπύλες Λειτουργίας για το εκάστοτε σκυρόδεμα (εργοστασιακό με ή χωρίς πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής ή εργοταξιακό) για να αποφευχθεί υψηλή πιθανότητα απόρριψης του σκυροδέματος. Πρέπει $k_s \geq 2$

Εάν η τυπική απόκλιση s προέκυψε από λιγότερα από 35 μείγματα αλλά όχι λιγότερα από 15, τότε πριν ενσωματωθεί στη Σχέση, πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον αντίστοιχο συντελεστή από τον Πίνακα.

Αριθμός αναμιγμάτων	Συντελεστής Πολλαπλασιασμού
15	1,19
20	1,11
25	1,06
30	1,03
35 ή περισσότερα	1,00

Πίνακας 2.2 Συντελεστής διόρθωσης της τυπικής απόκλισης Πηγή: ΚΤΣ 2016

Σε περίπτωση που δεν διαθέτουμε πληροφορίες σχετικά με τυπική απόκλιση ή εάν υπάρχουν, αλλά προέκυψαν από λιγότερα από 15 αποτελέσματα, ή ακόμα και αν το σκυρόδεμα έχει διαφορετικές χαρακτηριστικές αντοχές κατά περισσότερο από 7 N/mm² σε σχέση με το κανονικό σκυρόδεμα της εκάστοτε κατηγορίας, τότε ο υπολογισμός της απαιτούμενης αντοχής σχεδιασμού παραγωγής (συμβολίζεται ως f_{sd} από τη) πρέπει να πραγματοποιηθεί με βάση μια υποθετική τυπική απόκλιση. Συγκεκριμένα, αν επιλεγούν θραυστά αδρανή, η τυπική απόκλιση προσδιορίζεται ως $s = 5$ N/mm², ενώ σε περίπτωση χρήσης συλλεκτών αδρανή, η τιμή αυτή ανεβαίνει στα $s = 6$ N/mm². Όσον αφορά τη διαδικασία εξαγωγής κάθε αποτελέσματος αντοχής σε θλίψη, αυτό προκύπτει από τον έλεγχο ενός δοκιμίου. Εάν η τιμή της τυπικής απόκλισης μετά τον πολλαπλασιασμό με τον αντίστοιχο συντελεστή είναι μικρότερη από 3 N/mm², τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί η τιμή $s = 3$ N/mm² στη Σχέση.

2. Επιλέγουμε πόσο θα κάτσει το σκυρόδεμα μετά την παρασκευή του, ή αν δεν έχει καθοριστεί, πόσο κατά προσέγγιση (10-12 εκατοστά).

Πίνακας B2-3: Κατηγορίες κάθισης

Κατηγορία	Ονομασία	Κάθιση, mm
S1	Ελάχιστο Πλαστικό	10 - 40
S2	Μέτρια πλαστικό	50 - 90
S3	Πλαστικό	100 - 150
S4	Ημίρρευστο	160 - 210
S5	Ρευστό	> 220
Η μετρούμενη κάθιση θα στρογγυλεύεται στα πλησιέστερα 10 mm		

Πίνακας 2.3 Κατηγορίες κάθισης, για μελέτη σύνθεσης Πηγή ΚΤΣ 2016

Από τον παρακάτω πίνακα λαμβάνουμε τον συντελεστή νερού W1

Περιγραφή σκυροδέματος	Συνεκτικότητα κατά DIN 1045	Κατηγορία Κάθισης	Συντελεστής νερού W1
Σφιχτό	K1 ύφυγρο	S1 (10-40 mm)	0,88
Σφιχτό πλαστικό	K2 πλαστικό	S2 (50-90 mm)	0,92
Πλαστικό	K3 ρευστό	S3 (100-150 mm)	1,00
Ρευστό	Διαρρεόν	$S4 \geq 160 \text{ mm}$	1,06

Πίνακας 2.4 συντελεστής W1 πηγής ΚΤΣ 1997

3. Αποφασίζουμε ποιον μέγιστο μέγεθος κόκκων αδρανούς υλικού θα περιλαμβάνει.

Γενικές απαιτήσεις κοκκομετρικής διαβάθμισης αδρανών υλικών

Αδρανές υλικό	Μέγεθος	Διερχόμενο ποσοστό					Κατηγορία G
		2 D	1.4 D	D	d	d/2 **	
Χονδρόκοκκο	D/d≤2 ή D≤11,2 mm	100	98-100	85-99 (ή 100)	0-20	0-5	G _c 85/20
	D/d>2 και D>11,2mm	100	98-100	90-99 (ή 100)	0-15	0-5	G _c 90/15
Λεπτόκοκκο (άμμος)	D≤4mm και d=0	100	95-100	85-99 (ή 100)	-	-	G _f 85

* Όταν το διερχόμενο % ποσοστό από το κόσκινο D είναι μεγαλύτερο από 99% , ο παραγωγός αδρανών υλικών θα δηλώνει την τυπική διαβάθμιση του υλικού περιλαμβάνοντας τα κόσκινα D, d, d/2 και τα κόσκινα της βασικής σειράς και της σειράς 1 ή τα κόσκινα της βασικής σειράς και της σειράς 2, που βρίσκονται μεταξύ d και D. Κόσκινα με λόγο μικρότερο από 1,4 ως προς το επόμενο μικρότερο κόσκινο μπορεί να μη χρησιμοποιηθούν.

** Όπου τα κόσκινα που υπολογίζονται δεν είναι κόσκινα ακριβώς από τη σειρά R20 του προτύπου ISO 565:1990, τότε υιοθετείται το επόμενο πλησιέστερο μέγεθος κοσκίνου.

Πίνακας 2.5 Απαιτήσεις αδρανών υλικών Πηγή ΚΤΣ'2016

Για την Εύρεση του συντελεστή νερού W2 λαμβάνουμε υπόψη τον παρακάτω πίνακα

Αδρανή	Μέγιστος κόκκος	Υποζώνη		
		Δ	Ε	Ζ
0-31,5	31,5	1,00	1,15	1,33
0-16	16	1,00	1,15	
0-7	8	1,00	1,17	

Πίνακας 2.6 Συντελεστής νερού w2 Πηγή ΚΤΣ '97

4. Υπολογίζουμε πόσο νερό και πόσο αέρα χρειάζεται.

Η ποσότητα του απαιτούμενου νερού δίνεται από τον τύπο $w = 285 + 0,95 \Phi_{max} - 23,1 \times \sqrt{\Phi_{max}} \times W1 \times W2 \text{ kg/m}^3$

Η ποσότητα νερού που χρειάζεται εξαρτάται από το πόσο συνεκτικό είναι το σκυρόδεμα και το μέγιστο μέγεθος των κόκκων των υλικών που προστίθενται και την κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών.

Κάθιση (cm)	Απαίτηση σε νερό σε kg/m^3 σκυροδέματος συναρτήσει του μέγιστου κόκκου των αδρανών σε mm							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση αερακτικού								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Κατά προσέγγιση ποσότητα παγιδευμένου αέρα σε σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2
Σκυρόδεμα με τη χρήση αερακτικού								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Προτεινόμενο μέσο συνολικό ποσοστό παγιδευμένου αέρα σε σκυρόδεμα χωρίς αερακτικό (%)	8,0	7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0

Πίνακας 2.7 Απαίτηση σε νερό Πηγή ΚΤΣ '2016

5. Επιλέγουμε πόσο νερό θα υπάρχει σε σχέση με το τσιμέντο, με βάση εμπειρικές καμπύλες.

Θλιπτική αντοχή 28 ημερών (kg/cm^2)	Τιμή λόγου W/C (κατά βάρος)	
	Σκυρόδεμα χωρίς τη χρήση αερακτικού	Σκυρόδεμα με τη χρήση αερακτικού
450	0,38	-
400	0,43	-
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

Πίνακας 2.8 Λόγος νερού/τσιμέντου Πηγή : ΚΤΣ ' 2016

6. Καθορίζουμε ποσότητα και ποιο είδος τσιμέντου θα χρησιμοποιηθεί, με βάση τις απαιτήσεις και τις ιδιαιτερότητες (π.χ., ανθεκτικό σε χημικές προσβολές). Το τσιμέντο πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις που ορίζονται στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1. Επιπλέον, πρέπει να φέρει τη σήμανση CE σύμφωνα με τις οδηγίες που περιέχονται στο άρθρο 9 αυτού του προτύπου και στον κανονισμό (ΕΕ) 305/2011. Είναι επίσης σημαντικό να παρέχεται δήλωση απόδοσης στα ελληνικά που να περιλαμβάνει τις τεχνικές ιδιότητες του τσιμέντου, σύμφωνα με

το άρθρο 6 του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 305/2011 και τις κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται στο άρθρο 6 του κανονισμού (ΕΕ) αριθ. 2011. 574/2014. Επιπλέον, πρέπει να παρέχεται ένα φύλλο δεδομένων υλικού. Όταν ο όρος «τύπος τσιμέντου» αναφέρεται στους κανονισμούς, αναφέρεται στα προϊόντα τσιμέντου που περιγράφονται στους Πίνακες 1 και 2 του προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1.

7. Εκτιμούμε πόσο χονδρό πρέπει να είναι το αδρανές υλικό.
8. Εκτιμούμε πόσο λεπτό πρέπει να είναι το αδρανές υλικό.
9. Ρυθμίζουμε τις αναλογίες ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις, όπως ορίζονται στους κανόνες.
10. Προσθέτουμε πρόσθετα υλικά ανάλογα με τις απαιτήσεις της μελέτης σύνθεσης και τις οδηγίες του κατασκευαστή.
11. Δημιουργούμε έναν πίνακα ποσοτήτων για την παρασκευή 1 κυβικού μέτρου σκυροδέματος.
12. Παρασκευάζουμε δοκιμαστικά αναμίγματα στο εργαστήριο και τα ελέγχουμε για διάφορες ιδιότητες.
13. Ελέγχουμε αν το σκυρόδεμα πληροί τα κριτήρια που έχουν τεθεί.
14. Αν χρειάζεται, ρυθμίζουμε τις αναλογίες ή προσθέτουμε υλικά και επαναλαμβάνουμε την διαδικασία.
15. Από το τελευταίο ανάμιγμα, παίρνουμε δοκίμια για να μετρήσουμε την αντοχή σε θλίψη σε διάφορες ηλικίες (π.χ., σε 3 και 7 ημέρες, καθώς και σε 28 ημέρες). Με την επιλογή των κατάλληλων συστατικών και αναλογιών στη δημιουργία του σκυροδέματος, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι θα έχει την αναγκαία δύναμη, αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, αντοχή σε ακραίες και επικίνδυνες συνθήκες, αντοχή σε επιθέσεις χημικών ουσιών, καθώς και άλλες επιδόσεις που μπορεί να απαιτούνται για το συγκεκριμένο έργο.

Παρά τις μικρές διαφορές στην τιμή των αδρανών υλικών που μπορεί να προσφέρουν διάφοροι προμηθευτές, υπάρχει μεγάλη οικονομική εξοικονόμηση σε ένα έργο. Για παράδειγμα, αν χρειάζεται να παραχθούν 6 εκατομμύρια κυβικά μέτρα σκυροδέματος και διαφορετικοί προμηθευτές προσφέρουν αδρανή υλικά σε διαφορετικές τιμές κατά 6,5 λεπτά ανά τόνο, μπορεί να επιτευχθεί οικονομία πάνω από ένα εκατομμύριο € επιλέγοντας το φθηνότερο αδρανές.

Ένα σημαντικό γεγονός που συχνά προκύπτει από τη μελέτη του σκυροδέματος είναι ότι το τσιμέντο, που είναι ακριβότερο, απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Έτσι, παίρνονται μέτρα για να μειωθεί η ποσότητα του τσιμέντου στο μίγμα

σκυροδέματος, χωρίς ωστόσο να επηρεαστούν αρνητικά τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, όπως η αντοχή και η ανθεκτικότητα.

Η οικονομική εξοικονόμηση που προκύπτει από τη μείωση της περιεκτικότητας του τσιμέντου μπορεί να είναι σημαντική σε μεγάλα έργα που απαιτούν μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος. Επιπλέον, η περαιτέρω μείωση του κόστους είναι δυνατή χωρίς να επηρεάσει αρνητικά τα βασικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, αν μπορούν να βρεθούν πιο οικονομικά υλικά για να αντικαταστήσουν ένα μέρος του τσιμέντου πορτλαντ.

Τέλος, σε μια προοπτική γενικής οικονομίας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μείωση της χρήσης τσιμέντου συμβάλλει στη μείωση της εκμετάλλευσης φυσικών πόρων και της ρύπανσης του περιβάλλοντος, καθώς χρησιμοποιούνται φθηνότερα βιομηχανικά παραπροϊόντα αντί να απορρίπτονται σε περιβαλλοντικά προβληματικούς χώρους.

2.7 Διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος

Η παραγωγή σκυροδέματος είναι μια σύνθετη διαδικασία που απαιτεί τον συνδυασμό διαφόρων υλικών για τη δημιουργία ενός ανθεκτικού και υψηλής αντοχής σε συνθήκες φόρτισης προϊόντος. Η διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- **Επιλογή των υλικών:** Το σκυροδέμα παράγεται κυρίως από τρία βασικά υλικά: τσιμέντο, αδρανή υλικά (όπως άμμος και χονδρόκοκκα), και νερό. Επιλέγονται υλικά υψηλής ποιότητας, και η ποσότητα τους ρυθμίζεται ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου.
- **Μίξη:** Ανακατεύουμε αυτά τα υλικά μαζί σε ένα μίξερ. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, το νερό δεσμεύει το τσιμέντο στο αδρανή, δημιουργώντας μια ομοιόμορφη μάζα.
- **Πλαστικοποίηση:** Το σκυροδέμα πρέπει να είναι σε κατάλληλη κατάσταση, έτσι ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί και τοποθετηθεί. Αυτό το στάδιο περιλαμβάνει τη ρύθμιση της υγρασίας και της υφής του σκυροδέματος.
- **Τοποθέτηση:** Το σκυροδέμα τοποθετείται στον τόπο κατασκευής χρησιμοποιώντας κατάλληλα εργαλεία. Αυτή η διαδικασία πρέπει να πραγματοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα για να αποτραπεί η πρόωρη πήξη του σκυροδέματος.

- Πήξη: Κατά τη διαδικασία πήξης, το σκυρόδεμα αρχίζει να σκληραίνει και φτάνει στην τελική του αντοχή. Η διαδικασία απαιτεί έλεγχο της υγρασίας και της θερμοκρασίας κατά τη στερεοποίηση.
- Θεραπεία: Μετά την πήξη, το σκυρόδεμα πρέπει να θεραπευτεί για να αποκτήσει τη μέγιστη αντοχή. Αυτό συνήθως σημαίνει ψεκασμό νερού στην επιφάνειά του και την τήρηση συγκεκριμένων συνθηκών υγρασίας και θερμοκρασίας.
- Ελέγχος ποιότητας: Το παραγόμενο σκυρόδεμα υπόκειται σε αυστηρούς ελέγχους ποιότητας για να διασφαλιστεί ότι πληροί τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις για το συγκεκριμένο έργο κατασκευής.

Η διαδικασία παραγωγής σκυροδέματος είναι κρίσιμη για την ποιότητα και την αντοχή των κατασκευαστικών έργων και απαιτεί προσοχή στη λεπτομέρεια και την τήρηση των προδιαγραφών και των συνθηκών παραγωγής.

2.8 Δομή του σκυροδέματος

Η δομή του σκυροδέματος είναι πολύπλοκη και ετερογενής, ακόμη και σήμερα η σχέση μεταξύ της δομής του και των ιδιοτήτων του υλικού δεν είναι πλήρως κατανοητή. Ωστόσο, το να έχουμε καλή γνώση των δομικών στοιχείων του σκυροδέματος είναι σημαντική για να εξηγηθούν οι διάφορες ιδιότητές του όπως αντοχή, ελαστικότητα, συρρίκνωση, ερπυσμός και αντοχή στο χρόνο.

Όταν κοιτάμε το σκυρόδεμα με γυμνό μάτι, βλέπουμε ότι αποτελείται από αδρανή όπως άμμος, χαλίκι και σκωρία σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Αυτά τα αδρανή συγκρατούνται μεταξύ τους και περιβάλλονται από ενυδατωμένο πολτό τσιμέντου, το οποίο είναι το προϊόν της αντίδρασης νερού και τσιμέντου. Η πολυπλοκότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα γίνεται ακόμη πιο εμφανής όταν την εξετάζουμε στο μικροσκόπιο.

Με το μικροσκόπιο, διακρίνουμε πρώτα μια τρίτη φάση, η οποία αντιπροσωπεύει την περιοχή της διεπιφάνειας μεταξύ των μεγάλων αδρανών υλικών και του τσιμεντοπολτού. Αυτή η περιοχή έχει πάχος περίπου 10-50 μικρομέτρων. Αυτά τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά καταδεικνύουν την απίστευτη πολυπλοκότητα της δομής του σκυροδέματος.

Μπορούμε να διακρίνουμε 3 κατηγορίες σκυροδέματος ανάλογα με το πόσο έχει σκληρύνει. Αρχικά, θεωρείται "Νωπό" κατά τις πρώτες 1 έως 3 ώρες από την παραγωγή του, όταν είναι ακόμα μαλακό και δεν έχει σκληρύνει πολύ. Στη συνέχεια, κατά τις 6 έως 12 ώρες από την παραγωγή του, το σκυρόδεμα θεωρείται

"Σκληρυμένο," όταν έχει αρχίσει να σκληραίνει αλλά δεν είναι ακόμα πλήρως στερεό. Τέλος, όταν περάσει αρκετός χρόνος και έχει επιτευχθεί η πλήρης σκλήρυνσή του, το σκυρόδεμα θεωρείται το "τελικό προϊόν."

2.9 Νωπό σκυρόδεμα

Η φάση του σκυροδέματος κατά τις πρώτες 1 έως 3 ώρες μετά την παραγωγή του , όταν είναι ακόμα σε μαλακή κατάσταση.



Εικόνα 2.8, νωπό σκυρόδεμα , Πηγή :

<https://www.flickr.com/photos/airandspace/49315831583>

2.9.1 Ιδιότητες νωπού σκυροδέματος

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, το σκυρόδεμα έχει διάφορες ιδιότητες, όπως:

2.9.1.1 Ρευστότητα

Το φρέσκο σκυρόδεμα είναι ρευστό και μπορεί να ρέει εύκολα και να προσαρμόζεται σε διάφορες μορφές και σχήματα. Για τη μέτρηση της κινητικότητάς του, χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικές μέθοδοι: η δοκιμή σε κάθιση ή η δοκιμή σε τράπεζα εξάπλωσης. Τυπικά, για σκυρόδεμα με κατηγορία κάθισης άνω των 220 mm (βαθμός S5), χρησιμοποιείται η δευτερη δοκιμή και για σκυρόδεμα με κατηγορία κάθισης έως 210 mm (βαθμοί S1, S2, S3 και S4), χρησιμοποιείται η πρώτη δοκιμή.

2.9.1.2 Εργασιμότητα

Το φρέσκο σκυρόδεμα είναι εύκολο στην επεξεργασία και μπορεί , να διαμορφωθεί και να τοποθετηθεί σε συγκεκριμένους χώρους ή μορφές χρησιμοποιώντας εργαλεία και τεχνικές. Αυτό εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: τη ρευστότητα, που αναφέρεται στην ευκολία με την οποία ρέει και τη συνοχή, που αναφέρεται στην ποιότητα του φρέσκου σκυροδέματος. Η εργασιμότητα είναι σημαντική επειδή το σκυρόδεμα με χαμηλή εργασιμότητα έχει συχνά προβλήματα με τη μακροχρόνια αντοχή και ανθεκτικότητα.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να μετρήσουμε την εργασιμότητα είναι οι εξής:

1. Δοκιμή Κάθισης: Αυτή η μέθοδος μετρά την εργασιμότητα του σκυροδέματος με βάση το πόσο εύκολα μπορεί να καθίσει το νωπό σκυρόδεμα όταν υπόκειται σε συγκεκριμένες συνθήκες. Ανάλογα με το πόσο γρήγορα ή αργά καθίσει, το σκυρόδεμα κατατάσσεται σε πέντε διαφορετικές κατηγορίες.
2. Δοκιμή Vebe: Αυτή η δοκιμή εφαρμόζεται σε αναμίγματα σκυροδέματος που έχουν χαμηλή ρευστότητα. Ουσιαστικά, μετράει τον χρόνο που απαιτείται για να εξομαλυνθεί ένα σκυρόδεμα χαμηλής ρευστότητας.
3. Δοκιμή Βαθμού Συμπύκνωσης: Αυτή η δοκιμή χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τον βαθμό συμπύκνωσης του σκυροδέματος, δηλαδή το πόσο εύκολα μπορεί να συμπυκνωθεί και να σταθεροποιηθεί.
4. Δοκιμή Μέτρου Εξάπλωσης: Αυτή η δοκιμή εφαρμόζεται σε σκυροδέματα που έχουν υψηλή ρευστότητα. Μετράει το πόσο ευρεία επιφάνεια μπορεί να καλύψει το σκυρόδεμα όταν εκχυλίζεται.

2.9.1.3 Πλαστικότητα

Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να υποστεί παραμόρφωση και να λάβει διάφορες μορφές και σχήματα, όπως καμπύλες, λόγω της πλαστικότητάς του.

2.9.1.4 Αντοχή σε ένταση

Παρά τη ρευστότητά του, το νωπό σκυρόδεμα έχει μια αρχική αντοχή σε ένταση, η οποία του επιτρέπει να αντέχει σε κατανομή του βάρους του ή να αντιστέκεται σε ελαφρά φορτία.

2.9.1.5 Αρχική ρύθμιση

Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να προσαρμοστεί και να ρυθμιστεί σε συγκεκριμένη θέση ή διάταξη με τη χρήση στομίων, κατσαβιδιών ή άλλων εργαλείων.

Αυτές οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος του επιτρέπουν να τοποθετηθεί και να διαμορφωθεί στις επιθυμητές μορφές και σχήματα πριν από την πήξη και την σκλήρυνση του για την ολοκλήρωση της κατασκευής.

2.9.2 Έλεγχος νωπού σκυροδέματος

Ο έλεγχος του νωπού σκυροδέματος είναι σημαντικός για να διασφαλιστεί η ποιότητα και η αντοχή του κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Οι κύριοι τρόποι ελέγχου περιλαμβάνουν:

- **Έλεγχος σύνθεσης:** Ο έλεγχος της σύνθεσης του νωπού σκυροδέματος περιλαμβάνει τη μέτρηση της ποσότητας και της ποιότητας των συστατικών, όπως των τσιμέντων, της άμμου, του χαλκού και του νερού. Αυτό μπορεί να γίνει με τη λήψη δειγμάτων και την πραγματοποίηση δοκιμών σε εργαστήριο.
- **Έλεγχος κατανομής κόκκων:** Η κατανομή των κόκκων στο νωπό σκυροδέμα μπορεί να ελεγχθεί με τη χρήση πλαστικών ή μεταλλικών πλέγματων. Αυτός ο έλεγχος βοηθά στη διασφάλιση ομοιογενούς κατανομής των σωματιδίων και αποτρέπει τη συσσώρευση αέρα ή κενών.
- **Έλεγχος της πλαστικότητας:** Ο έλεγχος της πλαστικότητας του νωπού σκυροδέματος περιλαμβάνει τη μέτρηση της κατακράτησης νερού, της τριβής και της ευκαμψίας. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να γίνει με τη χρήση ειδικών εργαλείων και δοκιμών.
- **Έλεγχος θερμοκρασίας:** Η θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος μπορεί να ελεγχθεί για να διασφαλιστεί ότι βρίσκεται εντός των αποδεκτών ορίων. Αυτός ο έλεγχος μπορεί να περιλαμβάνει τη χρήση θερμομέτρων ή αισθητήρων θερμοκρασίας.

Οι παραπάνω έλεγχοι πρέπει να πραγματοποιούνται από ειδικευμένους τεχνικούς ή εργαστήρια ελέγχου ποιότητας σκυροδέματος, ώστε να διασφαλιστεί η ποιότητα και η συμμόρφωση με τα πρότυπα και τις προδιαγραφές.

2.9.3 Δοκιμή κάθισης

Μια από τις πιο συνηθισμένες διαδικασίες για τον έλεγχο του νωπού σκυροδέματος είναι η δοκιμή κάθισης. Καθώς μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα για όλους τους τύπους σκυροδέματος όπου και αν παραχθεί.

Σε αυτή τη διαδικασία, το σκυροδέμα τοποθετείται σε τρία επίπεδα στρώματα πάχους 10 cm το καθένα. Κάθε στρώση δονείται χρησιμοποιώντας μια ειδική ράβδο με διάμετρο 16 mm, μήκος 60 cm και στρογγυλεμένο άκρο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται 25 φορές σε κάθε στρώση, κατά τη διάρκεια της δόνησης, πρέπει να εξασφαλίζουμε ότι η ράβδος δεν εισχωρεί στην προηγούμενη στρώση, αλλά κινείται μόνο για 1-2 εκατοστά. Οι κρούσεις πρέπει να είναι ομοιόμορφες και να διανέμονται τόσο στο κέντρο όσο και στην περιφέρεια. Όταν συμπιέζουμε την τρίτη

στρώση, επιπλέον επιπεδώνουμε την τελική επιφάνεια ελαφρά χρησιμοποιώντας ένα μυστρί και καθαρίζουμε το σκυρόδεμα που έχει πέσει έξω από τον κώνο στη βάση του κώνου. Όταν ολοκληρώσουμε τη διαδικασία συμπίεσης, ισιώνουμε το πάνω μέρος του κώνου, καθαρίζουμε τον κώνο και κρατώντας τις δύο λαβές της ράβδου με τα χέρια μας, τον σηκώνουμε σταθερά μέσα σε 5-10 δευτερόλεπτα. Τέλος , αναποδογυρίζουμε τον κώνο δίπλα στο δείγμα και τοποθετούμε μια μεταλλική ράβδο οριζόντια από πάνω. Χρησιμοποιούμε μια μεζούρα για να μετρήσουμε την απόσταση από το κάτω μέρος του οπλισμού μέχρι το υψηλότερο σημείο της επιφάνειας του σκυροδέματος. Αυτή η απόσταση ονομάζεται «κάθισμα» και εκφράζεται σε εκατοστά. Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας συμπίεσης, τα μεταλλικά «αυτιά» πιέζουν τη βάση του κώνου για να τον κρατήσουν σταθερό και ακίνητο.



Εικόνα 2.9 , Έλεγχος κάθισης Πηγή: <https://www.flickr.com/photos/mtacc-esa/50887549448>

Οι κατηγορίες κάθισης είναι οι εξής :

Κατηγορίες κάθισης	
Κατηγορία	Κάθιση σε mm
s1	10-40
s2	50-90
s3	100-150
s4	≥160

Πίνακας 2.9 , Κατηγορίες κάθισης Πηγή : https://www.gqde.gr/dmdocuments/imer1ban_skirodema_elot-en-206-1.pdf

2.9.4 Διάστρωση ,συμπύκνωση, τελείωμα

Κάποιοι κανόνες οι οποίοι πρέπει να ακολουθούνται αφού παρασκευαστεί το σκυρόδεμα είναι οι εξής:

Η διαδικασία εκφόρτωσης του σκυροδέματος είναι απαραίτητο να γίνεται όσο πιο κοντά στο σημείο όπου θα γίνει η τελική διάστρωση. Αν δεν είναι δυνατή η εκφόρτωση από το μεταφορικό μέσο ακριβώς στον τόπο της διάστρωσης, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικά μέσα, όπως κεκλιμένες πλάκες, αντλίες, κάδοι σε συνδυασμό με γερανό ή αναβατόρια. Συνήθως, η αντλία αποτελεί το πιο διαδεδομένο μέσο για αυτή την διαδικασία στη χώρα μας και σε άλλες χώρες.

Κατά τη μεταφορά, θα συνοδεύεται από ένα έγγραφο που ονομάζεται Δελτίο Παραγωγής (για το σκυρόδεμα που παράγεται στην ίδια την εργασία) ή Δελτίο Αποστολής (για σκυρόδεμα που προέρχεται από εργοστάσιο). Σε αυτό το έγγραφο θα αναφέρονται όλες οι λεπτομέρειες που αφορούν το σκυρόδεμα, όπως η ημερομηνία και η ώρα φόρτωσης, ο προορισμός και η θέση διάστρωσης, η σύνθεση του σκυροδέματος, η κατηγορία αντοχής, η κάθιση , τυχόν πρόσθετα υλικά, η θερμοκρασία, και πολλά άλλα στοιχεία.

Για να αποφευχθεί η απόμιξη των συστατικών του σκυροδέματος, η εκχύλιση του πρέπει να γίνει σε στρώσεις ίδιου πάχους. Παρατηρείται ότι όταν γίνεται διάστρωση σε υπερβολικά παχιές στρώσεις και στη συνέχεια δονείται με δονητή, μπορεί να προκληθεί η απόμιξη των συστατικών, δηλαδή ο διαχωρισμός τους, ώστε να μην είναι ομοιόμορφα αναμειγμένα. Αυτό το φαινόμενο συνήθως παρατηρείται σε σχετικά ξηρά μίγματα, όπου τα μεγάλα κοκκώδη υλικά διαχωρίζονται από τη μάζα του σκυροδέματος, ή σε σχετικά υγρά μίγματα, όπου το νερό ξεχωρίζει από το τσιμέντο και τη λεπτή άμμο στην επιφάνεια του σκυροδέματος (αυτό ονομάζεται εξίδρωση).

Η διαδικασία της συμπύκνωσης στο σκυρόδεμα περιλαμβάνει το να κρατάμε το σκυρόδεμα σε συνεχή κίνηση, συνήθως με δόνηση, προκειμένου να απομακρύνουμε τον αέρα που μπορεί να έχει παγιδευτεί μέσα του και να μειώσουμε τον αριθμό των πόρων στο υλικό. Σε μικρά έργα, μπορεί να χρησιμοποιηθούν απλές ράβδοι ή πήχεις για αυτήν τη διαδικασία. Σε μεγαλύτερα έργα, συνήθως χρησιμοποιούνται πιο περίπλοκες μηχανές δόνησης, όπως δονητές μάζας και παρειάς. Στα εργαστηριακά δοκίμια, η συμπύκνωση επιτυγχάνεται με δόνηση σε μια επιφάνεια δοκιμής.

Η τελική επεξεργασία του σκυροδέματος γίνεται σε επίπεδες επιφάνειες για να βελτιωθεί η ποιότητα της επιφάνειας του. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιούνται ευθύγραμμες δοκοί με ορθογωνική διατομή που μετακινούν το περισσεύον σκυρόδεμα από ορισμένες περιοχές σε άλλες, γεμίζοντας κοιλότητες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται σαρώστρες που έχουν επίπεδη επιφάνεια για να καθαρίσουν το σκυρόδεμα. Επιπλέον, υπάρχουν κατασκευαστικές περιπτώσεις όπου απαιτείται περαιτέρω εξομάλυνση, που επιτυγχάνεται με μια ειδική μηχανή που έχει περιστρεφόμενες ξύλινες ή μεταλλικές λεπίδες.

2.9.5 Τράπεζα δόνησης

Η τράπεζα δόνησεως χρησιμοποιείται για τη συμπύκνωση του σκυροδέματος αμέσως μετά την παραγωγή του σύμφωνα με τις προδιαγραφές SK-303. Αυτή η ομάδα λειτουργεί σε πολύ υψηλή συχνότητα, με αποτέλεσμα το δοκιμαστικό ρολό να δονείται πολύ γρήγορα, περίπου 3.600 ταλαντώσεις ανά λεπτό. Μόλις το πλεονάζον σκυρόδεμα μπει στο καλούπι, η ομάδα ξεκινά και αρχίζει να δονείται. Το καλούπι πρέπει να είναι σε επαφή με τον πάγκο εργασίας καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας δόνησης.

Όταν στην επιφάνεια του δείγματος εμφανιστεί ένα λεπτό στρώμα τσιμεντοκονίας που καλύπτει το κοκκώδες υλικό, η δόνηση σταματά. Ακολουθεί το φινίρισμα, το οποίο περιλαμβάνει λείανση της επιφάνειας του σκυροδέματος με μυστρί και τοποθέτηση σημαδιών. Η σήμανση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να παραμένει σταθερό πάνω στο σκυρόδεμα και να μην αλλάζουν τα στοιχεία του. Οι ετικέτες περιλαμβάνουν την ταυτότητα κάθε άρθρου, την ημερομηνία παραγωγής και το όνομα του δημιουργού.

2.9.6 Συντήρηση

Αμέσως μετά το άδειασμα του σκυροδέματος στα καλούπια, πρέπει να ληφθούν όλα τα αναγκαία μέτρα για τη διατήρησή του σε κατάλληλες συνθήκες όσον αφορά τη θερμοκρασία και την υγρασία, προκειμένου να προστατευθεί από πρόωρη ξήρανση και άλλες εξωτερικές επιδράσεις.

Για την ενυδάτωση και προστασία του σκυροδέματος χρησιμοποιούνται τα παρακάτω μέσα:

- Κάλυψη με υγρές λινάτσες που τυλίγονται γύρω από τις εξωτερικές επιφάνειες του σκυροδέματος και παραμένουν εκεί για τουλάχιστον επτά ημέρες.

- Εμποτισμός οριζόντιων επιφανειών με λεπτό στρώμα νερού (10-20 χιλιοστά) το οποίο περιορίζεται από δρομικό τούβλο ή μικρό ανάχωμα από χώμα στα όρια της επιφάνειας.
- Βύθισμα προκατασκευασμένων στοιχείων σε νερό.
- Ψεκασμός των ελεύθερων επιφανειών με περιστροφικούς ψεκαστήρες που λειτουργούν συνεχώς.
- Επικάλυψη των ελεύθερων επιφανειών με πλαστικές μεμβράνες προκειμένου να προλαμβάνεται η εξάτμιση του νερού.
- Επάλειψη ή ψεκασμός των διαθέσιμων επιφανειών με υγρό το οποίο δημιουργεί μια λεπτή και αδιαπέραστη μεμβράνη από το νερό, προκειμένου να προλαμβάνεται η εξάτμιση.

2.10 Σκληρυμένο σκυρόδεμα

Το σκληρυμένο σκυρόδεμα αναφέρεται στην κατάσταση του σκυροδέματος μετά την πήξη του και την αύξηση της αντοχής του. Κατά τη διαδικασία της σκλήρυνσης, το σκυρόδεμα αποκτά την ικανότητα να αντέχει μηχανικά φορτία και να παρέχει την απαιτούμενη αντοχή για το έργο στο οποίο χρησιμοποιείται.

2.10.1 Ιδιότητες

Το σκυρόδεμα σε αυτή του την φάση έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

2.10.1.1 Αντοχή

Η αντοχή του σκυροδέματος αναφέρεται στην ικανότητά του να αντέχει μηχανικά φορτία και να παρέχει την απαιτούμενη αντοχή για το έργο στο οποίο χρησιμοποιείται. Στα στερεά υλικά, υπάρχει μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της πορώδους, δηλαδή του όγκου κενών, και της αντοχής. Συνεπώς, στα πολύ βασικά υλικά όπως το σκυρόδεμα, η πορώδης δομή καθορίζει την αντοχή του.

- Θλιπτική αντοχή

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, πολλές φορές, είναι πολύ υψηλότερη από τις αντοχές άλλων υλικών. Επομένως, συνήθως σχεδιάζουμε τα σκυροδέματα έτσι ώστε να αξιοποιούν αποτελεσματικά αυτήν την υψηλή θλιπτική αντοχή. Παρόλο που το σκυρόδεμα υφίσταται συγχρόνως τάσεις θλίψης, διατμητικής και εφελκυστικής σε διάφορες κατευθύνσεις, στο εργαστήριο, είναι πιο εύκολο να μελετηθεί η θλιπτική αντοχή μονοαξονικά. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν τις ιδιότητες και τις

αναλογίες των υλικών που αναμιγνύονται για τη δημιουργία του σκυροδέματος, τον βαθμό συμπύκνωσης του μίγματος, καθώς και τις συνθήκες συντήρησης. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες από την άποψη της αντοχής είναι ο λόγος νερού προς τσιμέντο, καθώς αυτός επηρεάζει τη δομή της τσιμεντώδους πάστας και, συνεπώς, της επιφανειακής ζώνης των αδρανών σωματιδίων της πάστας. Επιπλέον, σημαντικό είναι το είδος και οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται, οι συνθήκες συντήρησης και οι παράμετροι των πειραματικών δοκιμών. Για την επίτευξη ενός σκυροδέματος με την απαιτούμενη αντοχή, είναι σημαντική η σωστή επιλογή των υλικών και των αναλογιών τους.

- Εφελκυστική αντοχή

Σύμφωνα με συγκεκριμένους τεχνικούς κανονισμούς, η αντοχή σε εφελκυσμό αναφέρεται στην ικανότητα ενός υλικού να αντέχει τις δυνάμεις εφελκυσμού. Για να υπολογίσουμε την τιμή της αντοχής σε εφελκυσμό του σκυροδέματος (σύμβολο f_{ct}), λαμβάνουμε υπόψη την κατάσταση και το στάδιο του υπολογισμού και τη συσχετίζουμε με τη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος που προκύπτει από τον πίνακα. Οι τιμές στον πίνακα προέρχονται από την εξίσωση $f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{(2/3)}$, όπου το (f_{ctm} , f_{ck}) εκφράζεται σε MPa. Οι τιμές f_{ct} κυμαίνονται από 0,7 φορές f_{ctm} έως 0,3 φορές f_{ctm} . Η επιλογή της τιμής f_{ct} εξαρτάται από τη φύση του προβλήματος που εξετάζεται.

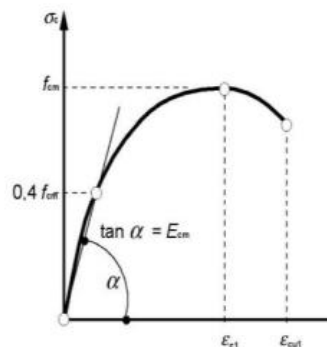
2.10.1.2 Παραμορφώσεις σκυροδέματος

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σε δομικά μέλη όταν υποστούν φόρτιση δεν μπορούν να μετρηθούν απευθείας. Μπορούν, ωστόσο, να υπολογιστούν μέσω των παραμορφώσεων που προκαλούν. Αυτό γίνεται με βάση το νόμο του Hooke. Το μέτρο αυτό είναι σταθερό για διάφορα δομικά υλικά, εκτός από το σκυρόδεμα όπου είναι σταθερό μόνο όταν οι τάσεις είναι μικρές και διαρκούν για σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτό το μέτρο αφορά την ικανότητα του υλικού να μην κάμπτεται, δηλαδή την αντίστασή του στην ελαστική παραμόρφωση. Υπάρχει μια σχέση, $E = \sigma / \epsilon$, όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας, σ είναι η τάση, και ϵ είναι η παραμόρφωση. Η παραμόρφωση μπορεί να είναι ελαστική ή πλαστική. Η ελαστική παραμόρφωση εξαφανίζεται όταν σταματά το φορτίο που την προκάλεσε, ενώ η πλαστική παραμόρφωση παραμένει ακόμη και μετά την κατάργηση του φορτίου.

Ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής και τις ανάγκες της μελέτης, μπορούν να επιλεγθούν διάφορα είδη γραφικών αναπαραστάσεων που δείχνουν πώς αλλάζουν τα υλικά όταν επιρρίπτεται επάνω τους μια δύναμη. Αυτό ισχύει τόσο για το σκυρόδεμα όσο και για το χάλυβα. Τα γραφήματα αυτά παρουσιάζουν τη συμπεριφορά των υλικών σύμφωνα με κανονισμούς.

Επίσης, χρησιμοποιούνται γραφήματα σχεδιασμού που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις αντοχές του υλικού και χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 1, δείχνει την αντοχή του σκυροδέματος σε πίεση να είναι πολύ υψηλότερη από την αντοχή του σε τράβηγμα. Ο τύπος του σκυροδέματος και οι προϋποθέσεις επιβολής παραμορφώσεων επηρεάζουν την κορυφή του διαγράμματος και την ταχύτητα με την οποία επιβάλλονται οι παραμορφώσεις. Συγκεκριμένα, η κορυφή του διαγράμματος κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,2% και 0,25%, ενώ η παραμόρφωση θραύσης κυμαίνεται μεταξύ 0,35% και 0,7%. Τέλος, η τάση θραύσης κυμαίνεται από 0,7 έως 1,25 φορές το f_{cm} .



Εικόνα 2.10 Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος σε μονοαξονική θλίψη κατά Ευρωκώδικα 2 Πηγή : https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CIV1534/%CE%86%CE%BB%CE%BB%CE%B1%20%CE%B2%CE%BF%CE%B7%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/BETON%201_FINAL_ALL.pdf

2.10.1.3 Συστολή ξήρανσης και ερπυσμός

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους είναι σημαντικό να εξετάζουμε τη συστολή ξήρανσης και τον ερπυσμό, καθώς και τη χαλάρωση των τάσεων. Καταρχάς, αυτά τα φαινόμενα προκύπτουν από την ίδια φάση του υλικού, που είναι η ενυδατωμένη πάστα τσιμέντου. Δεύτερον, οι καμπύλες παραμόρφωσης που περιγράφουν αυτά τα φαινόμενα είναι πολύ παρόμοιες. Τρίτον, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συστολή επηρεάζουν επίσης τον ερπυσμό με παρόμοιο τρόπο. Τέταρτον, στο

σκυρόδεμα, η ανηγμένη παραμόρφωση είναι σημαντική και δεν μπορεί να αγνοηθεί κατά τον σχεδιασμό κατασκευών. Και, πέμπτον, τα δύο αυτά φαινόμενα είναι μερικώς αντιστρεπτά, πράγμα που τους δίνει ακόμα περισσότερη σημασία στον μελέτη και τον σχεδιασμό.

2.10.1.4 Θερμική συστολή

Γενικά, τα στερεά υλικά συρρικνώνονται αφού θερμανθούν και συστέλλονται όταν ψύχονται. Η δύναμη που συνοδεύει αυτή την αλλαγή στη θερμοκρασία εξαρτάται από το πόσο επηρεάζεται το υλικό και πόσο μεγάλη είναι η αλλαγή στη θερμοκρασία. Συνήθως, στις κανονικές κατασκευές από σκυρόδεμα, δεν παρατηρούνται σημαντικές επιπτώσεις από τις αλλαγές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, εκτός αν εκτίθενται σε ακραίες κλιματικές συνθήκες. Ωστόσο, σε μαζικές κατασκευές, η θερμότητα που παράγεται από την διαδικασία σκυροδέτησης μαζί με τις δυσμενείς συνθήκες θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει σε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος σε λίγες μόνο μέρες μετά την σκυροδέτηση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές στο σκυρόδεμα. Ιδιαίτερα σε υλικά χαμηλής ελαστικής αντοχής όπως το σκυρόδεμα, η παραμόρφωση λόγω συστολής λόγω ψύξης είναι σημαντικότερη από τη συστολή που προκαλείται από τη θερμότητα κατά την ενυδάτωση του τσιμέντου. Το παραπάνω φαινόμενο συμβαίνει επειδή, ανάλογα με την ελαστικότητα του υλικού, η αντίσταση στη συστολή και χαλάρωση των τάσεων λόγω ψύξης μπορεί να φτάσει σε επίπεδο που να προκαλέσει ρωγμές.

2.10.1.5 Ανθεκτικότητα

Ενώ το σκυρόδεμα που παρασκευάζεται και διατηρείται σωστά μπορεί να είναι ανθεκτικό σε πολλές φυσικές και βιομηχανικές συνθήκες, συχνά παρατηρούνται περιπτώσεις πρόωρης φθοράς σε κατασκευές από σκυρόδεμα. Αυτές οι περιπτώσεις παρέχουν σημαντικά διδάγματα για να ελέγξουμε τους παράγοντες που προκαλούν την έλλειψη ανθεκτικότητας. Συνήθως καθορίζει την ταχύτητα της φθοράς. Φυσικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι η επιφανειακή φθορά, η ρηγμάτωση λόγω της δημιουργίας κρυστάλλων αλάτων μέσα στους μικρούς πόρους του ή λόγω της έκθεσής του σε ακραίες θερμοκρασίες, όπως όταν παγώνει ή όταν εκτίθεται σε πυρκαγιά. Ο χρόνος ζωής μιας κατασκευής θεωρείται συνώνυμος της ανθεκτικότητάς της. Ανθεκτικότητα υπό συγκεκριμένες συνθήκες δε

σημαίνει απαραίτητα ανθεκτικότητα υπό άλλες συνθήκες. Ένα ανθεκτικό σκυρόδεμα διατηρεί την ποιότητά του και τη δυνατότητά του να λειτουργεί σωστά όταν εκτίθεται στις συνθήκες για τις οποίες έχει σχεδιαστεί.. Κανένα υλικό, ωστόσο, δεν είναι από τη φύση του ανθεκτικό. Με την πάροδο του χρόνου, εξαιτίας των περιβαλλοντικών παραγόντων, η μικροδομή και συνεπώς, οι ιδιότητές του αλλάζουν. Μια κατασκευή θεωρείται ότι έχει φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής της όταν οι ιδιότητές της, υπό συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας, έχουν υποστεί τόση απόμειωση που η συνέχιση της χρήσης της είναι επικίνδυνη ή ανεπικερδής.

2.10.1.6 Αντίσταση σε παγετό του σκυροδέματος

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος στην ψύξη αναφέρεται στην ικανότητά του να διατηρεί τη στοιχειώδη αντοχή και ενισχυτική του δομική ακεραιότητα όταν εκτίθεται σε χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια της ψύξης, το σκυρόδεμα μπορεί να υφίσταται συστολή, δηλαδή συρρίκνωση, και αυτό μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις ή άλλα προβλήματα. Για να είναι ανθεκτικό στην ψύξη, το σκυρόδεμα πρέπει να έχει κατάλληλη σύνθεση, δομή, πυκνότητα, καθώς και να χρησιμοποιούνται ειδικά πρόσθετα που βελτιώνουν την αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Επίσης, σημαντικός παράγοντας είναι ο ρυθμός ψύξης και η υγρασία του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της ψύξης. Η κατάλληλη σχεδίαση και επιλογή υλικών σε κατασκευές που εκτίθενται σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της ανθεκτικότητάς τους στην ψύξη και την αποφυγή ενδεχόμενων ζημιών.

2.10.1.7 Επίδραση της φωτιάς

Στον σχεδιασμό κτιρίων, λαμβάνεται υπόψη η ανθρώπινη ασφάλεια κατά την πυρκαγιά. Το σκυρόδεμα έχει καλή αντοχή σε αυτήν την πτυχή. Η σύνθεση του σκυροδέματος είναι σημαντική, καθώς τόσο η τσιμέντο πάστα όσο και τα αδρανή υλικά αντιδρούν στη θερμότητα. Η διαπερατότητα, το μέγεθος των στοιχείων και η ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς επηρεάζουν την πίεση που αναπτύσσεται από τα προϊόντα της αντίδρασης των υλικών. Οι πειραματικές δοκιμές πυρκαγιάς έχουν δείξει ότι ο βαθμός μικρο-ρήγματος και, ως εκ τούτου, η αντοχή του σκυροδέματος, επηρεάζονται επίσης από τις συνθήκες των δοκιμών, δηλαδή εάν το δείγμα εξετάζεται υπό θερμότητα και φόρτιση ή μετά από ψύξη σε υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2.10.2 Λόγος του Poisson

Ο λόγος του Poisson αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της παραμόρφωσης ενός υλικού όταν υπόκειται σε εφαρμοσμένη δύναμη και της παραμόρφωσης σε κάθε άλλη κατεύθυνση. Στην ουσία, προσδιορίζει το πόσο εύκολα ένα υλικό μπορεί να αλλάξει σε σχήμα όταν επιρρίπτεται μια εξωτερική δύναμη.

Στον τομέα των κατασκευών, ο λόγος του Poisson είναι σημαντικός, καθώς χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων των φορτίων σε δομικά συστήματα όπως τουνελ, φράγματα και άλλα. Στο σκυρόδεμα, ο λόγος του Poisson κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 0,15 και 0,20, αλλά δεν υπάρχει σταθερή σχέση με άλλες ιδιότητες του υλικού, όπως τη σχέση νερού/τσιμέντου, τον χρόνο συντήρησης και τη διαβάθμιση των αδρανών υλικών. Το σκυρόδεμα με υψηλή αντοχή συνήθως έχει χαμηλότερο λόγο του Poisson, ενώ σκυρόδεμα με υψηλή υγρασία ή που υπόκειται σε δυναμικά φορτία έχει υψηλότερο λόγο του Poisson.

2.11 Ποιότητες σκυροδέματος

Η ποιότητα του σκυροδέματος αναφέρεται στην περιγραφή των χαρακτηριστικών και της αντοχής του υλικού σκυροδέματος που χρησιμοποιείται σε μια κατασκευή. Αυτό αντιπροσωπεύει αντοχή του στις διάφορες δυνάμεις, πιέσεις και επιδράσεις που δέχεται κατά τη χρήση του.

2.11.1 Παράγοντες

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα του σκυροδέματος περιλαμβάνουν τα εξής:

- Τα υλικά παρασκευής του σκυροδέματος πρέπει να είναι υψηλής ποιότητας και να έχουν τις απαραίτητες ιδιότητες.
- Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται τα συστατικά, όπως το τσιμέντο και οι αδρανείς ύλες, επηρεάζει την ποιότητα.
- Οι σωστές αναλογίες των συστατικών είναι σημαντικές για την ποιότητα του τελικού προϊόντος.
- Η πυκνότητα του σκυροδέματος επηρεάζει την αντοχή του.
- Η σωστή υγρασία κατά την κατασκευή είναι σημαντική.
- Ο τρόπος με τον οποίο το σκυρόδεμα εφαρμόζεται και επεξεργάζεται επηρεάζει την ποιότητά του.

2.11.2 Παράμετροι

Κατά την αξιολόγηση της ποιότητας του σκυροδέματος, εξετάζονται συνήθως παράμετροι όπως

- Αντοχή σε πίεση: Αυτή είναι η μέγιστη πίεση που το σκυρόδεμα μπορεί να αντέξει χωρίς να υποστεί βλάβη.
- Αντοχή σε τάση: Αναφέρεται στην ικανότητα του σκυροδέματος να αντιστέκεται στο τράβηγμα ή την τάση. Είναι σημαντική για να αποφευχθούν ρωγμές.
- Πυκνότητα: Η συμπίεση των σωματιδίων στο σκυρόδεμα επηρεάζει την αντοχή του σε διαβρώσεις και την επίδραση του περιβάλλοντος.
- Απορροφητικότητα νερού: Αφορά την ικανότητα του σκυροδέματος να απορροφά νερό, πράγμα που επηρεάζει την αντοχή του στην παγίδευση νερού, τα άλατα και το παγωμένο νερό.
- Αντοχή σε φωτιά: Ορισμένα σκυροδέματα έχουν ειδική σύνθεση για να αντέχουν υψηλές θερμοκρασίες και φωτιά.

Η ποιότητα του σκυροδέματος είναι κρίσιμη για την ασφάλεια και την αντοχή των κατασκευών. Κατά τον σχεδιασμό και την εκτέλεση ενός έργου, είναι σημαντικό να επιλεγεί το κατάλληλο σκυρόδεμα που θα ανταποκριθεί στις απαιτήσεις του έργου.

Η σημασία της αντοχής στο σκυρόδεμα εκφράζεται μέσω της ικανότητάς του να αντιμετωπίζει διάφορες επιβαρύνσεις και συνθήκες περιβάλλοντος. Μπορεί να μετρηθεί με ποικίλους τρόπους, αλλά ο πιο συνήθης είναι η θλιπτική αντοχή, που αντιπροσωπεύει τη μέγιστη φόρτιση που μπορεί να αντέξει ένα δείγμα σκυροδέματος προτού αποτύχει. Αυτή η ιδιότητα ελέγχεται συνήθως με κυλινδρικά ή κυβικά δείγματα και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η σύνθεση του υλικού, η ποιότητα, η εργασιμότητα, η πήξη, καθώς και οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας του σκυροδέματος.

Η αντοχή σκυροδέματος χαρακτηρίζεται σε κατηγορίες βάσει της θλιπτικής αντοχής. Το πρώτο νούμερο αναφέρεται στην αντοχή του κυλινδρικού δοκιμίου, ενώ το δεύτερο στην αντοχή του κυβικού δοκιμίου, και μετριέται σε MPa ή τόνους ανά τετραγωνικό μέτρο. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 και το EN 206-1, οι κατηγορίες αντοχής καθορίζονται ως εξής:

Κατηγορία σκυροδέματος	fck Κυλίνδρου (Mpa)	fck Κύβου (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

Πίνακας 2.10. Κατηγορίες αντοχής σκυροδέματος Πηγή : https://www.ggde.gr/dmdocuments/imer1ban_skirodema_elot-en-206-1.pdf

Όπου ο συμβολισμός fck αναφέρεται στη χαρακτηριστική αντοχή σκυροδέματος, που είναι η τιμή της αντοχής σε θλίψη κάτω από την οποία υπάρχει μόνο 5% πιθανότητα να είναι χαμηλότερη από την τιμή αντοχής (f28) ενός τυχαίου δείγματος. Απλούστερα, το Fck αντιπροσωπεύει την αντοχή που μπορεί να περιμένουμε από το σκυρόδεμα, με μια προστατευτική πτυχή που λαμβάνει υπόψη τυχόν ατυχή γεγονότα ή αποκλίσεις στην αντοχή.

2.11.3 Εφαρμογές

Ποιες οι εφαρμογές των διαφορετικών ποιοτήτων σκυροδέματος

- Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής (High-Strength Concrete): Αυτή η ποιότητα σκυροδέματος χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν υψηλή αντοχή, όπως γέφυρες, πολυώροφα κτίρια, πυργογραμμές και ειδικές κατασκευές που αντιμετωπίζουν υψηλά φορτία ή δυνάμεις.
- Σκυρόδεμα χαμηλής αντοχής (Low-Strength Concrete): Αυτή η ποιότητα σκυροδέματος χρησιμοποιείται για εφαρμογές που δεν απαιτούν υψηλή αντοχή, όπως μη φορτοστατούντες τοίχοι, θερμομονωτικά υλικά και γενικές κατασκευές με μικρότερο φορτίο.
- Σκυρόδεμα ανθεκτικό στη φωτιά (Fire-Resistant Concrete): Αυτή η ποιότητα σκυροδέματος χρησιμοποιείται για κατασκευές που αντιμετωπίζουν υψηλές θερμοκρασίες, όπως σταθμοί παραγωγής ενέργειας, τούνελ, πυροσταθμοί και βιομηχανικά κτίρια.

2.12 Πως επηρεάζεται η αντοχή

Κάποιοι από του παράγοντες που επηρεάζουν την αντοχή συνδέονται με τις πρώτες ύλες του σκυροδέματος όπως περιγράφονται παρακάτω :

2.12.1 Τύπο τσιμέντου

Ο τύπος του τσιμέντου είναι κρίσιμος, καθώς επηρεάζει την ενυδάτωση, κατά συνέπεια, το πόρωδες και την αντοχή του υλικού. Κατά τις συνηθισμένες θερμοκρασίες, το τσιμέντο Portland τύπου III, που έχει υψηλή λεπτότητα άλεσης, ενυδατώνεται ταχύτερα σε σύγκριση με άλλους τύπους. Συνεπώς, σε πρώιμα στάδια ενυδάτωσης, όπως στις πρώτες 1, 3 και 7 ημέρες, και για συγκεκριμένη αναλογία νερού προς τσιμέντο, το σκυρόδεμα που περιέχει τύπο III Portland θα έχει λιγότερο πόρωδες και, αντίστοιχα, υψηλότερη αντοχή.

2.12.2 Αδρανή

Η αντοχή του αδρανούς συχνά υπερβαίνει την αντοχή του τσιμεντοπολτού και της επιφανειακής ζώνης. Επομένως, οι ιδιότητες των αδρανών, όπως το σχήμα, το μέγεθος, η τραχύτητα της επιφάνειας και η διαβάθμιση, επηρεάζουν την αντοχή του σκυροδέματος. Ωστόσο, παράγοντες όπως η αστοχία σκυροδέματος καθορίζονται κυρίως από τις φάσεις του τσιμεντοπολτού και της επιφάνειας.

Έχει παρατηρηθεί ότι οι αλλαγές στο μέγιστο μέγεθος κόκκων έχουν αντιστρόφως ανάλογη αποτελεσματικότητα στην αντοχή του σκυροδέματος. Για παράδειγμα, μείγματα με μεγαλύτερους κόκκους απαιτούν λιγότερο νερό για την ίδια εργασιμότητα σε σύγκριση με αντίστοιχα με μικρότερους κόκκους. Επιπλέον, αναμιγνύονται με καλύτερη συνάφεια μεταξύ αδρανών και τσιμεντόπαστας, αλλά αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ασθενέστερη επιφανειακή ζώνη με περισσότερες μικρορωγμές. Παρατηρείται ότι όταν ένα μίγμα σκυροδέματος περιέχει αδρανείς ύλες με τραχύς επιφάνειες ή θραυστά υλικά, τότε το σκυρόδεμα αυτό εμφανίζει κάπως υψηλότερη αντοχή σε πρώιμες ηλικίες σε σύγκριση με το αντίθετο σκυρόδεμα που περιέχει αδρανείς ύλες με λεία επιφάνεια από φυσική φθορά, παρά το γεγονός ότι οι αδρανείς αυτές έχουν την ίδια ορυκτολογική σύσταση. Η υψηλότερη αντοχή φαίνεται να οφείλεται στην έντονη αλληλεπίδραση μεταξύ των αδρανών υλικών και της τσιμεντόπαστας.

Σε ένα καλά διαβαθμισμένο αδρανές, με γνώμονα την ορυκτολογική σύσταση, η προσθήκη μεγαλύτερων κόκκων σε μείγματα σκυροδέματος μπορεί να παρουσιάζει αντίφαση στην αντοχή του. Συγκεκριμένα, με το ίδιο ποσό τσιμέντου και την ίδια

εργασιμότητα, τα μίγματα με μεγαλύτερους κόκκους απαιτούν λιγότερο νερό σε σύγκριση με αυτά που περιέχουν μικρότερους κόκκους.

2.12.3 Νερό ανάμιξης

Σπάνια, η ποιότητα του νερού που χρησιμοποιείται για το ανάμιγμα επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος. Παρόλα αυτά, υπάρχουν επιβλαβείς ουσίες στο νερό που μπορεί να μειώσουν την αντοχή του. Επιπλέον, το νερό που περιέχει αστικά ή βιομηχανικά λύματα, ή παρουσιάζει ίχνη ζάχαρης, οξέα, οργανικές ουσίες, λάδια και λίπη, πρέπει να αποφεύγεται, καθώς μπορεί να προκαλέσει αναστολή της πήξης, να εμποδίσει την πρόσφυση των αδρανών υλικών και του τσιμεντοπολτού και να έχει άλλες ανεπιθύμητες επιπτώσεις. Επίσης, το θαλασσινό νερό μπορεί να προκαλέσει διάβρωση του χάλυβα σε οπλισμένο σκυρόδεμα. Σε περίπτωση χρήσης θαλασσινού νερού, η αντοχή πρέπει να αυξηθεί κατά 15%, σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος. Κατά γενική συμφωνία, το πόσιμο νερό είναι κατάλληλο για χρήση.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αντοχή του σκυροδέματος είναι ο λόγος νερού προς το τσιμέντο (N/T). Πειραματικές δοκιμές έχουν δείξει ότι όσο αυξάνεται ο λόγος νερού προς το τσιμέντο, τόσο μειώνονται οι αντοχές του. Στη θεωρία, για να εξασφαλίσουμε ότι όλα τα συστατικά του κλίνκερ είναι εντελώς ενυδατωμένα, απαιτείται να υπάρχει περίπου 0,23 μονάδες νερού για κάθε μονάδα τσιμέντο. Πρακτικά, όταν δεν χρησιμοποιούνται ρευστοποιητές, χρειάζεται περισσότερο νερό. Επομένως, ο συνήθης λόγος νερού προς τσιμέντο είναι μεγαλύτερος ή ίσος του 0,50. Επιβλαβείς προσμίξεις στο νερό κατά την ανάμιξη, όταν παρουσιάζονται σε υψηλά ποσοστά, μπορεί να επηρεάσουν όχι μόνο την αντοχή του σκυροδέματος, αλλά και το χρόνο πήξης, την εξάνθηση (που αφορά τις αποθέσεις λευκών αλάτων στην επιφάνεια του σκυροδέματος), και τη διάβρωση του χάλυβα σε οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα. Γενικά, το νερό ανάμιξης σπανίως ασκεί επίδραση στην αντοχή του σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει διότι πολλές προδιαγραφές για την παραγωγή σκυροδέματος απαιτούν το νερό να είναι υψηλής ποιότητας, αντίστοιχη με το πόσιμο, και το νερό των αστικών δικτύων ύδρευσης περιέχει συνήθως διαλυμένα στερεά σωματίδια. Συνήθως, το μη πόσιμο νερό μπορεί να μην είναι απαραίτητα ακατάλληλο για την παραγωγή σκυροδέματος.

2.12.4 Πρόσμικτα

Η αρνητική επίδραση των αερακτικών στην αντοχή του σκυροδέματος οφείλεται στην ικανότητά τους να μειώνουν την ανάγκη για νερό σε ένα μείγμα σκυροδέματος, επιτρέποντας ταυτόχρονα τόσο τη βελτίωση της αντοχής στα πρώιμα στάδια όσο και στο τελικό στάδιο. Υπό συγκεκριμένες συνθήκες νερού προς τσιμέντο, η παρουσία τους στο σκυρόδεμα συνήθως συνδέεται με θετική επίδραση στον ρυθμό ενυδάτωσης του τσιμέντου και την ενίσχυση της αντοχής. Οι πρόσμικτες ουσίες, είτε επιβραδύνοντας είτε επιταχύνοντας την ενυδάτωση του τσιμέντου, έχουν σημαντική επίδραση στο ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής ενός μείγματος.

Λόγω περιβαλλοντικών και οικονομικών παραγόντων, η χρήση ποζολάνης, καθώς και άλλων υλικών υδραυλικού χαρακτήρα, γνωστών ως ορυκτά πρόσμικτα, στο σκυρόδεμα αυξάνεται σταδιακά. Όταν αντικαθιστάτε μέρος του τσιμέντου με αυτά, συνήθως παρατηρείται επιβράδυνση στην ανάπτυξη της αντοχής κατά τα πρώιμα στάδια.

2.12.5 ποια είναι τα πρότυπα που ρυθμίζουν την παραγωγή και χρήση του σκυροδέματος

Υπάρχουν διάφορα πρότυπα που καθορίζουν τις διαδικασίες παραγωγής και χρήσης του σκυροδέματος, και αυτά διαφέρουν ανάλογα με τη χώρα και τον τύπο κατασκευής. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα, ισχύει το πρότυπο EN 206-1:2000, το οποίο ορίζει τις απαιτήσεις για τη σύνθεση, την ποιότητα και την απόδοση του σκυροδέματος. Επιπλέον, υπάρχουν εθνικά πρότυπα για τον σχεδιασμό και τον υπολογισμό των δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως το πρότυπο EN 1992-1-1:2004, που αποτελεί μέρος των Ευρωκώδικων. Αυτά τα πρότυπα βασίζονται σε επιστημονικές αρχές και εμπειρικά δεδομένα με σκοπό να εξασφαλίσουν την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και τη βιωσιμότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα.

2.13 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σκυροδέματος

2.13.1 Πλεονεκτήματα

Κάποια σημαντικά πλεονεκτήματα του σκυροδέματος παρουσιάζονται παρακάτω: Καταρχάς, το σκυρόδεμα διακατέχει εξαιρετική ανθεκτικότητα στην επίδραση του νερού. Σε αντίθεση με τα υλικά όπως ο συνηθισμένος χάλυβας και το ξύλο, το σκυρόδεμα διακρίνεται για την ικανότητά του να αντέχει στην επίδραση του νερού

χωρίς να υποστηρίζει σημαντικές βλάβες. Αυτή η ιδιότητα καθιστά το σκυρόδεμα κατάλληλο για την κατασκευή δομών που αναλαμβάνουν, αποθηκεύουν και μεταφέρουν νερό. Ένας ακόμη λόγος που καθιστά το σκυρόδεμα δημοφιλές είναι η ευελιξία που προσφέρει στο να λαμβάνει διάφορα σχήματα και διαστάσεις. Αυτό συμβαίνει λόγω της πλαστικότητας του φρέσκου σκυροδέματος, το οποίο μπορεί να χυθεί σε προκατασκευασμένες μορφές. Όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρύνει, προκατασκευασμένα καλούπια μπορούν να απομακρυνθούν για να επαναχρησιμοποιηθούν.

Τέλος αυτό που εξηγεί τη δημοτικότητα του σκυροδέματος στον τομέα της κατασκευής είναι η συνήθως χαμηλή του τιμή και η άμεση διαθεσιμότητα. Τα βασικά υλικά για την κατασκευή σκυροδέματος, δηλαδή τα χαλίκια, το νερό και το τσιμέντο Portland, είναι σχετικά οικονομικά και ευρέως διαθέσιμα σε πολλές περιοχές. Ανάλογα με το κόστος μεταφοράς των υλικών σε συγκεκριμένες περιοχές, η τιμή του σκυροδέματος μπορεί να διαφέρει, φθάνοντας τα 75 έως 100 € ανά κυβικό μέτρο σε ορισμένες περιπτώσεις, ενώ σε άλλες μπορεί να είναι μόλις 60 έως 70 € ανά κυβικό μέτρο.

2.13.2 Μειονεκτήματα

Το σκυρόδεμα μπορεί να είναι ολισθηρό όταν είναι βρεγμένο ή λερωμένο, που μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο πτώσης ή τραυματισμού. Είναι ευαίσθητο στην υγρασία, που μπορεί να προκαλέσει σκουριά, μύκητες, σχισμές ή αποχρωματισμό. Είναι περιβαλλοντικά αμφιλεγόμενο, καθώς η παραγωγή του τσιμέντου εκπέμπει μεγάλες ποσότητες CO₂ και απαιτεί πολλή ενέργεια. Τέλος, το σκυρόδεμα δυσχεραίνει τη διάχυση του νερού και μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη βιοποικιλότητα και τη θέρμανση του πλανήτη.

2.14 Μείωση περιβαλλοντικής επίδρασης σκυροδέματος

Το σκυρόδεμα, που κάποτε χρησίμευε σημαντικά ως δομικό υλικό, έχει διατηρήσει την χρησιμότητά του και προβλέπεται με βεβαιότητα ότι θα παραμείνει αναπόσπαστο μέρος των κατασκευών και στο μέλλον. Παρόλα αυτά, πρόσφατες έρευνες εκφράζουν ανησυχία ότι, κατά την επιλογή υλικών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιβαλλοντικές πτυχές. Η εφαρμογή αρχών της τεχνολογίας υλικών στην παραγωγή σκυροδέματος προσφέρει ελπίδα ότι τα μελλοντικά σκυροδέματα για γενικές κατασκευές θα είναι σημαντικά βελτιωμένα όσον αφορά την ανθεκτικότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα σε σύγκριση με τα σημερινά. Η αλλαγή είναι

αναπόφευκτη, αλλά η ταχύτητα αυτής της αλλαγής συχνά δημιουργεί προβλήματα. Αυτό προκαλείται από παράγοντες όπως η αύξηση του πληθυσμού, η αστικοποίηση, οι τεχνολογικές επιλογές και οι επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, που αναμφισβήτητα διαμορφώνουν τον σημερινό κόσμο.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να μειωθεί η περιβαλλοντική επίδραση του σκυροδέματος, όπως:

- Να χρησιμοποιούνται βιομηχανικά παραπροϊόντα, όπως στάχτες ή ασβεστόλιθος, για να αντικατασταθεί ένα μέρος του τσιμέντου ή των αδρανών συστατικών. Αυτό μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας, την εκπομπή CO₂ και την παραγωγή αποβλήτων.
- Να εφαρμόζονται σφραγίσματα ή επιστρώσεις στην επιφάνεια του σκυροδέματος για να προστατευτεί το υλικό από τη διάβρωση, την υγρασία και τους ρύπους. Αυτό μπορεί να παρατείνει τη διάρκεια ζωής και να βελτιώσει την αισθητική του σκυροδέματος.
- Να επιλέγεται χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλή υγρασία για τη διάθλαση και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος. Αυτό μπορεί να μειώσει τη συστολή, τη δόμηση και τη δυνάμωση του σκυροδέματος.
- Να αξιοποιούνται υφιστάμενοι ή ανακυκλωμένοι πόροι, όπως συνθλίψεις σκυροδέματος, γυάλινα χονδρόκοκκα ή λάσπη από εξόρυξη. Αυτό μπορεί να μειώσει τη χρήση νέων υλών και να εξοικονομήσει ενέργεια και χώρο.

Στην παρούσα διπλωματική εξετάζεται κυρίως ο τελευταίος από τους προαναφερόμενους τρόπους. Για να ακολουθήσουμε μια ολιστική προσέγγιση για την αειφόρο βιομηχανική ανάπτυξη, πρέπει να εφαρμόσουμε τη βιομηχανική οικολογία. Με άλλα λόγια, η εφαρμογή της βιομηχανικής οικολογίας σημαίνει ότι τα απόβλητα που παράγει μια βιομηχανία ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες σε άλλες βιομηχανίες. Με αυτόν τον τρόπο, μειώνονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, προωθώντας την αειφορία και στις δύο πτυχές. Στην επόμενη ενότητα θα αναλυθεί η διαδικασία της ανακύκλωσης και η επεξεργασία των ανακυκλωμένων προϊόντων προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στο σκυροδέμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο Ανακυκλώσιμη ύλη



Εικόνα 3.1. , Πηγή: <https://www.ny-engineers.com/blog/recycling-construction-materials>

Κατά την δεκαετία του 1980, η πρακτική της ανακύκλωσης απέκτησε σημαντικότερο ρόλο από το απλό γεγονός να αποτελεί μια εναλλακτική λύση για την επεξεργασία των στερεών αποβλήτων. Η προσπάθεια για μείωση της παραγωγής αποβλήτων από την πηγή τους και η ανακύκλωση έγιναν οι δύο κυρίαρχες και πιο αποδεκτές πρακτικές σε σχέση με τη διαχείριση τους. Ωστόσο, η αποδοχή αυτής της προσέγγισης, που εστιάζει αποκλειστικά στην ανακύκλωση, μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα. Η υπερβολική έμφαση στην ανακύκλωση μπορεί να δημιουργήσει υπέρμετρο φορτίο σε αυτήν τη διαδικασία, με τυχόν υψηλό κόστος ή περαιτέρω ρύπανση των ποιοτικά ανώτερων προϊόντων. Όπως και η μέθοδος της υγειονομικής ταφής θεωρήθηκε ως η απόλυτη λύση για τη διάθεση των αποβλήτων κατά τον προηγούμενο αιώνα και αργότερα αμφισβητήθηκε, η υπερβολική αισιοδοξία σχετικά με την ανακύκλωση θα πρέπει να εξισορροπηθεί με μια ρεαλιστική αξιολόγηση.

Η ανακύκλωση αφορά τη διαδικασία όπου ανανεώνονται και επαναχρησιμοποιούνται διάφορα υλικά ή οτιδήποτε προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, που πλέον δεν θεωρούνται πολύτιμα για τον άνθρωπο. Ενώ θα αναφερθούν παρακάτω πιο αναλυτικά πλεονεκτήματα της μεθόδου κάποια από αυτά είναι ότι μειώνεται η ανάγκη για πρώτες ύλες και ενέργεια, καθώς και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η ανακύκλωση βοηθά στη μείωση του όγκου απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους απόρριψης, ενώ δημιουργούνται και νέες θέσεις εργασίας. Η πρακτική της ανακύκλωσης συμβάλλει στη βελτίωση του περιβάλλοντος και της οικονομίας.

Σε γενικές γραμμές για να πραγματοποιήσουμε αποτελεσματική ανακύκλωση, απαιτείται η διαχωρισμένη συλλογή των αποβλήτων ανάλογα με το είδος τους (π.χ.

γυαλί, χαρτί, μέταλλο, πλαστικό) και η απόθεσή τους σε ειδικούς κάδους ανακύκλωσης που βρίσκονται διάσπαρτοι σε πολλά σημεία της περιοχής μας. Επιπλέον, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα βιοδιασπώμενα απόβλητα (όπως φλούδες φρούτων, λάχανων κ.λπ.) για να δημιουργήσουμε λίπασμα για τους κήπους μας.

3.1 Τύποι ανακύκλωσης

- Μηχανική ανακύκλωση

Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των υλικών προς ανακύκλωση, τα οποία υποβάλλονται σε επεξεργασία με βιομηχανικά μηχανήματα για να δημιουργηθεί νέο προϊόν. Αυτή η μέθοδος είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στην ανακύκλωση πλαστικών και εφαρμόζεται σε αστικές περιοχές. Χρησιμοποιείται για να επεξεργαστεί το υλικό που προέρχεται από βιομηχανικές διεργασίες, είτε είναι καθαρό είτε ομοιογενές, και μπορεί να συνδυαστεί με άλλα απόβλητα όπως χαρτί, χαρτόνι ή μέταλλο.

- Χημική Ανακύκλωση

Στην χημική ανακύκλωση, το υλικό που ανακυκλώνεται υποβάλλεται σε αλλαγή στην χημική του δομή. Αυτή η διαδικασία μπορεί να συνεπάγεται τη μετάβαση από στερεή σε υγρή κατάσταση μέσω ειδικών μηχανισμών. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στην ανακύκλωση πλαστικών και αλουμινίου, ενώ επίσης συχνά εφαρμόζεται στις πετροχημικές βιομηχανίες. Αυτός ο τρόπος ανακύκλωσης είναι κατάλληλος για υλικά που απορρίπτονται από τις παραπάνω βιομηχανίες και θα μπορούσαν να επαναχρησιμοποιηθούν.

- Ανακύκλωση Ενέργειας

Η ανακύκλωση της ενεργειακής πηγής που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας είναι ένα σημαντικό ζήτημα για κάθε χώρα, καθώς αυτό οδηγεί σε οικονομία σε αυτήν την πηγή υλικού. Αυτή η κατηγορία υλικού είναι συνήθως πολύ κοστοβόρα. Μπορεί να βρεθεί στα οργανικά και ανόργανα απόβλητα. Ορισμένες χώρες που έχουν την τεχνολογία να πραγματοποιήσουν ανακύκλωση αυτού του είδους υλικού, επιδεικνύουν σημαντική πρόοδο στον τομέα της ενέργειας. Μπορούμε επίσης να αναφερθούμε στην ανακύκλωση ενέργειας σε σχέση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιείται σε βιομηχανίες και νοικοκυριά. Ωστόσο, ένα αρνητικό παράδειγμα είναι ότι αυτή η μέθοδος ανακύκλωσης ενέργειας συχνά συνδέεται με ατμοσφαιρική ρύπανση. Για την

υλοποίηση αυτής της διαδικασίας, τα υλικά που πρόκειται να ανακυκλωθούν καίγονται στην ύπαιθρο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή ατμού και αερίων που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα, προκαλώντας επιτάχυνση των καρκινικών κυττάρων.

- Ανακύκλωση μέσω Βιολογικών Διαδικασιών

Όταν οι οργανικές ουσίες διασπώνται, η βιολογική ανακύκλωση περιλαμβάνει όλες τις μορφές ανακύκλωσης, με το κοινό στόχο να ανακατασκευαστούν χρήσιμα προϊόντα από υλικά που έχουν υποστεί φθορά. Σε αυτήν την περίπτωση, η βασική ιδέα είναι να χρησιμοποιηθούν τα συστατικά των οργανικών υλικών για να δημιουργηθεί καινούργιο υλικό, εκμεταλλευόμενοι διάφορες διαδικασίες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτή η διαδικασία μπορεί να λάβει χώρα είτε με την παρουσία οξυγόνου είτε χωρίς αυτό.

3.2 Οφέλη ανακύκλωσης

Τα πλεονεκτήματα της ανακύκλωσης είναι πολλά και πρέπει να τα αντιληφθούμε σοβαρά. Κάποια από τα κυριότερα περιλαμβάνουν:

- Ελάττωση του όγκου των χώρων υγειονομικής ταφής καθώς αν δεν έχουν την κατάλληλη διαχείριση, οι χωματερές μπορεί να προκαλέσουν ρύπανση .
- Συνδρομή στην προστασία και διατήρηση των φυσικών πόρων. Η ανακύκλωση κάνει τα σκουπίδια αυτά να μπορούν να χρησιμοποιούνται ξανά και ξανά, χωρίς να απαιτείται η εξόρυξη νέων πόρων. Ορισμένες βιομηχανίες στηρίζουν πρωτοβουλίες όπου μπορούν να αξιοποιήσουν μεγάλες ποσότητες υλικού που μπορεί να ανακυκλωθεί για να δημιουργήσουν νέα προϊόντα.
- Ενώ μπορεί να θεωρείται ευρέως ότι η ανακύκλωση είναι κάτι που αφορά μόνο τον καθένα ξεχωριστά να φροντίζει δηλαδή για τα δικά του απορρίμματα, στην πραγματικότητα, η ανακύκλωση αποτελεί έναν σημαντικό κλάδο οικονομικής δραστηριότητας. Μετά από τον αρχικό διαχωρισμό και συλλογή των απορριμμάτων, αυτά πρέπει να τοποθετηθούν σε σωστές κατηγορίες και να διαβιβαστούν στις κατάλληλες τοποθεσίες για να υποστούν επεξεργασία περνώντας από τα χέρια πολλών εργαζομένων. Επομένως, ένα από τα πιο σημαντικά θετικά στοιχεία της ανακύκλωσης είναι ότι δημιουργεί περισσότερες δυνατότητες εύρεσης εργασίας. Πολλές φορές, κυβερνήσεις εφαρμόζουν πολιτικές που προσφέρουν οικονομικά κίνητρα σε αυτούς που ασχολούνται με την ανακύκλωση.

- Όταν ανακυκλώνονται προϊόντα, αποτελούν μέρος της προσπάθειας για την εξοικονόμηση ενέργειας, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα να μειώνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά προκαλούν κυρίως την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, με συνέπεια την υπερθέρμανση του. Η ανακύκλωση συμβάλλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της ρύπανσης των υδάτων, μειώνοντας τον αριθμό των εκπομπών ρύπων που εισέρχονται στο περιβάλλον.

3.3 Κατηγορίες ανακυκλωμένων υλικών

Οι πιο διαδεδομένες κατηγορίες είναι μερικές από αυτές

- Χαρτόνι: βιβλία, εκτυπώσεις, εφημερίδες, περιοδικά, χαρτοσακούλες, φύλλα χαρτιού A4
- Γυαλί: βαζάκια τροφίμων, μπουκάλια ποτών.
- Μέταλλο: δοχεία λαδιού, φέτας κλπ., αλουμινένια μπουκαλάκια μπύρας, αναψυκτικών κλπ., γάλα σε εβαπορέ, διάφορες κονσέρβες.
- Πλαστικό: δοχεία για γιαούρτι, βούτυρο κλπ., μπουκάλια νερού, αναψυκτικών, σαμπουάν, γάλα, πλαστικά τάπερ, θήκες CD/DVD, πλαστικές σακούλες.
- Βιοαπόβλητα : οργανικά υλικά από την κουζίνα, τον κήπο κλπ.
- Απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού: ψυγεία, τηλεοράσεις, φθορισμού λαμπτήρες, πλυντήρια ρούχων, φωτοβολταϊκά πάνελ κλπ.
- Απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις

3.4 Κατάσταση στην Ελλάδα

Η διαδικασία ανακύκλωσης στην Ελλάδα, με βάση τα δεδομένα του 2018

Σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα, φαίνεται ότι το 2018 η Ελλάδα πληροί τους Ευρωπαϊκούς στόχους όσον αφορά την ανακύκλωση και ανάκτηση των αποβλήτων συσκευασίας, εκτός από τις γυάλινες συσκευασίες. Τα γυάλινα υλικά αποτελούν το κύριο ζήτημα στον τομέα της ανακύκλωσης συσκευασιών. Γι' αυτόν τον λόγο, δίνεται ιδιαίτερη σημασία στην ξεχωριστή συλλογή των γυάλινων συσκευασιών. Ωστόσο, μέχρι στιγμής, αυτή η προσέγγιση δεν έχει πετύχει τα αναμενόμενα αποτελέσματα σε σύγκριση με τον ισχύοντα Ευρωπαϊκό στόχο, καθώς και τον στόχο του Εθνικού Σχεδιασμού Διαχείρισης Αποβλήτων (ΕΣΔΑ) για το 2020, που ήταν το 70%.

ΥΛΙΚΑ	Παραγόμενα απόβλητα συσκευασίας	Ανακύκλωση υλικών	Άλλες μορφές ανακύκλωσης	% Ανακύκλωση	
				Στόχος	Επίδοση
Γυαλί	104.400	34.390	0	60	32,9
Πλαστικό	202.100	80.420	0	22,5	39,8
Χαρτί & Χαρτόνι	356.700	326.280	0	60	91,5
Μέταλλα	Αλουμίνιο	21.900	7.570		34,6
	Χάλυβας	66.100	55.520	0	84
	Σύνολο	88.000	63.090	0	50
Ξύλο	57.500	2.800	11.080	15	24
Άλλα	6.000	0	0		0
Σύνολο	814.700	506.980	11.080	55	64

Πίνακας 3.1 Στατιστικά ανακύκλωσης προϊόντων συσκευασίας Πηγή : https://www.eoan.gr/wp-content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91-%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3%7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf

Απόβλητα εκσκαφών , κατασκευών και κατεδαφίσεων

Έτος	Εισερχόμενα ΑΕΚΚ (τόνοι)			Εξερχόμενες ποσότητες (τόνοι)
	Απόβλητα εκσκαφών	Απόβλητα κατασκευών κατεδαφίσεων	Σύνολο ΑΕΚΚ	Ανακύκλωση
2016	335.655	193.429	529.084	128.815
2017	556.065	434.390	990.455	196.925
2018	1.693.887	1.160.304	2.854.191	599.755

Πίνακας 3.2 Εξερχόμενες ποσότητες ΑΕΚΚ Πηγή : https://www.eoan.gr/wp-content/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3%7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf

Σύμφωνα με τα δεδομένα που επικοινωνήθηκαν από το ΥΠΕΝ, η ανακύκλωση για τα ΑΕΚΚ ήταν 17,3% το 2016 και 49,7% το 2017, υστερώντας σε σχέση με τους Ευρωπαϊκούς στόχους του 50% μέχρι τις 1.1.2015 και 70% μέχρι το 2020.

Έτος	2016	2017	2018
Συλλεχθείσες ποσότητες (τόνοι)	36.308	38.538	41.598
Ανακύκλωση (τόνοι)	18.818	21.111	27.094
Στοχος ανακύκλωσης (10%)	45%	50%	59%

Πίνακας 3.3 Στατιστικά ανακύκλωσης ελαστικών αυτοκινήτου Πηγή : https://www.eoan.gr/wpcontent/uploads/2020/10/%CE%A3%CE%A4%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%91%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%CE%A3%7%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1_20200924_WHITE_PAPER.pdf

Με βάση αυτά τα στοιχεία, ο στόχος για ανακύκλωση τουλάχιστον 10% ανακυκλωμένου υλικού έχει επιτευχθεί και ξεπεραστεί,

3.5 Κατάσταση στην Ευρώπη

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ως στόχο να αποτρέψει τη δημιουργία αποβλήτων και να προωθήσει την επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων όσο το δυνατόν περισσότερο. Σε περιπτώσεις που αυτό δεν είναι εφικτό, συνιστάται η εφαρμογή της ανακύκλωσης, περιλαμβανομένης της κομποστοποίησης, μαζί με τη μετατροπή των αποβλήτων σε πηγές ενέργειας. Η επιλογή που προκαλεί τα μεγαλύτερα προβλήματα όσον αφορά την υγεία των ανθρώπων και την προστασία του περιβάλλοντος είναι η απλή απόρριψη των αποβλήτων, όπως μέσω της υγειονομικής ταφής, αν και αυτή συνήθως αποτελεί μια από τις πιο οικονομικές επιλογές. Σύμφωνα με τα δεδομένα κατά το έτος 2017, το 46% των αποβλήτων που προέρχονται από αστικές περιοχές στην ΕΕ υποβάλλεται σε διαδικασίες ανακύκλωσης ή μετατροπής σε κομπόστ. Ωστόσο, ο τρόπος με τον οποίο διαχειρίζονται τα απόβλητα διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στις χώρες που είναι μέλη της ΕΕ, καθώς πολλές χώρες εξακολουθούν να επικεντρώνονται κυρίως στην υγειονομική ταφή των δημοτικών αποβλήτων.

Οι χώρες της βορειοδυτικής Ευρώπης σχεδόν αποφεύγουν την χρήση της υγειονομικής ταφής για τον τελικό χειρισμό των αποβλήτων τους. Αντίθετα, ευρέως εφαρμόζουν την αποτέφρωση, συνδυασμένη με την ανακύκλωση, ως την πρωτοκλασάτη μέθοδο διαχείρισης. Ειδικά η Γερμανία και η Αυστρία ξεχωρίζουν για τα εξαιρετικά υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης στην ΕΕ.

3.6 Ανακυκλωμένα αδρανή

Σήμερα υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την επεξεργασία των υλικών που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις με σκοπό τη δημιουργία υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων υλικών. Τα υλικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές πρώτες ύλες στην κατασκευή με τεχνικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των φυσικών υλικών. Αυτές τις τεχνολογίες εφαρμόζονται σε διάφορους τύπους εγκαταστάσεων ανάλογα με τις ανάγκες.

Ανεξαρτήτως της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για να είναι αποτελεσματική, μια εγκατάσταση πρέπει να μπορεί να χωρίζει τα υλικά σε διάφορες κατηγορίες ή ομάδες. τρία κύρια κλάσματα: πρώτον, πετρώδη υλικά που μπορούν να

επαναχρησιμοποιηθούν, δεύτερον, ελαφρύ κλάσμα όπως χαρτί, πλαστικό, ξύλο κλπ., και τρίτον, μεταλλικό κλάσμα.

Οι κύριες φάσεις της διαδικασίας επεξεργασίας αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις περιλαμβάνουν, τη θραύση των υλικών για να μειωθεί το μέγεθός τους σε επίπεδα που τα καθιστούν εφάμιλλα για να ξαναχρησιμοποιηθούν, τον διαχωρισμό των θραυσμένων υλικών σε διάφορα μεγέθη και τον διαχωρισμό για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων υλικών με βάση τις διαφορετικές ιδιότητές τους, όπως τις μαγνητικές ιδιότητες και το ειδικό βάρος.



Εικόνα 3.2 ανακυκλωμένα αδρανή Πηγή : https://www.researchgate.net/figure/Typical-recycled-aggregates_fig2_351999910

3.7 Χρήσεις ανακυκλωμένων υλικών στις κατασκευές

Υπάρχουν πολλά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές και να βοηθήσουν να προστατευτεί το περιβάλλον.

Τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν στην κατασκευαστική βιομηχανία:

- Ανακυκλωμένο Σκυρόδεμα: Το σκυρόδεμα από παλιά κτίρια μπορεί να σπάσει και να χρησιμοποιηθεί ξανά για να φτιαχτεί νέο σκυρόδεμα. Αυτό βοηθά στη μείωση της ανάγκης για νέα υλικά και το αποκρίνεται από τους χώρους όπου χάνονταν στην υγειονομική ταφή.
- Ανακυκλωμένος Χάλυβας: Παλιά κτίρια, συσκευές και αυτοκίνητα μπορούν να λιωθούν και να χρησιμοποιηθούν ξανά για να φτιάξουν νέα πράγματα από χάλυβα, μειώνοντας την ανάγκη για νέα εξόρυξη σιδηρομεταλλεύματος.
- Ανακυκλωμένο Γυαλί: Το θρυμματισμένο ανακυκλωμένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες κατασκευές, όπως διακοσμητικά τελειώματα, πάγκους, δάπεδα, αλλά και στην ασφαλτόστρωση.

- Ανακυκλωμένο Πλαστικό: Ορισμένα είδη πλαστικών, όπως μπουκάλια και δοχεία, μπορούν να ανακυκλωθούν και να χρησιμοποιηθούν σε δομικά υλικά, όπως σύνθετη ξυλεία, κεραμίδια οροφής και μόνωση.
- Ανακυκλωμένο Ξύλο: Το ξύλο που περισυλλέγεται από παλιά κτίρια, παλέτες και άλλες πηγές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να φτιαχτούν ανακυκλωμένα ξύλινα δάπεδα, έπιπλα και διακοσμητικά στοιχεία
- Ανακυκλωμένη άσφαλτος: Η ανακυκλωμένη άσφαλτος είναι ένα κοινό υλικό που χρησιμοποιείται στην οδοποιία. Μειώνει την ανάγκη για παρθένα άσφαλτο και ελαχιστοποιεί τα απόβλητα από τη συντήρηση και την ανακατασκευή δρόμων.
- Ιπτάμενη τέφρα: Η ιπτάμενη τέφρα είναι ένα υποπροϊόν της πράξης της καύσης άνθρακα σε υποδομές που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματικό τσιμεντοειδές υλικό στην παραγωγή σκυροδέματος, μειώνοντας την ανάγκη για τσιμέντο και μειώνοντας τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
- Ανακυκλωμένα αδρανή: Εκτός από το σκυρόδεμα, άλλα δομικά υλικά όπως τούβλα, κεραμίδια και άσφαλτος μπορούν να θρυμματιστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν ως αδρανή υλικά σε νέα κατασκευαστικά έργα.
- Ανακυκλωμένα υλικά στέγης: Παλαιά υλικά στέγης, όπως τα κεραμίδια ασφάλτου, μπορούν να επεξεργαστούν και να επαναχρησιμοποιηθούν σε νέα προϊόντα στέγης.
- Ανακυκλωμένα υλικά μόνωσης: Υλικά όπως ανακυκλωμένο τζιν, κυτταρίνη και υαλοβάμβακας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μόνωση, μειώνοντας την ανάγκη για νέες πρώτες ύλες.
- Ανακυκλωμένο καουτσούκ: Το ανακυκλωμένο καουτσούκ μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές, όπως δάπεδα, στέγες και οδοποιία, συμβάλλοντας στη μείωση της ζήτησης για νέα προϊόντα καουτσούκ.
- Ανακυκλωμένα αγροτικά απόβλητα: Υλικά όπως φλούδες ρυζιού, άχυρο και κελύφη καρύδας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία οικολογικών οικοδομικών υλικών, όπως μοριοσανίδες, μονώσεις και διακοσμητικά πάνελ.
- Ανακυκλωμένος χάλυβας οπλισμού: Το παλιοσίδηρο χάλυβα μπορεί να επανεπεξεργαστεί και να χρησιμοποιηθεί ως οπλισμός σε κατασκευές από σκυρόδεμα, μειώνοντας την ανάγκη για παραγωγή νέου χάλυβα.

- Ανακυκλωμένο αλουμίνιο: Το ανακυκλωμένο αλουμίνιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, στέγες και δομικά στοιχεία, μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με την παραγωγή νέου αλουμινίου.

3.8 Συστήματα ανακύκλωσης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων

Ωστόσο, η διαχείριση αυτών των υλικών είναι ακόμα περιορισμένη και δεν υπάρχει μια καλά δομημένη και συντονισμένη συλλογή και αξιοποίηση αυτών των αποβλήτων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη διάθεσή τους, δημιουργώντας σημαντικά προβλήματα για το περιβάλλον.

Προς το παρόν, υπάρχουν 12 εγκεκριμένες μονάδες διαχείρισης αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων από τον ΕΟΑΝ ΣΣΕΔ ΑΕΚΚ, με κάλυψη περίπου 90.54% της χώρας.

Παρακάτω εμφανίζεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας από Το Συλλογικά Συστήματα Εναλλακτικής Διαχείρισης και ποσοστών που καλύπτουν στην επικράτεια.

Ε.Ο.ΑΝ. ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ		Γεωγραφική Κάλυψη Διαχείρισης ΑΕΚΚ	
ΣΣΕΔ	12		
Π.Ε που καλύπτονται	67		
Αριθμός Π.Ε. Ελλάδας	74		
Ποσοστό κάλυψης	90,54%		
ΣΣΕΔ	ΚΑΛΥΨΗ ΣΕ Π.Ε.	% κάλυψη Επικράτειας (74 Π.Ε.)	
ΑΝΑΚΕΜ Α.Ε.	60	81,08	
ΑΝ.Α.Β.Ε. Α.Ε.	25	33,78	
Σ.ΑΝ.Κ.Ε. Ε.Π.Ε.	25	33,78	
ΠΕΔΜΕΔΕ ΕΣΟ	23	31,08	
Α.Α.Ν.ΕΛ.	16	21,62	
ΑΝΑΕΚΚ Α.Ε.	9	12,16	
Σ.Ε.Δ.Π.Ε.ΚΑΤ. Α.Ε.	9	12,16	
ΨΑΡΡΑΣ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΕΚΚ ΑΜΚΕ	7	9,46	
ΔΙΑΣ ΣΣΕΔ ΑΕΚΚ	2	2,70	
ΕΣΑΝ ΑΜΚΕ	2	2,70	
Ι. ΚΟΥΦΙΔΗΣ - Ι. ΚΤΕΝΙΔΗΣ & ΣΙΑ Ο.Ε	1	1,35	
ΔΑΝΑΕΚΚ	1	1,35	

Πίνακας 3.4 , Γεωγραφική κάλυψη διαχείρισης ΑΕΚΚ , Πηγή : Διαδικτυακή ημερίδα ΑΝΑΚΕΜ ΑΕ 29.6.2021

Η μείωση των αποβλήτων που προέρχονται από τις δραστηριότητες των εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων, γνωστές και ως ΑΕΚΚ και το πώς αυτά διαχειρίζονται στους χώρους υγειονομικής ταφής αποτελούν ένα σημαντικό ζήτημα. Η πρόκληση είναι να αντιμετωπιστούν διεργασίες που δημιουργούν προβλήματα στην τελική διάθεση, τη χρήση υλικών που δεν μπορούν να τα εκμεταλλευτούμε και πάλι και να τους δώσουμε νέα χρήσιμη ζωή μετά το τέλος της χρήσης τους, καθώς

και τις κατασκευαστικές πρακτικές και μεθόδους κατεδάφισης που οδηγούν στην παραγωγή υπερβολικά πολλών απορριμμάτων.

Η διαχείριση των υλικών που προέρχονται από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις. στη σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα δεν έχει εφαρμοστεί επιτυχώς. Η Ελλάδα έχει την 26η θέση ανάμεσα στις χώρες της λίστας που εφαρμόζουν κυκλική οικονομία, με πολύ χαμηλά ποσοστά ανακύκλωσης. Μόλις το 17% των αποβλήτων ανακυκλώνεται στη χώρα, ενώ ο στόχος ήταν να φτάσει στο 70% μέχρι το 2020. Τα απόβλητα που χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνα εξαιρούνται από αυτήν την υποχρέωση. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί σοβαρά προβλήματα στην ορθή διάθεση των αποβλήτων και εμποδίζει την επίτευξη πιο βιώσιμων πρακτικών για τον περιορισμό των απορριμμάτων που απορρίπτονται σε χώρους απόρριψης υγειονομικών αποβλήτων. ή ανεξέλεγκτους χώρους διάθεσης.

3.9 Αγορά δευτερογενών υλικών

Η αγορά ανακύκλωσης περιλαμβάνει την αγορά δευτερογενών υλικών, δηλαδή υλικών που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί και στη συνέχεια ανακυκλώθηκαν. Για να είναι επικερδής, η ανακύκλωση πρέπει να οδηγεί σε εξοικονόμηση, με τη μείωση των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους όπως οι χώροι υγειονομικής ταφής. Σε αυτήν την αγορά, συμμετέχουν οι παραγωγοί υλικών που υπόκεινται σε ανακύκλωση, οι εταιρίες που αναλαμβάνουν την ανακύκλωση, οι εταιρίες που χρησιμοποιούν αυτά τα υλικά ως πρώτες ύλες και οι καταναλωτές προϊόντων που προέρχονται από ανακυκλωμένα υλικά. Σκοπός αυτής της αγοράς είναι να στηρίξει την οικονομική ανάπτυξη και την προστασία των φυσικών πόρων. Συχνά, η χρήση ανακυκλωμένων υλικών στη βιομηχανία έχει βοηθήσει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και νερού, καθώς και των επιπτώσεων στο περιβάλλον που σχετίζονται με την εξόρυξη φυσικών πόρων.

Χρήση	Μέση κατανάλωση των αδρανών υλικών(τόνοι)/ ανά μονάδα κατασκευής
Αθλητικά στάδια	300.000
Αυτοκινητόδρομοι – 1χλμ	30.000
Σχολεία	3.000
Καινούργιες οικίες	400
Ράγες για τρένα υψηλών ταχυτήτων – 1 μ.	9

Πίνακας 3.5 , Μέση κατανάλωση αδρανών υλικών ανά μονάδα κατασκευής , Πηγή: <https://www.e-archimedes.gr/faq/item/4603->

3.10 Τεχνολογία και εξοπλισμός παραγωγής ανακυκλωμένων υλικών

Σήμερα υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες για την επεξεργασία των υλικών που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις με σκοπό τη δημιουργία υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων υλικών. Τα υλικά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αρχικές πρώτες ύλες στην κατασκευή με τεχνικά χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά των φυσικών υλικών. Αυτές τις τεχνολογίες εφαρμόζονται σε διάφορους τύπους εγκαταστάσεων ανάλογα με τις ανάγκες.

Ανεξαρτήτως της τεχνολογίας που χρησιμοποιείται για να είναι αποτελεσματική, μια εγκατάσταση πρέπει να μπορεί να χωρίζει τα υλικά σε διάφορες κατηγορίες ή ομάδες. Επικρατούν τρία κύρια κλάσματα: πρώτον, πετρώδη υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, δεύτερον, ελαφρύ κλάσμα όπως χαρτί, πλαστικό, ξύλο κλπ., και τρίτον, μεταλλικό κλάσμα.

Οι κύριες φάσεις της διαδικασίας επεξεργασίας αποβλήτων από κατασκευές και κατεδαφίσεις περιλαμβάνουν, τη θραύση των υλικών για να μειωθεί το μέγεθός τους σε επίπεδα που τα καθιστούν εφάμιλλα για να ξαναχρησιμοποιηθούν, τον διαχωρισμό των θραυσμένων υλικών σε διάφορα μεγέθη και τον διαχωρισμό για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων υλικών με βάση τις διαφορετικές ιδιότητές τους, όπως τις μαγνητικές ιδιότητες και το ειδικό βάρος.



Εικόνα 3.3 , μονάδα επεξεργασίας αδρανών υλικών , Πηγή : ANPAR 2008

3.11 Παραδείγματα κατασκευών με χρήση ανακυκλώσιμων υλικών

3.11.1 BedZed



Εικόνα 3.4 , Κτίριο bed zed Πηγή <https://en.wikipedia.org/wiki/BedZED>

Το 15% των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του BedZED είναι υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί ήδη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά. Το 52% των υλικών μεταφέρθηκε από κοντινές περιοχές, χωρίς να προκαλέσει επιπρόσθετη ατμοσφαιρική ρύπανση από τις μεταφορές. Επιπλέον, επιλέχθηκε ξύλο αντί για PVC για τα κουφώματα, με αποτέλεσμα να εξοικονομηθούν 800 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα. Τα σπίτια αυτά είναι ενεργειακά αυτόνομα, χάρη στους διπλούς τοίχους, τα ενισχυμένα πατώματα, τις πράσινες οροφές και την κατάλληλη προσανατολισμό, μειώνοντας τις ανάγκες για θέρμανση κατά 90% σε σύγκριση με συμβατικά σπίτια. Με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, ηλεκτρικών συσκευών χαμηλής κατανάλωσης και οικονομικών λαμπτήρων, η συνολική κατανάλωση ενέργειας μειώθηκε κατά 60% ανά σπίτι. Επιπλέον, εγκαταστάθηκαν συσκευές εξοικονόμησης νερού και δεξαμενές για το συλλογικό βρόχινο και ανακυκλωμένο νερό, μειώνοντας την κατανάλωση κατά 33% σε σύγκριση με συμβατικές κατοικίες. Επιπρόσθετα, η κατανάλωση πετρελαίου είναι σχεδόν μηδενική, καθώς καλύπτεται από ένα σύστημα παραγωγής θερμότητας και ισχύος που χρησιμοποιεί την καύση ξυλείας από τοπικές δεντροκομικές μονάδες. Αυτά τα βιοκαύσιμα με την κατάλληλη τεχνολογία καύσης δεν παράγουν σχεδόν καθόλου διοξείδιο του άνθρακα

3.11.2 Πύργος του Πειραιά



Εικόνα 3.5 , κτίριο Πύργος Πειραιά : https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Peiraias_wiezowiec.jpg

Το έργο ανακαίνισης, με κόστος 100 εκατομμυρίων ευρώ, αποσκοπεί στο να μεταμορφώσει τον μεγάλο Πύργο του Πειραιά, που κυριαρχεί στο αστικό τοπίο από τη δεκαετία του '70, σε ένα από τα πιο περιβαλλοντικά βιώσιμα κτίρια της Ελλάδας. Τα μέτρα περιλαμβάνουν την τοποθέτηση φτερών που απορροφούν την ηλιακή ενέργεια στην πρόσοψη του κτιρίου, τη χρήση θερμικών παραθύρων από ανακυκλωμένο γυαλί, τη διαθεσιμότητα φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων σε κάθε θέση στάθμευσης στο υπόγειο, καθώς και την χρήση αισθητήρων για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος μικροκλίματος με σκοπό την διατήρηση των πράσινων χώρων.

Αυτά είναι μερικά παραδείγματα. Υπάρχει αμέτρητος αριθμός κτιρίων που συμμετέχουν στην προσπάθεια για περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Δεν εφαρμόζουν όλα την ανακύκλωση και άλλες περιβαλλοντικές πρακτικές, αλλά στόχος μας είναι να ξεκινήσουν να τις υιοθετούν κατά τη διάρκεια των εργασιών ανακαίνισης και ανακατασκευής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο : Πειραματική διαδικασία

4.1 Σκυρόδεμα με χρήση αδρανών από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα

4.1.1 Απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων

Γενικώς, τα υλικά που παράγονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις ποικίλουν πολύ και περιλαμβάνουν στοιχεία όπως σκυρόδεμα, τούβλα, ασφαλτικά υλικά, χώμα, χάλυβα, ξύλο και γύψο. Αυτά προέρχονται από διάφορες πηγές, όπως η κατασκευή νέων κτιρίων, δρόμων, γεφυρών, αλλά και από δραστηριότητες όπως η ανακαίνιση, η κατεδάφιση δομών στο τέλος του κύκλου ζωής, καθώς και από φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές. (Brito et al 2018, USEPA, 2016; Arisoy & Sgem, 2016; Woolley, 1994).

Η ανακύκλωση αυτών των δομικών υλικών δεν αποτελεί πάντα την ιδανική λύση στο πλαίσιο μιας καλύτερης βιωσιμότητας. Προτιμότερο είναι να υιοθετηθούν συγκεκριμένες στρατηγικές που μειώνουν τη χρήση πρώτων υλών και αποτρέπουν τη δημιουργία αποβλήτων. Αυτό επιτυγχάνεται με τον επικεντρωμένο σχεδιασμό κτιρίων που παρατείνουν τη διάρκεια ζωής τους, αποτρέποντας έτσι την πρόωρη εγκατάλειψή τους και την ανάγκη για νέα υλικά. Έτσι, μειώνεται η παραγωγή αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων.



Εικόνα 4.1 , Μηχάνημα εκσκαφέα , Πηγή : <https://easyplanthire.com/blog/what-are-the-different-types-of-excavators/>

Οι εταιρείες κατασκευής φέρουν το 20% έως 25% του βάρους των αποβλήτων που παράγονται, με το υπόλοιπο να προέρχεται από ανακαίνισεις και έργα των ιδιωτών. Στον τομέα της κατεδάφισης, τα χαρακτηριστικά των αποβλήτων ποικίλουν, εξαρτώμενα από τον τύπο της κατασκευής που αφορά και την χρησιμοποιούμενη τεχνική. Γενικά, τα απόβλητα κατεδάφισης περιλαμβάνουν υψηλά ποσοστά αδρανών υλικών, όπως τούβλα, άμμο και σκυρόδεμα. Επιπλέον, παρατηρούνται

μέταλλα, ξύλο, χαρτί, γυαλί, πλαστικά και άλλα υλικά, αν και σε μικρότερη ποσότητα.

4.1.1.1 Κατηγοριοποίηση αδρανών από κατασκευές και κατεδαφίσεις :

Τα υλικά από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις, τα οποία συνήθως μεταφέρονται σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τύπους ανάλογα με τη φύση και τη σύνθεσή τους (Brito & Agrela, 2018):

- **Τεμάχια σκυροδέματος:** Αυτός είναι ο πιο μελετημένος τύπος αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Προέρχονται κυρίως από την κατεδάφιση κτιρίων όπως γέφυρες, κτίρια, κυματοθραύστες και άλλα κατασκευαστικά έργα από σκυρόδεμα.
- **Μικτά και καθαρά απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων:** Αυτά τα απόβλητα περιλαμβάνουν κυρίως σκυρόδεμα, τοιχοποιία ή ασφαλτικά υλικά. Συνήθως λαμβάνονται με αναγνώριση πηγής, διαχωρίζοντας διαφορετικά υλικά κατά τη διαδικασία κατεδάφισης.
- **Μικτά συντρίμια κατεδάφισης:** Αυτός ο τύπος σχετίζεται συνήθως με την έλλειψη επιλογής στην πηγή και απαιτεί συγκεκριμένη προεπεξεργασία για την εξάλειψη ορισμένων συστατικών.



Εικόνα 4.2 , αδρανή κατεδάφισης , πηγή

<https://www.flickr.com/photos/cdeimages/4865299925>

4.1.1.2 Χρήσεις

Τα επεξεργασμένα ανακυκλωμένα αδρανή χρησιμοποιούνται για:

- Αδρανή σε ασφαλτικό σκυρόδεμα
- Δομικά έργα σε γέφυρες
- Οδοστρώματα

- Προσανατολισμοί
- Διαχωριστικά φράγματα
- Πεζοδρόμια
- Κράσπεδα
- υδρορροές

4.1.1.3 Επεξεργασία ΑΕΚΚ

Η αποτελεσματική επεξεργασία εξαρτάται από τον τύπο των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων που παραδίδονται στο εργοστάσιο ανακύκλωσης. Στην περίπτωση που τα απόβλητα κυρίως περιλαμβάνουν τσιμεντόλιθους, η απόκτηση υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος με χαμηλότερο κόστος είναι εφικτή με ελάχιστα βήματα επεξεργασίας.

Στην αρχή, γίνεται μια προ-διαλογή για την εξάλειψη πιθανών ρύπων. Στη συνέχεια, το υλικό υποβάλλεται σε θραυστήρα σιαγόνων για να μειωθεί σε μέγεθος. Έπειτα, ένας ηλεκτρομαγνήτης χρησιμοποιείται για να αφαιρέσει σιδηρούχα μέταλλα από το κατακερματισμένο υλικό. Τέλος, πραγματοποιείται τελική διαλογή για να επιτευχθεί κατάλληλη κατανομή μεγέθους κόκκων, είτε χοντρών, λεπτών, είτε και των δύο, για την παραγωγή αδρανών ανακυκλωμένου σκυροδέματος (Brito & Agrela, 2018)

Τα υλικά από τα απόβλητα κατεδάφισης μπορούν να υποστούν κατεργασία μέσω διαφόρων θραυστήρων, όπως θραυστήρες σιαγόνων, σφυριά, θραυστήρες κρούσης, και θραυστήρες κώνου, ή ακόμη και χειροκίνητα με σφυρί. Κάθε ένας από αυτούς τους θραυστήρες επηρεάζει διαφορετικά Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες ανακυκλωμένων αδρανών, επηρεάζοντας συνεπώς την απόδοση του τελικού σκυροδέματος.

Οι θραυστήρες σιαγόνων, που χρησιμοποιούνται κυρίως για την αρχική συντριβή, έχουν τη δυνατότητα να συνθλίψουν μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος σε μέγεθος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για επόμενες διαδικασίες. Από την άλλη, οι θραυστήρες πρόσκρουσης είναι προτιμητέοι για δευτερεύουσα συντριβή, παρέχοντας υψηλότερη ποιότητα αδρανούς με λιγότερο προσκολλημένο κονίαμα.

Επιπλέον, η σειρά των διαδικασιών συντριβής επηρεάζει τη μορφή της κοκκομετρίας των ανακυκλώσιμων υλικών. Οι θραυστήρες σιαγόνων, συνήθως χρησιμοποιούμενοι στην αρχή, παρέχουν την καλύτερη κατανομή μεγέθους για την παραγωγή σκυροδέματος. Μετά από μια δεύτερη συντριβή, οι κόκκοι τείνουν να είναι πιο στρογγυλεμένοι και λιγότερο αιχμηροί. Αυτό το διαδοχικό σπάσιμο

προσφέρει τη δυνατότητα επίτευξης επιθυμητής κοκκομετρικής διαβάθμισης των ανακυκλώσιμων υλικών.

4.1.1.4 Απαιτήσεις

Τα υλικά που προέρχονται από την ανακύκλωση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων πρέπει να πληρούν ποικίλες προϋποθέσεις για να είναι κατάλληλα. Αυτές περιλαμβάνουν το μέγεθος των κόκκων, την ελάχιστη περιεκτικότητα σε ρύπους, τη σταθερότητά τους και την αντοχή τους. Για παράδειγμα, σε εφαρμογές όπως η παραγωγή σκυροδέματος, πρέπει να έχουν αρκετά σκληρά χαρακτηριστικά ώστε να παράγεται το επιθυμητό είδος σκυροδέματος και να διατηρούν σταθερές διαστάσεις ανεξαρτήτως υγρασίας. Επιπλέον, πρέπει να μην αντιδρούν βλαβερά με το τσιμέντο ή την οπλισμένη δομή και να έχουν κατάλληλο σχήμα και μέγεθος κόκκων για να παράγουν ένα εργάσιμο σκυρόδεμα.

4.1.2 Πείραμα

4.1.2.1 Υλικά

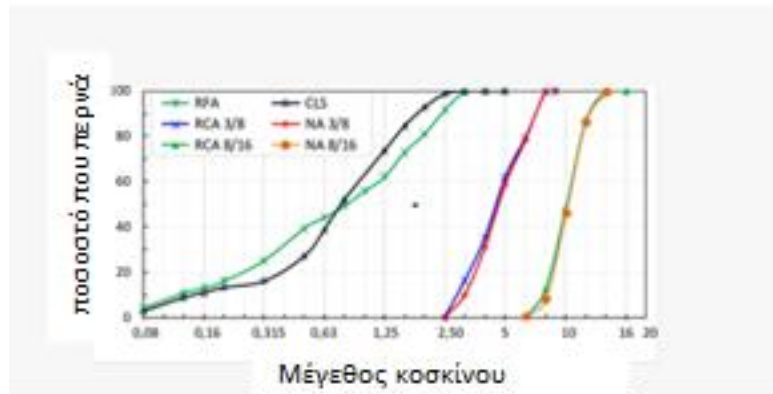
- Τσιμέντο

Το τσιμέντο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη είναι τύπου CEM-II 42.5 που παράγεται από εργοστάσια τσιμέντου στην Αλγερία με μέση αντοχή σε θλίψη 28 ημερών 42 MPa

- Αδρανή υλικά

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη είναι τα φυσικά αδρανή και τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος . Τα φυσικά αδρανή είναι θρυμματισμένος ασβεστόλιθος που λαμβάνεται από τοπικό λατομείο, χωρισμένο σε τρία κλάσματα μεγέθους (0/3,15, 3/8 και 8/16 mm). Τα ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος προέρχονται από την κατεδάφιση δομικών προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα ανθυγιεινών κτιρίων. Οι ιδιότητες του παλαιού σκυροδέματος είναι άγνωστες. Τα μεγάλα κομμάτια σκυροδέματος μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο, στη συνέχεια θρυμματίστηκαν και διαβαθμίστηκαν. Τα κλάσματα μεγέθους που χρησιμοποιήθηκαν για ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος ήταν 0/3,15, 3/8 και 8/16 mm.

Οι κοκκομετρικές κατανομές του φυσικών αδρανών και των ανακυκλωμένων αδρανών σκυροδέματος παρουσιάζονται στα Σχήματα 1 οι φυσικές ιδιότητες , σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα EN 12 620 , προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο Πολιτικών Μηχανικών στο Πανεπιστήμιο Badji Mokhtar, Annaba, Αλγερία.



Διάγραμμα 4.1 , Μέγεθος κοσκίνου αδρανών υλικών

4.1.2.2 Μείγματα σκυροδέματος

Όλα τα μίγματα σκυροδέματος παρασκευάστηκαν με σταθερή ποσότητα 400 kg/m^3 τσιμέντου, με σταθερή εργασιμότητα νωπού σκυροδέματος εξασφαλίζοντας την κατηγορία S2 του ρευστότητας, και κλάση θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος C25/30 σε ηλικία 28 ημερών για κλάση έκθεσης ΧΑ2, σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 206-1

Για την παρούσα μελέτη σχεδιάστηκαν πέντε διαφορετικά μίγματα σκυροδέματος για να διερευνηθεί η επίδραση της ενσωμάτωσης διαφορετικών κοκκωδών συνδυασμών αδρανών (φυσικών/ανακυκλωμένων) στις μηχανικές επιδόσεις και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

σκυροδέματος.

Οι λεπτομέρειες των αναλογιών μίγματος των υπό εξέταση σκυροδεμάτων παρουσιάζονται στον.

Οι τύποι μιγμάτων που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθοι:

- B1: Σκυρόδεμα με φυσικά αδρανή (χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα),
- B2: Σκυρόδεμα με λεπτόκοκκα ανακυκλώμενα αδρανή (RFA) και φυσικά χονδρόκοκκα αδρανή (NCA),
- B3: Σκυρόδεμα με θρυμματισμένη ασβεστολιθική άμμο (CLS) και χονδροειδή ανακυκλωμένα αδρανή RCA,
- B4: Σκυρόδεμα που παρασκευάζεται με πλήρη αντικατάσταση των NA από RCA (χονδρόκοκκα και λεπτόκοκκα),
- B5: Σκυρόδεμα κατασκευασμένο με φυσικά λεπτόκοκκα αδρανή (CLS) και 75% χονδρόκοκκα αδρανή NCA + 25% χονδρόκοκκα ανακυκλωμένα αδρανή RCA.

Αναλογίες μιγμάτων Πειράματος

Υλικά		B1	B2	B3	B4	B5
Τσιμέντο (kg/m ³)		400	400	400	400	400
Θρυμματισμένη ασβεστολιθική άμμος (kg/m ³)		578		578		578
Ανακυκλωμένα λεπτόκοκκα αδρανή (kg/m ³)			571		571	
Φυσικά χονδρόκοκκα αδρανή 3/8 mm (kg/m ³)		185	168			139
Φυσικά χονδρόκοκκα αδρανή 8/16 mm (kg/m ³)		928	928			696
Ανακυκλωμένα χονδρόκοκκα αδρανή 3/8 mm (kg/m ³)				176	160	44
Ανακυκλωμένα χονδρόκοκκα αδρανή 8/16 mm (kg/m ³)				874	874	219
Νερο (L)	Νερό	187	187	187	194	187
	Πρόσθετο νερό	0	51	39	71	21
	συνολικά πρόσθετο νερό	187	238	226	265	208
Αναλογία νερού/τσιμέντου		0.47	0.59	0.56	0.66	0.52

Πίνακας 4.1. Αναλογίες Μιγμάτων πειράματος

Όλα τα δοκίμια σκυροδέματος ξεχύθηκαν 24 ώρες μετά τη χύτευση και στη συνέχεια ωρίμασαν κατά τη διάρκεια των 28 ημερών σε νερό σε θερμοκρασία 20 °C (νερό βρύσης). Στη συνέχεια, τα δοκίμια συντηρήθηκαν μέχρι τις 360 ημέρες σε τρεις διαφορετικούς τύπους νερού : φρέσκο νερό δικτύου που προερχόταν απευθείας από το δίκτυο παροχής και απιονισμένο νερό.

Για κάθε μίγμα σκυροδέματος, κύβοι 100 mm, κύλινδροι 110 × 200 mm και 70 × 70 × 280 mm χυτεύτηκαν πρίσματα. Οι κύβοι χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής, της κύλινδροι για την αξιολόγηση της αντοχής σε εφελκυσμό , ενώ τα πρίσματα και οι κύλινδροι παρασκευάστηκαν για τη μέτρηση του δείκτη

ανθεκτικότητας. Οι δείκτες ανθεκτικότητας περιελάμβαναν τα εξής: τριχοειδής απορρόφηση νερού και πορώδες προσβάσιμο στο νερό,

Οι αντοχές θλίψης και εφελκυσμού διάσπασης μετρήθηκαν στις ηλικίες 28, 90, 180, 270 και 360 ημερών.

Επιπλέον, τα δοκίμια που προορίζονταν για την αξιολόγηση των δεικτών ανθεκτικότητας σκληρύνθηκαν σε υδατόλουτρο στους $(22 \pm 2) ^\circ\text{C}$ για 90 ημέρες.

4.1.2.3 Αποτελέσματα

Νωπή κατάσταση

Αποτελέσματα των δοκιμών Β1 -Β5 έπειτα από δοκιμή κάθισης και έλεγχο πυκνότητας.

		B1	B2	B3	B4	B5
Δοκιμή κάθισης (cm)		6.50	7.50	7.00	7.50	6.50
φρέσκια πυκνότητα (kg/m ³)	πραγματική	2321	2296	2277	2207	2300
	υπολογισμένη	2278	2305	2254	2270	2284

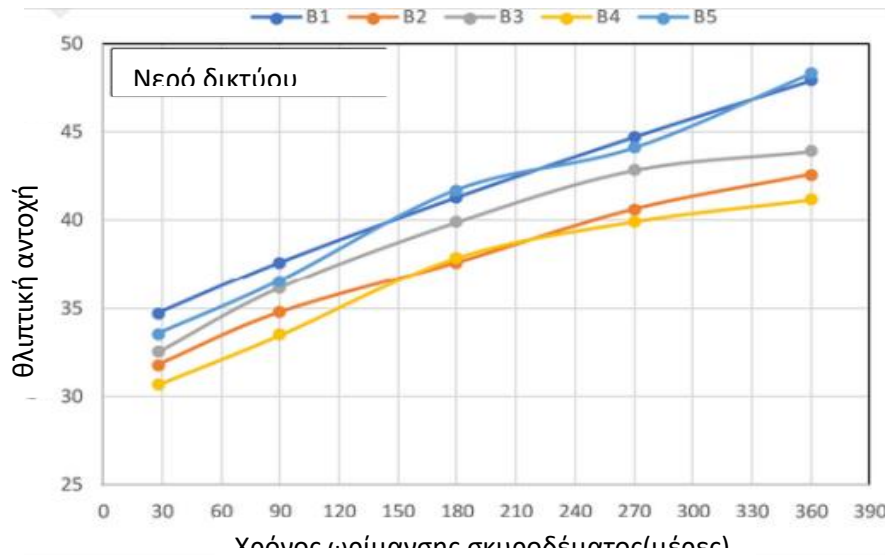
Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα δοκιμών νωπής κατάστασης

Τα μείγματα RAC Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή παρουσιάζουν χαμηλές νωπές πυκνότητες σε σύγκριση με το σκυρόδεμα αναφοράς (B1), γεγονός που οφείλεται κυρίως σε στα εγγενή χαρακτηριστικά των RCA ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος . Τα αποτελέσματά τους έδειξαν μια σύγκλιση όσον αφορά την επίδραση της ενσωμάτωσης RCA ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος στη νωπή πυκνότητα του RAC Σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα αδρανή.

Παρατηρήθηκε απώλεια πυκνότητας περίπου 5% όταν ενσωματώνονται 100% χονδρόκοκκα RCA ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος αντί για ΝΑ φυσικό αδρανές .

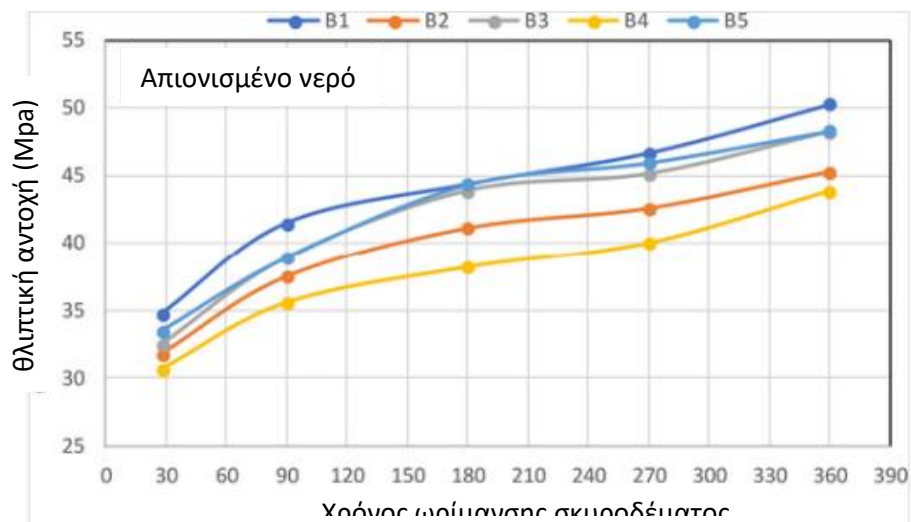
Σκληρημένη κατάσταση

Σύγκριση αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή θλιπτικής αντοχής στα μίγματα Β1,Β2,Β3,Β4,Β5 με χρήση νερού δικτύου για την συντήρησή τους.



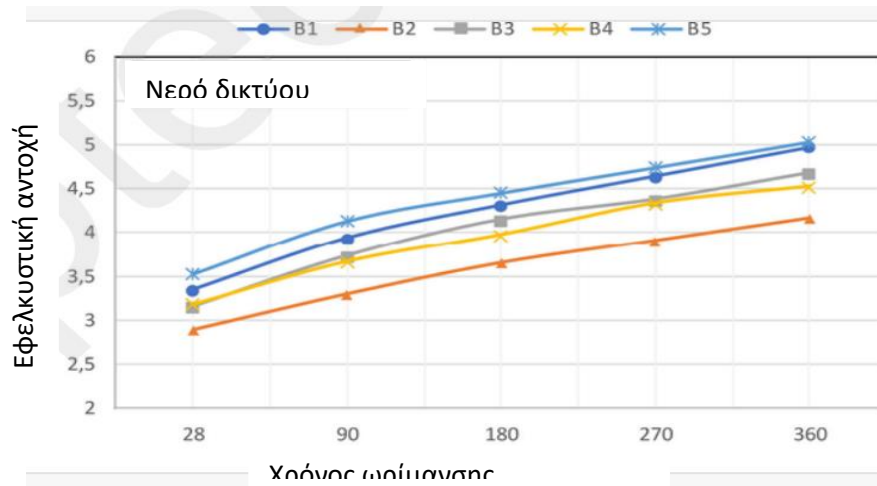
Διάγραμμα 4.2 ,αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής με χρήση νερού δικτύου

Σύγκριση αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή θλιπτικής αντοχής στα μίγματα B1,B2,B3,B4,B5 με χρήση απιονισμένου νερού για την συντήρησή τους.



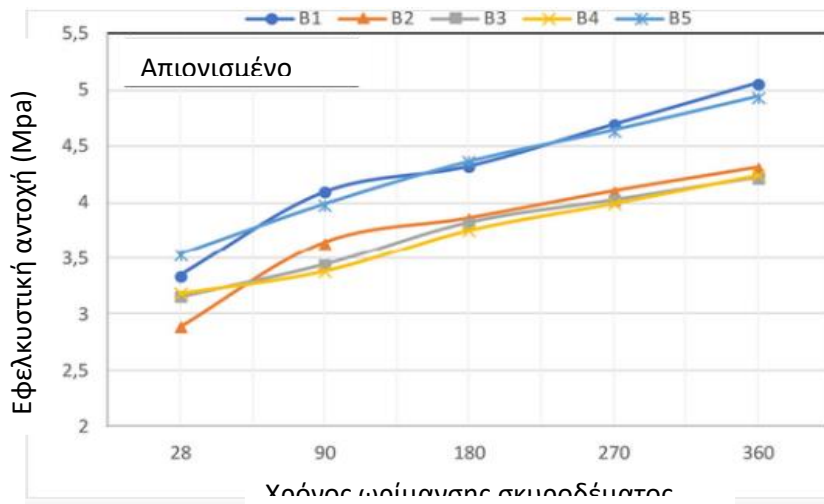
Διάγραμμα 4.3 , αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής με χρήση απιονισμένου νερού.

Σύγκριση αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή εφελκυστικής αντοχής στα μίγματα B1,B2,B3,B4,B5 με χρήση νερού δικτύου για την συντήρησή τους.



Διάγραμμα 4.4. , αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής με χρήση νερού δικτύου

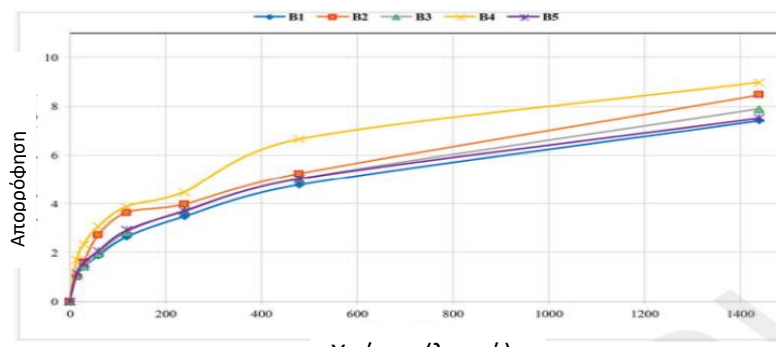
Σύγκριση αποτελεσμάτων έπειτα από δοκιμή εφελκυστικής αντοχής στα μίγματα B1,B2,B3,B4,B5 με χρήση απιονισμένου νερού για την συντήρησή τους.



Διάγραμμα 4.5 , Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής με χρήση απιονισμένου νερού ανά χρόνο ωρίμανσης.

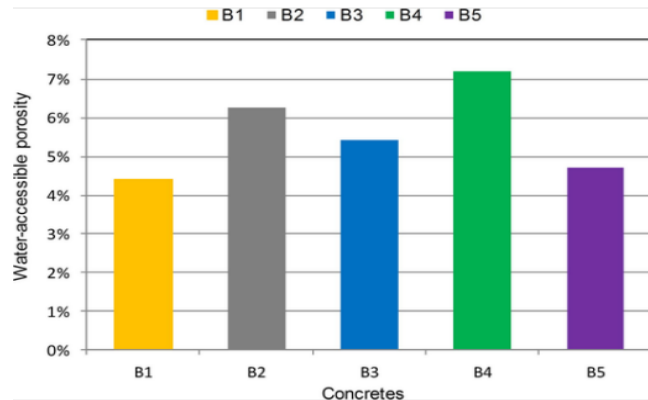
Ιδιότητες ανθεκτικότητας

- Απορρόφηση νερού



Διάγραμμα 4.6. Απορρόφηση τριχοειδών

- Πορώδες



Εικόνα 4.3 Σύγκριση αποτελεσμάτων για έλεγχο πορώδες

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μας επιτρέπουν να εξάγουμε τα ακόλουθα κύρια συμπεράσματα:

Η αντικατάσταση του φυσικού αδρανούς από ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος για την παραγωγή σκυροδέματος είναι δυνατή, αν και η τα κριτήρια εργασιμότητας δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν καλά.

Η χρήση ανακυκλωμένων αδρανή σκυροδέματος επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος, είτε πρόκειται για αντοχή σε θλίψη είτε για αντοχή σε εφελκυσμό διάσπασης. Παρ' όλα αυτά, η κατηγορία-στόχος C25/30 της αντοχής σε θλίψη είναι εγγυημένη.

Το πορώδες δίκτυο των ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος έχει επηρεάσει τις φυσικές ιδιότητες, όπως η τριχοειδής απορρόφηση νερού και το πορώδες που είναι προσβάσιμο στο νερό.

Τα σκυροδέματα που ενσωματώνουν ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος έχουν υψηλότερους συντελεστές διαπερατότητας από αέρια από ό,τι το σκυρόδεμα αναφοράς σκυρόδεμα αναφοράς. Οι πόροι που περιέχονται στο ανακυκλωμένα αδρανή σκυροδέματος και οι διασυνδέσεις τους είναι το αποτέλεσμα αυτού του ανεπάρκειας.

Καταλήγουμε συνεπώς σε παρατηρήσεις ότι το σκυρόδεμα που περιλαμβάνει ΑΕΚΚ με αντικατάσταση χονδρόκοκκων αδρανών υλικών μέχρι και 25% όχι μόνο εκδηλώνει ικανοποιητικές ιδιότητες, αλλά επιδεικνύει επίσης υψηλή αντοχή σε δοκιμές, υπερβαίνοντας σε αυτόν τον τομέα τις αποδόσεις του μείγματος με φυσικά αδρανή υλικά.

4.1.2.4 Περιορισμοί

Ένα μεγάλο εμπόδιο στην χρήση υλικών κατεδαφίσεων ως αδρανών σκυροδέματος είναι το υψηλό κόστος που συνδέεται με τη θραύση, την κοκκομετρική διαβάθμιση, τον έλεγχο της σκόνης και το διάχωρισμο των μη επιθυμητών συστατικών. Ανακυκλωμένα υλικά από τη θραύση οδοστρωμάτων, όπως σκυρόδεμα κατασκευών υψηλού όγκου, μπορούν να αποτελέσουν οικονομική πηγή αδρανών όταν καλής ποιότητας υλικά είναι δύσκολο να βρεθούν και όταν το κόστος απόρριψης των υλικών κατεδαφίσεων από σκυρόδεμα είναι υψηλό. Για παράδειγμα, σε ένα μεγάλο έργο ανακύκλωσης οδοστρωμάτων από σκυρόδεμα στο Μίσιγκαν, η χρήση θραυστών υλικών κατεδαφίσεων από το παλιό οδόστρωμα ως χονδρόκοκκο αδρανές αποδείχθηκε οικονομικά πιο επικερδής από τη χρήση αποκλειστικά καινούργιων αδρανών.

Η ανακύκλωση παλιών σκυροδεμάτων αντιπροσωπεύει οικονομική ευκαιρία στο πλαίσιο κατασκευαστικών έργων, καθώς μπορεί να αποφέρει κέρδος. Ωστόσο, υπάρχουν ζητήματα που πρέπει να συζητηθούν, όπως το κόστος μεταφοράς και η ανάγκη επένδυσης για την ίδρυση μιας εγκατάστασης ανακύκλωσης, το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος και τη σύνθεση της εγκατάστασης. Το κόστος επεξεργασίας στο εργοστάσιο ανακύκλωσης κυμαίνεται μεταξύ 2,76€ και 6,61€ ανά τόνο, ανάλογα με τον όγκο παραγωγής και τα στάδια επεξεργασίας. Ένας μόνιμος εγκατεστημένος σταθμός ανακύκλωσης μπορεί να επεξεργάζεται περίπου 150.000 τόνους ετησίως (Εφραιμίδης Χ., (2008)). Με βάση μια μελέτη της επιτροπής βιολογικού περιβάλλοντος σκυροδέματος, περισσότερο από το 60% του συνολικού κόστους μπορεί να εξοικονομηθεί με τη χρήση ανακυκλωμένων αδρανών.

4.1.3 Μελέτες του μέλλοντος

Εκτός από τα συμπεράσματα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, υπάρχουν κάποια ζητήματα που πρέπει να ερευνηθούν περαιτέρω. Καταρχάς, παρατηρείται μεγάλη ποικιλομορφία στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος με ανακυκλωμένα αδρανή (RAC) Επομένως, είναι σημαντικό να εξεταστεί πώς η μεταβλητότητα αυτή επηρεάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της RAC, ειδικά όταν αξιολογείται βάσει όγκου και αντοχής.

Επιπλέον, οι εφαρμογές της RAC επεκτείνονται, για παράδειγμα, στη χρήση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων (C&D) για την παραγωγή χαλύβδινων σωλήνων με ανακυκλωμένο σκυρόδεμα (RACFST). Τέλος οι τεχνολογικές

διαδρομές για την παραγωγή ανακυκλωμένων αδρανών διαφέρουν αναλόγως την περιοχή και την χώρα. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί μια δυναμική απεικόνιση του κύκλου ζωής των ανακυκλωμένων αδρανών, λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές, γεωγραφικές και τεχνολογικές διαστάσεις.

4.2 Σκυρόδεμα με χρήση κοκκοποιημένου αφρώδες γυαλιού

Το γυαλί κατασκευάζεται σε ποικίλες μορφές, όπως συσκευασίες (π.χ. μπουκάλια, βάζα), επίπεδες επιφάνειες (παράθυρα, υαλοπίνακες), γυάλινα αντικείμενα φωτισμού (σφαίρες φωτός) και οθόνες καθοδικών ακτινών (οθόνες τηλεόρασης κ.λπ.). Όλα αυτά έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής .

Η κατασκευή του γυαλιού γίνεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου (το κύριο συστατικό της) με ένα ή περισσότερα υλικά πλήρωσης και έναν ή περισσότερους σταθεροποιητές. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιηθεί σταθεροποιητής, το γυαλί θα γίνει εύθραυστο και ευάλωτο στη διάλυση από το νερό. Η συνήθης σύνθεση του γυαλιού περιλαμβάνει χαλαζιακή άμμο σε ποσοστό 73,7%, ανθρακικό νάτριο στο 16%, οξείδιο του καλίου στο 0,5%, ανθρακικό ασβέστιο , 5,2%, ανθρακικό μαγνήσιο στο 3,6%, και οξείδιο του αργιλίου στο 1%. Η ποικιλία των τύπων γυαλιού προκύπτει από τον διαφορετικό συνδυασμό και το ποσοστό αυτών των συστατικών.

Φυσικά χαρακτηριστικά του γυαλιού

- Το γυαλί είναι ένα στερεό με υψηλή σκληρότητα (κατατάσσεται 7 στην κλίμακα Mohs).
- Έχει μη κρυσταλλική δομή, παρουσιάζοντας τη μορφή αμορφού υλικού.
- Είναι εύθραυστο, με θραύσματα που έχουν αιχμηρές άκρες.
- Διαφανές στο φάσμα του ορατού φωτός.
- Είναι δυσθερμαγωγό και λειτουργεί ως μονωτικό υλικό.
- Αντιδρά ελάχιστα ή καθόλου χημικά και βιολογικά.

Αφού το γυαλί δημιουργηθεί αρχικά ως ουσία, μπορεί να διαμορφωθεί στο επιθυμητό του σχήμα με τρεις διαφορετικούς τρόπους: με φύσημα (φυσικό γυαλί), χρησιμοποιώντας καλούπια ή χρησιμοποιώντας κατασκευασμένα φύλλα γυαλιού.

4.2.1 Ανακύκλωση γυαλιού

Στην Ευρώπη, το 2012-2013, το ποσοστό αποβλήτων από γυαλί ανήλθε σε 0,66% του συνόλου των αποβλήτων, περίπου 2,6 εκατομμύρια τόνους. Η ανακύκλωση του γυαλιού οδηγεί σε εξοικονόμηση πρώτων υλών, μείωση του όγκου απορριμμάτων που καταλήγουν σε χωματερές, με αποτέλεσμα τη μείωση των εξόδων. Επιπλέον, η διαδικασία ανακύκλωσης δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας και συμβάλλει στη δημιουργία ενός νέου οικονομικού τομέα. Το γυαλί αποτελεί ένα ξεχωριστό αδρανές υλικό που μπορεί να υποστεί ανακύκλωση επανειλημμένα χωρίς να υποστεί αλλαγές στις χημικές του ιδιότητες. Πιο συγκεκριμένα, τα γυάλινα μπουκάλια μπορούν να διαχωριστούν σε κομμάτια και, στη συνέχεια, να λιώσουν, διατηρώντας τα κύρια χαρακτηριστικά του γυαλιού. Η κυρίαρχη μορφή παραγωγής του γυαλιού είναι μέσω δοχείων, και η πλειονότητα του χρησιμοποιημένου γυαλιού συλλέγεται και χρησιμοποιείται εκ νέου για τη δημιουργία παρόμοιων δοχείων.



Εικόνα 4.4 κύκλος γυαλιού Πηγή : <https://glass-products.com/News/Glass-is-100-recyclable-and-can-be-recycled-endlessly-without-loss-in-quality-or-purity--something-few-food-and-beverage-packaging-options-can-claim->

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι ανακύκλωσης:

- Συλλογή και επαναχρησιμοποίηση: Αναφέρεται στη συλλογή φιαλών σε καλή κατάσταση. Αυτά μεταφέρονται σε ειδικές βιομηχανίες όπου καθαρίζονται, απολυμαίνονται και επαναχρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή.
- Συλλογή και ανακύκλωση: Περιλαμβάνει μη επαναχρησιμοποιούμενα μπουκάλια και άλλα γυάλινα αντικείμενα. Τα είδη αυτά συλλέγονται σε ειδικούς κάδους ανακύκλωσης και παραδίδονται στα κέντρα συλλογής. Εκεί, το γυαλί διαχωρίζεται μηχανικά και προετοιμάζεται για ανακύκλωση. Αυτή η διαδικασία παρέχει

σημαντική εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας, καθώς η ανακύκλωση γυαλιού απαιτεί λιγότερη ενέργεια από την κατασκευή νέου γυαλιού από πρώτες ύλες.

4.2.2 Αφρώδες Κυτταρικό Γυαλί – Geofil Foamed Glass Gravel (GFGG)

Διαδικασία Παραγωγής

Η παραγωγή του ανακυκλωμένου γυαλιού, σύμφωνα με προδιαγραφές όπως απαιτούνται από το πρότυπο ISO 9001, συνεπάγεται τη μετατροπή του σε σκόνη με μέγεθος μεταξύ 25-100 μm, μετά από ειδική επεξεργασία που το απαλλάσσει από χαρτί, μέταλλα, υδράργυρο και άλλα στοιχεία. Στη συνέχεια, αυτή η σκόνη ομογενοποιείται με αέρια και πρόσθετα όπως το ανθρακικό ασβέστιο και το διοξείδιο του μαγνησίου. Αυτά τα πρόσθετα βοηθούν στη μείωση του σημείου τήξεως και στην αύξηση της ρευστότητας.

Το μείγμα θερμαίνεται στους 700°C με 900°C και τα αέρια που παράγονται κατά την αποσύνθεση των προσθέτων δημιουργούν δομές κυττάρων σχηματίζοντας έτσι ένα πορώδες σώμα. Η διόγκωση των κόκκων ξεκινά περίπου στους 700°C, επεκτείνεται καθώς ανεβαίνει η θερμοκρασία στους 960°C, και έπειτα οι κόκκοι λιώνουν βαθμηδόν. Ένα ειδικό πρόσθετο με μεγάλη επιφάνεια εφαρμόζεται ως τελευταία επικάλυψη για να μειώσει την υδατοπερατότητα του στερεοποιημένου υλικού. Μετά την ξήρανση, το υλικό τοποθετείται σε φούρνο και στη συνέχεια αφήνεται να κρυώσει γρήγορα σε θερμοκρασία δωματίου. Το αδρανές υλικό έχει πυκνότητα 450-650 kg/m³ (σχεδόν 40-50% μειωμένο βάρος σε σχέση με το κοινό χαλίκι), ενώ διαθέτει καλή θερμομονωτική ιδιότητα και χαμηλό ποσοστό απορρόφησης νερού (2.8-6.0% της μάζας του). Τα προϊόντα αφρώδους κυτταρικού γυαλιού έχουν καταστεί διαθέσιμα στην αγορά από το 1980. Χώρες οι οποίες διαθέτουν Εταιρίες που ειδικεύονται στην παραγωγή αυτού του τύπου γυαλιού περιλαμβάνουν τις ΗΠΑ, την Ελβετία, τη Νορβηγία και Γερμανία, την Ουγγαρία και τη Λευκορωσία. Σύμφωνα με τον Reindl, ο οποίος εργάστηκε στον τομέα της ανακύκλωσης, το γυαλί έχει εφαρμογές πέραν των συνηθισμένων δοχείων. Χρησιμοποιείται ως αδρανές υλικό σε έργα οδοποιίας, σε ασφαλτοστρώσεις, αδρανές σκυρόδεμα, και σε οικοδομικές εφαρμογές όπως γυάλινα πλακίδια, πάνελ τοίχου, και άλλα. Επίσης, χρησιμοποιείται για μόνωση από υαλοβάμβακα, γυαλίνες ίνες, λειαντικά, γυαλί τέχνης, γεωργικά λιπάσματα, διαμόρφωση τοπίου, αντανάκλαστικά σφαιρίδια,

επιτραπέζια σκεύη, υδραυλικό τσιμέντο, και πολλές άλλες εφαρμογές. Ειδικότερα, η χρήση γυαλιού στο σκυρόδεμα παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την πρακτική που αναφέρεται εδώ.



Εικόνα 4.5 , αφρώδες κυτταρικό γυαλί , πηγή : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glasschaumgranulat.jpg>

4.2.2 Πειραματική διαδικασία

Πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε στο Hame university of applied science
Στην παρούσα μελέτη, τα φυσικά αδρανή (μικτά πληρωτικά, λεπτά και χοντρά) αντικαθίστανται από διαφορετικά ποσοστά GFG. Κατασκευάστηκαν δείγματα σκυροδέματος όπου τα φυσικά αδρανή θα είναι αντικατασταθούν με GFG κατά 10, 20, 30 και 50% κατ' όγκο. Προστέθηκαν διαφορετικά μεγέθη GFG με διαφορετικές ποσότητες για να διατηρηθεί μια κατάλληλη καμπύλη κατανομής. Τα δείγματα δοκιμάστηκαν σε εργαστήριο για την αντοχή τους σε θλίψη και εφελκυσμό και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με κανονικά δείγματα σκυροδέματος όπου χρησιμοποιούνται φυσικά αδρανή.

Όλα τα δοκίμια σκυροδέματος προετοιμάστηκαν σύμφωνα με τις συστάσεις του EN 206 (2014) και

κατασκευάστηκαν με αναλογία μίγματος που αποσκοπούσε στην επίτευξη κατηγορίας αντοχής σκυροδέματος C25/30. Το μίγμα σκυροδέματος είχε μέτρια εργασιμότητα με το αποτέλεσμα της δοκιμής κάθισης να είναι 90 mm. Όλα τα δοκίμια είχαν κυλινδρικό σχήμα με διάμετρο 150mm και ύψος 300mm.

4.2.3.1 Μεθοδολογία

Η μορφοποίηση και η δοκιμή του δοκιμίου διεξάχθηκε στο Εργαστήριο Κατασκευών στο Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων Επιστημών Häme στο Hämeenlinna. Τα φυσικά αδρανή αντικαθίστανται από GFG με βάση τον όγκο. Πέντε διαφορετικές ομάδες δοκιμών με υποκαταστάσεις 0%, 10%, 20%, 30% και 50%. Κάθε ομάδα

αποτελούνταν από έξι δοκίμια, όπως περιγράφεται στον πίνακα 1, τρία για δοκιμή θλίψης και τρία για μια δοκιμή εφελκυσμού διαίρεσης- όλα θα δοκιμαστούν μετά από 28 ημέρες από το χρόνο χύτευσης, όπως ορίζεται από το EN206 (2014).

4.2.3.2 Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν

Για την προετοιμασία του πειράματος χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο Πόρτλαντ, νερό λήφθηκε από το

δημόσιο δίκτυο της Hämeenlinna, και τα φυσικά αδρανή αποκτήθηκαν από μια τοπική εταιρεία παραγωγής σκυροδέματος. Τα GFG τριών διαφορετικών κατανομών μεγέθους (0-4mm, 4-10mm, 10- 20mm) παρασχέθηκαν από μια φινλανδική εταιρεία με την επωνυμία Foamit. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι ιδιότητες των του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε.

Ιδιότητες του τσιμέντου που χρησιμοποιήθηκε	αποτελέσματα
θλιπτική αντοχή μετά απο 1 μερα	12-16 Mpa
θλιπτική αντοχή μετά απο 2 μερες	23-27 Mpa
θλιπτική αντοχή μετά απο 7 μέρες	36-41 Mpa
θλιπτική αντοχή μετά απο 28 μέρες	47-53 Mpa

Πίνακας 4.3 , Ιδιότητες του χρησιμοποιούμενου τσιμέντου

Η μέθοδος ξηρού κοσκινίσματος χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της καμπύλης κατανομής των σωματιδίων των φυσικών αδρανών και του αδρανούς GFG. Το φυσικό αδρανές παραδόθηκε ως προ-αναμεμειγμένο πακέτο με τη καμπύλη κατανομής που παρουσιάζεται στο σχήμα 4.7. Από την άλλη πλευρά, το αδρανές GFG, διατίθεται σε τρεις διαφορετικούς τύπους (λεπτόκοκκο, πληρωτικό και χονδρόκοκκο), με την κοκκομετρική κατανομή καμπύλη κοκκομετρικής κατανομής που παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.8, όπως αναλύθηκε σύμφωνα με το πρότυπο EN 933-1 (2012). Στον πίνακα 4.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται η περιεχόμενη υγρασία που μετρήθηκε και η πυκνότητα που δίνεται από τον κατασκευαστή.

- Φυσικά αδρανή

καμπύλη κατανομής κόκκων φυσικών αδρανών

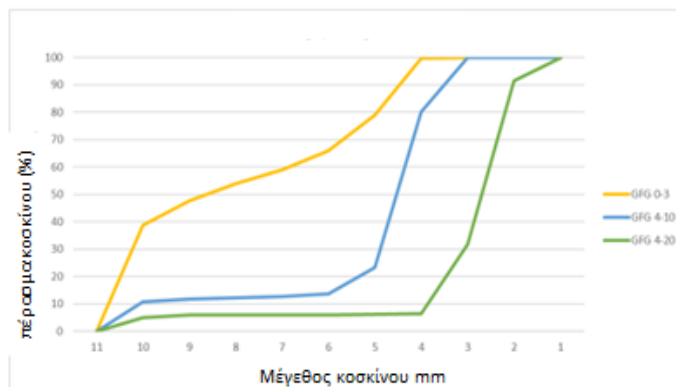


Διάγραμμα 4.7 , καμπύλη κατανομής κόκκων φυσικών αδρανών

- Αδρανή από γυαλί

Χρησιμοποιούνται 3 είδη αδρανούς το λεπτόκοκκο, το πληρωτικό και το χονδρόκοκκο. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται οι καμπύλες κατανομής κόκκων για τα 3 αυτά είδη αδρανούς γυαλιού.

Κατανομή κόκκων GFG αδρανών 3 τύπων



Διάγραμμα 4.8 καμπύλες κατανομής κόκκων κοκκοποιημένου αφρώδους γυαλιού

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ιδιότητες των φυσικών και τεχνητών αδρανών.

Αδρανή	Πυκνότητα kg/m ³	Περιεχόμενη υγρασία (%)
φυσικά αδρανή	2748	3.8
GFG αδρανή 0-3	575	0.3
GFG αδρανή 4-10	280	0.3
GFG αδρανή 10-20	200	0.3

Πίνακας 4.4 , πίνακας ιδιοτήτων αδρανών

Όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της μελέτης βρίσκεται στο Εργαστήριο Κατασκευών στο Häme Πανεπιστήμιο Εφαρμοσμένων

Επιστημών. Το σετ φούρνου και κοσκίνισης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των σωματιδίων καμπύλη κατανομής των σωματιδίων. Το σκυρόδεμα αναμείχθηκε με τη χρήση ενός αναμικτήρα σκυροδέματος Esko (Σχήμα 4) και μια μηχανική ράβδος δόνησης χρησιμοποιήθηκε για τη συμπύκνωση. Όπως συνιστάται από το πρότυπο EN 12390-1 (2021), το καλούπι ήταν κυλινδρικό μεταλλικό με ύψος 300mm και διάμετρο 150mm . Πριν από τις δοκιμές θλίψης έγινε κάλυψη των δοκιμών με θείο. Για τη δοκιμή των δοκιμών, χρησιμοποιήθηκε μια τυπική μηχανή θλίψης σκυροδέματος (CONTROLS Automax Model).

4.2.3.3 Προετοιμασία των δειγμάτων

Όλα τα δοκίμια προετοιμάστηκαν σύμφωνα με τη σύσταση που δίνεται στο EN 206 (2014) για

προδιαγραφές σκυροδέματος, επιδόσεις, παραγωγή και συμμόρφωση. Το μίγμα σκυροδέματος είχε μέτρια εργασιμότητα με δοκιμή κάθισης 90 mm. Όλα τα δοκίμια είχαν κυλινδρικό σχήμα με διάμετρο 150mm και ύψος 300mm.

4.2.3.4 Αναλογία υλικών

Τα υλικά επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε τα δείγματα σκυροδέματος αναφοράς (χωρίς GFG) μπορούσαν να φθάσουν στην κατηγορία C25/30, η οποία αντιστοιχεί σε αντοχή σε θλίψη 25 MPa για τα δοκίμια κυλινδρικού σχήματος και 30 MPa για τα δοκίμια κυβικού σχήματος. Πίνακας 4.5 παρουσιάζει την αναλογία ανάμιξης για όλες τις ομάδες

GFG (%)	Νερό (kg/m ³)	Φυσικά αδρανή (kg/m ³)	Τσιμέντο (kg/m ³)	Κοκκοποιημένο αφρώδες γυαλί(GFG)		
				Λεπτόκοκκα αδρανή (kg/m ³)	πληρωτικό αδρανές (kg/m ³)	Χονδρόκοκκα αδρανή (kg/m ³)
0	81	1847	320	0	0	0
10	173	1672	320	0	13	0
20	179	1486	320	6	13	6
30	176	1288	320	20	51	14
50	177	920	320	39	100	14

Πίνακας 4.5 αναλογία υλικών

4.2.3.5 Δοκιμες

- Δοκιμή συμπίκνωσης

Λόγω της πολύ χαμηλής πυκνότητας του αδρανούς GFG, όταν το μίγμα δονείται, το ελαφρύτερο αδρανές δηλαδή το αδρανές GFG θα ρέει προς τα πάνω και το βαρύτερο ,φυσικό αδρανές ,θα πέφτει κάτω, δημιουργώντας διαχωρισμό. Ως εκ τούτου, στην παρούσα μελέτη εξετάστηκε επίσης το αδρανές με διάφορες μεθόδους συμπίκνωσης. Η μεγαλύτερη ποσότητα των φυσικών αδρανών που έχουν υποκατασταθεί με GFG αντιστοιχεί σε σαφώς ορατό διαχωρισμό του μίγματος σκυροδέματος για τον λόγω αυτό μελετήθηκαν 4 μέθοδοι συμπίκνωσης στα δείγματα που είχαν τη μεγαλύτερη αντικατάσταση των αδρανών με GFG δηλαδή 50%, στην παρούσα μελέτη.

Τέσσερα δοκίμια σκυροδέματος κατασκευάστηκαν με αντικατάσταση 50% και συμπτυκνώθηκαν με τέσσερις διαφορετικές μεθόδους συμπίκνωσης:

1. Συμπύκνωση με δόνηση ολόκληρου του καλουπιού του δοκιμίου,
2. Χειροκίνητη συμπίκνωση με το χέρι χρησιμοποιώντας χαλύβδινη ράβδο,
3. Δόνηση ολόκληρου του μίγματος στο καλούπι με μηχανική ράβδο δόνησης,
4. Δόνηση κάθε 100 mm του δοκιμίου με μηχανική ράβδο δόνησης.

Η ανάμιξη του σκυροδέματος έγινε σύμφωνα με το πρότυπο EN 480-1 , το οποίο δίνει οδηγίες για τις προσμίξεις του σκυροδέματος αναφοράς για δοκιμές. Πριν από τη μορφοποίηση των δοκιμίων, το καλούπια λαδώθηκαν με ένα μέσο αποδέσμευσης, όπως ορίζεται από το πρότυπο EN 12390-2. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τη συμπίκνωση του σκυροδέματος επιλέχθηκε με βάση το αποτέλεσμα των τεσσάρων δοκιμών συμπίκνωσης μεθόδων. Μετά τη συμπίκνωση, το πλεονάζον υλικό απομακρύνθηκε από την τελευταία στρώση και με τη χρήση χαλύβδινη σπάτουλα, η επιφάνεια ισοπεδώθηκε. Τα δοκίμια παρέμειναν στις μήτρες για περισσότερο από 24 ώρες και λιγότερες από τρεις ημέρες, μετά την οποία αποσχηματίστηκαν και βυθίστηκαν σε νερό για περίοδο 28 ημερών, όπως συνιστά το πρότυπο EN 12390-2.

- Δοκιμή μηχανικών ιδιοτήτων

Μετά από περίοδο ωρίμανσης 28 ημερών, τα δείγματα βγήκαν από το νερό και υποβλήθηκαν σε επιφανειακή καθαρισμό για την απομάκρυνση τυχόν χαλαρών σωματιδίων. Κάθε ένα από τα δείγματα σημαδεύτηκε με το όνομα του για την προετοιμασία των δοκιμών για εξέταση.

- Μέτρηση πυκνότητας σκληρυμένου σκυροδέματος

Ένα από τα πλεονεκτικά χαρακτηριστικά των φυσικών αδρανών όταν αντικαθίστανται από ελαφρύ αδρανή είναι η μείωση του βάρους του σκληρυμένου σκυροδέματος. Ως εκ τούτου, η πυκνότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος ελέγχθηκε. Ο προσδιορισμός τόσο του όγκου όσο και του βάρους του των δοκιμών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μετρήσεων που καθορίζονται από το πρότυπο EN 12390-7 . Είναι ζωτικής σημασίας η αξιολόγηση της πυκνότητας του σκυροδέματος, καθώς παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις επιδράσεις της ενσωμάτωσης του GFG ως υποκατάστατο των φυσικών αδρανών. Συγκρίνοντας τις τιμές της πυκνότητας του σκυροδέματος με διαφορετικά ποσοστά υποκατάστασης από κοκκώδες αφρώδες γυαλί, η επίδραση των ελαφρών αδρανών στη συνολική μείωση του βάρους μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να χρησιμοποιηθεί για την κατανόηση των επιδόσεων του ελαφρού σκυροδέματος και των πιθανών εφαρμογών του στην κατασκευαστική βιομηχανία.

- Δοκιμή συμπίεσης

Συνολικά 15 δοκίμια δοκιμάστηκαν για την αντοχή τους σε θλίψη. Κάλυψη του κυλίνδρου κεφαλής, η οποία περιελάμβανε την εφαρμογή λεπτών στρώσεων όχι μεγαλύτερου πάχους από 5 mm στη στεγνή επιφάνεια των δοκιμών, πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο μίγματος θείου σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο πρότυπο EN 12390-3. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές αντοχής σε θλίψη.

Τρία δοκίμια από κάθε κλάσμα, διαστάσεων 300 mm σε ύψος και 150 mm σε διάμετρο, δοκιμάστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα EN 12390-3 .

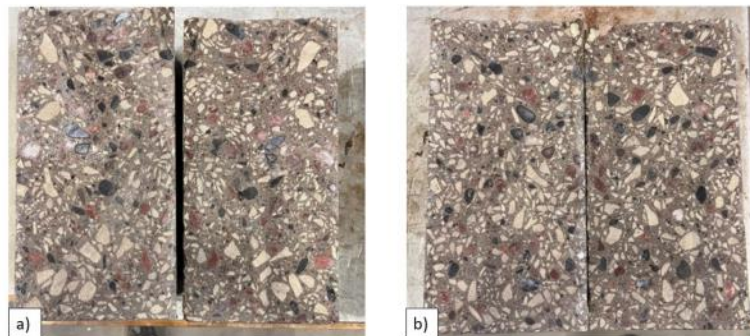
- Δοκιμή θραύσης σε εφελκυσμό

Παρόμοια με τη δοκιμή θλίψης, άλλα 15 δοκίμια δοκιμάστηκαν για την αντοχή τους σε εφελκυσμό. Η δοκιμή εφελκυσμού περιελάμβανε τη χρήση κυλινδρικών δοκιμίων διαστάσεων 150 mm σε διάμετρο και ύψους 300 mm. Η μέθοδος δοκιμής που περιγράφεται στο πρότυπο EN 12390-6 η οποία χρησιμοποιήθηκε συνεπάγεται τη χρήση ταινιών συσκευασίας από σκληρό χαρτόνι για τη μέτρηση της αντοχής σε εφελκυσμό των κυλινδρικών δοκιμίων.

4.2.3.6 Αποτελέσματα δοκιμών και ανάλυση

Αποτελέσματα δοκιμής συμπίκνωσης

Μετά από επτά ημέρες σκλήρυνσης, τέσσερα δοκίμια κόπηκαν κάθετα στη μέση για να επιθεωρηθεί η κατανομή των αδρανών.



Εικόνα 4.6 Διατομές του δοκιμίου όταν η συμπίκνωση γίνεται a) μέσω δόνησης του ολόκληρου του καλουπιού και b) χειροκίνητη συμπίκνωση με το χέρι με χρήση χαλύβδινης ράβδου.

Στην εικόνα 4.6 παρουσιάζεται η διατομή του δοκιμίου σκυροδέματος κατά τη συμπίκνωση με α) δόνηση ολόκληρο το καλούπι και β) με το χέρι με χαλύβδινη ράβδο. Φαίνεται ότι τα GFG αδρανή σε αυτές τις δύο μεθόδους ήταν καλά κατανεμημένα σε όλη τη διατομή. Ωστόσο, κατά προσεκτικότερη εξέταση, υπάρχει υψηλότερο ποσοστό φυσαλίδων αέρα παγιδευμένων στο εσωτερικό του σκυροδέματος σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους. Αυτό ήταν αναμενόμενο, καθώς δεν υπήρχε δόνηση ή κρούση στο εσωτερικό του δοκιμίου. Παρόλο που είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι αυτές οι τεχνικές συμπίκνωσης έγιναν σε μίγμα σκυροδέματος με μέτρια εργασιμότητα. Όταν αυτές οι μέθοδοι διεξάγονται σε δοκίμια με μίγμα υψηλής εργασιμότητας, το ποσοστό του αέρα που είναι παγιδευμένος στο εσωτερικό θα πρέπει να μειωθεί σημαντικά. Αυτός ο τύπος μεθόδου συμπίκνωσης είναι ευκολότερο να επιτευχθεί εάν το σκυρόδεμα

παράγεται σε αυτοματοποιημένα συστήματα παραγωγής, ενώ η συμπύκνωση με τη μέθοδο της δόνησης ολόκληρου του καλούπιού, για παράδειγμα, είναι πιο δύσκολη χύτευση στο εργοτάξιο.

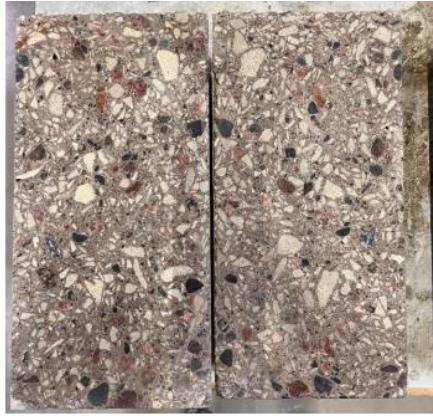
Η δόνηση ολόκληρου του μείγματος στο καλούπι με τη χρήση μηχανικής ράβδου δόνησης μπορεί να παρατηρηθεί στο Εικόνα 4.7



Εικόνα 4.7 Διατομή του δοκιμίου κατά τη δόνηση ολόκληρου του μίγματος στο καλούπι με μηχανική ράβδο δόνησης.

Σε αυτή τη μέθοδο συμπύκνωσης, το μίγμα σκυροδέματος χύθηκε μέχρι την κορυφή του καλούπιού και στη συνέχεια δονήθηκε προσεκτικά με μια δονούμενη ράβδο για να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει παγιδευμένος αέρας στο εσωτερικό του μείγματος. Στην εικόνα 4.7, φαίνεται το αδρανές υλικό GFG να κινείται προς την κορυφή του δείγματος σκυροδέματος, δείχνοντας έναν σαφή διαχωρισμό μεταξύ του αδρανούς GFG και των φυσικών αδρανών. Αυτό θα κάνει το δοκίμιο να έχει δύο διαφορετικές πυκνότητες, με αποτέλεσμα να έχει ανεπιθύμητη απόδοση, καθώς η κορυφή θα είναι ασθενέστερη από τη βάση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μίγμα σκυροδέματος έχει μέτρια εργασιμότητα και η μηχανή δόνησης έχει υψηλή συχνότητα δόνησης. Εάν γίνει σε μίγμα χαμηλής εργασιμότητας ή με χαμηλή συχνότητα δόνησης, τα αδρανή GFG μπορεί να παρουσιάσουν μικρότερη τάση να επιπλέουν προς τα πάνω από ό,τι φάνηκε στην παρούσα μελέτη.

Το σχήμα δείχνει την κατανομή των αδρανών κατά μήκος της διατομής όταν το σκυρόδεμα δονήθηκε κάθε 100 mm του χυτού σκυροδέματος με τη χρήση μηχανικής ράβδου δόνησης.

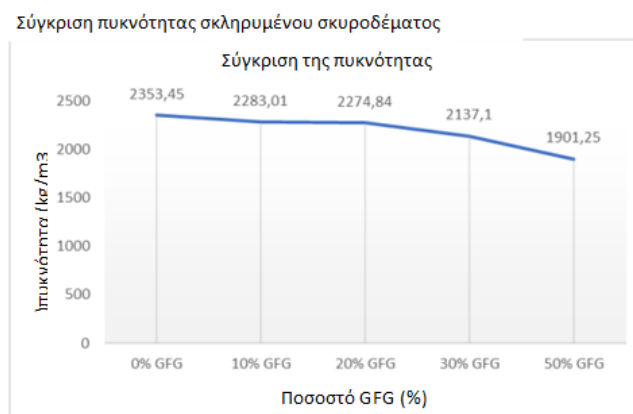


Εικόνα 4.8 Διατομή του δοκιμίου κατά τη συμπίκνωση με χρήση μηχανικής ράβδου δόνησης κάθε 100mm του δοκιμίου

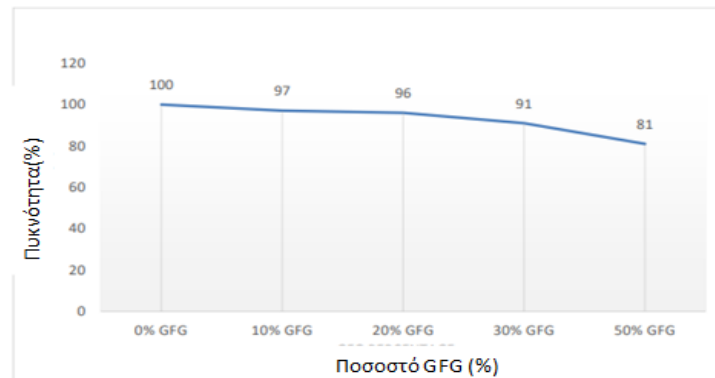
Η μέθοδος συμπίκνωσης έγινε με την έκχυση του μίγματος σκυροδέματος σε καλούπι μέχρι 100 χιλιοστά του δοκιμίου και στη συνέχεια δονήθηκε με μια ράβδο δόνησης για να εξασφαλίσουμε ότι δεν υπήρχε αέρας παγιδευτεί στο μείγμα, η διαδικασία επαναλήφθηκε ξανά μέχρι το μείγμα να γεμίσει μέχρι το μέχρι την κορυφή του καλουπιού. Στην εικόνα 4.8 φαίνεται ότι τα αδρανή GFG κατανέμονται καλύτερα σε σύγκριση με το δοκίμιο που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.7. Ωστόσο, ένας μικρός διαχωρισμός των δύο αδρανών μπορεί ακόμα να παρατηρηθεί στο κάτω μέρος του δοκιμίου, όπου προστέθηκε η πρώτη στρώση μίγματος σκυροδέματος. Η μέθοδος αυτή αποδείχθηκε πολύ καλύτερη από τις άλλες τρεις μεθόδους, καθώς το δοκίμιο έχει πολύ μικρότερο ποσοστό αέρα παγιδευμένο στο εσωτερικό του σε σύγκριση με τις δύο πρώτες μεθόδους και ένα πιο καλά κατανεμημένα αδρανή από την τρίτη μέθοδο, εξασφαλίζοντας ότι το δοκίμιο σκυροδέματος αποδίδει όπως προβλέπεται. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε αυτή η μέθοδος για την προετοιμασία των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή θλίψης και διατμητικού εφελκυσμού.

Πυκνότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος

Η πυκνότητα των δοκιμίων σκυροδέματος μετρήθηκε μετά από 28 ημέρες σκλήρυνσης και η σύγκριση πυκνότητα των σκληρυμένων δοκιμίων σκυροδέματος όλων των ομάδων παρουσιάζεται στα διαγράμματα 4.9 και 4.10



Διάγραμμα 4.9 , Σύγκριση πυκνότητα σκληρυμένου σκυροδεματος



Διάγραμμα 4.10 , Σύγκριση πυκνότητας σκληρυμένου σκυροδέματος σε ποσοστά

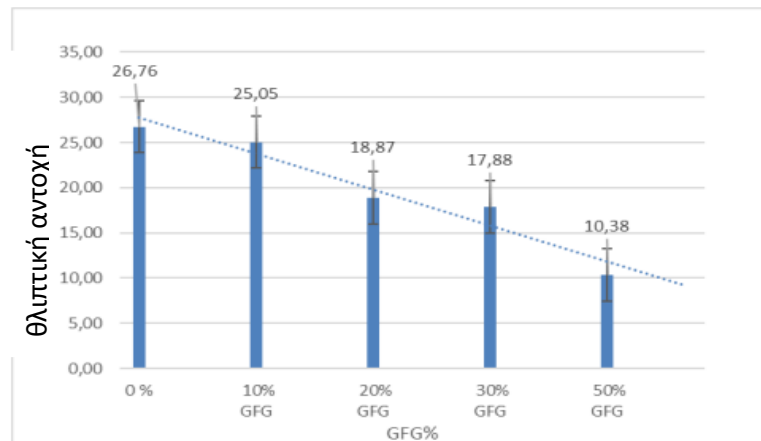
Όπως φαίνεται στα διαγράμματα 4.9 και 4.10 , η πυκνότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος μειώνεται όσο περισσότερο ποσοστό αδρανών GFG αντικαθίσταται. Η πυκνότητα του σκληρυμένου σκυροδέματος μειώθηκε κατά περίπου 20% στο 50% της υποκατάστασης GFG, αυτό είναι αναμενόμενο, διότι ακόμη και αν η υποκατάσταση είναι 50%, ήταν μόνο στα αδρανή επομένως το τσιμέντο και το νερό παραμένουν τα ίδια. Άρα , όταν τα δοκίμια σκυροδέματος υποκαθίστανται, μόνο περίπου το 30-35% του συνολικού όγκου των δοκιμίων αντικαθίστανται. Αυτή η μείωση του πυκνότητας δείχνει τις δυνατότητες του αδρανούς GFG στη μείωση της πυκνότητας της δομής, επιτρέποντάς της να έχει χαμηλότερο νεκρό φορτίο, καθιστώντας ευκολότερη τη μεταφορά και την εγκατάσταση, μειώνοντας το κόστος μεταφοράς, το κόστος υλικών και το κόστος εργασίας. Επιπλέον, η χαμηλότερη πυκνότητα επιτρέπει στη δομή να έχει καλύτερη θερμομόνωση και αντίσταση στη θερμότητα, μειώνοντας το κόστος θέρμανσης.

Αποτελέσματα δοκιμής συμπίεσης

Μετά από 28 ημέρες σκλήρυνσης, τα δοκίμια σκυροδέματος δοκιμάστηκαν, φωτογραφήθηκαν και το αποτέλεσμα αντοχή τους σε θλίψη και οι χαρακτηριστικές τους τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 4.6 .

Αναλογία Ανάμιξης	Δοκιμη	Θλιπτική αντοχή (Μρα)	Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή (Μρα)	Ικανότητα αντοχής (%)
GFG 0%	1	30,5	26,8	100
	2	31,9		
	3	29		
GFG 10%	1	25,9	25,1	93,6
	2	26,5		
	3	25,7		
GFG 20%	1	24	18,9	70,5
	2	24,1		
	3	21,2		
GFG 30%	1	19	17,9	66,8
	2	19,8		
	3	18,8		
GFG 50%	1	11,8	10,4	38,8
	2	12,9		
	3	13,7		

Πίνακας 4.6 Αποτελέσματα δοκιμών θλιπτικής αντοχής



Διάγραμμα 4.11 θλιπτική αντοχή

Η χαρακτηριστική αντοχή σε θλίψη υπολογίζεται $fp = f_{av} - k_{\sigma} \cdot \sigma_x$ όπου,

fp = τιμή κλασματικού 5 % (χρησιμοποιείται ως χαρακτηριστική τιμή),

f_{av} = μέση τιμή των αποτελεσμάτων της δοκιμής,

σ_x = τυπική απόκλιση,

k_{σ} = συντελεστής fractile που αντιστοιχεί στον αριθμό των δοκιμών, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Αριθμός δοκιμών	3	4	5	6	7	8
k_{σ}	3,15	2,68	2,46	2,34	2,25	2,19

Πίνακας 4.7 συντελεστής k_{σ}

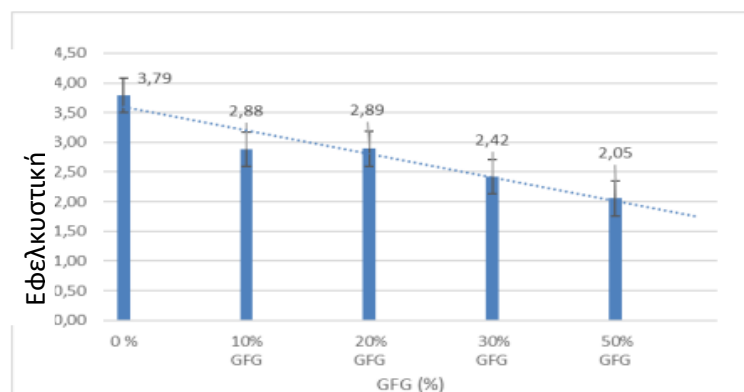
Από τα αποτελέσματα της δοκιμής συμπίεσης γίνεται κατανοητό ότι όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα GFG αδρανών που αντικαθίσταται, τόσο χαμηλότερη είναι η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη. Αυτό συμβαίνει λόγω της μείωσης της πυκνότητας και της διαφοράς αντοχής μεταξύ των φυσικών αδρανών και των αδρανών GFG. Παρατηρήθηκε από τα αποτυχημένα δοκίμια μετά τη δοκιμή θλίψης ότι ορισμένα αδρανή από αφρώδες γυαλί έσπασαν μαζί με την τσιμεντόπαστα, ενώ τα περισσότερα φυσικά αδρανή παρέμειναν άθικτα.

Αποτελέσματα δοκιμής διάσπασης σε εφελκυσμό

Μετά από 28 ημέρες ωρίμανσης, τα δοκίμια σκυροδέματος δοκιμάστηκαν, φωτογραφήθηκαν και τα αποτελέσματα της θλιπτικής τους αντοχής και των χαρακτηριστικών τους τιμών παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.

Αναλογία Ανάμιξης	Δοκιμη	Εφελκυστική αντοχή (Μρα)	Χαρακτηριστική εφελκυστική αντοχή (Μρα)	Ικανότητα αντοχής (%)
GFG 0%	1	3,8	3,8	100
	2	3,8		
	3	3,8		
GFG 10%	1	3,2	2,9	75,9
	2	2,5		
	3	3,3		
GFG 20%	1	3,3	2,9	76,2
	2	3,8		
	3	3,4		
GFG 30%	1	3,2	2,4	63,7
	2	2,8		
	3	2,9		
GFG 50%	1	2,4	2,1	54,1
	2	2,4		
	3	2,2		

Πίνακας 4.8 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυστικής αντοχής



Διάγραμμα 4.12 , αποτελέσματα δοκιμών εφελκυστικής αντοχής

Το αποτέλεσμα των δοκιμών διατμητικού εφελκυσμού δείχνει μια μικρή ασυνέπεια στην ομάδα με υποκατάστατο 20%, ενώ στις άλλες ομάδες παρουσιάζει την ίδια μείωση της αντοχής σε σύγκριση με την δοκιμή συμπίεσης. Αυτό μπορεί να αποδοθεί σε ασυνέπειες στα μείγματα σκυροδέματος μεταξύ των δειγμάτων. Παρατηρήθηκε επίσης από το αποτυχημένο δείγμα, ότι μετά τη δοκιμή διατμητικού εφελκυσμού, ορισμένα αδρανή από αφρώδες γυαλί έσπασαν μαζί με την πάστα τσιμέντου, ενώ τα περισσότερα φυσικά αδρανή παρέμειναν άθικτα. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό λόγω του ότι ο δεσμός εντός του αφρώδους γυαλιού αδρανών δεν είναι τόσο ισχυρός όσο ο δεσμός μεταξύ της πάστας τσιμέντου και των αδρανών.

4.2.4 Συμπέρασμα

Η δοκιμή της μεθόδου συμπύκνωσης δείχνει ότι το αδρανές υλικό GFG επιπλέει στην κορυφή κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συμπύκνωσης. Αυτό απέδειξε ότι το αδρανές GFG δηλαδή το ελαφρύ αδρανές, δεν είναι κατάλληλο για χρήση μαζί με φυσικά βαριά αδρανή κατά την παραγωγή σκυροδέματος, το οποίο οφείλεται στο γεγονός ότι τα ελαφρά αδρανή έχουν χαμηλότερη πυκνότητα σε σύγκριση με τα φυσικά αδρανή. Σε ένα εργοτάξιο, όπου μπορεί να χρειαστεί να χυθούν μεγάλες ποσότητες σκυροδέματος, τα ελαφριά αδρανή θα επιπλέουν και θα παραμένουν στο ανώτερο τμήμα της κατασκευής κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα η δομή να έχει πολύ χαμηλότερη αντοχή στην κορυφή από αυτή που σχεδιάστηκε. Στην παρούσα έρευνα, η κατανομή των αδρανών επιτεύχθηκε κατά τη συμπύκνωση κάθε 100 mm του χυτού δοκιμίου. Τα αποτελέσματα των δοκιμών, παρά μια μικρή ασυνέπεια, είναι όλα εντός των προσδοκιών. Ωστόσο, παρά την παρατηρούμενη πτώση στην αντοχή, τα συνολικά αποτελέσματα μπορούν να θεωρηθούν ακόμη ευνοϊκά. Τα δοκίμια της ομάδας με 50% υποκατάστατο αδρανών GFG μπόρεσαν να φθάσουν στην κατηγορία LC12/13 ($f_{ck,κυλ}=12 \text{ N/mm}^2$, $f_{ck,κυβ.}= 13\text{N/mm}^2$), κατά το πρότυπο EN 206 (2014).

Το σκυρόδεμα αυτής της κατηγορίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου η υψηλότερη αντοχή δεν αποτελεί κρίσιμο αίτημα, αυτό μπορεί να είναι η στρώση βάσης του ορόφου του σπιτιού, η θεμελίωση ή άλλο μη δομικό στοιχείο του κτιρίου, όπως πλήρωση από μαζικό σκυρόδεμα ή μη φέρων τοίχος. Επιπλέον, για τα δοκίμια της ομάδας με 30% αντικατάσταση, η κλάση τους μπορεί να είναι προσδιορίζεται LC16/18 ($f_{ck,κυλ}=16 \text{ N/mm}^2$, $f_{ck,κυβ.}= 18\text{N/mm}^2$) κατά το πρότυπο EN 206 (2014), γεγονός που θα επέτρεπε ακόμη και τη χρήση τους σε πλάκες δαπέδου με

μέτρια φέρουσα ικανότητα ή ελαφριά οικιακά θεμέλια, όπως πεζοδρόμια και γκαράζ Βάσεις. Υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί στην παρούσα μελέτη, καθώς όλα τα μίγματα σκυροδέματος έχουν την ίδια μέτρια εργασιμότητα. Το αδρανές υλικό GFG που αντικαθίσταται προστίθεται με τρόπο ώστε να διατηρείται η καμπύλη κατανομής των κόκκων του φυσικού αδρανούς και δεν ελήφθη υπόψη αντικαθιστώντας μόνο το μέγεθος του πληρωτικού υλικού ή το χονδρόκοκκο μέγεθος του φυσικού αδρανούς. Επιπλέον, μόνο επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη η αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό του δοκιμίου σκυροδέματος.

4.2.5 Περιορισμοί

Στην Ευρώπη, υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις που ασχολούνται με την επεξεργασία του χρησιμοποιημένου γυαλιού, συμπεριλαμβανομένου του χωρισμού του ανάλογα με το χρώμα του. Αντίθετα, στη χώρα μας, παρατηρούμε καθυστέρηση σε αυτόν τον τομέα. Παρ'όλα αυτά, πρόσφατα γίνεται προσπάθεια να βελτιωθεί η κατάσταση, με την εγκατάσταση 20 σημείων συλλογής γυαλιού σε κεντρικά σημεία της πόλης, σε συνδυασμό με τους υπάρχοντες κάδους ανακύκλωσης.

Ωστόσο, η χρήση θρυμματισμένου γυαλιού ως αδρανούς υλικού στο σκυρόδεμα προκαλεί προβλήματα λόγω της χημικής αντίδρασης μεταξύ των αλκαλίων του τσιμέντου και του πυριτίου του γυαλιού. Αυτή η αντίδραση αλκαλίου-πυριτίας (ASR) οδηγεί στο σχηματισμό ενός πηκτώματος, το οποίο μεγαλώνει με την υγρασία, προκαλώντας ρωγμές και ασυμβίβαστες ζημιές στο σκυρόδεμα. Αυτό το φαινόμενο είναι εξαιρετικά ενοχλητικό, διότι μπορεί να είναι μακροχρόνιο και οι βλαβερές επιπτώσεις να μην φαίνονται για πολλά χρόνια. Οι προβλέψεις για το πώς θα αντιδράσουν τα συσσωματώματα στη φύση είναι αβέβαιες και απαιτούν επιταχυνόμενες εργαστηριακές δοκιμές, οι οποίες, ωστόσο, είναι περιορισμένης αξιοπιστίας.

4.2.6 Άλλες λύσεις

Κάποιες πιθανές μέθοδοι για να αποφευχθεί η παραμονή των ελαφρύτερων αδρανών στην επιφάνεια του σκυροδέματος είναι η χρήση μίγματος χαμηλής εργασιμότητας, η δόνησης χαμηλής συχνότητας ή η συμπύκνωση του μίγματος ανά στρώση. Δεν υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα όσον αφορά την αλκαλοπυριτιλη αντίδραση (asr) εάν τα υαλοαπόβλητα χρησιμοποιούνται ως αδρανή σε σκυρόδεμα. Μια έρευνα στο πανεπιστήμιο Columbia έχει επικεντρωθεί στη βασική κατανόηση

του ASR φαινομένου και στην αναζήτηση τρόπων για την αποφυγή ή τον μετριασμό των βλαβερών επιπτώσεων. Ορισμένες από τις τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα ή βρίσκονται υπό διερεύνηση είναι:

- Άλεσμα του γυαλιού αρκετά λεπτά. Ράβδοι κονιάματος που περιέχουν σωματίδια γυαλιού, τα οποία περνούν το αμερικανικό πρότυπο κόσκινο #100 δεν παρουσιάζουν μετρήσιμη διαστολή στη δοκιμή ASTM C 1260.

- Αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου από μετακαολίνη. Η λύση αυτή είναι γνωστή στη βιομηχανία σκυροδέματος λόγω του ότι η μετακαολίνη απορροφά τα αλκαλικά ιόντα που είναι υπεύθυνα για την αντίδραση. Δεδομένου ότι η μετακαολίνη είναι σχετικά ακριβή, κοστίζει περίπου τρεις φορές περισσότερο από το τσιμέντο, αναζητούμε τώρα άλλα, χαμηλού κόστους πρόσθετα που καταστέλλουν το φαινόμενο.

- Εφαρμογή προστατευτικών επιστρώσεων στα σωματίδια γυαλιού. Οι προσπάθειες επέκτασης αυτής της λύσης σε μια βιώσιμη και οικονομική εναλλακτική λύση βρίσκονται ακόμη σε εννοιολογικό στάδιο.

- Τροποποίηση των χημικών τύπων του γυαλιού. Η έρευνά έδειξε ότι μικρές ποσότητες πρόσθετων στο τήγμα του γυαλιού έχουν τη δυνατότητα να καταστέλλουν την επέκταση της ASR. Το Πανεπιστήμιο Κολούμπια έχει λάβει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για την ανακάλυψη ότι το πράσινο γυαλί (π.χ. μπουκάλια μπίρας), το οποίο οφείλει το χρώμα του σε οξειδίο του χρωμίου, προκαλεί ελάχιστη ή καθόλου αντίδραση σύμφωνα με τη δοκιμή ASTM C 1260.

4.3 Σκυρόδεμα με χρήση οργανικών αποβλήτων

Καθώς ο κλάδος της κατασκευαστικής βιομηχανίας αναπτύσσεται με σταθερό ρυθμό, η αυξανόμενη ζήτηση για ποτάμια άμμο είναι ένα ακόμη σημαντικό κεφάλαιο. Η ζήτηση για άμμο έχει αυξηθεί απότομα, κατά 360% τα τελευταία 30 χρόνια, και δείχνει συνεχή αύξηση. Ο εξωφρενικός όγκος εκμετάλλευσης ποτάμιων άμμων για κατασκευές προκαλεί πολλαπλές ανεπιθύμητες επιπτώσεις στο περιβάλλον και την κοινωνία. Η παράνομη εξόρυξη αποτελεί ανεξέλεγκτο πρόβλημα, ενώ τα φυσικά κοιτάσματα άμμου μειώνονται.

Αυτή η ανεξέλεγκτη εξόρυξη δημιουργεί απειλές όσο αφορά τα ποτάμια, οι οποίες είναι οικολογικά αναστρέψιμες ακόμη και μακροπρόθεσμα. Είναι αναγκαία άμεση και βιώσιμη δράση για να αντιμετωπιστούν οι επιπτώσεις αυτές. Με την τεράστια

ζήτηση για άμμο στην κατασκευαστική βιομηχανία, οι πόροι ποτάμιας άμμου εξαντλούνται.

Παγκοσμίως, οι ερευνητές ενδιαφέρονται για εναλλακτικές λύσεις στην ποτάμια άμμο, καθώς γίνεται ένα όλο και πιο σπάνιο υλικό. Οι φυσικές πηγές άμμου εξαντλούνται κοντά σε πολλές περιοχές με μεγάλη αστική ανάπτυξη, και η χρήση εναλλακτικών υλικών στο σκυρόδεμα έχει γίνει αντικείμενο ενδιαφέροντος και εξέλιξης.

4.3.1 Παραγωγή οργανικών αποβλήτων

Τα οργανικά απόβλητα, όπως τα απόβλητα κήπου και τροφίμων, συμβάλλουν σημαντικά στα προβλήματα των χώρων υγειονομικής ταφής. Κατά την απόρριψη των αποβλήτων, εκπέμπεται μεθάνιο, ο κύριος υπεύθυνος για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η απόρριψη των αποβλήτων δεν επηρεάζει μόνο την ατμόσφαιρα, αλλά δημιουργεί και περιβαλλοντικά προβλήματα στο έδαφος και το νερό.

Τα οργανικά απόβλητα αναφέρονται σε οποιαδήποτε υπολείμματα προερχόμενα από φυτά ή ζώα, τα οποία μπορούν να διασπαστούν φυσικά με το πέρασμα του χρόνου. Συγκεκριμένα παραδείγματα αποτελούνται από υπολείμματα τροφίμων, κλαδέματα κήπων, ξύλινα ροκανίδια, προϊόντα χαρτιού, ζωικά απόβλητα, και βιοδιασπώμενα πλαστικά. Τα οργανικά απόβλητα περιέχουν συχνά πλούσια θρεπτικά συστατικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμη πηγή για κομποστοποίηση, ενίσχυση του εδάφους και παραγωγή ενέργειας μέσω αναερόβιας χώνευσης ή άλλων διαδικασιών. Η σωστή διαχείριση των οργανικών αποβλήτων είναι απαραίτητη για να μειωθούν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, να προωθηθεί η βιωσιμότητα και να προστατευθεί η δημόσια υγεία και το περιβάλλον.

Στον τομέα της κατασκευής, η άμμος αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της πρώτης ύλης, χρησιμοποιούμενη κυρίως στην παραγωγή σκυροδέματος και ασβεστοκονιάματος. Επιπλέον, καθημερινά παράγονται περίπου 9 δισεκατομμύρια τόνοι αποβλήτων. Και τα δύο προβλήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση των μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων από τα σκουπίδια για την παραγωγή σωματιδίων, όπως η άμμος που είναι αντίστοιχη με τα λεπτά αδρανή στο σκυρόδεμα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις κατασκευές.

Στόχος είναι επομένως να αξιοποιηθούν τα οργανικά απόβλητα αυτά τα σωματίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έργα κατασκευής, καλύπτοντας έτσι τις ανάγκες για οικοδομική άμμο, ενώ παράλληλα επιλύονται τα δύο προβλήματα που προαναφέρθηκαν

4.3.2 Τα οφέλη από τη χρήση οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνουν:

- Παρέχει μια καινοτόμο λύση για την αντικατάσταση της άμμου ποταμού.
- Είναι οικονομικά αποδοτικό.
- Αυξάνει τη διάρκεια ζωής των υφιστάμενων χώρων υγειονομικής ταφής
- Αποφεύγεται η δημιουργία νέων χώρων αποθήκευσης αποβλήτων μειώνοντας το συνολικό κόστος.
- Μετατροπή των αποβλήτων σε πηγή ανανεώσιμης λύσης
- Ελαχιστοποίηση Ρύπανσης
- Ελαχιστοποίηση της Υπερθέρμανσης του Πλανήτη:
- Συμβάλλει στη διατήρηση των φυσικών πόρων.
- Συμβολή στη δημιουργία θέσεων εργασίας.

4.3.3 Διαδικασία

Τα απόβλητα συλλέγονται από τους χώρους υγειονομικής ταφής, διαχωρίζονται σε ανακυκλώσιμα και μη ανακυκλώσιμα απόβλητα. Τα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα περνούν από μια διαδικασία που ονομάζεται υγιεινοποίηση, η οποία είναι μια διαδικασία καθαρισμού. Ο όγκος των αποβλήτων μειώνεται σε αυτή την φάση. Στη συνέχεια, το μείγμα θρυμματίζεται και κοσκινίζεται στο απαιτούμενο μέγεθος. Το μείγμα υποβάλλεται σε αυτόκαυστο για να εγκλωβιστούν τα βακτήρια που υπάρχουν σε αυτό και μετατρέπεται σε σωματίδια σαν άμμο. Η παρασκευασμένη άμμος συμμορφώνεται με τις ιδιότητες και τα μικροβιολογικά πρότυπα της ποτάμιας άμμου.

Πιο αναλυτικά η διαδικασία μετατροπής των οργανικών αποβλήτων σε σωματίδια που μοιάζουν με σκόνη παρουσιάζεται παρακάτω:

4.3.3.1 Συλλογή αποβλήτων

- Για τη συλλογή των στερεών αποβλήτων από διάφορες πηγές χρησιμοποιούνται διαφορετικές μέθοδοι. Τα απόβλητα από τα νοικοκυριά και τις εμπορικές εγκαταστάσεις συλλέγονται με την μέθοδο «από πόρτα σε πόρτα»



Εικόνα 4.9 Συλλογή οργανικών αποβλήτων Πηγή : <https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/sustainability/food-waste/>

4.3.3.2 Μεταφορά των αποβλήτων

Τα στερεά απόβλητα που συλλέγονται από τα νοικοκυριά και τις εμπορικές εγκαταστάσεις αποθηκεύονται προσωρινά στους κάδους απορριμμάτων και στη συνέχεια μεταφέρονται στο χώρο διάθεσης. Η μεταφορά των στερεών αποβλήτων πραγματοποιείται από τον δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα με ανατρεπόμενα φορτηγά και συμπιεστές προς την εγκατάσταση κομποστοποίησης. Όλα τα οχήματα που χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση στερεών αποβλήτων παρακολουθούνται μέσω συστήματος GPS

4.3.3.3 Διαχωρισμός αποβλήτων

Τα απόβλητα που συλλέγονται υποβάλλονται τώρα σε διαδικασία διαχωρισμού. Τα ανακυκλώσιμα απόβλητα διαχωρίζονται από τα μη ανακυκλώσιμα απόβλητα και αποστέλλονται για ανακύκλωση. Με τον τρόπο αυτό λαμβάνεται η απαιτούμενη ποσότητα μη ανακυκλώσιμων αποβλήτων για τη διαδικασία.

4.3.3.4 Υγιεινοποίηση

Η υγιεινοποίηση είναι ο καθαρισμός των αποβλήτων και η απομάκρυνση της οσμής και των βακτηρίων. Αποτελεί τη μέθοδο μέσω της οποίας τα αποικοδομήσιμα στερεά απόβλητα υποβάλλονται σε έκθεση σε ορισμένη ποσότητα διαδικασίας αερισμού, τα βιοαποικοδομήσιμα διαχωρισμένα απόβλητα αποστέλλονται σε

κλειστό περιστρεφόμενο κύλινδρο που κάνει 1200 περιστροφές την ημέρα και περιστρέφονται για 2 ημέρες. Ο κύλινδρος έχει ενσωματωμένη παροχή οξυγόνου και το οξυγόνο που παρέχεται ενεργοποιεί την αερόβια διαδικασία, η οσμή απομακρύνεται και τα απόβλητα μειώνονται κατά 50%. Αυτή η διαδικασία εκπέμπει επίσης πολλές εκροές νερού οι οποίες μπορούν να μεταφερθούν απευθείας σε βιοαέριο, θερμοκήπια λαχανικών και άλλα χωράφια που χρειάζονται λίπανση.

4.3.3.5 Θραύση

Σε αυτή τη διαδικασία τα απόβλητα από την υγιεινοποίηση θρυμματίζονται και κοσκινίζονται, καθώς η άμεση παραγωγή από τη διαδικασία υγιεινοποίησης δεν είναι ομοιόμορφη. Το τελικό προϊόν από την υγιεινοποίηση έχει περιεκτικότητα σε νερό περίπου 25-35% και το μέγεθος είναι μεγάλο για κοκκοποίηση, πρέπει να θρυμματιστεί σε μικρότερα υλικά.

4.3.3.6 Κοσκινισμός

Αφού σταθεροποιηθεί το υλικό, οδηγείται στο τμήμα κοσκίνισης με τη χρήση φορτωτή για κοσκίνισμα. Υιοθετείται σύστημα κοσκίνισης τριών σταδίων για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης κοσκίνισης. Το πρώτο κόσκινο είναι 65mm, όπου τροφοδοτούνται τα σταθεροποιημένα απόβλητα και η έξοδος από αυτό το κόσκινο μεταφέρεται μέσω ταινίας στο επόμενο κόσκινο και τα απορριπτόμενα μεταφέρονται από ξεχωριστή μεταφορική ταινία και συλλέγονται.

4.3.3.7 Ενσωμάτωση βακτηρίων

Τα οργανικά απόβλητα μετατρέπονται σε μείγμα όπου θα υπάρχει παρουσία βακτηρίων σε αυτά. Παρόλο που ορισμένα από τα βακτήρια μπορεί να απομακρυνθούν κατά τη διαδικασία υγιεινοποίησης, εντούτοις κάποια από τα βακτήρια θα είναι παρόντα στο μείγμα. Η απομάκρυνση των βακτηρίων από το μείγμα είναι γνωστή ως ενθυλάκωση των βακτηρίων.

Η κοσκινισμένη παραγωγή περιέχει κυρίως δύο τύπους βακτηρίων.

- **Στρεπτοκοκκος:** Ο Στρεπτόκοκκος είναι ένα σφαιρικό βακτήριο, που ανήκει στην οικογένεια των Στρεπτόκοκκων. Η κυτταρική διαίρεση στους στρεπτόκοκκους γίνεται κατά μήκος ενός μόνο άξονα, οπότε καθώς αναπτύσσονται τείνουν να σχηματίζουν ζεύγη ή αλυσίδες που μπορεί να φαίνονται λυγισμένα ή στριμμένα. Οι περισσότεροι στρεπτόκοκκοι είναι αρνητικοί σε οξειδάση και καταλάση και πολλοί είναι προαιρετικά αναερόβιοι.

- Κολικοειδη: Τα βακτηρίδια απο τις ακαθαρσίες είναι ένα προαιρετικά αναερόβιο, ραβδόμορφο, μη σπορογόνο βακτήριο προέρχονται γενικά από τα έντερα θερμόαιμων ζώων. Είναι ικανά να αναπτύσσονται παρουσία χολικών αλάτων ή παρόμοιων επιφανειακών παραγόντων, είναι αρνητικά ως προς την οξειδάση και παράγουν οξύ και αέριο από λακτόζη εντός 48 ωρών σε θερμοκρασία $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$).

4.3.3.8 Μηχανή Αυτόκλειστου

Το θρυμματισμένο και κοσκινισμένο μείγμα περιέχει μεγάλο αριθμό βακτηρίων. Ένα μείγμα που περιέχει βακτήρια θεωρείται οργανικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως κομπόστ. Τα βακτήρια που υπάρχουν στο μείγμα μπορούν επίσης να διαβρώσουν το σκυρόδεμα με αποτέλεσμα να προκληθεί τεράστια ζημιά, επομένως είναι απαραίτητο να απομακρυνθούν από το μείγμα για να μετατραπεί σε υλικό άμμου. Ως εκ τούτου, τα βακτήρια απομακρύνονται από το οργανικό υλικό με τη διαδικασία της αυτόκλεισης. Η αυτόκλειστη αποστείρωση είναι μια μέθοδος αποστείρωσης που χρησιμοποιεί στέλεχος υψηλής πίεσης. Λειτουργεί με την έννοια ότι το σημείο βρασμού του νερού αυξάνεται όταν βρίσκεται υπό πίεση. Ένα αυτόκλειστο είναι ένας θάλαμος πίεσης που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση οποιασδήποτε βιομηχανικής διαδικασίας που απαιτεί αυξημένη θερμοκρασία και πίεση διαφορετική από την πίεση του αέρα του περιβάλλοντος.

Τα αυτόκλειστα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξάλειψη μικροοργανισμών, τη σκλήρυνση σύνθετων υλικών, τη βουλκανικοποίηση καουτσούκ και για υδροθερμική σύνθεση. Το αυτόκλειστο είναι μια πολύ αξιόπιστη μέθοδος για την αποστείρωση και την απολύμανση εργαστηριακών γυάλινων αντικειμένων, ιατρικών οργάνων και αποβλήτων, αντιδραστηρίων και άλλων μέσων. Τα αυτόκλειστα μπορούν να καταστήσουν ανενεργούς τους μύκητες, τα βακτήρια, τα σπόρια, τους ιούς και άλλους μικροοργανισμούς σε χειρουργικά εργαλεία, όπως νυστέρια, λαβίδες, ψαλίδια και άλλα μεταλλικά αντικείμενα.

Η διαδικασία αυτόκαυστοποίησης σε αυτή τη μετατροπή του οργανικού μείγματος σε άμμο περιλαμβάνει την σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του μείγματος υπό υψηλή πίεση μέχρι να επιτευχθεί θερμοκρασία 120°C και στη συνέχεια ατμοποίηση για περίπου 15-20 λεπτά. Το αυτόκλειστο επιτρέπει τη ροή ατμού υψηλής πίεσης γύρω από τα αντικείμενα στο θάλαμο. Τα αντικείμενα θα πρέπει να διαχωρίζονται ώστε να επιτρέπεται η ομοιόμορφη διείδυση του ατμού. Ο ατμός μπορεί να φτάσει

ακόμη και στις μικρές ρωγμές και μπορεί να σκοτώσει όλα τα βακτήρια, τους ιούς και τα βακτηριακά σπόρια. Μετά τη διαδικασία αυτόκαυστοποίησης το μείγμα μετατρέπεται σε άμμο, καθώς οι ιδιότητες του μείγματος που λαμβάνεται είναι σχεδόν ίδιες με τις ιδιότητες της άμμου



Εικόνα 4.10 , μηχανή αυτοκλειστού πηγή : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Autoclave_for_trash.jpg

4.3.4 Πειραματική διαδικασία

Στην συνέχεια αναφορά σε ένα εργαστηριακό πείραμα το οποίο διεξάχθηκε στο Πανεπιστήμιο Universidad Nacional de Colombia

4.3.4.1 ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ώστε τα δείγματα σκυροδέματος αναφοράς μπορούσαν να φθάσουν στην κατηγορία C20/25, η οποία αντιστοιχεί σε αντοχή σε θλίψη 20 MPa για τα δοκίμια κυλινδρικού σχήματος και 25 MPa για τα δοκίμια κυβικού σχήματος.

- Τσιμέντο

Χρήση συνηθισμένου τσιμέντου πόρτλαντ για σκυρόδεμα υψηλότερης αντοχής με πολύ οικονομική περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

Ειδικό βάρος τσιμέντου = $3,15 \text{ kg/m}^3$

- Αδρανή

Τύπος αδρανών = θρυμματισμένα αδρανή

Μέγιστο μέγεθος αδρανών = 20mm

Ειδικό βάρος τους

1) χονδρόκοκκων αδρανών 20mm = $2,67 \text{ kg/m}^3$

2) Λεπτά αδρανή (άμμος ποταμού) = 2,65 kg/m³

3) Λεπτά αδρανή (άμμος από οργανικά απόβλητα) = 2,59 kg/m³

- Λόγος νερού τσιμέντου

Μέγιστος λόγος νερού-τσιμέντου = 0,44

Απορροφητικότητα νερού

1) χονδρόκοκκων αδρανών 20mm = 0,5%

2) Λεπτά αδρανή (άμμος ποταμού) = 2,5%

3) Λεπτά αδρανή (άμμος από οργανικά απόβλητα) = 2,59 kg/m³

- Λίπασμα από οργανικά απόβλητα

Λόγω στενότητας χρόνου, το κομπόστ που είχε ήδη περάσει από τη διαδικασία που αναλύθηκε παραπάνω αγοράστηκε από ένα εργοστάσιο κηπουρικής.

Αναλογίες μίγματος αναφοράς

Υλικο	Ποσότητα
Τσιμέντο	422.73 kg
Λεπτόκοκκο αδρανές	565.72 kg
Χονδρόκοκκο αδρανές	709.71 kg
Νερό	183.63 mm
αναλογία νερού/τσιμέντου	0.44

Πίνακας 4.9 αναλογίες μίγματος αναφοράς

4.3.4.2 Αναλογίες παραλλαγών μιγμάτων

Για κάθε ποσοστό διακύμανσης χυτεύτηκαν 15 κύβοι και 6 κύλινδροι.

β) Το μέγεθος ενός καλουπιού για κύβους είναι 100 x 100 x 10mm.

γ) Το μέγεθος ενός καλουπιού κυλίνδρου είναι 150 x 300mm.

δ) Επομένως (15 x 0,001m³ + 6 x 0,0052m³) x η τιμή της ποσότητας

Σχήμα	οργανικά απόβλητα (%)	Λόγος N/T	Νερό (L)	Άμμος από οργανικά απόβλητα (kg)	τσιμέντο (kg)	Λεπτόκοκκα αδρανή (kg)	Ποτάμι α άμμος(kg)	Χονδρόκοκκα αδρανή (kg)
Κύβος	20%	0.44	2,57	1,7	6,34	8,48	6,78	10,64
Κύβος	25%	0.44	2,57	2,12	6,34	8,48	6,38	10,64
Κύβος	30%	0.44	2,57	2,54	6,34	8,48	5,94	10,64
Κύλινδρος	20%	0.44	5,72	3,53	13,18	17,65	14,12	22,14
Κύλινδρος	25%	0.44	5,72	4,41	13,18	17,65	13,24	22,14
Κύλινδρος	30%	0.44	5,72	5,3	13,18	17,65	12,35	22,14

Πίνακας 4.10 Αναλογίες παραλλαγών μιγμάτων με χρήση οργανικών αποβλήτων

4.3.4.3 Διαδικασία δοκιμών

Δοκιμή κώνου κάθισης

Η δοκιμή κάθισης σκυροδέματος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της εργασιμότητας ή της συνοχής του σκυροδέματος. που παρασκευάζεται στο εργαστήριο ή στο εργοτάξιο κατά την πρόοδο των εργασιών. Δοκιμή κάθισης σκυροδέματος διενεργείται από παρτίδα σε παρτίδα για τον έλεγχο της ομοιόμορφης ποιότητας του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Διαδικασία για τη δοκιμή κώνου κάθισης σκυροδέματος

- Καθαρισμός σύμφωνα με τα πρότυπα στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού και εφαρμογή λάδι.
- Τοποθέτηση του καλουπιού σε οριζόντια μη πορώδη πλάκα βάσης.
- Γέμισμα του καλουπιού με το προετοιμασμένο μείγμα σκυροδέματος σε 3 περίπου ίσες στρώσεις.
- Στερέωση κάθε στρώσης με 25 χτυπήματα με τη ράβδο συμπίεσης με ομοιόμορφο τρόπο σε όλη τη διατομή του δοχείου του καλουπιού. Για τις επόμενες στρώσεις, η συμπίεση πρέπει να εισχωρεί στην υποκείμενη στρώση.
- Απομάκρυνση της περίσσειας σκυροδέματος.
- Ισοπέδωση της επιφάνειας με σπάτουλα.
- Σήκωμα του καλουπιού από το σκυρόδεμα αμέσως με κατακόρυφη κατεύθυνση.
- Μέτρηση του ύψους της κάθισης.

Δοκιμή θλιψης

Η αντοχή σε θλίψη είναι η ικανότητα του υλικού ή της κατασκευής να φέρει τα φορτία στην επιφάνειά του χωρίς ρωγμή ή παραμόρφωση. Ένα υλικό υπό συμπίεση τείνει να μειώνεται σε μέγεθος. Τα δοκίμια αυτά δοκιμάζονται με μηχανή δοκιμής θλίψης μετά από ωρίμανση 7 ημερών και 28 ημερών. Το φορτίο εφαρμόζεται σταδιακά με ρυθμό 140 kg/cm^2 ανά λεπτό έως ότου τα δοκίμια αστοχήσουν. Το φορτίο όταν το δοκίμιο αστοχεί διαιρείται με την επιφάνεια του δοκίμιο για να προκύψει η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη.



Εικόνα 4.11 Εμποτισμός δοκιμίων στο νερό για τον καθορισμένο χρόνο σκλήρυνσης

Διαδικασία για δοκιμή κύβου σκυροδέματος

- Αφαίρεση του δοκιμίου από το νερό μετά τον καθορισμένο χρόνο σκλήρυνσης.
- Στέγνωμα του δείγματος.
- Καθαρισμός της επιφάνειας έδρασης της μηχανής δοκιμών.
- Τοποθέτηση του δοκιμίου στο μηχάνημα με τέτοιο τρόπο ώστε το φορτίο να εφαρμόζεται στις αντίθετες πλευρές του χυτού κύβου.
- Ευθυγράμμιση του δοκιμίου κεντρικά στην πλάκα βάσης της μηχανής.
- Περιστροφή ελαφρά του κινητού τμήματος έτσι ώστε να ακουμπήσει στην επάνω επιφάνεια του δοκιμίου.
- Εφαρμογή του φορτίου σταδιακά και συνεχώς με ρυθμό $140 \text{ kg/cm}^2/\text{λεπτό}$ έως ότου το δοκίμιο αστοχήσει.
- Καταγραφή το μέγιστο φορτίο.

Δοκιμή εφελκυσμού

Η αντοχή σε εφελκυσμό κατά διάσπαση είναι μία από τις σημαντικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Η μέθοδος γίνεται με τη χρήση ενός σκυροδέματος κύλινδρου ο οποίος διασπάται κατά μήκος της κατακόρυφης διαμέτρου. Οι διαστάσεις του κυλίνδρου που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή διαιρεμένου εφελκυσμού αντοχή είναι 150 mm σε διάμετρο και 300 mm σε μήκος.

Κατά την διαδικασία της δοκιμής το υγρό δοκίμιο λαμβάνεται από το νερό μετά από 7, 28 ημέρες σκλήρυνσης. Στη συνέχεια το δοκίμιο αφήνεται να στεγνώσει. Αυτό τοποθετείται κάθετα στο κέντρο της πλάκας βάσης. Εφαρμόζεται φορτίο συνεχώς με ρυθμό εντός του εύρους 0,7 έως 1,4 MPa/min. Σημειώνεται το σημείο θραύσης (P). Η αντοχή σε εφελκυσμό κατά διάσπαση του δοκιμίου υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο $\sigma = F/A$ Όπου σ = αντοχή σε εφελκυσμό, MPa F = μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο που υποδεικνύεται από το μηχάνημα δοκιμών, N και A = αρχική επιφάνεια διατομής του δείγματος, mm²

Δοκιμή αντοχής

Ανθεκτικότητα του σκυροδέματος είναι η ικανότητα να αντιστέκεται στις καιρικές συνθήκες και στη χημική δράση, διατηρώντας παράλληλα τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες. Υπάρχουν δύο τύποι δοκιμών ανθεκτικότητας που πραγματοποιήθηκαν.

- Δοκιμή απορρόφησης κορεσμένου νερού
- Δοκιμή αντίστασης σε οξεία

Δοκιμή απορρόφησης κορεσμένου νερού

Η απορροφητικότητα, μία από τις παραμέτρους της δοκιμής ανθεκτικότητας, μπορεί να προσδιοριστεί με τη δοκιμή απορρόφησης κορεσμένου νερού. Εξαρτάται από τη διαπερατότητα και το πορώδες του σκυροδέματος.

Δοκιμή αντίστασης σε οξεία

Το σκυροδέμα μπορεί να υποστεί βλάβη από όξινη επίθεση λόγω της αλκαλικής του φύσης. Οξεία όπως το θειικό οξύ, υδροχλωρικό οξύ, νιτρικό οξύ είναι πολύ επιθετικά για το σκυροδέμα. Η αποσύνθεση του σκυροδέματος λαμβάνει χώρα όταν οξύ έρχεται σε επαφή με αυτό. Η αποσύνθεση του σκυροδέματος εξαρτάται από το πορώδες του σκυροδέματος.

4.3.4.4 Αποτελέσματα

- Δοκιμή κάθισης

Δίγματος αναφοράς

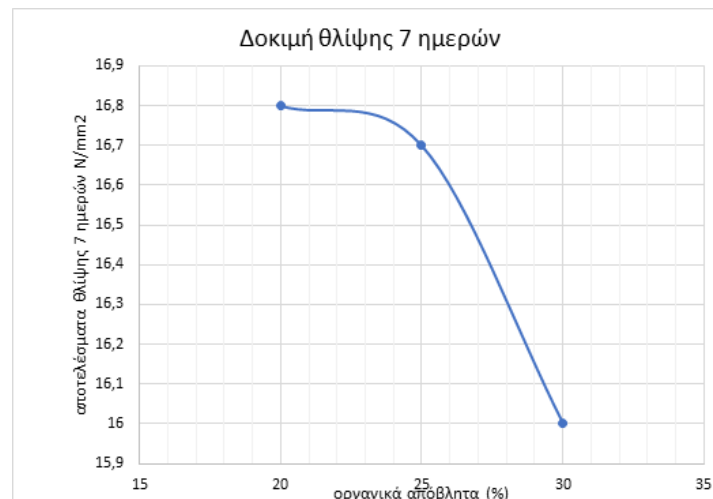
Slump 75-100 . Για όλες τις παραλλαγές της χύτευσης η προκύπτουσα κάθιση ήταν η πραγματική κάθιση. Σε μια πραγματική κάθιση το σκυρόδεμα απλώς υποχωρεί, διατηρώντας λίγο πολύ το σχήμα του.

Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης

Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης 7 ημερών

ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ 7 ΗΜΕΡΩΝ	
οργανικά απόβλητα %	αποτελέσματα (N/mm ²)
20	16,8
25	16,7
30	16

Πίνακας 4.11 Αποτελέσματα Δοκιμής θλίψης 7 ημερών

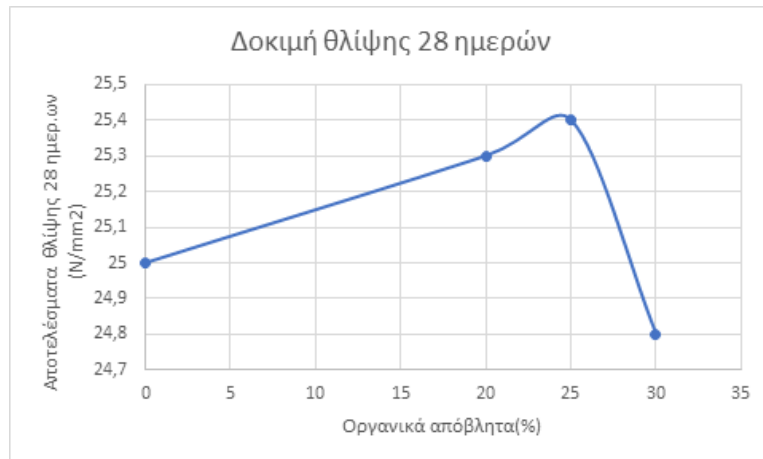


Διάγραμμα 4.13 Αποτελέσματα Δοκιμής θλίψης 7 ημερών

Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης για 28 ημέρες

ΔΟΚΙΜΗ ΘΛΙΨΗΣ 28 ΗΜΕΡΩΝ	
οργανικά απόβλητα %	αποτελέσματα (N/mm ²)
0	25
20	25,3
25	25,4
30	24,8

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης 28 ημερών



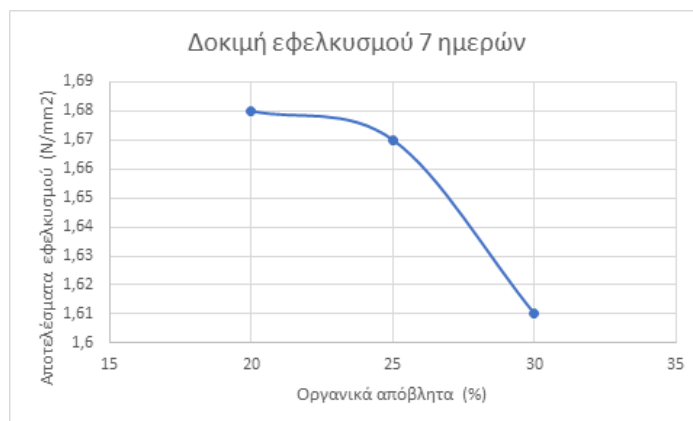
Διάγραμμα 4.14 Αποτελέσματα δοκιμής θλίψης 28 ημερών

Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού

- Αποτέλεσμα αντοχής σε εφελκυσμό 7 ημερών

ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ 7 ΗΜΕΡΩΝ	
οργανικά απόβλητα %	αποτελέσματα (N/mm ²)
20	1,68
25	1,67
30	1,61

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 7 ημερών

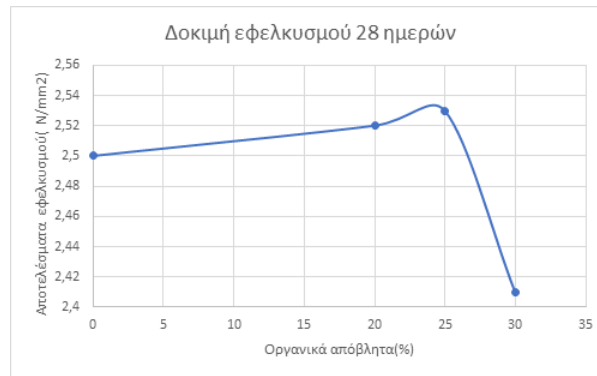


Διάγραμμα 4.15 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 7 ημερών

- Αποτέλεσμα αντοχής σε εφελκυσμό 28 ημερών

ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ 28 ΗΜΕΡΩΝ	
οργανικά απόβλητα %	αποτελέσματα (N/mm ²)
0	2,5
20	2,52
25	2,53
30	2,41

Πίνακας 4.14 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 28 ημερών



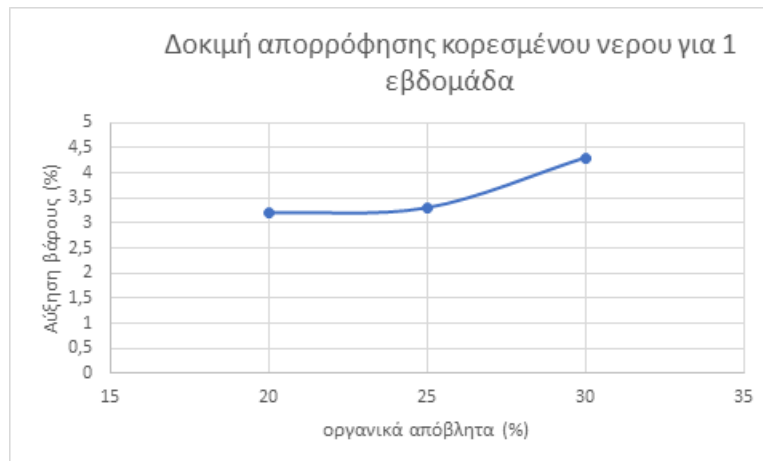
Διάγραμμα 4.16 Αποτελέσματα δοκιμής εφελκυσμού 28 ημερών

Δοκιμές αντοχής

- Αποτέλεσμα δοκιμής απορρόφησης κορεσμένου νερού

ΔΟΚΙΜΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΟΡΕΣΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ			
οργανικά απόβλητα (%)	Βάρος πριν το τεστ (g)	Βάρος μετά το τεστ (g)	Αύξηση βάρους (%)
20	2306	2392	3,2
25	2354	2434	3,3
30	2244	2341	4,3

Πίνακας 4.15 Δοκιμή απορρόφησης κορεσμένου νερού



Διάγραμμα 4.17 , Δοκιμή απορρόφησης νερού για 1 εβδομάδα

Η τιμή που αφορά την αύξηση βάρους σε σχέση με την απορρόφησης κορεσμένου νερού για 1 εβδομάδα (%) για το μίγμα αναφοράς βρέθηκε επίσης <5%

Δοκιμή αντίστασης στα οξέα

ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΟΞΕΑ						
Οργανικά απόβλητα (%)	Βάρος πριν το τεστ(g)	Βάρος μετά το τεστ (g)	Μείωση βάρους (%)	αποτελέσµατα θλίψης πριν το τεστ (N/mm ²)	αποτελέσµατα θλίψης μετά το τεστ (N/mm ²)	Μείωση δύναµης (%)
20	2388	2381	0,33	25,3	25,1	0,79
25	2560	2551	0,33	25,4	25,15	0,99
30	2363	2353	0,42	24,83	24,53	1,1

Πίνακας 4.16 Δοκιμή αντίστασης στα οξέα

Η τιμή που αφορά την δοκιμή αντίσταση στα οξέα για το μίγμα αναφοράς βρέθηκε επίσης <0,5%

4.3.5 Συμπεράσματα

Μετά από μια σειρά δοκιμών, παρατηρήθηκε ότι οι ιδιότητες της παρασκευασμένης άμμου είναι ίσες με τις ιδιότητες της άμμου του ποταμού. Η παρασκευασμένη άμμος μπορεί να αντικατασταθεί εν μέρει στο σκυρόδεμα έως και 25% χωρίς να διακυβεύονται τα χαρακτηριστικά αντοχής.

Στην παρούσα κατάσταση, η διαφορά στο κόστος της ποτάμιας άμμου και της παρασκευασμένης άμμου είναι μικρότερη, δεδομένου ότι η διαδικασία γίνεται μόνο σε μια πόλη της χώρας. Εάν η διαδικασία ξεκινήσει σε όλες τις αστικές και αγροτικές περιοχές της χώρας μπορούν να εξοικονομηθούν περισσότερα χρήματα τόσο στην κατασκευή όσο και στην υγειονομική ταφή. Τα βασικά χαρακτηριστικά αντοχής έχουν μελετηθεί στο παρόν έργο. Περαιτέρω μελέτη μπορεί να επεκταθεί για να ελεγχθεί η οικονομική βιωσιμότητα του προϊόντος

4.4 Σκυρόδεμα από ελαστικά απόβλητα

4.4.1 Ελαστικά απόβλητα

4.4.1.1.Μειονεκτήματα ταφής ελαστικών

Η ανακύκλωση των ελαστικών οχημάτων αντιπροσωπεύει μια αξιόλογη προσπάθεια για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στην παραγωγή νέων υλικών και την εκσυγχρονισμένη χρήση των υφιστάμενων. Η προσοχή επικεντρώνεται κυρίως στη βελτίωση των χαρακτηριστικών του σκυροδέματος μέσω της εκμετάλλευσης των προϊόντων που προκύπτουν από την ανακύκλωση των ελαστικών. Κάθε χρόνο, περίπου 3 εκατομμύρια τόνοι ελαστικών αυτοκινήτων πετώνται, στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Τα χρησιμοποιημένα ελαστικά προέρχονται

από διάφορα οχήματα, όπως αυτοκίνητα, φορτηγά, μοτοσικλέτες, γεωργικά μηχανήματα κ.ά. Η Ελλάδα εισάγει περίπου 47.000-50.000 τόνους ελαστικών ετησίως, με το 43% να ανήκει σε φορτηγά και το 57% σε επιβατικά οχήματα. Αυτά τα ελαστικά, που αντιστοιχούν στο 20% του συνολικού βάρους των εισαγομένων, προκαλούν ζημιές όταν απορρίπτονται σε χώρους αποτέφρωσης ή στο περιβάλλον. Η ανάγκη για ανακύκλωση ελαστικών γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική, δεδομένων των αρνητικών επιπτώσεων της απόρριψης, όπως οι μικροβιακές μόλυνσεις, η εκπομπή τοξικών ουσιών και η αισθητική υποβάθμιση του περιβάλλοντος.

Ένας σημαντικός αριθμός παλαιών ελαστικών χρησιμοποιείται ως καύσιμο και ως αντικατάσταση της ασφάλτου με την τήξη τους. Οι εκπομπές που προκύπτουν από αυτήν την καύση αποτελούν σοβαρή απειλή για την ανθρώπινη υγεία, καθώς παράγονται τοξικές ουσίες όπως το βενζόλιο, το 1,3-βουταδιένιο και το βενζοπυρένιο. Ωστόσο, εάν τα παλαιά ελαστικά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν στην αρχική τους κατάσταση, χωρίς να υποστούν καύση, αυτό θα ήταν ευεργετικό είτε πρόκειται για το περιβάλλον είτε για την ανθρώπινη ζωή. Η χρήση αυτών των ελαστικών ως αδρανών υλικών για την κατασκευή σκυροδέματος αναδεικνύεται ως μια πιθανή τεχνική που προσελκύει το ενδιαφέρον των ερευνητών.

Σήμερα, η αποτίμηση των διαφόρων παραγόμενων αποβλήτων από διάφορες βιομηχανίες αποτελεί σημαντική πρόκληση. Τα απόβλητα ελαστικών αντιπροσωπεύουν έναν από τους σημαντικότερους κινδύνους παγκοσμίως. Τα εγκαταλελειμμένα ελαστικά δημιουργούν ευνοϊκό έδαφος για κουνούπια και τρωκτικά που είναι υπεύθυνα για τη μεταφορά πολλών ασθενειών. Εξαιτίας της υψηλής διαθεσιμότητάς τους, της ανθεκτικότητάς τους και της μη βιοδιασπασιμότητάς τους, τα ελαστικά αποτελούν πρωταρχικό στόχο για την ανακύκλωση.

4.4.1.2 Οφέλη ανακύκλωσης ελαστικών

Τα επιδιωκόμενα πλεονεκτήματα από την Ιδιαίτερη σημασία στην ανακύκλωση ελαστικών είναι:

- Συνεισφέρει στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, αποτρέποντας την ανεξέλεγκτη διάθεση στους χώρους υγειονομικής ταφής.
- Συμβάλλει στο να μην εξαντλούνται οι περιορισμένοι φυσικοί πόροι και εξοικονομεί την ενέργεια που θα απαιτούνταν για την κατασκευή νέων υλικών.
- Βοηθά στο να μειωθεί η ποσότητα των απορριμμάτων που καταλήγουν σε χώρους χωματερής, βελτιώνοντας έτσι τη διαχείριση των αποβλήτων.
- Δημιουργεί θέσεις εργασίας σε διάφορους τομείς, από τη συλλογή μέχρι την επεξεργασία και την παραγωγή νέων υλικών.

Τα ελαστικά περιέχουν περίπου 80% καουτσούκ, 15% ασάλι και 5% ίνες υφάσματος. Τα παραγόμενα υλικά από την ανακύκλωση, όπως η πούδρα ελαστικού, το τρίμμα ελαστικού (SBR), το ανακυκλωμένο λινό και το σύρμα, χρησιμοποιούνται για διάφορες εφαρμογές, εξοικονομώντας πόρους και μειώνοντας την ανάγκη για νέα υλικά.

4.4.1.3 Ιδιότητες παραπροϊόντων ελαστικών

Ένα ευρωπαϊκό πρόγραμμα, υποστηριζόμενο από ειδικούς του πανεπιστημίου του Sheffield και την Ευρωπαϊκή Ένωση Ανακύκλωσης Ελαστικών, έχει καταδείξει μέσω εκτενών πειραμάτων ότι όλα τα συστατικά των ελαστικών μπορούν να ενσωματωθούν στο σκυρόδεμα, ενισχύοντας τις ιδιότητές του.

Το ανακυκλωμένο καουτσούκ, για παράδειγμα, μπορεί να προσφέρει ευελιξία στα κτίρια, επιτρέποντάς τους να καμφθούν περισσότερο από 10% σε σχέση με τα κτίρια που χρησιμοποιούν συμβατικό σκυρόδεμα, ενδεχομένως καθιστώντας τα αντισεισμικά. Σκέψεις επικεντρώνονται τώρα στη χρήση αυτού του νέου σκυροδέματος σε κτίρια για αντισεισμική προστασία, μόνωση από δονήσεις, και έφεδρα σε γέφυρες.

Το ανακυκλωμένο σύρμα από ασάλι, που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό, μπορεί να αναμειχθεί με άλλες ίνες από ασάλι για να αυξηθεί η αντοχή στον κάμψη του σκυροδέματος, εξοικονομώντας έτσι πρώτες ύλες και μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις κατά 97%. Τέλος, οι ανακυκλωμένες ίνες υφάσματος και πολυμερών, που χρησιμοποιούνται συνήθως στα ελαστικά επιβατικών οχημάτων, μπορούν να

συμβάλουν στον έλεγχο της ρηγμάτωσης του σκυροδέματος, ενώ έχει διαπιστωθεί ότι μπορούν να προλάβουν τη φθορά του κατά τη διάρκεια πυρκαγιάς, κυρίως σε σήραγγες και κτίρια.

4.4.1.4 Έργα-Εφαρμογές

Συγκεκριμένα, στη Βοσνία-Ερζεγοβίνη και την Ολλανδία, κατασκευάστηκαν δύο ορόφοι βιομηχανικού τύπου, όπου χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα ενισχυμένο με ανακυκλωμένο σύρμα από ελαστικά. Επιβλέπονταν για μήνες για να αξιολογηθεί η απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου. Δοκιμές δονήσεων σε πανεπιστήμιο της Ρουμανίας, όπου χρησιμοποιήθηκε καουτσούκ στο σκυρόδεμα, απέδειξαν ότι η αντοχή τους σε σεισμικές δονήσεις μπορεί να αυξηθεί κατά 500% σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα. Στην Ισπανία, οι τοιχώματα των σιηράγγων επεξεργάστηκαν με επενδύσεις από σκυρόδεμα, προκατασκευασμένες με ανακυκλωμένες ασφάλινες ίνες ελαστικών.

4.4.2 Πειραματική Διαδικασία

4.4.2.1 Υλικά

Στο συγκεκριμένο πείραμα το οποίο πραγματοποιήθηκε από φοιτητές των πανεπιστημίων Balamand και American university στον Λιβανοεξετάζονται κυλινδρικά δοκίμια.

Τσιμέντο

Συνηθισμένο τσιμέντο πόρτλαντ (OPC) με ειδικό βάρος 3,15 χρησιμοποιήθηκε σε όλη τη μελέτη.

Αδρανή

- Λεπτόκοκκα αδρανή

Η άμμος που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα προήλθε από τοπική πηγή με ποσοστό απορρόφησης νερού 1%.

- Χονδρόκοκκα αδρανή

Το χονδρόκοκκο αδρανές που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν θρυμματισμένα γωνιώδη αδρανή πετρώματα με μέγιστο μέγεθος 20 mm με ειδικό βάρος 2,67 και ποσοστό απορρόφησης νερού 0,5 %.

- **Ελαστικό αδρανές**

Η πηγή των αδρανών υλικών από καουτσούκ ήταν ανακυκλωμένα ελαστικά που συλλέχθηκαν από ένα τοπικό εργοστάσιο ανακύκλωσης ελαστικών. Η διαβάθμιση του ελαστικού σε σκόνη καθορίστηκε με βάση το πρότυπο ASTM C136. Ο όρος ελαστικό σε σκόνη σημαίνει ανακυκλωμένο ελαστικό με μέγεθος σωματιδίων μικρότερο από 1 mm. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση με κόσκινο στο καουτσούκ σε σκόνη για να προσαρμοστεί το μέγεθος των κόκκων της άμμου κατανομή κόκκων. Το ελαστικό χρησιμοποιήθηκε χωρίς καμία επιφανειακή επεξεργασία προκειμένου να διερευνηθεί η επίδραση των μη επεξεργασμένων σωματιδίων ελαστικών στις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος. Στο μίγμα σκυροδέματος χρησιμοποιήθηκε πόσιμο νερό με τιμή pH 7,0 και η σκλήρυνση των κυλίνδρων σκυροδέματος.

Νερό

Το νερό ήταν απαλλαγμένο από οξέα, οργανικές ουσίες, αιωρούμενα στερεά, αλκάλια και ακαθαρσίες οι οποίες, όταν υπάρχουν, μπορεί να έχουν παρενέργειες στην αντοχή του σκυροδέματος.

4.4.2.2 Διαδικασία παρασκευής

Η χύτευση 100 κυλίνδρων σκυροδέματος 150 mm επί 300 mm πραγματοποιήθηκε με βάση το πρότυπο ASTM C192. Οι κύλινδροι χυτεύτηκαν σε τρεις στρώσεις και κάθε στρώση συμπίεστηκε, χρησιμοποιώντας μια χαλύβδινη ράβδο, κινούμενη γύρω από τη στρώση είκοσι πέντε φορές. Η συμπίεση της επόμενης στρώσης έγινε χωρίς να περάσει στην προηγούμενη στρώση. Η επιφάνεια ολοκληρώθηκε με κύλιση της ράβδου συμπίεσης πάνω από την επιφάνεια. Η αντοχή των δοκιμίων σε κρούση προσδιορίστηκε με τη μέθοδο του βάρους πτώσης του δοκιμής κρούσης, όπως συνιστάται από την επιτροπή ACI 544. Το μέγεθος του δοκιμίου που συνιστάται είναι 152 mm σε διάμετρος και 63,5 mm πάχος και το βάρος του σφυριού που χρησιμοποιείται είναι 4,54 Kg με ύψος πτώσης 457 mm

Η διαδικασία σκλήρυνσης στο σκυροδέμα απαγορεύει στο νερό του σκυροδέματος να διασκορπιστεί και να μειώσει την ενυδάτωση του τσιμέντου. Κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης, το καλούπι των κυλίνδρων για τους κυλίνδρους σκυροδέματος καλύφθηκε με πλαστικά φύλλα για να αποτραπεί η εξάτμιση του νερού. Την επόμενη ημέρα, οι κύλινδροι σκυροδέματος αφαιρέθηκαν από το καλούπι και τοποθετήθηκαν

σε δεξαμενή νερού σε ελεγχόμενη θερμοκρασία για 28 ημέρες. Σε κάθε δοκίμιο τοποθετήθηκε ετικέτα με ή χωρίς καουτσούκ και η ημερομηνία της ανάμιξης.

Κατά τη διαδικασία ανάμιξης, το σκυρόδεμα αναμίχθηκε ξηρά με μηχανικό αναμικτήρα, στη συνέχεια, προστέθηκε σταδιακά νερό και αναμίχθηκε μέχρι να επιτευχθεί το ομοιογενές μείγμα. Τα κονιορτοποιημένα ελαστικά αναμίχθηκαν με τσιμέντο και στη συνέχεια τα αδρανή αναμίχθηκαν τελικά με νερό προκειμένου να απαγορευτεί η επιπλεύση του κονιορτοποιημένου ελαστικού χαμηλού ειδικού βάρους που αναμιγνύεται αρχικά με τα αδρανή στη κορυφή του μείγματος. Τα δοκίμια τυποποιημένων κυλίνδρων 150 mm επί 300 mm χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του θλιπτικού και του διατμητικού εφελκυσμού αντοχής του μίγματος σκυροδέματος. Ωστόσο, κύλινδροι των 152 mm επί 63,5 mm χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της ικανότητας φορτίου κρούσης

4.4.2.3 Αναλογίες μίγματος

Τα 4 μίγματα που παρασκευάστηκαν ,είχαν ως στόχο τις θλιπτικές αντοχές 30,35,40 και 50 Mpa

Οι αναλογίες μίγματος διαφορετικών τύπων ποσοστών του ποσοστού αντικατάστασης των λεπτών αδρανών με σκόνη καουτσούκ συνοψίζονται στον πίνακα

Μείγμα	Ελαστικό (%)	Στόχος χαρακтерιστικής αντοχής	λόγος νερού/τσιμέντου	Τσιμέντο (kg)	Νερό (kg)	Χαλίκι (kg)	Άμμος (kg)	Ελαστικό (kg)
1	0	30 (Mix 1)	0.55	31.68	16.32	53.32	53.32	0
2	5					50.65	50.65	2.67
3	10					47.99	47.99	5.33
4	15					35.08	35.08	8.00
5	20					42.66	42.66	10.66
6	0	35 (Mix 2)	0.50	24,84	16.37	50.12	50.12	0
7	5					47.61	47.61	2.51
8	10					45.11	45.11	5.01
9	15					42.6	42.6	7.52
10	20					40.1	40.1	10.02
11	0	40 (Mix 3)	0.45	38,71	16.43	46.19	46.19	0
12	5					43.88	43.88	2.31
13	10					41.57	41.57	4.62
14	15					39.26	39.26	6.93
15	20					36.95	36.95	9.24
16	0	50 (Mix 4)	0.40	43,55	16.51	46.19	46.19	0
17	5					39.21	39.21	2.06
18	10					37.14	37.14	4.13
19	15					35.08	35.08	6.19
20	20					33.02	33.02	8.25

Πίνακας 4.17 Αναλογίες μιγμάτων με χρήση ελαστικών υλικών

4.4.2.4 Πειραματικά αποτελέσματα

Στη συνέχεια, όταν οι κύλινδροι σκυροδέματος απέκτησαν την αντοχή των 28 ημερών, έγιναν τρεις τύποι πειραμάτων για τη μέτρηση του θλιπτικού, εφελκυστικού και κρουστικού φορτίου των δοκιμίων. Πραγματοποιήθηκε δοκιμή μονοαξονικού θλιπτικού φορτίου πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C39 για τη μέτρηση της θλιπτικής αντοχής των κυλίνδρων σκυροδέματος. Πριν από τη δοκιμή, μετρήθηκε το εμβαδόν των κυλίνδρων διαμέτρου 150 mm και ύψους 300 mm για να ενσωματωθεί στον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Στη συνέχεια, οι κύλινδροι τοποθετήθηκαν στη μηχανή καθολικών δοκιμών και σύμφωνα με το πρότυπο ASTM C1231, όπου οι κύλινδροι θα πρέπει να καλύπτονται με καλύμματα επιθέματος από νεοπρένιο, ώστε να παρέχεται ομοιόμορφη κατανομή του φορτίου κατά τη διάρκεια της φόρτισης διαδικασία. Έπειτα, υποβλήθηκαν σε σταθερό ρυθμό καταπόνησης που κυμαινόταν μεταξύ 0,2 MPa/sec και 0,4 MPa/sec. Μόλις επιτευχθεί το μέγιστο φορτίο, η διαδικασία φόρτισης σταμάτησε αυτόματα και οι τιμές καταγράφηκαν. Κατά συνέπεια,

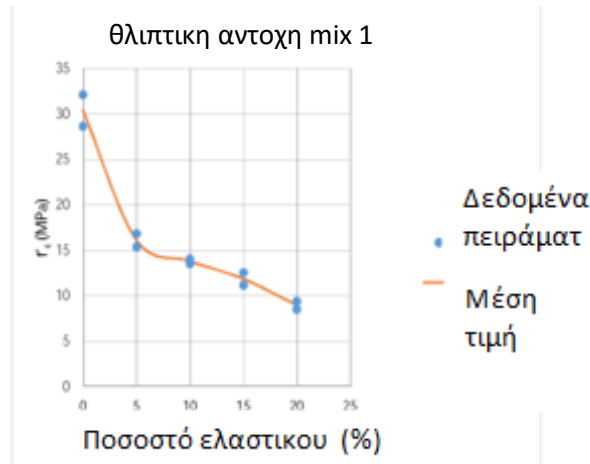
δημιουργήθηκαν μοτίβα θραύσης λόγω της αστοχίας των κυλίνδρων που παρήγαγαν ρωγμές σε διάφορες κατευθύνσεις.

Αν και το σκυρόδεμα είναι γνωστό ότι είναι αδύναμο να αντισταθεί σε άμεσο εφελκυσμό, είναι σημαντικό να μετρηθεί η εφελκυστική του αντοχή λόγω της ρηγμάτωση που έχει αναπτυχθεί από την εφαρμοζόμενη φόρτιση ή άλλου είδους επιδράσεις. Η δοκιμή διαιρούμενου κυλίνδρου διεξήχθη για το κυλινδρικά δοκίμια, σύμφωνα με το ASTM C496 για τον προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος, δεδομένου ότι ο μονοαξονικός εφελκυσμός είναι δύσκολο να διεξαχθεί. Κύλινδροι σκυροδέματος 300 mm επί 150 mm τοποθετήθηκαν οριζόντια μεταξύ των πλακών του μηχανής δοκιμών θλίψης. Οι χαλύβδινες ταινίες τοποθετήθηκαν μεταξύ των οριζόντιων κυλίνδρων και των πλακών του μηχανής προκειμένου να εξασφαλισθεί ομοιόμορφη κατανομή του εφαρμοζόμενου φορτίου και να μειωθούν οι τάσεις στην επιφάνεια εφαρμογής. Το θλιπτικό φορτίο εφαρμοζόταν και αυξανόταν σταδιακά κατά μήκος του συνολικού μήκους του κυλίνδρου έως ότου να επέλθει αστοχία. Η αστοχία σημειώθηκε κατά μήκος της κατακόρυφης διαμέτρου του κυλίνδρου, γεγονός που προκάλεσε τη διάσπασή του σε δύο μισά, λόγω των έμμεσων τάσεων εφελκυσμού.

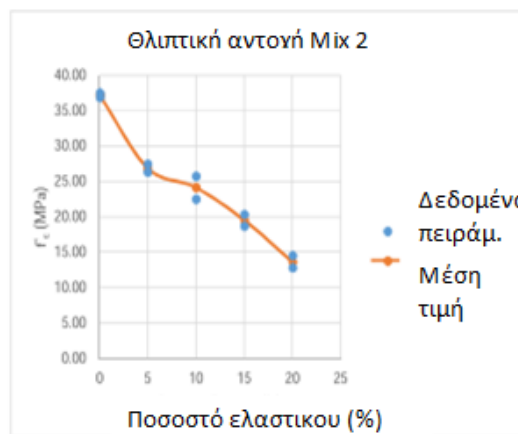
Αντοχή σε θλίψη

Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος												
Ελαστικότητα (%)	Μείγμα	fc (Mpa)	M.O. (Mpa)	Μερίσμα	fc (Mpa)	M.O. (Mpa)	Μερίγμα	fc (Mpa)	M.O. (Mpa)	Μερίγμα	fc (Mpa)	M.O. (Mpa)
0	1	32.16	30.42	6	36.90	37.1	11	42.27	43.42	16	50.65	51.54
		28.68			37.47			44.56			52.43	
5	2	15.41	16.15	7	27.46	26.88	12	32.40	30.07	17	40.09	39.95
		16.88			26.3			33.73			39.80	
10	3	13.55	13.82	8	25.76	24.13	13	28.4	28.15	18	35.45	34.63
		14.08			22.5			27.90			33.80	
15	4	12.55	11.88	9	20.36	19.53	14	22.58	22.13	19	25.28	23.96
		11.20			18.70			21.67			22.63	
20	5	9.40	8.97	10	14.50	13.65	15	15.70	16.70	20	18.31	18.93
		8.54			12.80			16.90			19.55	

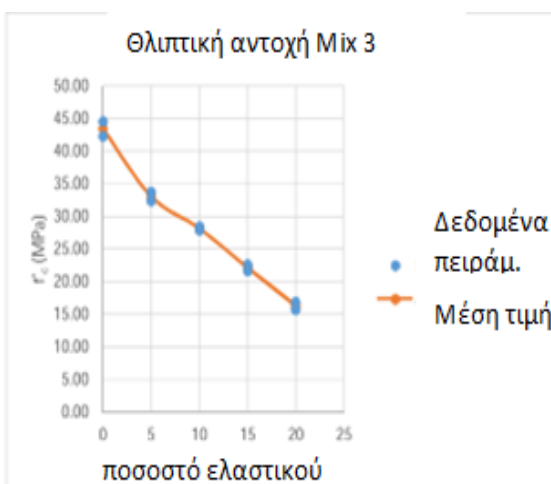
Πίνακας 4.18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής



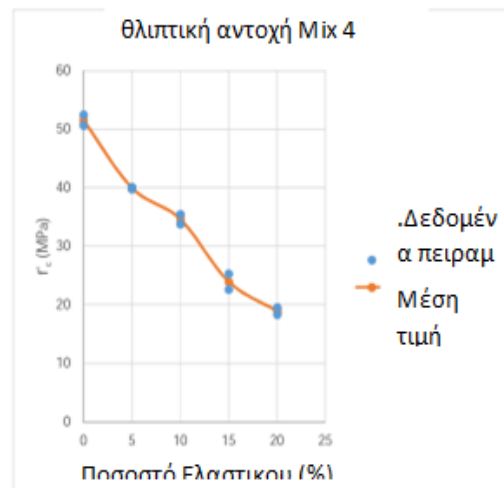
Διάγραμμα 4.18 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 1



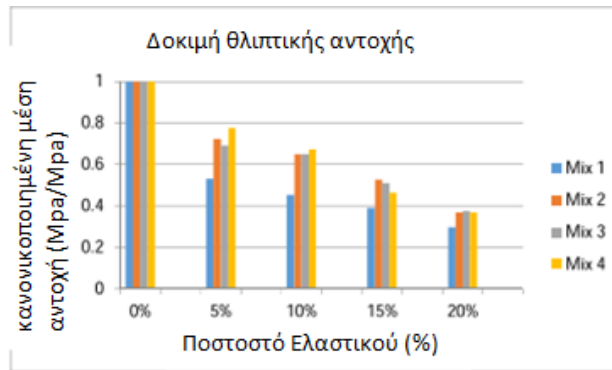
Διάγραμμα 4.19 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 2



Διάγραμμα 4.20 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Mix 3



Διάγραμμα 4.21 Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής mix 4



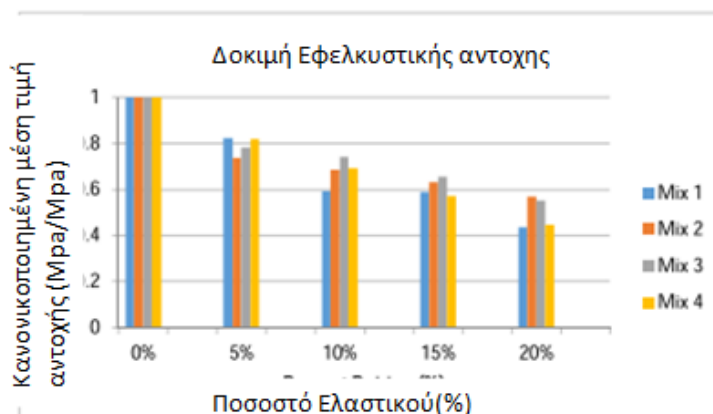
Εικόνα 4.12 Συνολικά αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής

Αντοχή σε εφελκυσμό

Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής κυλινδρικού δοκιμίου σκυροδέματος

Ελαστικό (%)	Μείγμα	fct (Μpa)	M.O. (Μpa)	Μείγμα	fct (Μpa)	M.O. (Μpa)	Μείγμα	fct (Μpa)	M.O. (Μpa)	Μείγμα	fct (Μpa)	M.O. (Μpa)
0	1	3.15	3.03	6	3.59	3.63	11	4.22	4.34	16	5.43	5.285
		2.91			3.68			4.46			5.13	
5	2	2.43	2.49	7	2.73	2.67	12	3.54	3.34	17	4.31	4.327
		2.55			2.62			3.24			4.16	
10	3	1.82	1.79	8	2.52	2.49	13	3.18	3.21	18	3.78	3.65
		1.77			2.45			3.25			3.53	
15	4	1.75	1.78	9	2.23	2.29	14	2.88	2.84	19	3.17	3.01
		1.82			2.35			2.79			2.86	
20	5	1.27	1.31	10	2.19	2.06	15	2.36	2.39	20	3.31	2.36
		1.36			1.94			2.41			2.405	

Πίνακας 4.19 Αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής



Εικόνα 4.13 Συνολικά αποτελέσματα εφελκυστικής αντοχής



Fig. 14. Non-Rubberized Concrete Cylinders Splitting into Two Halves. Fig. 15. Rubberized Concrete Cylinders without Splitting After Failure.

A)

B)

Εικόνα 4.14 Οπτικό αποτέλεσμα θραύσης σκυρόδεμα χωρίς ελαστικό (A) σκυρόδεμα με ελαστικό (B)

Αποτελέσματα της δοκιμής πρόσκρουσης με βάρος πτώσης ACI

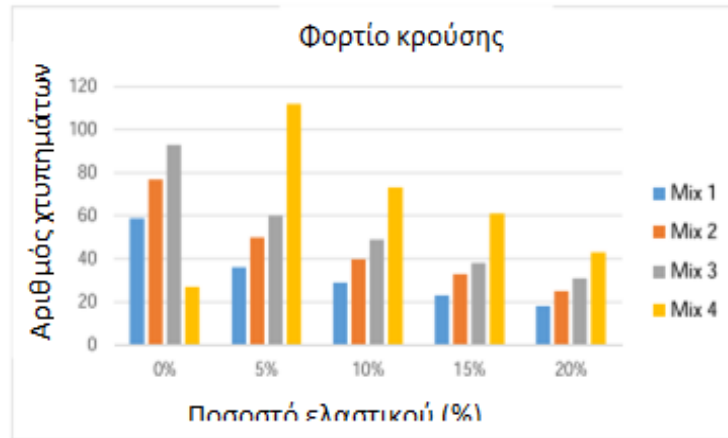
Η απλούστερη από τις δοκιμές πρόσκρουσης είναι η δοκιμή "επαναλαμβανόμενης πρόσκρουσης" με πτώση βάρους. Η δοκιμή αυτή αποδίδει τον αριθμό των κρουστικών χτυπημάτων από ένα σφυρί με πτώση που συσσωρεύονται μέχρι να εμφανιστεί η πρώτη ορατή ρωγμή και μέχρι το δοκίμιο να αναγκαστεί να διαχωριστεί με συνεχή κρούση. Ο αριθμός αυτός προσφέρει μια ποιοτική εκτίμηση της ενέργειας που απορροφάται από το δοκίμιο στα επίπεδα του καθορισμένου επιπέδου καταπόνησης (Σχήματα 7-9). Η ενέργεια πρόσκρουσης (IE) στην οποία εκτίθεται το δοκίμιο υπολογίζεται με τη χρήση της σχέσης

την ακόλουθη εξίσωση:

$$IE = N m g h$$

Όπου:

IE = ενέργεια κρούσης (N m) ,N = ο αριθμός των χτυπημάτων ,m = μάζα του σφυριού (kg) ,g = επιτάχυνση της βαρύτητας = 9,81 m/sec² ,h = ύψος του σφυριού (m)



Εικόνα 4.15 φορτίο κρούσης

4.4.2.5 Ανάλυση αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ένας από τους κύριους στόχους της παρούσας μελέτης είναι η επίτευξη της βέλτιστης αναλογίας καουτσούκ σκόνης για τη μερική αντικατάσταση των λεπτών αδρανών στο σχεδιασμό του μίγματος σκυροδέματος με απώτερο στόχο την αύξηση των βελτιωτικών επιδράσεων στην αντοχή σε κρούση και να το καταστήσουν κατάλληλο για συγκεκριμένες μηχανολογικές εφαρμογές. Το όριο της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εξαρτάται τόσο από την αντοχή της μήτρας όσο και από την αντοχή σε εφελκυσμό των σωματιδίων των αδρανών. Η αντοχή του σκυροδέματος σχετίζεται συνήθως με την περιεκτικότητα του μίγματος και τον λόγο νερού προς τσιμέντο. Οι θλιπτικές αντοχές 28 ημερών του σκυροδέματος παρουσιάζονται στον πίνακα 4.18 . Η σύγκριση μεταξύ της υπολογιζόμενης θλιπτικής αντοχής και των πειραματικών αποτελεσμάτων συναρτήσει της αντικατάστασης της άμμου με σκόνη ελαστικού συνοψίζεται γραφικά στα Σχήματα 4.18,4.19,4.20 και 4.21. Η αντοχή σε εφελκυσμό διάσπασης 28 ημερών των κυλίνδρων σκυροδέματος με σκόνη ελαστικού με διαφορετικό ποσοστό αντικατάστασης της καουτσούκ σε σκόνη των λεπτών αδρανών στο κανονικό σκυρόδεμα παρατίθενται σε πίνακες στον Πίνακα 4.19. Οι κύλινδροι σκυροδέματος χωρίς καουτσούκ αστόχησαν κατά διαχωρισμό σε δύο μισά κατά τη διάρκεια των δοκιμών εφελκυσμού διάσπασης, όπως φαίνεται ενώ οι κύλινδροι σκυροδέματος με καουτσούκ εμφάνισαν μια πιο συνεκτική συμπεριφορά που αστοχεί χωρίς διάσπαση.

Η αντικατάσταση της άμμου από σκόνη καουτσούκ έχει αυξήσει την εμφάνιση ρωγμών στο σκυρόδεμα που ξεκινούν υπό την επίδραση της κρούσης. φορτίο

πτώσης. Η αστοχία εμφανίζεται γρήγορα στο ελαστικοποιημένο σκυρόδεμα. Ως εκ τούτου, θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το ελαστικό με μικρό μέγεθος έχει μικρή επίδραση στην καθυστέρηση του πνεύματος της ρωγμής στο σκυρόδεμα. Όλα τα δοκίμια χωρίζονται σε ξεχωριστά μέρη υπό την επίδραση της δύναμης κρούσης. Δεν παρατηρήθηκαν ορατές ρωγμές σε καθένα από τα διαχωρισμένα μέρη και δεν παρατηρήθηκε αποκολλημένος δολομίτης, ωστόσο σωματίδια δολομίτη βρέθηκαν σε όλη την επιφάνεια θραύσης. Αυτό μπορεί να οφείλεται στον καλό δεσμό μεταξύ του κονιάματος και του δολομίτη. Ως εκ τούτου, η ευνοϊκή πορεία της ρωγμής είναι κατά μήκος των σωματιδίων δολομίτη και όχι γύρω από την επιφάνεια των σωματιδίων. Τα αποτελέσματα της κρούσης αντοχής και του αριθμού των κρούσεων παρουσιάζονται στον πίνακα 4.15

4.4.3 Συμπεράσματα

Μετά από εκτενή διερεύνηση αυτού του θέματος και τη μελέτη διαφόρων πτυχών των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του ελαστικού σκυροδέματος, μια σειρά από συμπεράσματα:

1. Η μερική αντικατάσταση των λεπτών αδρανών στο μίγμα σκυροδέματος με σκόνη καουτσούκ οδηγεί σε μείωση της πυκνότητας του τελικού προϊόντος, επειδή το ειδικό βάρος του χρησιμοποιούμενου ελαστικού ήταν μικρότερο από αυτό των λεπτών αδρανών.
2. Μείωση της αντοχής του ελαστικοποιημένου σκυροδέματος (αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό) με την αύξηση της σκόνης καουτσούκ περιεκτικότητας στο μείγμα διαπιστώνεται πάντοτε. Η μείωση της αντοχής μπορεί να αποδοθεί σε δύο λόγους. Πρώτον, επειδή τα σωματίδια καουτσούκ είναι πολύ πιο ελαστικά παραμορφώσιμα από τα ορυκτά υλικά, και κατά τη φόρτιση, οι ρωγμές ξεκινούν γρήγορα γύρω από τα σωματίδια καουτσούκ στο μίγμα, γεγονός που επιταχύνει την αστοχία της μήτρας ελαστικού-τσιμέντου. Δεύτερον, τα μαλακά σωματίδια καουτσούκ μπορεί να συμπεριφέρονται ως κενά στη μήτρα του σκυροδέματος, λόγω της έλλειψης πρόσφυσης μεταξύ των σωματιδίων καουτσούκ και της πάστας τσιμέντου.
3. Για μια αντοχή μίγματος σχεδιασμού που κυμαίνεται μεταξύ 30 MPa με 40 MPa η μείωση της θλιπτικής αντοχής είναι συνεπής και σχεδόν σε σταθερή αναλογία με την αύξηση του ποσοστού του κονιοποιημένου καουτσούκ. Η μείωση της αντοχής

είναι κατά μέσο όρο 30, 35% κατά την αντικατάσταση των λεπτιών αδρανών με σκόνη καουτσούκ σε 5, 10, 15 και 20% αντίστοιχα.

4. Η προσθήκη κονιοποιημένου καουτσούκ αποδίδει μικρή βελτίωση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος σε όλα τα ποσοστά καουτσούκ, αλλά εξακολουθεί να οδηγεί σε μικρότερη βελτίωση σε σύγκριση με το ποσοστό μείωσης της θλιπτικής αντοχής.

5. Η προσθήκη κονιοποιημένου ελαστικού στο μείγμα σκυροδέματος έχει αρνητική επίδραση στο μέτρο ελαστικότητας. Η μείωση του μέτρου ελαστικότητας αντικατοπτρίζει την ικανότητα του ελαστικοποιημένου σκυροδέματος να συμπεριφέρεται με ελαστικό τρόπο όταν φορτίζεται σε εφελκυσμό, συνεπώς βελτιώνοντας τους τρόπους αστοχίας του τυπικού σκυροδέματος.

6. Το ελαστικοποιημένο σκυρόδεμα παρουσιάζει βελτιωμένη απορρόφηση ενέργειας, δεδομένου ότι το σκυρόδεμα δεν υπέστη τυπική εύθραυστη αστοχία, ωστόσο αντιμετώπισε έναν όγκιμο, πλαστικό τρόπο αστοχίας. Σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής 50 MPa, εμφανίζει πολύ καλύτερη ελαστικότητα για το ελαστικοποιημένο σκυρόδεμα από το απλό σκυρόδεμα. Αυτό δεν ισχύει για το σκυρόδεμα της θλιπτικής αντοχής κάτω των 50 MPa, το οποίο εμφανίζει σταθερή μείωση της ελαστικότητας)

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η ανακύκλωση των φθαρμένων ελαστικών μπορεί να παρέχει πολλαπλά θετικά αποτελέσματα τόσο για την προστασία του περιβάλλοντος όσο και για τις κατασκευές. Οι συνεχείς έρευνες και μελέτες πάνω στην αξιοποίηση των παραγόμενων προϊόντων της ανακύκλωσης ελαστικών μπορούν να οδηγήσουν στην δημιουργία νέων υλικών και στην βελτιστοποίηση των ήδη υφιστάμενων δομικών προϊόντων. Κάτω από τις συνθήκες αυτές μπορούν να προκύψουν νέες θέσεις εργασίας και έρευνας, φθηνότερα κόστη παραγωγής νέων ελαστικών και μείωση του κατασκευαστικού κόστους των κτιρίων με παράλληλη αύξηση των αντοχών τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες έχουν λάβει αποτελεσματικά μέτρα για τη μείωση της παραγωγής απορριμμάτων και την προώθηση εναλλακτικών λύσεων διαχείρισής τους. Αντίθετα, στην Ελλάδα η ποσότητα των απορριμμάτων συνεχίζει να αυξάνεται, με τα περισσότερα απόβλητα να αποστέλλονται σε ΧΥΤΑ χωρίς αποτελεσματική προώθηση εναλλακτικών μεθόδων όπως η ανακύκλωση. Ουσιαστικά το πρόβλημα δεν είναι ούτε τεχνικό ούτε οικονομικό, αλλά κυρίως σχετίζεται με την ανάγκη άλλης οργάνωσης της καθημερινής ζωής, της κατανάλωσης της άσκησης των εξουσιών κεντρικά και τοπικά. Η παραπάνω αναδιοργάνωση παρά το κόστος επένδυσης και λειτουργίας που θα είχε, θα μπορούσε να οδηγήσει σε νέες οικονομικές δραστηριότητες και σε σημαντικές νέες απασχολήσεις.

Ένα από τα κυριότερα προβλήματα για το οποίο δεν μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά μια ολοκληρωμένη πολιτική διαχείρισης των απορριμμάτων είναι η έλλειψη κινήτρων στους πολίτες, στους επιχειρηματίες αλλά και στους δήμους.

Ένα πρόβλημα που έχει σημαντική σημασία όσον αφορά την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων για την εναλλακτική διαχείριση, που προωθούν την ανακύκλωση, είναι πώς να διασφαλίσουμε ότι τα υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν πράγματι χρησιμοποιούνται και αξιοποιούνται. Το πόσο επιτυχημένη είναι η ανακύκλωση εξαρτάται από το κατά πόσο θα υπάρξει ενδιαφέρον για την αγορά τους. Στην Ελλάδα η ανακύκλωση αποτελεί μονοπώλιο της Ελληνικής Εταιρίας Ανακύκλωσης σε αντίθεση με πολλές χώρες της Ευρώπης, όπου πολλές εταιρίες είναι δραστήριες σε αυτόν τον τομέα, υπάρχουν εργοστάσια ανακύκλωσης που καλύπτουν όλες τις κατηγορίες υλικών προς ανακύκλωση υλικών αλλά και σοβαρότητα στη διαπραγμάτευση με τις εταιρίες για την τιμή των ανακτώμενων προϊόντων. Στην Ελλάδα όπου δεν υπάρχουν οι αντίστοιχες υποδομές, συνήθως υφίστανται λίγοι ενδιαφερόμενοι αγοραστές για ανακυκλώσιμα προϊόντα καθώς αυτά δεν είναι το ίδιο ανταγωνιστικά με τα πρωτογενή. Γι'αυτό και τα προγράμματα ανακύκλωσης βασίζονται σε επιδοτήσεις από την Πολιτεία, οι οποίες όμως αντλούν πολύτιμους οικονομικούς πόρους. Βραχυπρόθεσμα οι δυο καλύτερες στρατηγικές για την επίτευξη σημαντικής μείωσης στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την παραγωγή τσιμέντου είναι η μείωση όσο το δυνατόν περισσότερο του συντελεστή κλίνκερ του τελικού προϊόντος μεγιστοποιώντας το ποσοστό των ορυκτών προσμίξεων στο τσιμέντο και αύξηση της χρήσης των αναμιγμένων

τισιμένων στις συνήθεις κατασκευές . Η υλοποίηση των αρχών της βιομηχανικής οικολογίας, όπως περιγράφηκε, παρέχει μια προσωρινή λύση για την αιφόρο ανάπτυξη στον τομέα της βιομηχανίας σκυροδέματος. Ωστόσο, για να επιτευχθεί μια πραγματικά βιώσιμη ανάπτυξη, απαιτούνται σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα της χρήσης των πρώτων υλών. Μεταξύ οικονομικής υλικών μπορεί να επιτευχθεί μελλοντικά αν αρχίσουμε να κατασκευάζουμε προϊόντα που θα διαρκούν πολύ περισσότερο. Πόσο χρόνο έχουμε για να κάνουμε την κατασκευαστική βιομηχανία σκυροδέματος βιώσιμη πριν η παγκόσμια κατάσταση είναι μη αναστρέψιμη ως προς τις ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες που δημιουργούνται με την εκθετική αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα;

Είναι προφανές ότι η έλλειψη ολιστικής προσέγγισης στην προσέγγιση των κοινωνικο οικονομικών μας αναγκών είναι ο πρωτεύοντας λόγος των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν το περιβάλλον. Η προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη τη συνολική εικόνα, έχει τις ρίζες της στην ιδέα ότι το όλον προϋπάρχει του μερικού. για παράδειγμα η ολιστική προσέγγιση θεωρεί ολόκληρη την κοινωνία σαν σύνολο και τη βιομηχανία σκυροδέματος σαν μέρος του συνόλου. έτσι πέρα από την παροχή ενός δομικού υλικού χαμηλού κόστους η βιομηχανία σκυροδέματος πρέπει να συνυπολογίσει και άλλες κοινωνικές ανάγκες όπως για παράδειγμα τη διατήρηση των φυσικών πόρων της γης και την ασφαλή απόρριψη των επιβλαβών αποβλήτων που παράγονται από άλλες βιομηχανίες. πώς μπορούμε να επιτύχουμε αλλαγή πρακτικής προς την ολιστική προσέγγιση και από την κυρίαρχη τρέχουσα υπεραπλουστευτική πρακτική στη βιομηχανία; η διαδικασία πρέπει να ξεκινήσει από τα πανεπιστήμια επειδή αυτό το θέμα περιλαμβάνει το σύνολο της εκπαίδευσης των μηχανικών σήμερα. Τα περισσότερα από τα ζητήματα που ταλαιπωρούν την ανθρωπότητα καθημερινά δεν μπορούν να επιλυθούν χωρίς την ενσωμάτωση της γνώσης στις φυσικές επιστήμες στο χώρο των κοινωνικών και ανθρωπιστικών επιστημών.

Καταλήγοντας, συνοψίζουμε τα αποτελέσματα των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Η χρήση ανακυκλωμένου αδρανούς σκυροδέματος επηρεάζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του, είτε πρόκειται για αντοχή σε θλίψη είτε για αντοχή σε εφελκυσμό διάσπασης. Παρόλα αυτά, η κατηγορία C25/30 της αντοχής σε θλίψη διασφαλίζεται.

Όσον αφορά τη χρήση βιοαποβλήτων στο σκυρόδεμα, μετά από πειραματικές δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι οι ιδιότητες της παρασκευασμένης άμμου είναι ισοδύναμες με αυτές της άμμου του ποταμού. Η παρασκευασμένη άμμος μπορεί να αντικατασταθεί εν μέρει στο σκυρόδεμα έως και 25%, χωρίς να επηρεαστούν τα χαρακτηριστικά αντοχής.

Συνεχίζοντας τις έρευνες και μελέτες για την αξιοποίηση των προϊόντων της ανακύκλωσης ελαστικών, μπορούμε να προβλέψουμε τη δημιουργία νέων υλικών και τη βελτιστοποίηση των υφιστάμενων δομικών προϊόντων. Το σκυρόδεμα με αφρώδες κοκκοποιημένο γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπου η υψηλή αντοχή δεν είναι κρίσιμη απαίτηση, όπως η στρώση βάσης του ορόφου του σπιτιού, η θεμελίωση ή άλλα μη δομικά στοιχεία του κτιρίου, όπως πλήρωση από μαζικό σκυρόδεμα ή μη φέρων τοίχος.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές

1. Αποβλήτα Εμπόριο αποβλήτων :
<https://www.consilium.europa.eu/el/policies/waste-trade/>
2. Απόβλητα πρόβλημα ή πόρος ;
<https://anakyklosimag.gr/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CF%80%CF%81%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CE%BC%CE%B1-%CE%AE-%CF%80%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82/>
3. Κατηγορίες αποβλήτων <https://modernanalytics.gr/waste-materials/>
4. Στερεά απόβλητα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των στερεών απορριμμάτων πανεπιστήμιο πατρών
<https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/CMNG2144/LESSON%20%2B3%20-%20%CE%A0%CE%BF%CE%B9%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%A0%CE%BF%CF%83%CE%BF%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%A7%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20018.pdf>
5. Στερεά απόβλητα <https://www.insider.gr/oikonomia/254048/sterea-apoblita-molis-233-pros-anakyklosi-meiothike-i-paragoqi-apobliton-2020?amp&fbclid=IwAR2MVqndJNpMmpruIX0g1XAwADXAqf63-u9JkfmIvbnMhLnTDJJtupD1jOU>
6. Η διαχείριση των αποβλήτων στις χώρες της ΕΕ
<https://www.europarl.europa.eu/news/el/headlines/society/20180328STO00751/i-diacheirisi-ton-apovliton-stis-chores-tis-ee-grafima>
7. Δημητριος Χ. Παναγιωτακοπουλος ,καθηγητης πανεπιστημιου θρακης, βιωσιμη διαχειριση αστικων αποβλητων , β' εκδοση, εκδοσεις ζυγος
8. Παναγιωτου Σ. Κόλλια , δρ. Πολιτικού μηχανικού -υγειονολόγου , απορρίματα Αθήνα 1993 προβλήματα υγεινης από απορριματα
9. Αδαμαντιου Σκορδιλη ,Τεχνολογιες διαθεσης απορριμματων η υγειονομικη ταφη ,εκδοσεις ιων

10. Εγχειρίδιο διαχείρισης στερεων αποβλητων George Tchobanoglous ,Frank Kreith ,δευτερη εκδοση εκδοσεις τζιολα
11. Ειδικά απόβλητα ΔΙΑΘΕΣΗ ΣΤΕΡΕΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ Ενότητα 4: Στερεά απόβλητα (Μέρος 1ο) Ζαγγανά Ελένη Σχολή : Θετικών Επιστημών Τμήμα : Γεωλογίας <https://eclass.upatras.gr/modules/document/file.php/GEO361/%CE%94%CE%99%CE%91%CE%9B%CE%95%CE%9E%CE%97%204.pdf>
12. Βιομηχανικά απόβλητα <https://el.green-ecolog.com/15337835-industrial-waste-what-are-they-examples-types-classification-and-management>
13. Αποβλητα αεκκ Αξιοποίηση Αποβλήτων Εκσκαφών Κατασκευών και Κατεδαφίσεων N. Μουσιόπουλος¹ , Ε. Ιακώβου² , Α. Παπαδόπουλος¹ , Χ. Αχίλλας¹ , Δ. Αηδόνης² , Δ. Αναστασέλος¹ , Γ. Μπανιάς¹ https://www.topo.auth.gr/wp-content/uploads/sites/111/2021/12/Mousiopolos_etal.pdf
14. Αποβλητα εκσκαφων κατασκευων & κατεδαφισεων (αεκκ) <https://www.eoan.gr/%CE%B5%CE%BD%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7/%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1-%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CF%8E%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B5%CE%B4%CE%B1/#:~:text=%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%B9%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%83%CF%89%CF%80%CE%B5%CF%8D%CE%BF%CF%85%CE%BD%20%CF%84%CE%BF%2025%25%20%E2%80%93%2030%25%20%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%AF%CF%80%CE%BF%CF%85%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CF%83%CF%85%CE%BD%CF%8C%CE%BB%CE%BF%CF%85,%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CF%83%CF%85%>

[CE%BD%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%BF%CE%B4%CF%8E%CE%BD](https://www.researchgate.net/publication/353111111)

15. Ημερίδα “Εναλλακτική διαχείριση αποβλήτων εκσκαφών , κατασκευών και κατεδαφίσεων” Ιούνιος 2018 <https://anakem.gr/2018/06/>
16. Διαχείριση αποβλήτων, εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων σε ιδιωτικά και δημόσια έργα <https://kataskevesktirion.gr/%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B5%CE%BA%CF%83%CE%BA%CE%B1%CF%86%CF%8E%CE%BD-%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83/>
17. Στατιστικά για Ελλάδα στερεών αποβλήτων <https://www.statistics.gr/documents/20181/793f9deb-017a-cfdd-2438-11836eaf5498>
18. Θεοφανής Κουμπής Σπατα Ιουλιος 2015 Τοπικο Σχεδιο Διαχειρισης Αστικων Στερεων Αποβλητων Του Δημου Σπατων - Αρτεμιδος <https://www.edсна.gr/wp-content/uploads/2021/10/%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%9F%CE%A5-%CE%A3%CE%A0%CE%91%CE%A4%CE%A9%CE%9D-%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%95%CE%9C%CE%99%CE%94%CE%91%CE%A3.pdf>
19. Διαχειριση των αποβλήτων <https://www.athinodromio.gr/%ce%b7-%ce%b4%ce%b9%ce%b1%cf%87%ce%b5%ce%af%cf%81%ce%b9%cf%83%ce%b7-%ce%b1%cf%80%ce%bf%ce%b2%ce%bb%ce%ae%cf%84%cf%89%ce%bd-%cf%83%cf%84%ce%b7%ce%bd-%ce%b5%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1/#:~:text=%CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%87%CE%B5%CE%AF%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%B7%20%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD%2C%20%CF%80%CE%BF%CF%85%20%CE%B1%CF%83%CF%87%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%AF%CF%84%CE%B1%CE%B9%20%CE%B5%CE%BA%CF%84%CE%B5%CE%BD%CF%8E%CF%82%20%CE%BC%CE%B5%20%CF%84%CE%B7%20%CE%BC%CE%B5%CE%AF%CF%89%CF%83%CE%B7,%CF%8E%CF%83%CF%84%CE%B5%20%CE>

[%B7%20%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%BF%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1%20%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%BD%CE%B1%20%CE%B5%CE%AF%CE%BD%CE%B1%CE%B9%20%CF%80%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%B2%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CF%86%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE](#)

20. Αποδοτικότητα των πόρων και κυκλική οικονομία

<https://www.europarl.europa.eu/factsheets/el/sheet/76/resource-efficiency-and-the-circular->

[economy#:~:text=%CE%9F%CE%B9%20%CF%84%CE%AD%CF%83%CF%83%CE%B5%CF%81%CE%B9%CF%82%20%CE%BD%CE%AD%CE%B5%CF%82%20%CE%BF%CE%B4%CE%B7%CE%B3%CE%AF%CE%B5%CF%82%20%CF%83%CF%87%CE%B5%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%BC%CE%B5%20%CF%84%CE%B1%20%CE%B1%CF%80%CF%8C%CE%B2%CE%BB%CE%B7%CF%84%CE%B1%2C,%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CF%84%CE%B7%CE%BD%20%CF%85%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE%20%CF%84%CE%B1%CF%86%CE%AE%20%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%B1%CF%80%CE%BF%CE%B2%CE%BB%CE%AE%CF%84%CF%89%CE%BD](#)

21. Μειονεκτήματα υγειονομική ταφής ec.europa.eu

22. Σημαντικές ευκαιρίες να αποσυνδεθεί η παραγωγή αποβλήτων στην Ευρώπη από την οικονομική ανάπτυξη

<https://www.eea.europa.eu/el/highlights/simantikes-eykairies-na-aposyndethei-i>

23. What are the main destinations of EU export of waste

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/ddn-20220525-1>

24. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF

COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europ Brussels, 11.3.2020

33. <https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/GT127/lecture13.ppt>
Σκυρόδεμα τεχνολογία δομικών υλικών ,Ελληνικό μεσογειακό πανεπιστήμιο
34. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΕΚΣΚΑΦΩΝ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΜΕΛΙΔΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ ΦΡΑΝΤΖΕΣΚΟΣ ΜΑΡΤΙΟΣ 2020, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
<https://ikee.lib.auth.gr/record/319505/files/Kamelidis.pdf>
35. Μπένος Αλέξανδρος , Αθήνα 2012, Απαιτούμενες ποσότητες υλικών σε αναλογία Μίξεως για την παρασκευή σκυροδέματος των κατηγοριών C8/10,C12/15,C16/20,C20/25,C25/30 <https://docplayer.gr/316494-Periehomena-a-theoritiko-meros-1-skyrodema-istoria-skyrodematos-7-ennoia-kai-systasi-skyrodematos-10-diakrisi-skyrodematos.html>
36. Αντοχές σκυροδέματος <https://www.ktiriaka.gr/defaultRaw.aspx?ch=20>
37. Είδη σκυροδέματος <https://kak-svoimi-rukami.com/el/2016/01/beton-svoimi-rukami-sostavy-i-klassy-tipy-i-vidy-betona/#i-2>
38. Αδρανή υλικά στο σκυρόδεμα
http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=47
39. <http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3825/civ41982%20civ41749%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y> ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ. ΣΟΦΙΑ ΔΗΜΑΚΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΚΑΛΛΙΟΠΗ ΜΑΝΩΛΑΚΗ ΒΑΡΘΟΛΟΜΟΥ
40. Μελέτη σύνθεσης σκυροδέματος <http://www.paver.gr/texnika-arthra/112-2016-10-31-11-26-12>
41. <https://e-archimedes.gr/latest/item/4192->
42. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣΜΕΝΟΥ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΑ ΑΔΡΑΝΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΑΜΜΟΥ. ΣΟΦΙΑ ΔΗΜΑΚΑ ΣΤΕΦΑΝΙΑ ΚΑΛΛΙΟΠΗ ΜΑΝΩΛΑΚΗ ΒΑΡΘΟΛΟΜΟΥ
<http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3825/civ41982%20civ41749%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

43. Δεδομένα για το σκυρόδεμα από :
<http://ikaros.teipir.gr/phyche/Subjects/Routoulas/Petyl/EKOS2000/Ch2.pdf>
44. Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος 2016
45. Κανονισμός τεχνολογίας σκυροδέματος '97
46. http://www.evipar.org/innet/files/2oEVIPAR_full_text_11_Papadakis.pdf
Χρήση Βιομηχανικών Παραπροϊόντων και Τεχνικών για Μείωση του Περιβαλλοντικού Κόστους των Κατασκευών Ε.Γ. Παπαδάκης
47. <http://www.episkevesold.civil.upatras.gr/ergasies%202001/A2.pdf> Επιδραση πυρκαγιάς σε κατασκευές από οπλισμένο σκυροδεμα, Αργυροπουλος Γεωργιος, Τσιπος Αντωνης
48. Σκυρόδεμα μικροδομή , ιδιότητες και υλικά P.Kumar Mehta , Paulo J. M. Monteiro Τρίτη αμερικάνικη έκδοση. Εκδόσεις κλειδάριθμος
49. Πράσινο σκυρόδεμα από εναλλακτικές πρώτες ύλες <https://constructionmag.gr/domika-ylika/prasino-skyrodema-apo-enallaktikes-protres-yles/>
50. https://apothesis.lib.hmu.gr/bitstream/handle/20.500.12688/10589/Gkaravela_sloannis2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: “Ανακύκλωση στην Ελλάδα και συσχέτιση με την Ευρωπαϊκή Ένωση” Γκαραβέλας Ιωάννης
51. Ανακύκλωση
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7>
52. Τύποι ανακύκλωσης
<https://www.postposmo.com/el/%CE%B5%CE%AF%CE%B4%CE%B7-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%8D%CE%BA%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7%CF%82/>
53. Οργανικά και ανόργανα απόβλητα <https://www.postposmo.com/el/basura-organica-e-inorganica/>
54. Σκυρόδεμα και πρόβλημα άνθρακα από :
<https://chemwatch.net/el/blog/concrete-has-a-carbon-problem/>
55. Η βιομηχανία της ανακύκλωσης: ο κύκλος ζωής των υλικών από <https://www.maxmag.gr/perivallon/i-viomichania-tis-anakyklosis-o-kyklos-zois-ton-ylikon/>

56. ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Χ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ,ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΡΑΚΗΣ, ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΣΤΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ , Β' ΕΚΔΟΣΗ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΥΓΟΣ
57. Γκαραβέλας Ιωαννης 2019 , Ανακύκλωση στην Ελλάδα και συσχέτιση με την Ευρωπαϊκή Ένωση
58. Waste recycling απο <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/waste-recycling-1/assessment-1>
59. Κτίριο από ανακυκλώσιμα υλικά από : <https://www.dw.com/el/%CE%BA%CF%84%CE%AF%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%8C%CE%BC%CF%89%CF%82-%CE%B3%CE%AF%CE%BD%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%B9/a-62711744>
60. Ανακυκλώσιμα υλικά από :<https://www.renovablesverdes.com/el/%CE%B1%CE%BD%CE%B1%CE%BA%CF%85%CE%BA%CE%BB%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1-%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AC/>
61. Recycled tempered glass από : <https://www.ablison.com/el/can-you-recycle-tempered-glass/>
62. Application of Organic Waste in Concrete Kalaivani, Shena, Anisha.S, Gokul Prasad.S, Vignesh Kumar, Muthulakshmi.S Srm Institute of Science and Technology, Ramapuram Campus 2019
63. Indara Soto Izquierdo , Marcio Antonio Ramalho 2016 Use of residual powder obtained from organic waste to partially replace cement in concrete
64. ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΦΙΛΙΚΟ ΠΡΟΣ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΜΕ ΥΛΙΚΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΩΝ ΣΑΧΛΙΚΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ,2021
65. Unmona Aditi 2022 Recycled Aggregate Concrete (RAC) | Uses & Properties of Recycled Concrete | Steps involved

66. Layachi Berredjem, Nourredine Arabi, Laurent Molez. Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete. Construction and Building Materials, 2020
67. Σκυρόδεμα με προϊόντα ανακύκλωσης ελαστικών
<https://www.envinow.gr/post/skyrodema-me-proionta-anakyklosis-elastikon>
68. Najib N. Gerges , Camille A. Issa , Samer A. Fawaz (2018) Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties
69. Ορισμός Γυαλι
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CF%85%CE%B1%CE%BB%CE%AF>
70. PERFORMANCE OF GRANULATED FOAM GLASS AS A SUBSTITUTE FOR AGGREGATES IN CONCRETE Compressive and tensile strength , Nguyen Duc Dat , 2023
71. Δράκου Μαρούλλα, Λεμεσός 2016, Μεταπτυχιακή Διατριβή, «Χρήση Ανακυκλωμένων Αδρανών στο Σκυρόδεμα», Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
72. Κακλόπουλος Σωτήριος, Χανία 2015, Διπλωματική Εργασία, «ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ»
73. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ” Φοιτητής: Γεωργούλιας Επαμεινώνδας
74. Application of Organic Waste in Concrete Kalaivani, Shena, Anisha.S, Gokul Prasad.S, Vignesh Kumar, Muthulakshmi.S Srm Institute of Science and Technology, Ramapuram Campu

Παράρτημα Α

ΝΟΜΟΘΕΣΙΕΣ

Νομικό πλαίσιο

Το νομικό πλαίσιο σχετικά με την παραγωγή και διαχείριση αποβλήτων στην Ελλάδα στηρίζεται σε μια σειρά Ευρωπαϊκών και εγχώριων οδηγιών, οι βασικότερες εκ των οποίων είναι οι εξής:

Κατάλογος αποβλήτων σύμφωνα με το Παράρτημα της απόφασης 2000/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/118/ΕΚ, 2001/119//ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της Επιτροπής Ε.Κ. [Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.)]. Αποτελεί έναν εναρμονισμένο κατάλογο αποβλήτων όπου προσδιορίζονται οι διάφορες κατηγορίες αποβλήτων πλήρως με έναν εξαψήφιο κωδικό για το απόβλητο και τους αντίστοιχους διψήφιους και τετραψήφιους κωδικούς για τους τίτλους των κεφαλαίων.

Ν. 2939/2001: Συσσκευασίες και εναλλακτική διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων. – Ίδρυση Εθνικού Οργανισμού Εναλλακτικής Διαχείρισης Συσσκευασιών και Άλλων Προϊόντων (Ε.Ο.Ε.Δ.Σ.Α.Π) και άλλες διατάξεις. Κύριος σκοπός του παρόντος νόμου είναι η θέσπιση μέτρων για την διαχείριση των συσκευασιών και άλλων προϊόντων με στόχο την αξιοποίηση και επαναχρησιμοποίηση των αποβλήτων τους.

Κ.Υ.Α. 36259/1757/Ε103/2010: Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ). Η παρούσα απόφαση εφαρμόζεται στα απόβλητα από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ), ανεξάρτητα από τη μορφή τους, τον όγκο, το βάρος ή τα επιμέρους υλικά από τα οποία συντίθενται, καθώς και σε στερεά απόβλητα που προκύπτουν από την κοπή μαρμάρων που προορίζονται για οικοδομικές εργασίες και περίσσεια σκυροδέματος, εφόσον δεν καλύπτονται από άλλες νομοθετικές πράξεις.

· Ν. 4042/2012: Ποινική προστασία του περιβάλλοντος – Εναρμόνιση με την

Οδηγία 2008/99/ΕΚ – Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης αποβλήτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ – Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

· Ν. 4496/2017: 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. Λειτουργεί ως συνέχεια του ν. 2939/2001 με αντικατάσταση ή και τροποποίηση κάποιων άρθρων του παλαιότερου νόμου.

Το Νομικό Πλαίσιο της διαχείρισης των Αποβλήτων Εκσκαφών, Κατασκευών και Κατεδαφίσεων:

1) Κατάλογος αποβλήτων σύμφωνα με το Παράρτημα της απόφασης 2000/532/ΕΚ, όπως έχει τροποποιηθεί με τις Αποφάσεις 2001/118/ΕΚ, 2001/119/ΕΚ και 2001/573/ΕΚ της Επιτροπής Ε.Κ. [Ευρωπαϊκός Κατάλογος Αποβλήτων (Ε.Κ.Α.).

2) Ν. 2939/2001 (ΦΕΚ 179/06-08-2001) – 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.

3) Ν. 4496/2017 (ΦΕΚ 170/08-11-2017) – 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.

4) ΚΥΑ 36259/1757/Ε103 (ΦΕΚ 1312/24-08-2010) – Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων από εκσκαφές, κατασκευές και κατεδαφίσεις (ΑΕΚΚ).

5) Ν. 4042/2012 (ΦΕΚ 24/13-02-2012) – Ποινική προστασία του περιβάλλοντος- Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/99/ΕΚ- Πλαίσιο παραγωγής και διαχείρισης

αποβλήτων- Εναρμόνιση με την Οδηγία 2008/98/ΕΚ- Ρύθμιση θεμάτων Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής.

6) Ν. 4067/2012 (ΦΕΚ 79/09-04-2012) – Νέος Οικοδομικός Κανονισμός.

7) ΚΥΑ 39200/2015 (ΦΕΚ 2057/18-09-2015) – Τροποποίηση της υπ' αριθμό 41624/2057/2010 κοινής υπουργικής απόφασης (Β'1625), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2013/56/ΕΕ «για την τροποποίηση της οδηγίας 2006/66/ΕΚ του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και του Συμβουλίου».

8) Ν. 4001/2011 (ΦΕΚ 179/22-08-2011) – Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις.

9) Ν. 4030/2011 (ΦΕΚ 249/25-11-2011) – Νέος τρόπος έκδοσης αδειών δόμησης, ελέγχου κατασκευών και λοιπές διατάξεις.

10) Ν. 4280/2014 (ΦΕΚ 159/08-08-2014) – Περιβαλλοντική αναβάθμιση και ιδιωτική πολεοδόμηση, Βιώσιμη ανάπτυξη οικισμών, Ρυθμίσεις δασικής νομοθεσίας και άλλες διατάξεις.

11) Απόφαση 2011/753/ΕΕ – Περί θεσπίσεως κανόνων και μεθόδων υπολογισμού για τον έλεγχο της συμμόρφωσης προς τους στόχους του άρθρου 11 παράγραφος 2 της οδηγίας 2008/98/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου.

12) Ν. 4495/2017 (ΦΕΚ 167/03-11-2017) – Έλεγχος και προστασία του Δομημένου Περιβάλλοντος και άλλες Διατάξεις.

13) Ν. 4412/2016 (ΦΕΚ 147/08-08-2016) – Δημόσιες Συμβάσεις Έργων, Προμηθειών και Υπηρεσιών (προσαρμογή στις Οδηγίες 2014/24/ΕΕ και 2014/25/ΕΕ).

14) ΚΥΑ 50910/2727/2003 (ΦΕΚ 1909/22-12-2003) – Μέτρα και όροι για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων, Εθνικός και Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης.

15) Ν. 4819/2021 (ΦΕΚ 129/Α/23-07-2021) – Ολοκληρωμένο πλαίσιο για τη διαχείριση των αποβλήτων – Ενσωμάτωση των Οδηγιών 2018/ 851 και 2018/852 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 30ής Μαΐου 2018 για την

τροποποίηση της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ περί αποβλήτων και της Οδηγίας 94/62/ΕΚ περί συσκευασιών και απορριμμάτων συσκευασιών, πλαίσιο οργάνωσης του Ελληνικού Οργανισμού Ανακύκλωσης, διατάξεις για τα πλαστικά προϊόντα και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, χωροταξικές – πολεοδομικές, ενεργειακές και συναφείς επείγουσες ρυθμίσεις.