



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ
ΤΟΜΕΑ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

Διερεύνηση της Αντοχής Σκυροδέματος μετά από Επίδραση σε Φωτιά

Χρίστος Ζαφειρόπουλος
Α.Μ 42970

Βασίλης Χατζηγιάννου
Α.Μ 42886



Επιβλέπων Καθηγητής: Δρίβας Δημήτριος

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2017

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά, τον υπεύθυνο πτυχιακής κ. Δρίβα για την συμπαράσταση του και την βοήθεια του καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος καθώς και τους καθηγητές κα. Μέντρεα, κ. Παπαγεωργίου και κ. Καρέλα τόσο για την παραχώρηση του εργαστηρίου Π.Ε.Τ.Υ.Λ. με σκοπό την διεξαγωγή της πτυχιακής όσο και για τη στήριξη και τις γνώσεις που μας προσέφεραν.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ζαφειρόπουλος Χρίστος, του Αθανασίου φοιτητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών

4 Ιουλίου 2017


Χρίστος Ζαφειρόπουλος

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/α Χατζηιωάννου Βασίλειος, του Ιωάννη φοιτητής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε

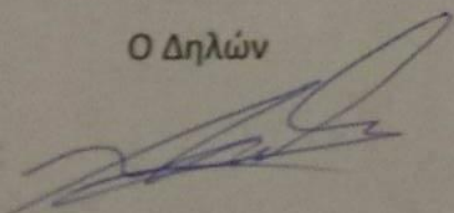
του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το ίδρυμα του έχει απονεμίσει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

29/6/2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Σελ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	8
2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	8
2.1.1 ΑΠΟ ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	8
2.1.2 ΣΙΔΗΡΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ	8
2.1.3 Η ΚΑΘΙΕΡΩΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ	8
2.2 ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	10
2.2.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ	10
2.2.2 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	11
2.2.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ή ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ	13
2.2.4 ΝΕΡΟ.....	19
2.2.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	19
2.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	20
2.3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ	20
2.3.2 ΕΞΙΔΡΩΣΗ	21
2.3.3 ΑΠΟΜΕΙΞΗ	21
2.3.4 ΑΝΑΜΕΙΞΗ.....	22
2.3.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ	22
2.3.6 ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ	22
2.3.7 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ.....	23
2.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ).....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ανακύκλωση παλαιών σκυροδεμάτων	25
3.1 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ.....	25
3.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ.....	26
3.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ	26
3.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	26
3.5 ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	27
3.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	27
3.7 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	29
3.8 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	29
3.9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	30

4.1	ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΩΤΙΑ	30
4.2	ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	30
4.2.1	Η ΕΠΩΑΣΗ.....	30
4.2.2	Η ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ	31
4.2.3	Η ΑΠΟΣΒΕΣΗ.....	32
4.3	Η ΚΑΜΠΥΛΗ ISO « ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΙΩΝ-ΧΡΟΝΟΣ».....	32
4.4	ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΥΡΚΑΓΙΑ	33
4.5	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ.....	34
4.5.1	ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	35
4.5.2	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	35
4.5.3	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	36
4.5.4	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ	37
4.6	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	37
4.7	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ.....	38
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	42
5.1	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	42
5.1.1	ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΠΟ ΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	42
5.1.2	ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	42
5.1.3	ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ	43
5.1.4	ΚΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	50
5.1.5	ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΛΙΠΤΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ.....	52
	κεφαλαιο 6: αποτελεσματα	53
6.1	ΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ	53
6.2	ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ.....	55
6.3	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	57
	κεφαλαιο 7: Συμπεράσματα	59
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο Διερεύνηση της Αντοχής του Σκυροδέματος μετά από επίδραση σε φωτιά, πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη και η εξέταση των αντοχών σκυροδέματος, παρασκευασμένου με θραυστά αδρανή υλικά, συναρτήσεως τάσης-θερμοκρασίας, σε σύγκριση με σκυροδέματα τα οποία έχουν προέλθει από ανακυκλώσιμα αδρανή υλικά. Οι θερμοκρασίες στις οποίες δοκιμάστηκαν τα δοκίμια ήταν σε θερμοκρασίες 200°C, 400°C, 600°C, και 900°C. Τα δοκίμια υπέστησαν θραύση αφού είχαν έρθει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με τελικό αποτέλεσμα την εξαγωγή συμπερασμάτων.

Ένα σπουδαίο κεφάλαιο που απασχολεί το μηχανικό κατά τη μελέτη έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι η ασφάλεια και η ανθεκτικότητα της κατασκευής έναντι των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαγιάς. Και ενώ για τις συνήθεις δράσεις (όπως εντατικές καταστάσεις, σεισμός κ.ά.) υπάρχουν σαφείς μέθοδοι σχεδιασμού, για την ειδική δράση που λέγεται πυρκαγιά δεν διατίθενται τρέχουσες μέθοδοι υπολογισμού παρά μόνο κάποιοι εμπειρικοί κανόνες οι οποίοι κατά τα παλαιότερα χρόνια ήταν ανεπαρκείς και εφαρμόζονταν σπάνια.

Τα τελευταία χρόνια με την αύξηση του όγκου των κατασκευών αλλά και με την χρήση νέων πηγών ενέργειας (π.χ. φυσικό αέριο) που εμφανίζουν υψηλό βαθμό επικινδυνότητας ως προς την εκδήλωση φωτιάς, εντείνεται το ενδιαφέρον των μηχανικών για το σχεδιασμό πυραντοχών κατασκευών.

Αν ενδιαφερθεί κανείς να ικανοποιήσει την απαίτηση για «ιδανική», δηλαδή απεριόριστη αντοχή των υλικών σε υψηλές θερμοκρασίες, θα διαπιστώσει ότι, κανένα υλικό δε παρουσιάζει την ιδιότητα αυτή. Εν τούτοις ο προσεκτικός σχεδιασμός μπορεί να αυξήσει την ανθεκτικότητα των δομικών στοιχείων και κατά συνέπεια του συνόλου της κατασκευής, ενώ διευκολύνει την ενίσχυση και αποκατάσταση ενός κτιρίου που υπέστη πυρκαγιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ ΚΑΙ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Η ιστορία του σκυροδέματος συνδέεται άμεσα με την ιστορία του τσιμέντου, το οποίο αποτελεί ένα από τα βασικά συστατικά του. Το σκυρόδεμα εξελίσσεται διαρκώς, ώστε να παραμένει ένα υλικό που προσφέρει χιλιάδες δυνατότητες και αποτελεί μια συνεχή πηγή έμπνευσης για τους μηχανικούς.

2.1.1 ΑΠΟ ΤΟ ΤΣΙΜΕΝΤΟ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Η ιδανική σύνθεση του τσιμέντου εξελίχθηκε μόλις τον 19^ο αιώνα, το οποίο όμως είχε κάνει την εμφάνιση του από την αρχαία Ρώμη όπου και πρωτοχρησιμοποιήθηκε. Η εξάπλωση του έγινε με γρήγορους ρυθμούς όπου στη συνέχεια προστέθηκαν άμμος και χαλίκια για να είναι πιο κοντά στη φυσική πέτρα και τον λαξευτό λίθο

2.1.2 ΣΙΔΗΡΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Το 1845, ο Joseph-Louis Lambot, ο «επίσημος» εφευρέτης του οπλισμένου τσιμέντου, χρησιμοποίησε σύρμα και κονίαμα, για να δημιουργήσει δεξαμενές και φυτευτικά αυλάκια για πορτοκαλιές. Το 1867, ο Joseph Monier πρότεινε ένα σύστημα «κινητών κάδων ή λεκανών, κατασκευασμένων από σίδηρο και τσιμέντο, για να χρησιμοποιούνται στην κηπευτική», μια ιδέα, την οποία τελειοποίησε τα επόμενα χρόνια.

Λίγα χρόνια αργότερα το 1892, ο François Hennebique κατέθεσε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και ανακηρύχθηκε ο εφευρέτης του οπλισμένου σκυροδέματος. Στην Παγκόσμια Έκθεση του 1900, τον αποκάλεσαν ως «τον σημαντικότερο ανάδοχο δημόσιων έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα». Η αληθινή περιπέτεια των κατασκευών από σκυρόδεμα ξεκίνησε τον επόμενο αιώνα.

2.1.3 Η ΚΑΘΙΕΡΩΣΗ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος ως δομικό υλικό εγκρίθηκε με μια εγκύκλιο του γαλλικού κράτους στις 20 Οκτωβρίου 1906.

Από το 1897, το οπλισμένο σκυρόδεμα και οι τεχνικές του διδάσκονται στη γαλλική σχολή Ecole des Ponts et Chaussées. Μεταξύ των επίδοξων μηχανικών ήταν ο Eugène Freyssinet, ο εφευρέτης του προεντεταμένου σκυροδέματος, το οποίο κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1929.

Μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, οι επιθυμίες για στέγαση οδήγησαν σε ανάπτυξη των προκατασκευών. Από το 1950 έως το 1965, ο αριθμός των κατοικιών που χτίζονταν κάθε χρόνο στη Γαλλία εκτοξεύθηκε σε 550.000 κατοικίες.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 παρουσιάστηκαν σκυροδέματα υψηλής αντοχής, όπως τα ινοπλισμένα σκυροδέματα υπερυψηλής αντοχής και τα αυτοσυμπυκνούμενα, αυτοεπιπεδούμενα σκυροδέματα.

Το χρονικό διάστημα μεταξύ 1970 - 1981 εισάγονται οι Γερμανικές Κατηγορίες B25 & B35.

Το 1985 εκδίδεται ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΦΕΚ Β' 266/9.5.85) και το 1997 γίνεται αναθεώρηση του κανονισμού αυτού με την έκδοση του ΚΤΣ-97 που δημοσιεύτηκε στο ΦΕΚ Β' 315/17.4.97.

Το 2002 ο ΚΤΣ-97 προσαρμόζεται στα Ευρωπαϊκά πρότυπα και εισάγονται οι κατηγορίες κάθισης S1-S5.

Το 2006 ο ΚΤΣ-97 αναθεωρείται σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 206-1.

Το σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα αδρανών υλικών και μείγμα πάστας. Το τσιμέντο και το νερό τα οποία καλύπτουν την επιφάνεια των αδρανών αποτελούν αυτήν την πάστα. Η στερεοποίηση αυτής της πάστας επιτυγχάνεται με μια χημική αντίδραση, την ενυδάτωση, δημιουργώντας μια μάζα συμπαγή, το σκυρόδεμα. Αυτό είναι και το μεγάλο πλεονέκτημα του σκυροδέματος το οποίο όταν αναμιγνύεται είναι εύπλαστο ενώ όταν σκληραίνει ανθεκτικό.

Η ανθεκτικότητα του σκυροδέματος επιτυγχάνεται με προσεκτική ανάμιξη, συγκεκριμένων αναλογιών των συστατικών του. Μια σύνθεση σκυροδέματος η οποία δεν έχει αρκετή πάστα θα είναι αρκετά δύσκολη στη διάσπρωση της και θα δημιουργήσει κενά και πόρους στην επιφάνεια και στη μάζα με αποτέλεσμα τη μείωση της ανθεκτικότητας. Αντιθέτως, μια σύνθεση με υπερβολική πάστα διαστρώνεται πιο εύκολα, με κατάληξη όμως την δημιουργία σκυροδέματος με ργματώσεις.

Όταν το σκυρόδεμα είναι φρέσκο διαθέτει καλή εργασιμότητα, ανθεκτικότητα και αντοχή όταν σκληρώνει. Η ποιότητα της πάστας και η αντοχή καθορίζεται από τον λόγο νερού προς τσιμέντο στο σκυρόδεμα.

Πίνακας 1: Κατηγορίες σκυροδέματος

Κατηγορία Σκυροδέματος	$f_{ck,κυλ.}$ (Μpa)	$f_{ck,κύβου}$ (Μpa)
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

2.2 ΥΛΙΚΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.2.1 ΤΣΙΜΕΝΤΟ

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 89/106, από 1/4/01, τα τσιμέντα που κυκλοφορούν σε όλα τα κράτη μέλη, πρέπει να είναι πιστοποιημένα, να φέρουν σήμανση CE και να είναι σύμφωνα με τα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα,

- **EN 197-1: Τσιμέντο Μέρος - 1:** "Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα" και
- **EN 197-2: Τσιμέντο Μέρος - 2:** "Αξιολόγηση συμμόρφωσης"

Στη χώρα μας ισχύουν τα αντίστοιχα Ελληνικά Πρότυπα **ΕΛΟΤ EN 197-1** και **ΕΛΟΤ EN 197-2**.

2.2.1.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΣΤΟΧΟΙ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ

Το τσιμέντο, βάσει της παραπάνω Οδηγίας, πρέπει να πληροί ορισμένες απαιτήσεις, όσον αφορά τις ιδιότητές του και τη σταθερότητα παραγωγής του.

Στην σύνταξη των εν λόγω προτύπων συμπεριελήφθησαν και κωδικοποιήθηκαν όλα τα κοινής αποδοχής και ευρείας χρήσης τσιμέντα, που παράγονται στις χώρες

μέλη, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοινής ορολογίας για όλους τους μελετητές - χρήστες - κατασκευαστές δομικών έργων της Ε.Ε.

Η ποιότητα του τσιμέντου πιστοποιείται στο αυστηρότερο επίπεδο αξιολόγησης συμμόρφωσης, με εξωτερική δειγματοληψία, από ανεξάρτητο, αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης.

2.2.1.2 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ

Κάθε χώρα παγκοσμίως παρασκευάζει τσιμέντο, χρησιμοποιώντας τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει. Έτσι ανάλογα με τις υπάρχουσες και χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες δημιουργήθηκαν οι διάφοροι τύποι τσιμέντων που παράγονται παγκοσμίως, όπως το καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, το τσιμέντο με ποζολάνη, ιπτάμενη τέφρα πυριτική ή ασβεστολιθική, σκωρία υψικαμίνου, πυριτική παιπάλη, ασβεστόλιθο κλπ.

Πίνακας 2: Βασικοί τύποι τσιμέντου

ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

2.2.2 ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Ως αδρανή ονομάζονται (www.orykta.gr) τα διαβαθμισμένα κατά μέγεθος υλικών, προερχόμενα από τη φύση (σκύρα, χαλίκια, άμμοι) ή βιομηχανικής προέλευσης (σκωρίες, ανακυκλωμένο σκυρόδεμα κ.α.) ή από θραύση πετρωμάτων για παραγωγή συνθέσεων όπως σκυροδέματα, ασφαλικά μείγματα. Ονομάζονται αδρανή γιατί η πλειονότητα τους δεν αντιδρά χημικά με τις διάφορες «συγκολλητικές» ύλες.

Η μεγαλύτερη ποσότητα αδρανών υλικών προέρχεται από τη θραύση εξορυγμένων πετρωμάτων (κυρίως ασβεστολιθικών) ή από θραύση υλικών φυσικών αποθέσεων (μείγμα κυρίως ασβεστολιθικών, χαλαζιακών και γρανιτικών πετρωμάτων) ποταμών, χειμάρρων, θαλάσσης.

Η κύρια χρήση των αδρανών αφορά στην παραγωγή σκυροδέματος (οπλισμένου ή άοπλου). Οι κόκκοι των αδρανών, λόγω γωνιώδους και ακανόνιστου σχήματος συνδέονται μεταξύ τους και συγκρατούνται στο σκυρόδεμα με τη βοήθεια της τσιμεντόπαστας (μείγμα τσιμέντου και νερού), της οποίας η δράση είναι, να

«συγκολλήσει» τα υλικά αυτά. Επειδή, όμως το τσιμέντο έχει μεγάλη συμμετοχή στο κόστος των πρώτων υλών του σκυροδέματος, η συμμετοχή του θα πρέπει να περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό, με την προϋπόθεση βέβαια ότι, ικανοποιείται η αντοχή του σκυροδέματος. Το 70% περίπου του βάρους του σκυροδέματος αποτελείται από αδρανή, γεγονός που κάνει το κόστος του σκυροδέματος χαμηλό, καθώς τα αδρανή είναι φθηνά υλικά.

Όμως, αυτό δεν είναι το μοναδικό πλεονέκτημα από τη χρήση αδρανών. Τα αδρανή, εκτός των άλλων. Επηρεάζουν θετικά τη στατική συμπεριφορά των κατασκευών από σκυρόδεμα, εξασφαλίζουν μεγάλη “σταθερότητα όγκου” και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών, σε σχέση με την περίπτωση χρήσης μόνο τσιμεντοκονιάματος.

Τα αδρανή του σκυροδέματος πρέπει να είναι καθαρά, χωρίς επιφανειακή σκόνη, άργιλο και οργανικές ύλες (συνήθως πλυμένα), σκληρά, μεγάλης αντοχής και κατάλληλης επιφανειακής υφής και πορώδη. Σημαντικό ρόλο παίζει το σχήμα τους, το οποίο πρέπει να είναι γωνιώδες και τα τεμάχια να έχουν σχετική ομοιογένεια στις τρεις διαστάσεις.

Τα αδρανή λοιπόν πρέπει να είναι:

- Σταθερά ώστε να μην θρυμματίζονται εύκολα.
- Ανθεκτικά, από σκληρά πετρώματα (γρανίτες και ασβεστόλιθοι).
- Καθαρά και απαλλαγμένα από φυτικές και άλλες επιβλαβείς προσμίξεις (πυλός, χημικά δραστικές ουσίες, άνθρακες κ.ά.).
- Σταθερά στις καιρικές αλλαγές (μεταβολές θερμοκρασίας και υγρασίας).
- Απαλλαγμένα από παιπάλη.
- Με διάμετρο μικρότερη από 0,075 mm.
- Καλά διαβαθμισμένα. Η κοκκομετρική καμπύλη της άμμου, των σκύρων και του μείγματος αυτών πρέπει να βρίσκεται μέσα στις περιοχές που περιλαμβάνονται στα διαγράμματα που προβλέπουν οι κανονισμοί. Κάθε υλικό που παρουσιάζει κοκκομετρική σύνθεση, τέτοια ώστε η κοκκομετρική του καμπύλη να βρίσκεται εκτός των επιτρεπόμενων από τις προδιαγραφές καμπυλών, ή η κοκκομετρική του καμπύλη είναι ασυνεχής, πρέπει να απορρίπτεται ή να βελτιώνεται προτού χρησιμοποιηθεί.

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σκυροδέματος έχουν διάφορα μεγέθη και ακανόνιστο σχήμα. Κατατάσσονται σε 4 βασικές κατηγορίες:

- Άμμος (0 - 4 mm)
- Ρυζάκι (4 - 8 mm)
- Γαρμπίλι (8 - 16 mm) και
- Χαλίκι (16 - 31,5 mm)

2.2.3 ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ή ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΗ ΑΔΡΑΝΩΝ

Τα αδρανή είναι μείγμα κόκκων διαφορετικού μεγέθους. Η κοκκομετρική τους σύνθεση παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη της σύνθεσης του σκυροδέματος. Καλά διαβαθμισμένα αδρανή με διαστάσεις κόκκων που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα, έχουν λιγότερα κενά από αυτά που είναι λιγότερο διαβαθμισμένα, δηλαδή έχουν κόκκους ομοιόμορφων διαστάσεων.

Η μείωση του όγκου των κενών μειώνει τον απαιτούμενο τσιμεντοπολτό, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και την αύξηση της ογκοσταθερότητας του σκυροδέματος. Επιπλέον, καθορισμένη ποσότητα νερού ανά μονάδα όγκου, η εργασιμότητα και η συνοχή του μείγματος βελτιώνονται με τη χρήση καλά διαβαθμισμένων αδρανών και με την παρουσία κάποιας ελάχιστης ποσότητας λεπτόκοκκου υλικού.

Η κοκκομετρική διαβάθμιση καθορίζεται με σειρά πρότυπων κόσκινων. Οι σειρές κόσκινων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα και υιοθετούνται από το πρότυπο ΕΛΟΤ-408 και από τον Ν.Κ.Τ.Σ είναι η γερμανική σειρά των DIN 4187 και 4188 και η αμερικανική σειρά κόσκινων της προδιαγραφής ASTM 11.



Εικ.1: Αμερικάνικα κόσκινα με την μηχανή κοσκινίσματος

2.2.3.1 ΟΡΙΑ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ

Οι προδιαγραφές των διαφόρων χωρών, καθορίζουν περιοχές κοκκομετρικών διαβαθμίσεων, μέσα στις οποίες, συνιστάται ή όχι, να βρίσκονται κοκκομετρικές καμπύλες.

Ο Ν.Κ.Τ.Σ ορίζει, με βάση ξένες προδιαγραφές και με τη μακρόχρονη εμπειρία στα ελληνικά αδρανή, τις περιοχές ή υποζώνες των πινάκων 3.1 - 3.7 και των διαγραμμάτων 1.1 - 1.4 και απαιτεί για οπλισμένο σκυρόδεμα, η κοκκομετρική καμπύλη να βρίσκεται στην υποζώνη Δ.

Πίνακας 3.1: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 63mm, για τη σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4188 & DIN 4187.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	2 - 11	11 - 16
1	1 mm	6 - 26	26 - 39
2	2 mm	11 - 34	34 - 49
4	4 mm	19 - 42	42 - 59
8	8 mm	30 - 56	56 - 71
16	16 mm	46 - 71	71 - 84
31,5	31,5 mm	72 - 90	90 - 96
63	63 mm	100	100

Πίνακας 3.2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 31,5mm, για τη σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4188 & DIN 4187.

Κόσκινα		Διερχόμενα %		
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε	Υποζώνη Ζ
0,25*	250 μm	2 - 13	13 - 17	17 - 23
1	1 mm	10 - 30	30 - 44	44 - 58
2	2 mm	18 - 40	40 - 55	55 - 67
4	4 mm	30 - 52	52 - 67	67 - 76
8	8 mm	45 - 68	68 - 80	80 - 86
16	16 mm	70 - 87	87 - 93	93 - 96
31,5	31,5 mm	100	100	100

Πίνακας 3.3: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 16mm, για τη σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4188 & DIN 4187

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	2 - 13	13 - 18
1	1 mm	12 - 32	32 - 49
2	2 mm	21 - 42	42 - 62
4	4 mm	36 - 63	63 - 80
8	8 mm	60 - 85	85 - 94
16	16 mm	100	100

Πίνακας 3.4: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 8mm, για τη σειρά των Γερμανικών Κοσκίνων DIN 4188 & DIN 4187.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	5 - 11	11 - 21
1	1 mm	21 - 42	42 - 57
2	2 mm	36 - 57	57 - 71
4	4 mm	61 - 74	74 - 85
8	8 mm	95 - 100	100

Πίνακας 3.5: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 1,5", για τη σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM 11.

Κόσκινα		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	2 - 11	11 - 16
No 50	300 μm	3 - 13	13 - 19
No 30	600 μm	4 - 20	20 - 30
No 16	1,16 mm	7 - 29	29 - 42
No 8	2,36 mm	12 - 36	36 - 51
No 4	4,75 mm	21 - 45	45 - 62
3/8"	9,5 mm	34 - 60	60 - 74
1/2"	12,5 mm	41 - 66	66 - 80
3/4"	19,0 mm	51 - 75	75 - 87
1"	25,0 mm	60 - 84	84 - 93
1 1/2"	37,5 mm	95 - 100	100
2"	50,0 mm	100	100

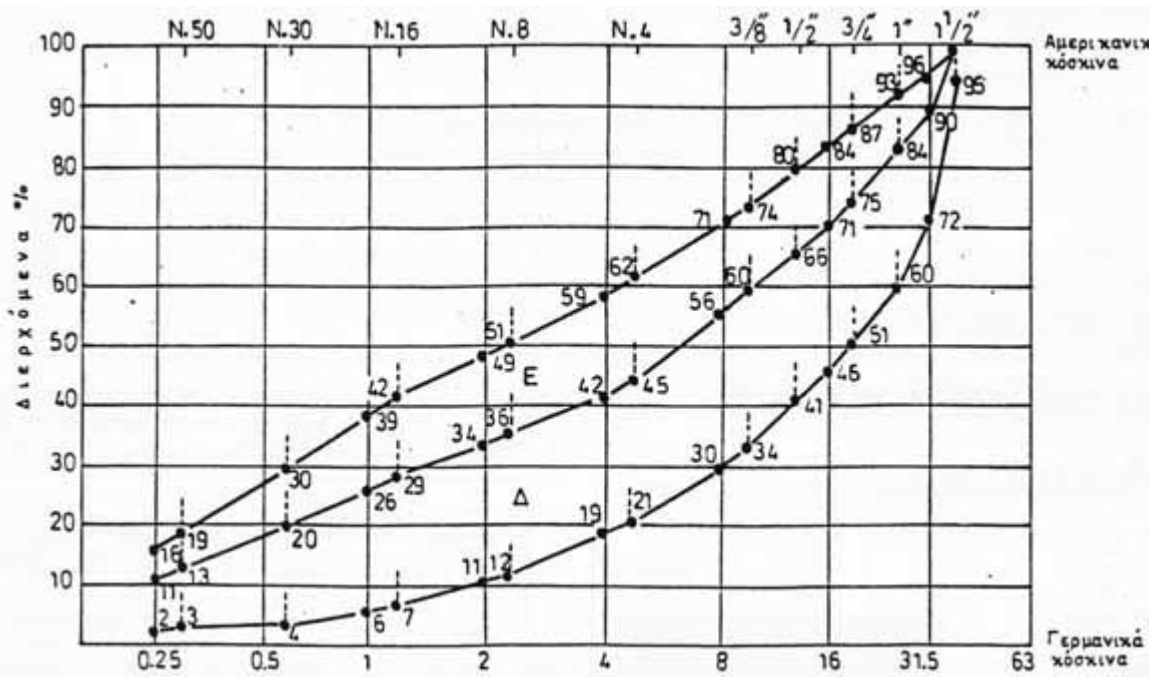
Πίνακας 3.6: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 1", για τη σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM E 11.

Κόσκια		Διερχόμενα %		
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε	Υποζώνη Ζ
0,25*	250 μm	2 - 13	13 - 17	17 - 23
No 50	300 μm	3 - 14	14 - 20	20 - 27
No 30	600 μm	6 - 23	23 - 34	34 - 44
No 16	1,16 mm	12 - 32	32 - 47	47 - 60
No 8	2,36 mm	21 - 43	43 - 58	58 - 69
No 4	4,75 mm	33 - 56	56 - 70	70 - 78
3/8"	9,5 mm	51 - 73	73 - 84	84 - 89
1/2"	12,5 mm	61 - 80	80 - 89	89 - 93
1"	25,0 mm	95 - 100	100	100
1 1/2"	37,5 mm	100	100	100

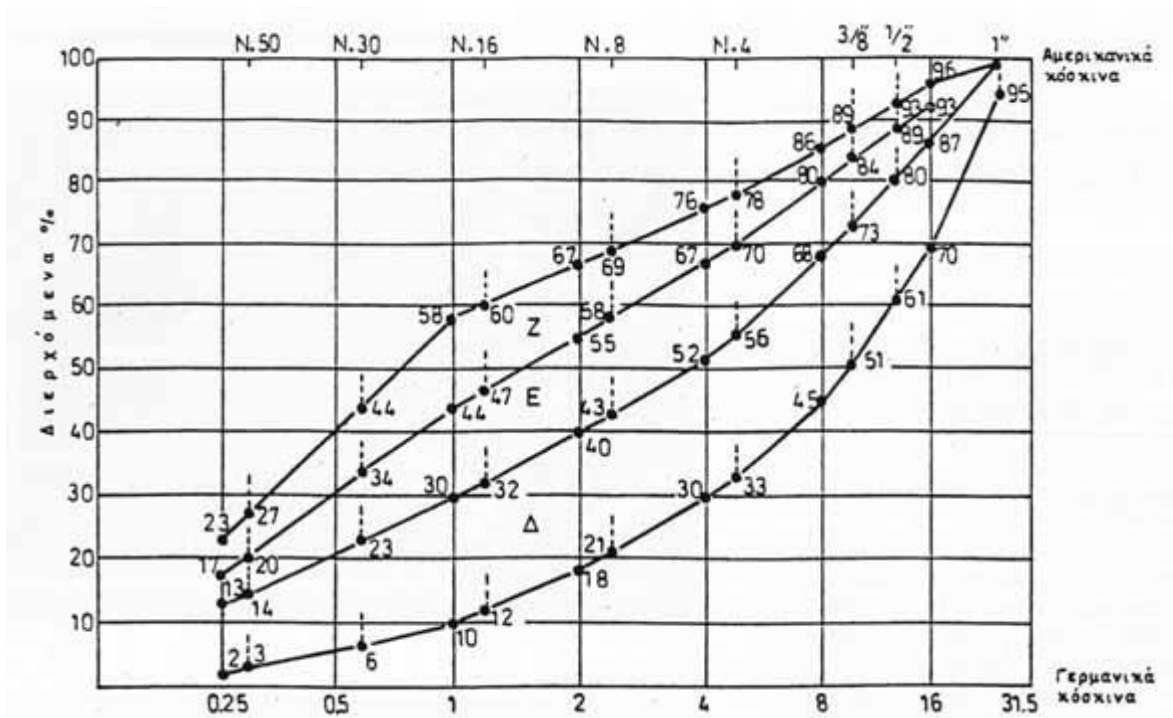
Πίνακας 3.7: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης, μείγματος θραυστών αδρανών, μέγιστου κόκκου 3/8", για τη σειρά των Αμερικανικών Κοσκίνων ASTM E 11.

Κόσκια		Διερχόμενα %	
Όνομασία	Άνοιγμα	Υποζώνη Δ	Υποζώνη Ε
0,25*	250 μm	5 - 11	11 - 21
No 50	300 μm	7 - 15	15 - 26
No 30	600 μm	15 - 30	30 - 43
No 16	1,16 mm	25 - 45	45 - 60
No 8	2,36 mm	42 - 61	61 - 74
No 4	4,75 mm	69 - 80	80 - 88
3/8"	9,5 mm	100	100

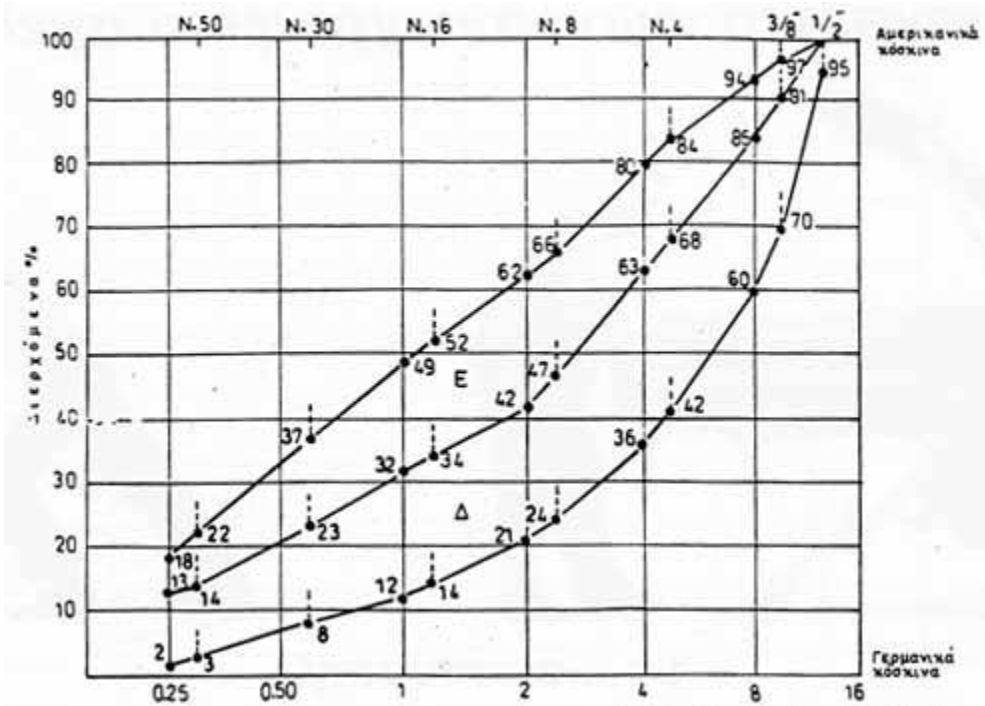
* Το κόσκινο αυτό ανήκει στη σειρά των Γερμανικών κοσκίνων



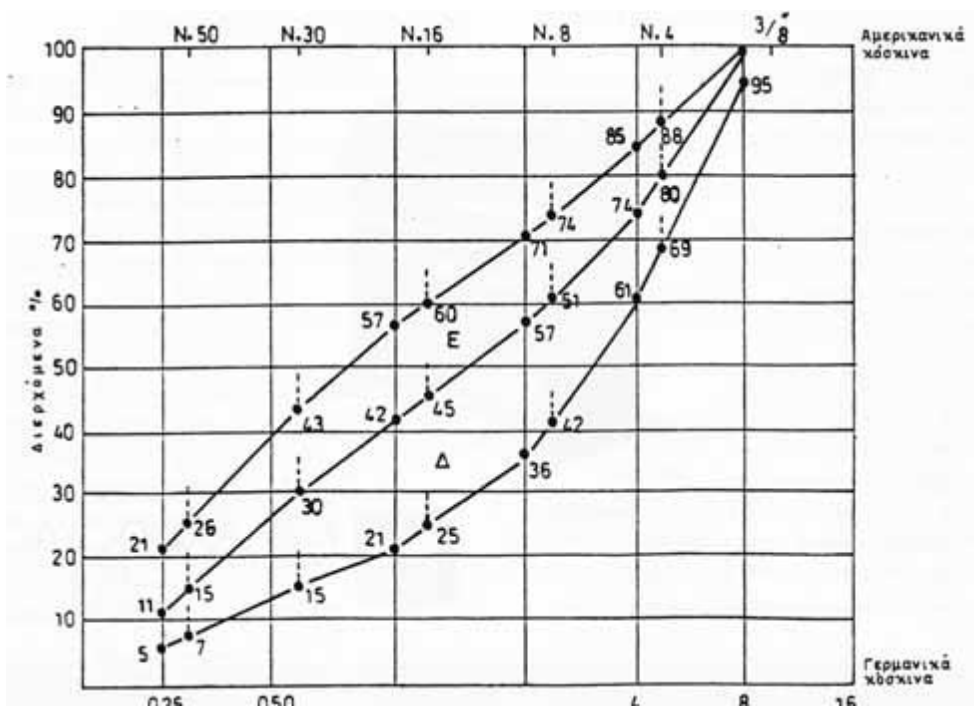
Διάγραμμα 1.1: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος αδρανών, μέγιστου κόκκου 63 ή 1 1/2".



Διάγραμμα 1.2: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος αδρανών, μέγιστου κόκκου 31,5 ή 1".



Διάγραμμα 1.3: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος αδρανών, μέγιστου κόκκου 16 ή 1/2.



Διάγραμμα 1.4: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης μείγματος αδρανών, μέγιστου κόκκου 8 ή 3/8.

2.2.4 ΝΕΡΟ

Ένα από τα κυριότερα συστατικά του σκυροδέματος είναι το νερό.

Το νερό που χρησιμοποιείται πρέπει να είναι πόσιμο, καθαρό και απαλλαγμένο από βλαπτικές ουσίες (οργανικά ή ανόργανα στερεά, θειικά άλατα, οξέα) γιατί μπορούν να βλάψουν την ποιότητα του σκυροδέματος και να προκαλέσουν διάβρωση του οπλισμού. Τα νερά, τα οποία περιέχουν λάδια, λίπη ή σάκχαρα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται. Σε περίπτωση ενδοιασμού για την καταλληλότητα του νερού συνιστάται χημική ανάλυση ή έλεγχος της καταλληλότητάς του με την παρασκευή δοκιμίων σκυροδέματος.

Το θαλασσινό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για άοπλο σκυρόδεμα και μόνο όταν υπάρχουν ειδικοί λόγοι και αυτό γιατί το θαλασσινό νερό, μειώνει γενικά την αντοχή του σκυροδέματος και διαβρώνει τον οπλισμό.

2.2.5 ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 934-2:2001, πρόσθετο σκυροδέματος είναι το υλικό που προστίθεται κατά τη διαδικασία της ανάμιξης του σκυροδέματος σε ποσότητα που δεν ξεπερνάει το 5% κ.β. του τσιμέντου, για να τροποποιήσει τις ιδιότητες του μείγματος, νωπού ή και σκληρυμένου.

Τα πρόσθετα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ιδιότητα ή τις ιδιότητες του σκυροδέματος που τροποποιούν. Οι κατηγορίες των πρόσθετων υλικών, είναι:

- **Αερατικά**, που αναπτύσσουν στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος μικροσκοπικές (0,02-0,2 mm) φυσαλίδες, με σκοπό την αύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος, σε κύκλους ζέστης - παγετού.
- **Πρόσθετα, επιταχυντικά της πήξης**, για σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- **Πρόσθετα, επιβραδυντικά της πήξης**, για σκυροδέτηση σε πολύ ζεστό καιρό.
- **Ρευστοποιητικά ή υπερρευστοποιητικά πρόσθετα**, για αύξηση της ρευστότητας του νωπού σκυροδέματος. Η χρήση τους είναι σχεδόν απαραίτητη για σκυροδέματα υψηλής ποιότητας, που αναγκαστικά περιέχουν λιγότερο νερό, ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες. Όταν χρησιμοποιούνται υπερρευστοποιητικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η επίδραση τους στην ρευστότητα του μείγματος κατά κανόνα εξαφανίζεται μετά από 20-30 min από την προσθήκη τους στο μείγμα. Για τον λόγο αυτό, αν η ανάμιξη των υλικών του σκυροδέματος γίνεται σε εργοστάσιο ετοιμού σκυροδέματος και ακολουθεί η μεταφορά στο έργο, με αυτοκίνητο-αναμικτήρα, ένα μέρος ή και το σύνολο του υπερρευστοποιητικού είναι απαραίτητο να προστεθεί στο μείγμα, όχι στο εργοστάσιο παραγωγής, αλλά επιτόπου στο έργο, λίγο πριν τη σκυροδέτηση.
- **Ρευστοποιητικά - επιβραδυντικά**

- **Ρευστοποιητικά - επιταχυντικά**
- **Υπερρευστοποιητικά - επιβραδυντικά**

2.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για την επιτυχία στην ποιότητα του σκυροδέματος, δεν παίζει ρόλο μόνο η χρησιμοποίηση των κατάλληλων υλικών, αλλά και άλλοι παράγοντες. Αυτοί είναι: (i) η κατάλληλη επιλογή των αναλογιών σύνθεσης, προκειμένου να πετύχουμε ορισμένες συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες επιβάλλονται από τις προδιαγραφές της κατασκευής, (ii) τα διαθέσιμα υλικά και (iii) τα εργαταξιακά μέσα. Η εργασία αυτή ονομάζεται, μελέτη συνθέσεως.

Η εργασία της μελέτης σύνθεσης ακολουθεί την ακόλουθη σειρά:

- Προσδιορισμός δεδομένων
- Προσδιορισμός απαιτήσεων Κανονισμών
- Εκτίμηση σύνθεσης
- Δοκιμή

Το σπουδαιότερο από τα παραπάνω είναι η εκτίμηση της σύνθεσης. Η σωστή εκτίμηση συντομεύει το χρόνο της δοκιμαστικής αναζήτησης. Η εκτίμηση της κατάλληλης σύνθεσης είναι κυρίως θέμα εμπειρίας, μπορεί όμως να συμπληρωθεί με στοιχεία που παρέχονται τους Κανονισμούς και τη βιβλιογραφία. Πρέπει ακόμα να τονιστεί ότι, τα στοιχεία που παρέχονται στη βιβλιογραφία, ακόμη και στους Κανονισμούς, έχουν προκύψει από μετρήσεις με καθορισμένης ποιότητας υλικά και γι αυτό πρέπει να θεωρούνται ενδεικτικά και βοηθητικά. Η τελευταία φάση, η δοκιμή και μόνο αυτή, είναι ικανή να καθορίσει τη σύνθεση που καλύπτει τις ζητούμενες απαιτήσεις.

2.3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ

Το σκυρόδεμα πρέπει να περιέχει τόσο τσιμέντο ώστε να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη θλιπτική αντοχή. Τεράστιο ρόλο παίζει η περιεκτικότητα σε νερό και ο λόγος νερού προς τσιμέντο. Όσο ο λόγος αυτός αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος μειώνεται λόγω αύξησης των πόρων, οι οποίοι προκύπτουν μετά την εξάτμιση του νερού.

Η συνεκτικότητα του σκυροδέματος χαρακτηρίζει την εργασιμότητά του, δηλαδή την κινητικότητα του, καθώς και το απαιτούμενο έργο για την συμπύκνωσή του. Για να έχει το σκυρόδεμα ορισμένη συνεκτικότητα, η ποσότητα νερού πρέπει να είναι κατάλληλη για τη διαβροχή των επιφανειών όλων των κόκκων του μείγματος. Για σκυροδέματα κατηγοριών συνεκτικότητας S4 και S5 χρησιμοποιούνται ρευστοποιητές με το λόγο νερού προς τσιμέντο να παραμένει αμετάβλητος.

Τέλος το βάρος των αδρανών είναι σωστό να υπολογίζεται πειραματικά, στο εργαστήριο.

2.3.2 ΕΞΙΔΡΩΣΗ

Εξίδρωση ονομάζεται το φαινόμενο του διαχωρισμού του νερού από τα στερεά συστατικά του σκυροδέματος, που παρουσιάζεται στην περίοδο πριν από την πήξη. Λόγω βαρύτητας, τα στερεά συστατικά καθιζάνουν, ενώ το νερό κινείται προς τα επάνω λόγω των τριχοειδών δυνάμεων. Έτσι, στην επιφάνεια του σκυροδέματος δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα νερού, το οποίο τελικά, εξατμίζεται.

Με την εξίδρωση λοιπόν, ο όγκος του τελικού μείγματος μειώνεται, λόγω της απομάκρυνσης του νερού, η οποία είναι μεν επιθυμητή, καθώς ευνοεί την αντοχή, αλλά και με αρνητικό παράγοντα, την ανομοιογένεια που δημιουργείται μέσα στη μάζα του σκυροδέματος. Ειδικότερα, με την εξίδρωση έχουμε τα ακόλουθα δυσμενή φαινόμενα:

α) Όπως το νερό κινείται προς τα επάνω, συμπαρασύρει το λεπτόκοκκο τμήμα του τσιμέντου. Με αυτό τον τρόπο, το μείγμα γίνεται φτωχότερο σε τσιμέντο και στην επάνω επιφάνεια, δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα κονίας, που ρηγματώνεται και αποφλοιώνεται.

β) Κατά τη δίοδο του νερού ανάμεσα από τα στερεά συστατικά δημιουργούνται μέσα στον τσιμεντοπολλτό λεπτοί σωληνίσκοι.

γ) Η συγκέντρωση του νερού δε γίνεται μόνο στην επάνω επιφάνεια του σκυροδέματος, αλλά το ίδιο φαινόμενο εμφανίζεται τοπικά και στις κοιλότητες μεταξύ των σκύρων, όπου γίνεται τοπική συγκέντρωση νερού με αποτέλεσμα τη δημιουργία κοιλοτήτων.

δ) Το ίδιο φαινόμενο δημιουργείται και σε όλο το μήκος κάτω από τις ράβδους του οπλισμού, όπου το κενό που σχηματίζεται, μειώνει την επιφάνεια συνεργασίας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το σίδηρο ενώ συγχρόνως, αυξάνει και τον κίνδυνο διαβρώσεως των οπλισμών.

Το φαινόμενο της εξιδρώσεως επιτείνεται με την αύξηση του νερού αναμείξεως, καθώς και με την έλλειψη λεπτόκοκκων υλικών της άμμου και του τσιμέντου, γιατί μ' αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η κίνηση του νερού προς τα επάνω.

Τέλος, πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε είδος τσιμέντου έχει διαφορετική ικανότητα συγκρατήσεως νερού, ρόλο παίζει κυρίως η λεπτότητα του τσιμέντου και οι προσμίξεις.

2.3.3 ΑΠΟΜΕΙΞΗ

Τα στερεά συστατικά λόγω βαρύτητας διαχωρίζονται και μεταξύ τους, έτσι τα βαρύτερα κινούνται προς τα χαμηλότερα στρώματα. Αυτό ονομάζεται απόμειξη του σκυροδέματος και είναι από τα πιο καταστρεπτικά φαινόμενα τόσο για την αντοχή όσο και για την ποιότητα του σκυροδέματος καθώς μεταβάλλει, με ανομοιομορφο

τρόπο, τις αναλογίες μείξεως. Συνέπεια της απόμειξης είναι η δημιουργία περιοχών με μειωμένη αντοχή.

2.3.4 ΑΝΑΜΕΙΞΗ

Τα αδρανή υλικά και το τσιμέντο πρέπει να μετριούνται σε βάρος και το νερό σε βάρος ή όγκο. Το τσιμέντο, το νερό, τα διάφορα αδρανή και τα πρόσθετα θα πρέπει να αναμειγνύονται μέσα σε αναμεικτήρα για όσο χρόνο είναι απαραίτητος ώστε να δημιουργηθεί ομοιόμορφο μείγμα. Ο χρόνος αναμείξεως είναι εκείνος που αναγράφεται στις προδιαγραφές του αναμεικτήρα. Οπωσδήποτε όμως, δεν θα είναι μικρότερος από 1 λεπτό. Ο χρόνος αναμείξεως μετρείται μετά την εισαγωγή όλων των υλικών στον αναμεικτήρα. Εφόσον όμως χρησιμοποιηθούν πρόσθετα, ο χρόνος αυτός αυξάνεται. Τα αδρανή θα μετριούνται με ακρίβεια 3% του βάρους τους, το τσιμέντο με ακρίβεια 2% του βάρους του, το νερό με ακρίβεια 2% και τα πρόσθετα με ακρίβεια 3% του βάρους ή του όγκου τους, ανάλογα με το αν είναι σε σκόνη ή σε μορφή υγρού.

2.3.5 ΜΕΤΑΦΟΡΑ

Κατά τη μεταφορά του μέχρι τη διάστρωση, το σκυρόδεμα πρέπει να προστατεύεται από τη βροχή ή την πρόσμειξή του με ξένα υλικά και δεν πρέπει να χάνει την ομοιογένειά του. Αν η μεταφορά γίνεται με χρήση αντλίας, αυτή δεν πρέπει να μεταβάλλει την ομοιογένεια και την εργασιμότητα του μείγματος.

2.3.6 ΔΙΑΣΤΡΩΣΗ

Η εκφόρτωση πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στη θέση τελικής διαστρώσεως, ώστε να αποφεύγεται η μετακίνηση του σκυροδέματος με φτυάρια ή τσουγκράνες. Απαγορεύεται η μετακίνηση με το δονητή. Αν η εκφόρτωση δεν είναι δυνατόν να γίνει στη θέση διαστρώσεως, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για την ενδιάμεση μεταφορά, αντλίες, κεκλιμένα επίπεδα, μεταφορικές ταινίες ή άλλα μέσα που δεν προκαλούν απόμειξη του μείγματος. Απαγορεύεται η ελεύθερη πτώση του σκυροδέματος από ύψος μεγαλύτερο των 2,5 μέτρων. Η κάθιση του σκυροδέματος πρέπει να μετριέται πριν από τη διάστρωση, σε δείγμα που θα παίρνεται μετά την αποφόρτωση του ενός τρίτου περιπτώ του αναμείγματος ή του ενός τρίτου του φορτίου του αυτοκινήτου, αν πρόκειται για έτοιμο σκυρόδεμα. Η τιμή αυτή, δεν πρέπει να διαφέρει από την κάθιση της Μελέτης Συνθέσεως με κατάλληλη προσαρμογή των αναλογιών της Μελέτης Συνθέσεως, περισσότερο από το ένα τέταρτό της. Αν η τιμή που μετρήθηκε βρίσκεται έξω από αυτά τα όρια, γίνονται ακόμη δύο δοκιμές σε νέο δείγμα και υπολογίζεται ο μέσος όρος των τεσσάρων μετρήσεων. Οι τέσσερις μετρήσεις πρέπει να γίνουν σε διάστημα 15 λεπτών.

2.3.7 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Το σκυρόδεμα μετά την διάστρωση είναι υποχρεωτικό να συντηρείται. Η διάρκεια της συντήρησης εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες και δεν πρέπει να είναι μικρότερη από μία εβδομάδα. Η συντήρηση του σκυροδέματος επιτυγχάνεται με την ενυδάτωσή του για την αποφυγή ρηγματώσεων. Για την αποφυγή ρηγματώσεων τα επιφανειακά στρώματα καλύπτονται με λινάτσες ή λεπτά στρώματα άμμου τα οποία πρέπει να παραμένουν υγρά είτε με σωλήνες άρδευσης είτε με ψεκασμό. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου συντήρησης και η εν γένει πρόοδος της σκλήρυνσης ελέγχεται με δοκίμια, τα οποία παραμένουν δίπλα στο έργο και συντηρούνται όπως αυτό.

2.4 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ (ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ)

Σε σύγκριση με τα άλλα δομικά υλικά (<http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/uses-concrete/mellon-skurodema-purkagi/>), το σκυρόδεμα αποτελεί το ιδεώδες δομικό υλικό έναντι πυρκαγιάς, λόγω του ότι:

- δεν καίγεται και δεν προσθέτει πυροφορτίο στο δόμημα
- λόγω της μεγάλης αντίστασης του υλικού στην πυρκαγιά, εμποδίζει τη διάδοσή της
- είναι ένα πολύ αποτελεσματικό πυρόφραγμα, εξασφαλίζοντας, με κατάλληλο σχεδιασμό, οδούς διαφυγής
- δεν λειώνει, κάτι που θα συνεισέφερε στη μεταφορά της φωτιάς
- δεν παράγει καπνό και τοξικά αέρια, άρα μειώνει τον κίνδυνο για το προσωπικό και τους πυροσβέστες
- περικλείει τη φωτιά, άρα μειώνει τη διάδοσή της στο περιβάλλον
- δρα πυροπροστατευτικά από μόνο του, λόγω του ότι, υπό συνήθεις συνθήκες δεν απαιτούνται πρόσθετα μέτρα, υλικά και τεχνογνωσία
- έχει τεράστια ανθεκτικότητα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που το καθιστά ιδεώδες για τον εγκιβωτισμό αποθηκευτικών χώρων που περιέχουν πολύ μεγάλο πυροφορτίο
- διατηρεί, κατά τη διάρκεια και μετά την απόσβεση της πυρκαγιάς, τη στερρότητα του δομήματος, χωρίς να εμφανίζει μεγάλα βέλη, συνολικές μετακινήσεις του δομήματος ή των φανωμάτων, διευκολύνοντας τη διαδικασία κατάσβεσης
- λόγω των μικρότερων θερμικών παραμορφώσεων κατά την πυρκαγιά, εξασφαλίζεται ότι ο φορέας δεν θα αποσταθεροποιηθεί και/η θα καταρρεύσει, ενώ εξασφαλίζει τη μη διάδοση της φωτιάς λόγω απώλειας της στεγανότητας μεταξύ των διαμερισμάτων
- δεν επηρεάζεται δυσμενώς από τη ρίψη νερού κατά την πυρόσβεση
- επισκευάζεται εύκολα μετά από την πυρκαγιά, γεγονός που βοηθά χρονικά και οικονομικά στις εργασίες αποκατάστασης του έργου μετά από τη φωτιά, παρέχοντας άμεσα τον φέροντα οργανισμό έτοιμο προς χρήση

- η χρήση του στις σήραγγες σαν υλικό κατασκευής των οδοστρωμάτων, σε αντίθεση με την άσφαλτο, που είναι καύσιμο και ρεοπλαστικό υλικό στη φωτιά, εξασφαλίζει ότι δεν θα εξαπλωθεί η φωτιά μέσα στη σήραγγα. Επί πλέον, λόγω του γεγονότος ότι διατηρεί την ακαμψία του, είναι εφικτή η άμεση επέμβαση των πυροσβεστικών μέσων και η απομάκρυνση του προσωπικού, χωρίς να παρεμβάλλεται χρόνος για ψύξη του οδοστρώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΑΛΑΙΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ

Τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων(ΑΕΚΚ) είναι από τα πιο ογκώδη απόβλητα που παράγονται στην Ευρώπη. Αποτελούνται από υλικά όπως είναι το σκυρόδεμα, τούβλα, ξύλο, γυαλί, πλαστικά, χώμα, σίδηρο και μπορούν να ανακυκλωθούν.

Τα απόβλητα αυτά προκύπτουν από ολική ή μερική κατεδάφιση κτιρίων και δημοσίων υποδομών, από ανακαινίσεις διαμερισμάτων και συντήρηση οδών. Σε κάθε χώρα της Ε.Ε εφαρμόζονται διαφορετικοί ορισμοί με αποτέλεσμα τη δυσκολία σύγκρισης μεταξύ τους.

Τα ΑΕΚΚ έχουν χαρακτηριστεί ως προτεραιότητα διαχείρισης για την ΕΕ καθώς λόγω της μεγάλης αξίας τους υπάρχει υψηλό δυναμικό για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση τους. Επιπλέον, η τεχνολογία για το διαχωρισμό και ανάκτηση των αποβλήτων είναι εύκολα προσβάσιμη και γενικά χαμηλού κόστους. Ωστόσο το επίπεδο της ανακύκλωσης και επαναχρησιμοποίησης των αποβλήτων ποικίλει σε μεγάλο βαθμό ανάμεσα στα κράτη της ΕΕ από 10% έως και πάνω από 90%. Αυτή η κατηγορία αποβλήτων απορρίπτεται καταλαμβάνοντας πολύτιμο χώρο σε χώρους υγειονομικής ταφής. Επιπλέον, εάν η διαχώρισή τους δεν γίνεται στην πηγή υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουν ιδιαίτερες ζημιές στο περιβάλλον καθώς μπορεί να περιέχουν μικρές ποσότητες επικίνδυνων αποβλήτων.

Στην Ελλάδα η ποσότητα παραγωγής των αποβλήτων από τις οικοδομικές εργασίες εκτιμάται σε 6-7 εκατομμύρια τόνους το χρόνο με το νούμερο αυτό να μειώνεται λόγω της κρίσης στο κλάδο κατασκευών. Ακόμη και σήμερα η έλλειψη δικτύου συλλογής και αξιοποίησης έχει ως συνέπεια τη δημιουργία προβλημάτων στο περιβάλλον λόγω ανεξέλεγκτης διάθεσης.

3.1 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ

Δεν είναι λίγοι οι τρόποι με τους οποίους η ανακύκλωση προβλέπει την βιωσιμότητα. Και μόνο η απλή ανακύκλωση του σκυροδέματος μειώνει την ποσότητα του υλικού που θάβεται, κάνει δυνατά την αφαίρεση των μετάλλων και έτσι γίνεται η ανακύκλωση τους. Χρησιμοποιώντας ανακυκλωμένα αδρανή υλικά σκυροδέματος μειώνεται η ανάγκη για παρθένα αδρανή υλικά. Αυτό έχει ως συνέπεια την μείωση των επιπτώσεων απ το περιβάλλον του συνόλου της εξαγωγικής διαδικασίας. Περιορίζοντας την διάθεση των απόβλητων αλλά και λόγω των νέων αναγκών στην παραγωγή υλικών μειώνονται σημαντικά οι απαιτήσεις μεταφοράς σχεδίων. Τα ανακυκλωμένα αδρανή υλικά σκυροδέματος απορροφούν μεγάλη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από τον περιβάλλοντα χώρο. Τα Δευτεροβάθμια Αδρανή υλικά προέρχονται από ένα πολύ ευρύ φάσμα υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αδρανή υλικά. Πρόσφατα θεσπίστηκαν ευρωπαϊκά πρότυπα για τα αδρανή υλικά στα όποια πρότυπα εξετάζεται η προέλευση των υλικών (φυσικά, ανακυκλωμένα ή κατασκευασμένα υλικά) δίνοντας βαρύτητα στο πόσο κατάλληλο είναι ένα υλικό για τον κάθε σκοπό και όχι στην προέλευσή του.

3.2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΕΔΑΦΙΣΕΙΣ

Ένα αρκετά μεγάλο μέρος υποδομών που έχει κατασκευαστεί από το 1950 και μετά χρειάζεται λόγω αρχαιότητας είτε αντικατάσταση είτε επισκευή. Στην Αμερική η παραγωγή αποβλήτων κατεδαφίσεων από γκρεμισμένα κτίρια ή δρόμων αποφέρει πάνω από 200 εκατ. τόνους ανακυκλωμένων αδρανών υλικών ετησίως.

Τα υλικά αυτά που προέρχονται από τις κατεδαφίσεις μπορούν να διατίθενται είτε σε χώρους υγειονομικής ταφής είτε να ανακυκλώνονται. Η επιλογή εξαρτάται από τον ανάδοχο της κατεδάφισης, τις προβλέψεις της εκάστοτε νομοθεσίας αλλά και την εκτίμηση των οικονομικών οφελών.

3.3 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ

Η υψικάμιнос, ο χάλυβας και η σκωρία αποτελούν τον μεγαλύτερο όγκο ανακυκλωμένων υλικών ως αδρανών υλικών κατασκευής. Μελέτες έδειξαν ότι οι πωλήσεις σκωρίας για το έτος 2006 ήταν για χρήση σε βάσεις οδικών επιφανειών, ασφαλτικού σκυροδέματος και έτοιμου σκυροδέματος. Τα ίδια τα αδρανή μπορούν να ανακυκλωθούν ως αδρανή υλικά. Εν αντιθέσει με την άμμο και το χαλίκι η πέτρα κρίνεται κατάλληλη για τη σύνθλιψη σε σύνολο. Τα ανακυκλώσιμα υλικά συγκεντρώνονται στο σύνολο τους κοντά σε αστικές περιοχές με την παραγωγή τους να μην μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει τη ζήτηση των αδρανών υλικών. Το πόσο υλικό μπορεί να προμηθευτεί η κάθε περιοχή εξαρτάται από την φυσική φθορά των υποδομών ή από την κατεδάφισή τους. Τα υλικά που ανακυκλώνονται έχουν σημαντικές διαφορές ως προς την ποιότητα και τις ιδιότητες σε σχέση με τα μη ανακυκλωμένα αδρανή υλικά.

Πολλά γεωσυνθετικά μεγέθη παράγονται από ανακυκλωμένα υλικά. Για παράδειγμα το πολυστυρένιο που προοριζόταν για υγειονομική ταφή συγκεντρώνεται και επεκτείνεται για τη δημιουργία χαμηλής πυκνότητας αδρανών υλικών. Τέτοια μεγέθη αντικατάστασης των συμβατικών αδρανών ταυτίζονται με οικονομικά μεγέθη που εξυπηρετούν τη διακοπή της λειτουργίας πολλών εφαρμογών αποστράγγισης.

3.4 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.

Τα απόβλητα που προκύπτουν περιλαμβάνουν:

- Καθαρό σκυρόδεμα
- Απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων
- Θραύσματα από άσφαλτο
- Γυαλί
- Τέφρα

Άλλα μεγέθη δευτερογενή περιλαμβάνουν:

- Πηλό
- Σκωρία
- Άμμο χυτηρίου
- Σχιστόλιθο

Τα τελικά προϊόντα προέρχονται από δραστηριότητες ανακύκλωσης και περιλαμβάνουν συνολικά μεγέθη για τη χρήση σε:

- Έτοιμο σκυρόδεμα
- Δομικά υλικά
- Γενικά αδρανή υλικά
- Προκατασκευασμένα

3.5 ΤΑ ΑΔΡΑΝΗ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΕΡΓΑ.

Τα αδρανή υλικά αποτελούνται από θραύσματα πετρωμάτων που είτε μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη φυσική τους κατάσταση είτε μετά από μηχανική επεξεργασία όπως είναι η σύνθλιψη, η πλύση, και το μέγεθος. Τα φυσικά μεγέθη αποτελούνται από άμμο και χαλίκια, και θρυμματισμένους λίθους. Τα ανακυκλωμένα αδρανή αποτελούνται κυρίως από θρύμματα σκυροδέματος και σύνθλιψη ασφαλτοτάπητα. Σε ποσοστό μεγαλύτερο του 80% του συνόλου της αγοράς γίνεται η κατανάλωση των αδρανών υλικών κατασκευής κυρίως για σκυρόδεμα, άσφαλτο, και βάση για δρόμους.

3.6 ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η ανακύκλωση τα τελευταία 10 με 20 χρόνια έχει αναπτυχθεί, συνέπεια της περιβαλλοντικής ευαισθητοποίησης και του συνεχώς αυξανόμενου κόστους των καυσίμων. Η εξοικείωση των ανθρώπων με τη σημασία της ανακύκλωσης έχει ως αποτέλεσμα την χρήση των πιο απίθανων ανακυκλωμένων υλικών για το σκυρόδεμα.

Η χρήση των ανακυκλωμένων υλικών έχει ως συνέπεια την ανάπτυξη διαφόρων εξοπλισμών οι οποίοι εξασφαλίζουν υψηλής ποιότητας ανακυκλωμένου σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει καθώς στην πέτρα υπάρχει η δυνατότητα ύπαρξης ξένων αντικειμένων τα οποία χρειάζονται προληπτικά μέτρα για τον έλεγχο της καθαρότητας των υλικών.

Σε αντίθεση με το παρθένο σκυρόδεμα, το οποίο είναι ένα μείγμα από τσιμέντο, αδρανή, νερό και χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή κτιρίων δρόμων, γεφυρών, το ανακυκλωμένο μπετόν δεν χρησιμοποιείται για ένα νέο σκοπό. Αντιθέτως, είναι ένα θρυμματισμένο σύνολο το οποίο χρησιμοποιείται ως συστατικό για την κατασκευή νέου ανακυκλωμένου σκυροδέματος.

Τα νέα προϊόντα σκυροδέματος κατασκευάζονται σε ποσοστό που συμβαδίζει με τη ζήτησή τους. Η μείωση παραγωγής αδρανών υλικών λόγω της ζήτησης «νέων» υλικών έχει σαν αποτέλεσμα περιβαλλοντικά οφέλη. Η ανακύκλωση συγκεκριμένων υλικών μειώνει την πίεση για μεγάλης κλίμακας κατασκευές έργων για χώρους υγειονομικής ταφής. Ο ποιοτικός έλεγχος που πραγματοποιείται για το ανακυκλωμένο υλικό είναι ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται για το παρθένο υλικό με τη χρήση βέβαια των ανακυκλωμένων υλικών να οδηγεί σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους των κατασκευαστικών εταιριών. Η αύξηση του κόστους των καυσίμων και των τελών υγειονομικής ταφής οδηγεί στην αύξηση ζήτησης του ανακυκλωμένου σκυροδέματος από τους εργολάβους καθώς το κόστος είναι σχεδόν στο μισό. Παρά τα πλεονεκτήματα που προσφέρει το ανακυκλωμένο σκυρόδεμα πολλές βιομηχανίες διστάζουν να τα χρησιμοποιήσουν λόγω έλλειψης τεχνολογίας επεξεργασίας αλλά και προδιαγραφών του κάθε κράτους.

Η ανακύκλωση του σκυροδέματος είναι μια απλή διαδικασία η οποία περιλαμβάνει το σπάσιμο, την αφαίρεση και την σύνθλιψη του υπάρχοντος σκυροδέματος σε υλικό με συγκεκριμένο μέγεθος και ποιότητα. Ενίσχυση χάλυβα και άλλων ενσωματωμένων αντικειμένων πρέπει να αφαιρούνται και λαμβάνεται μέριμνα για υλικά που μπορεί να ενοχλούν όπως είναι το χώμα, γυαλί, χαρτί, ξύλο, γύψος.

Η χρήση των ανακυκλωμένων υλικών έχει ως συνέπεια την εξοικονόμηση χρημάτων τόσο για τις τοπικές κυβερνήσεις όσο και για τους αγοραστές, τη δημιουργία νέων επιχειρηματικών ευκαιριών, την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση των αστικών αδρανών υλικών. Το ανακυκλωμένο σύνολο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε δρόμους ως βάση αδρανών υλικών και ως βάση για τη θεμελίωση κτιρίων. Το θρυμματισμένο σκυρόδεμα μετά την απομάκρυνση των ρύπων του διαχωρισμού του αέρα και τη μείωση του μεγέθους σε θραυστήρα χρησιμοποιείται ως νέο σκυρόδεμα για πεζοδρόμια, κράσπεδα και υδρορροές.

Είναι αποδεκτό ότι εφόσον η φυσική άμμος που χρησιμοποιείται μέχρι το 30% του φυσικού που συνθλίβεται μπορεί να αντικατασταθεί χωρίς να επηρεάζει τις μηχανικές του ιδιότητες. Για την επίτευξη ίδιας λειτουργικότητας η περιεκτικότητα σε πάστα ή μειωτήρα νερού πρέπει γενικά να αυξηθεί.

Για την ανακύκλωση ισχύουν δύο περιπτώσεις δημιουργίας του. Μία εναλλακτική λύση είναι η μεταφορά των συντριμμίων από τις κατεδαφίσεις σε μία μόνιμη εγκατάσταση ανακύκλωσης, συνήθως κοντά στο έργο με σκοπό την ελαχιστοποίηση του κόστους μεταφοράς. Η άλλη λύση είναι η σύνθλιψη να γίνει στο χώρο κατεδάφισης με συνέπεια την μείωση κόστους μεταφοράς και μείωση φθοράς στους δρόμους για τον εξοπλισμό.

Εκτιμήσεις έχουν δείξει ότι περίπου 100 εκατ. τόνοι από σκυρόδεμα ανακυκλώνονται ετησίως σε ωφέλεια αδρανών υλικών. Το 5% του συνόλου της αγοράς αδρανών υλικών παράγεται από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα, ενώ το υπόλοιπο προέρχεται από φυσικές πηγές. Το μεγαλύτερο μέρος των αδρανών υλικών από ανακυκλωμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται ως βάση στους δρόμους.

3.7 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Για την ανακύκλωση του σκυροδέματος είναι απαραίτητη η χρήση θραυστήρα ο οποίος συντρίβει το σκυρόδεμα που περιέχει χάλυβα ενώ οι μαγνήτες εξάγουν το μέταλλο. Το μέταλλο αυτό πωλείτε σε χαλυβουργικές εταιρείες για ανακύκλωση. Το θρυμματισμένο σκυρόδεμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υλικό πλήρωσης σε υποδομές μεταφορών ή στην κατασκευή «νέου» μπετόν. Σήμερα, συνήθως διατίθεται μετρητής του σχεδιασμού της ροής. Μαζί με άλλες καινοτομίες μηχανικής, αυτό το σχέδιο επιτρέπει το ανακυκλωμένο προϊόν να εισέλθει στο τύμπανο μίξερ μαζί με παρθένα αδρανή υλικά και τη ροή σε αντίθεση με την πηγή θερμότητας που ελέγχει τη θερμοκρασία και τις μειώσεις των ρύπων.

Η ανακύκλωση ασφάλτου και σκυροδέματος είναι πλέον διαδεδομένη καθώς η βιομηχανία χρησιμοποιεί υλικά και πρακτικές φιλικά για το περιβάλλον.

3.8 ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Το μέλλον για τα ανακυκλωμένα αδρανή θα καθοδηγείται από μειωμένη διαθεσιμότητα χώρων υγειονομικής ταφής, μεγαλύτερη αποδοχή των προϊόντων, τη συνεχή ανακύκλωση των εντολών της κυβέρνησης, και τη συνεχιζόμενη φθορά του σε ένα μεγάλο απόθεμα υφιστάμενων υποδομών, καθώς και από τις απαιτήσεις μιας υγιούς οικονομίας.

3.9 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ

Ιδιαίτερα κερδοφόρες έχει παρατηρηθεί ότι είναι ορισμένες χρήσεις της ανακύκλωσης αλλά υπάρχουν περιορισμοί στο πώς θα χρησιμοποιούνται. Η μεταφορά τους θα πρέπει να γίνεται με χαμηλό κόστος. Προκαταλήψεις και προδιαγραφές μπορεί να περιορίζουν την αγορά των ανακυκλωμένων αδρανών ενώ και η διαθεσιμότητα των πρώτων υλών σε εγκαταστάσεις ανακύκλωσης είναι συνάρτηση του ποσοστού κατεδάφισης μιας περιοχής. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα για τους ανακυκλωτές να επιβάλλουν τέλη για την αποδοχή ή μη συντριμμιών. Σε αυτήν την περίπτωση τα έσοδα μπορεί να αντισταθμίσουν την χαμηλότερη τιμή της αγοράς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

4.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΦΩΤΙΑ

Τα αρχαιότερα ίχνη φωτιάς που βρέθηκαν στον πλανήτη είναι αυτά που ανακαλύφθηκαν στο σπήλαιο Πετραλώνων της Χαλκιδικής. Ο Πετραλώνειος Αρχάνθρωπος ήξερε να χρησιμοποιεί τη φωτιά κυρίως για να ψήνει θηράματα. Αυτό συμπεραίνεται από τα καμένα κόκαλα, τις στάχτες και τις καμένες πέτρες που βρέθηκαν στο σπήλαιο. Είναι όμως άγνωστο το πως δημιουργούσε τη φωτιά. Τα ίχνη αυτά της φωτιάς βρέθηκαν στο 240 γεωλογικό στρώμα του σπηλαίου και χρονολογήθηκαν με τη «μέθοδο της στροφορμής» των Μικέγια-Πουλιανού (1974). Η ηλικία τους υπολογίσθηκε σε 1.050.000 χρόνια. Αυτά τα προϊστορικά στοιχεία ίσως κλονίζουν το μύθο, που θέλει τον Προμηθέα να φέρνει τη φωτιά στους ανθρώπους κλέβοντας την από τους Ολύμπιους θεούς, που την κατείχαν προνομιακά σαν θείο αγαθό.

Ανεξάρτητα όμως από το πόσο βαθιά μέσα στην ιστορία ή την προϊστορία τοποθετείται η ανακάλυψη του φαινομένου της φωτιάς, είναι χωρίς αμφιβολία πολύ σημαντικός ο ρόλος που κατείχε και συνεχίζει να κατέχει.

Στη σύγχρονη εποχή έχουν αναπτυχθεί αυτόνομοι επιστημονικοί κλάδοι (Fire Science, Fire Technology, Fire Engineering), που έχουν ως περιεχόμενο τη μελέτη και την έρευνα των φαινομένων της φωτιάς καθώς και την προστασία κάθε είδους κατασκευών από τις επιπτώσεις των πυρκαγιών.

Στη χώρα μας συνηθίσαμε να χρησιμοποιούμε τον όρο «Πυρασφάλεια» για να καλύψουμε όλο το φάσμα των σχετικών θεμάτων. Ίσως ο όρος «Πυροπροστασία των Κατασκευών» είναι πιο σωστός, όταν αναφερόμαστε σε δομικά έργα, όπου εμπλέκονται οι αρχιτέκτονες και οι πολιτικοί μηχανικοί και σε ορισμένο βαθμό οι ηλεκτρολόγοι - μηχανολόγοι.

Στον όρο «Πυρομηχανική» περιλαμβάνονται συνήθως οι ιδιότητες και η συμπεριφορά υλικών και δομικών στοιχείων σε υψηλές θερμοκρασίες, αν και ο ίδιος όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει το σύνολο της επιστήμης της φωτιάς.

Εν κατακλείδι, θα μπορούσαμε να πούμε ότι, πυροπροστατευτικός σχεδιασμός είναι μια επιστημονική προσέγγιση που αναλύει και ερμηνεύει τις πυρκαγιές, με στόχο την πρόληψή τους και τον περιορισμό της εξάπλωσής τους, εφόσον αυτές εκδηλωθούν.

4.2 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΦΑΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΤΥΠΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

4.2.1 Η ΕΠΩΑΣΗ

Μια πυρκαγιά εκδηλώνεται σε ένα διαμέρισμα όταν η καύσιμη ύλη που βρίσκεται μέσα σε αυτό αποκτήσει ένα ικανό ποσό θερμικής ενέργειας. Αυτό μπορεί να γίνει από ένα αναμμένο τσιγάρο ή μια αναμμένη εστία κουζίνας, ένα βραχυκύκλωμα ή ακόμα

και από αυτανάφλεξη του καυσίμου υλικού. Κάποιοι παράγοντες για την διαδικασία ανάφλεξης είναι :

- Τα χαρακτηριστικά της πηγής ενέργειας.
- Το είδος και οι γεωμετρικές διαστάσεις των εκτεθειμένων καυσίμων υλικών.
- Ο χρόνος εκθέσεως στην πηγή ενεργείας.

Μετά το αρχικό στάδιο, η φωτιά παράγει θερμική ενέργεια, ένα μέρος της οποίας χρησιμεύει για την διατήρηση της καύσεως. Το υπόλοιπο ποσό μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας και μέσω μεταφοράς σε άλλα υλικά, τα οποία θερμαινόμενα αναφλέγονται, συνεισφέροντας στην περαιτέρω εξάπλωση της φωτιάς.

Η διαδικασία αναπτύξεως και εξαπλώσεως μιας πυρκαγιάς σε ένα διαμέρισμα εξαρτάται από :

- Το μέγεθος, τον όγκο, το ύψος, την κατανομή και τις ιδιότητες καύσεως του καυσίμου υλικού.
- Τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά του διαμερίσματος.
- Το μέγεθος και το σχήμα του διαμερίσματος.
- Τα συστήματα κατασβέσεως (εφόσον υπάρχουν).

Το φαινόμενο που ονομάζεται φούντωμα είναι ένα στρώμα αερίων, τα οποία συγκεντρώνονται κάτω από την οροφή, ενώ είναι ικανό να δημιουργήσει έντονη και απότομη εξάπλωση της πυρκαγιάς σε μεγάλα μέρη του υλικού που καίγεται. Το φαινόμενο αυτό είναι η μετάβαση από το στάδιο της επώασεως στο στάδιο της πλήρους ανάπτυξης

4.2.2 Η ΠΛΗΡΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Ίσως το πιο σημαντικό στάδιο καθώς παρατηρείται η συμπεριφορά των μελών της κατασκευής και η εξάπλωση της πυρκαγιάς στα διαμερίσματα, στους ορόφους ακόμα και στα διπλανά κτίρια.

Τα χαρακτηριστικά του σταδίου αυτού εξαρτώνται από του εξής παράγοντες :

- Ποσόν και είδος του καυσίμου υλικού στο διαμέρισμα.
- Πορώδες και σχήμα των κόκκων του καυσίμου υλικού.
- Στοιβάξη του καυσίμου υλικού στο διαμέρισμα.
- Ποσόν αέρος που διοχετεύεται μέσα στο διαμέρισμα στη μονάδα του χρόνου.
- Γεωμετρία του διαμερίσματος.
- Θερμικές ιδιότητες των επιφανειών που περικλείουν το διαμέρισμα.

Οι πυρκαγιές σε στάδιο πλήρους αναπτύξεως μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες : τις αερο-ελεγχόμενες και τις καυσιμο-ελεγχόμενες. Στην πρώτη κατηγορία, η καύση ελέγχεται από τον αερισμό του διαμερίσματος, και δεν εξαρτάται σημαντικά από το ποσό και τον τρόπο στοιβάξεως του καυσίμου υλικού. Ενώ στη δεύτερη κατηγορία, η καύση ελέγχεται από το ποσόν του καυσίμου υλικού, και είναι ουσιαστικώς ανεξάρτητη του αερισμού.

4.2.3 Η ΑΠΟΣΒΕΣΗ

Στην περίπτωση της καυσιμο-ελεγχόμενης πυρκαγιάς, το τρίτο αυτό στάδιο διαδέχεται την πλήρη ανάπτυξη, όταν καεί το μεγαλύτερο μέρος του καυσίμου υλικού μέσα στο διαμέρισμα. Στην περίπτωση της αερο-ελεγχόμενης πυρκαγιάς, η απόσβεση αρχίζει όταν ο διατιθέμενος για την καύση αέρας μειωθεί κάτω από κάποιο όριο

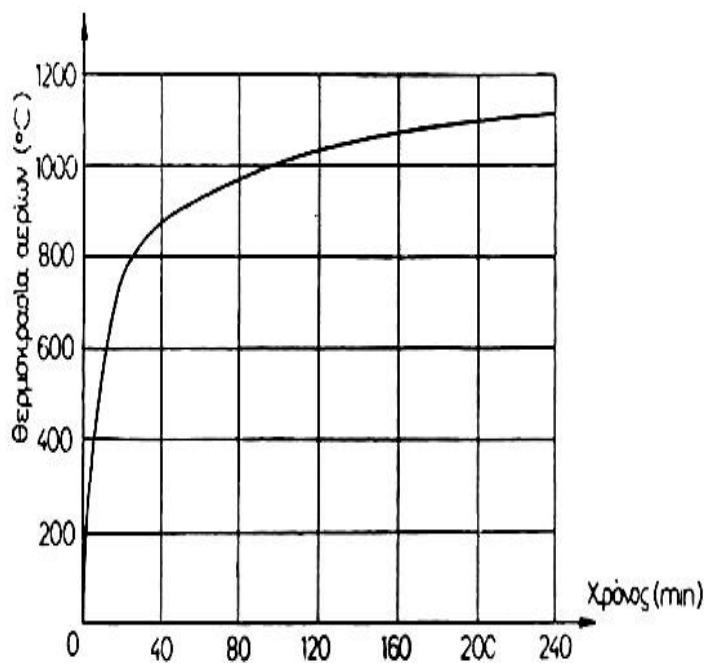
4.3 Η ΚΑΜΠΥΛΗ ISO « ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΙΩΝ-ΧΡΟΝΟΣ»

Ο σχεδιασμός δομικών στοιχείων έναντι πυρκαγιάς βάσει των κανονισμών, έχει στηριχθεί σε πειραματικά αποτελέσματα ανθεκτικότητας σε μια πρότυπη πυρκαγιά. Από τις διάφορες πρότυπες πυρκαγιές που υπάρχουν, η συχνότερα χρησιμοποιούμενη σήμερα είναι η ISO standard 834. Σε αυτή την πρότυπη πυρκαγιά τα δοκίμια εκτίθενται σε μία θερμοκρασία η οποία μεταβάλλεται με τον χρόνο σύμφωνα με τη σχέση

$$T - T_0 = 345 \log(8t+1)$$

Όπου: t ο χρόνος από την έναρξη της δοκιμασίας σε min
 T η θερμοκρασία του φούρνου στο χρόνο t σε °C
 T_0 η αρχική θερμοκρασία του φούρνου σε °C

Παρόλο που η καμπύλη έχει αρκετά μειονεκτήματα, είναι η περισσότερη χρησιμοποιούμενη καμπύλη αυτού του είδους και ισχύει μόνο για σχεδιασμό στοιχείων έναντι πρότυπης πυρκαγιάς και όχι πυρκαγιάς η οποία έχει πραγματοποιηθεί σε κτίρια. Μέσα στους φούρνους, που δοκιμάζονται τα δοκίμια, παρατηρούνται διάφορες θερμοκρασίες οι οποίες εξαρτώνται από το μέγεθος την επιφάνεια και τα χαρακτηριστικά των δοκιμίων.



t (min)	T - T ₀ (°C)
0	0
5	556
10	658
15	719
30	822
60	925
90	986
120	1029
180	1090
240	1133
360	1194

Διάγραμμα 2 Καμπύλη ISO 834 θερμοκρασία αερίων- χρόνου ¹

Πίνακας 4: Καμπύλη ISO 834:2000 θερμοκρασίας-χρόνου ¹

4.4 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Ως ανθεκτικότητα μιας κατασκευής ορίζεται ο απαιτούμενος χρόνος εκθέσεως στην πυρκαγιά ISO 834 πριν η κατασκευή απολέσει την ικανότητα της να φέρει φορτία και να υφίσταται ανεκτές παραμορφώσεις. Η εξίσωση που εκφράζεται από το παραπάνω είναι η ακόλουθη :

$$t_{ev} - t_{re} \geq 0,$$

Όπου: t_{ev} : ο εκτιμώμενος χρόνος εκθέσεως σε πυρκαγιά ISO 834, χωρίς το δομικό στοιχείο να απολέσει την αντοχή του

t_{re} : ο απαιτούμενος χρόνος εκθέσεως του δομικού στοιχείου στην πυρκαγιά ISO 834, λόγω της χρήσεώς , του τύπου και του καύσιμου υλικού που περιέχεται στο πυροδιαμέρισμα στο οποίο ανήκει το δομικό στοιχείο που εξετάζουμε.

¹ Διάγραμμα και Πίνακας από την «Εισαγωγή στην Πυροπροστασία των κατασκευών» του Κυρ. Παπαϊωάννου

4.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά (θλιπτική και εφελκυστική αντοχή, όρια διαρροής και θραύσεως, μέτρο ελαστικότητας) των υλικών δομήσεως επηρεάζονται δυσμενώς στην ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών όπως και οι φυσικοχημικές ιδιότητες τους (πορώδες, αλλαγή κρυσταλλικής δομής). Συνέπεια αυτών των μεταβολών είναι οι μειώσεις στην φέρουσα ικανότητα των δομικών μελών, αύξηση των παραμορφώσεων τους υπό σταθερό φορτίο.

Οι πληροφορίες οι οποίες αφορούν τον μηχανικό σχετίζονται με τις ιδιότητες των υλικών :

- Κατά την διάρκεια της έκθεσης τους σε υψηλές θερμοκρασίες διότι τότε επηρεάζουν
 1. Την πυρασφάλεια των κατασκευών
 2. Την ασφάλεια ζωής των πυροσβεστών
- Μετά την απόψυξή τους και επαναφορά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος προκειμένου να ληφθούν υπόψη κατά
 1. Την αποτίμηση
 2. Την επισκευή μετά από μια πυρκαγιά

Το σκυρόδεμα δεν καίγεται, έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα, ενώ παρουσιάζει ενδόθερμες αντιδράσεις στον τσιμεντοπολτό. Κατά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, παρουσιάζεται το φαινόμενο της αποφλοίωσης του σκυροδέματος λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής του αντοχής. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω :

- Της θερμικής διαστολής των αδρανών,
- Της αύξησης της πίεσης των πόρων που προκαλείται από τους υδρατμούς

Η έκταση της αποφλοίωσης εξαρτάται από :

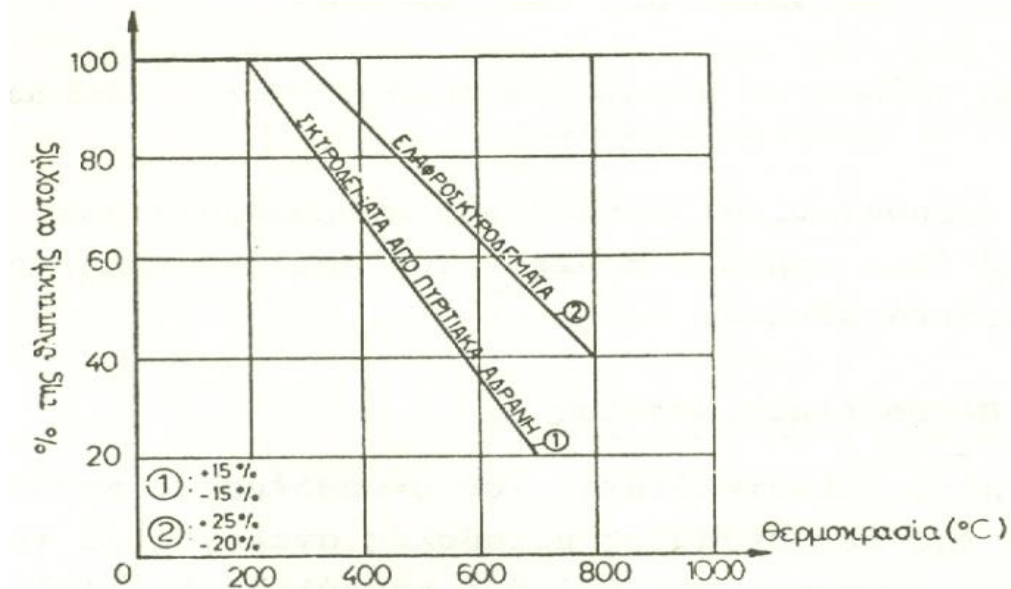
- Το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας
- Την ταχύτητα της θέρμανσης
- Το πορώδες και την περατότητα του επιφανειακού τμήματος του σκυροδέματος

Ενώ η έκταση της αποφλοίωσης μειώνεται με :

- Την προσθήκη ινών προπυλενίου
- Τον ψεκασμό της επιφάνειας με υλικά που επιβραδύνουν την μετάδοση της θερμότητας
- Την τοποθέτηση επιφανειακής μονωτικής επίστρωσης

4.5.1 ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Όταν αυξάνεται η θερμοκρασία του σκυροδέματος η θλιπτική αντοχή μειώνεται, λόγω των ρηγματώσεων που προκαλεί η θέρμανση του νερού και της μη ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας στη μάζα του σκυροδέματος καθώς και λόγω των χημικών αντιδράσεων. Το είδος των αδρανών παίζουν σημαντικό ρόλο στη μείωση αυτή.



Διάγραμμα 3.1: Θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.²

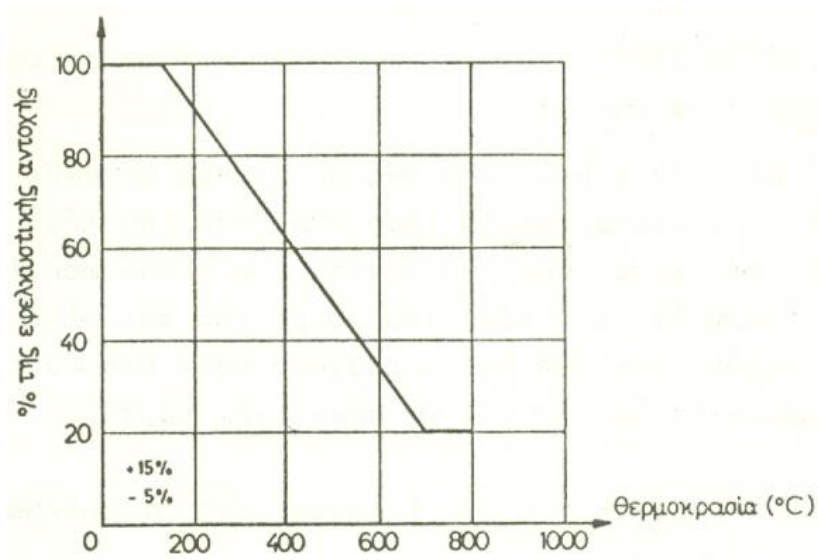
Η πρώτη καμπύλη του διαγράμματος 3.1, ισχύει για σκυροδέματα από πυριτικά αδρανή και η δεύτερη για ελαφρά σκυροδέματα. Η συμπεριφορά των σκυροδεμάτων από ασβεστολιθικά αδρανή βρίσκεται κάπου μεταξύ των δύο παραπάνω καμπυλών.

Προτείνεται να λαμβάνεται η μέση τιμή μεταξύ των τιμών των δύο καμπυλών του διαγράμματος 3.1.

4.5.2 ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Ενώ για την θλιπτική αντοχή έχουν γίνει πολλά πειράματα, για την εφελκυστική αντοχή τα αποτελέσματα είναι λιγότερα. Δίνεται και εδώ μία καμπύλη που προτείνει το CEB για τον πρακτικό σχεδιασμό (διάγραμμα 3.2). Έχει βασιστεί σε πειράματα Σουηδών ερευνητών και ισχύει για σκυροδέματα από πυριτικά αδρανή. Η ίδια καμπύλη προτείνεται και για σκυροδέματα από ασβεστολιθικά αδρανή.

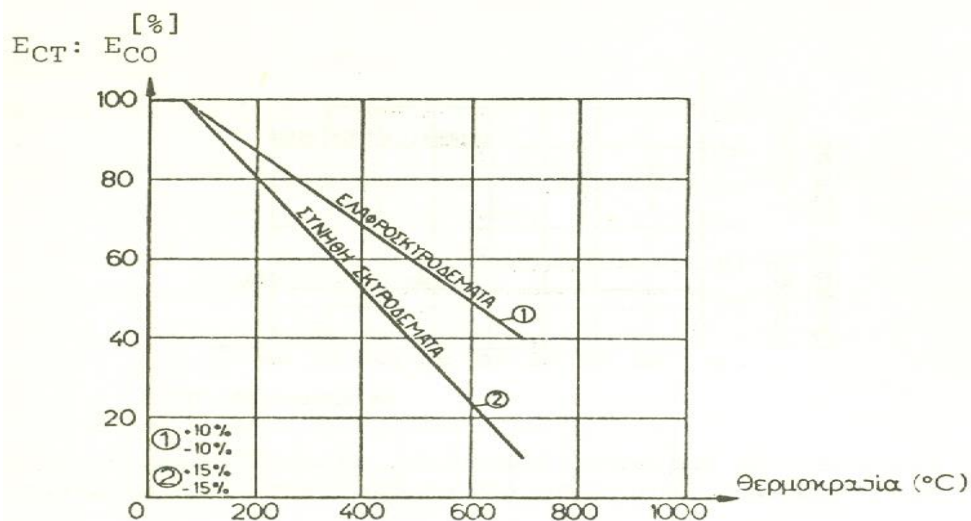
² Διάγραμμα από το «Πρακτικός σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Πυρκαγιάς» των Θ. Π. Τάσιου & Γ. Δεοδάτη



Διάγραμμα 3.2 Εφελκυστική αντοχή σκυροδεμάτων από πυριτικά αδρανή σε υψηλές θερμοκρασίες³

4.5.3 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος παρουσιάζει, συναρτήσει της θερμοκρασίας, μεταβολές ανάλογες με την θλιπτική αντοχή. Δίνονται και εδώ δύο καμπύλες (διάγραμμα 3.3) που προτείνει το C.E.B. για τον πρακτικό σχεδιασμό. Η μία αναφέρεται σε συνήθη σκυροδέματα και η άλλη σε ελαφρά σκυροδέματα. Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας εξαρτάται φυσικά από τους ίδιους παράγοντες απ' τους οποίους εξαρτάται και η θλιπτική αντοχή.

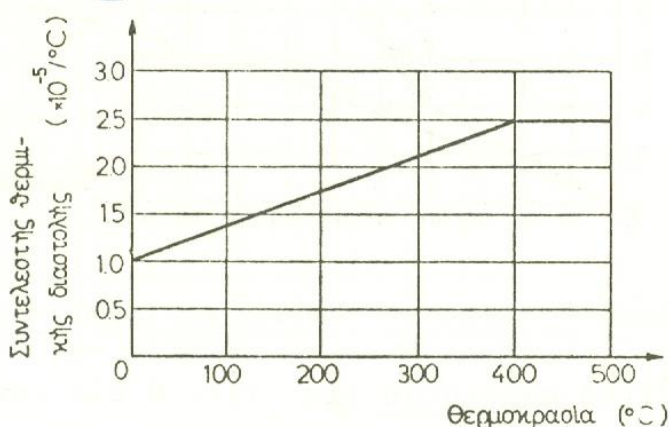


Διάγραμμα 3.3: Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες³

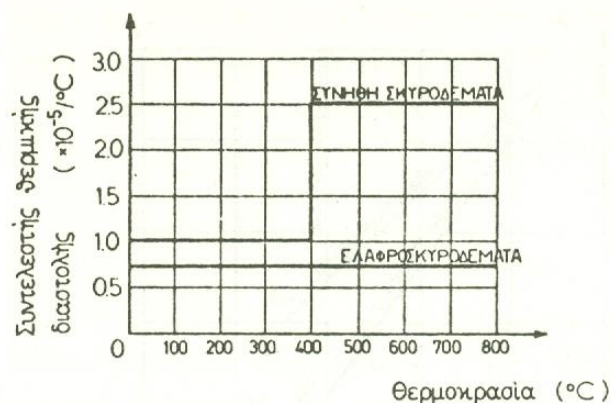
³ Διαγράμματα από το «Πρακτικός σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Πυρκαγιάς» των Θ. Π. Τάσιου & Γ. Δεοδάτη

4.5.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΟΛΗΣ

Δεν έχει γίνει ακόμη δεκτή καμία καμπύλη από το C.E.B. για τον πρακτικό σχεδιασμό. Προτείνεται, ως περισσότερο αξιόπιστη μέχρι στιγμής, μια καμπύλη του Βέλγου ερευνητή Dotterre (διάγραμμα 3.4). Ακόμα, παραθέτονται και δυο καμπύλες (διάγραμμα 3.5) που εξάγονται από το δίγραμμα θερμικών παραμορφώσεων που προτείνει το C.E.B.. Η μία ισχύει για συνήθη σκυροδέματα και η άλλη για ελαφρά σκυροδέματα.



Διάγραμμα 3.4: Συντελεστής θερμικής διαστολής σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.⁴



Διάγραμμα 3.5: Συντελεστής θερμικής διαστολής σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.⁴

4.6 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΠΥΡΟΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Δύο είναι τα κύρια αντικείμενα μιας μελέτης πυροπροστασίας, η ανθρώπινη ασφάλεια και αντιμετώπιση του κινδύνου για υλικές ζημιές σε μια κατασκευή. Οι θεσπιζόμενοι από διάφορα κράτη, Κανονισμοί Πυροπροστασίας, έχουν σαν κύριο αντικείμενο την προστασία της ανθρώπινης ζωής. Η τύχη της ανθρώπινης ζωής δεν είναι δυνατό ν' αφευθεί μόνο στην επιμέλεια ενός μελετητή ή στην πρόνοια και τη σύνεση των ιδιοκτητών της κατασκευής, αλλά αποτελεί πρωταρχική υποχρέωση της πολιτείας και δικαίωμα του πολίτη.

Οι υλικές ζημιές μιας πυρκαγιάς μπορεί να διακριθούν σε:

- α) ζημιές στη συγκεκριμένη κατασκευή και τα περιεχόμενά της
- β) ζημιές που είναι πιθανό να προκληθούν σε γειτονικές κατασκευές από την επέκταση της φωτιάς
- γ) έμμεσες ζημιές που προέρχονται από τη μερική ή ολική διακοπή χρήσης της κατασκευής.

⁴ Διαγράμματα από το «Πρακτικός σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Πυρκαγιάς» των Θ. Π. Τάσιου & Γ. Δεοδάτη

Για την αντιμετώπιση προβλημάτων από τη πυρκαγιά προτείνονται **παθητικά και ενεργητικά** μέτρα πυροπροστασίας. Τα πρώτα είναι προβλεπόμενα και ενσωματωμένα στη δομική κατασκευή, ενώ τα δεύτερα ενεργοποιούνται και λειτουργούν μόνο με την εμφάνιση ή κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Δεν υπάρχει αυστηρή διάκριση μεταξύ τους, γιατί μερικές φορές αλληλοκαλύπτονται. Σαν παράδειγμα θα μπορούσαν ν' αναφερθούν:

Ενεργητικά μέτρα	Παθητικά μέτρα
Οδεύσεις διαφυγής	Πυρανίχνευση
Διαμερισματοποίηση	Συναγερμός
Δομοστατική προστασία	Καταιονητήρες
Έλεγχος καπνού	Μέσα πυρόσβεσης

4.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΒΛΑΒΕΣ ΛΟΓΩ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Η πυρκαγιά προκαλεί διάφορες αλλοιώσεις στα υλικά. Οι πιο κύριες και σημαντικές βλάβες λόγω πυρκαγιάς είναι οι εξής ακόλουθες :

- Απομειώσεις διατομών των φέροντων στοιχείων λόγω απολεπίσεων, αποφλοιώσεων και αποκολλήσεων των εξωτερικών στοιβάδων καθώς και αποσύνθεση της μάζας του σκυροδέματος ή του κονιάματος.
- Πρόωρες αποκολλήσεις και καταπτώσεις επιχρισμάτων και οροφοκονιαμάτων, λόγω πλημμελούς πρόσφυσης και μεγάλου πάχους
- Αισθητές παραμορφώσεις τόσο στους οριζόντιους φορείς όσο και για κατακόρυφα στοιχεία.
- Λόγω των έντονων παραμορφώσεων παρατηρούνται σημαντικές καμπτικές και διατμητικές βλάβες π.χ ρωγμές.

Έντονες και σε μεγάλη διάρκεια πυρκαγιές μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες βλάβες των δομικών στοιχείων με αποτέλεσμα την μερική ή ακόμα και την ολική κατάρρευση ορόφου ή και κτιρίου.



Εικ.2: Καμένη δοκιδωτή πλάκα σε όροφο-διαμέρισμα μετά από πυρκαγιά, αποκολλήσεις επιχρισμάτων και ελαφριές ρηγματώσεις δοκών.



Εικ.3



Εικ.4

Πυρκαγιά σε οροφодιαμέρισμα όπου παρατηρήθηκαν έντονες αποκολλήσεις επιχρισμάτων και ελαφριές ρωγμές σε τοιχοποιία και δοκούς (εικόνα 3, 4). Σε κάποια σημεία διακρίνεται ελαφρά και ο σπλισμός χωρίς όμως αυτές οι βλάβες να θεωρούνται σημαντικές.

Το φαινόμενο των αποκολλήσεων και των εκτινάξεων στοιβάδων σκυροδέματος παρατηρείται γενικώς είτε στα πρώτα στάδια μιας πυρκαγιάς είτε κατά την απότομη απόψυξη και είναι συνήθως εκρηκτικό. Συμβαίνει σε πλάκες και τοιχεία, καθώς και σε λεπτά γραμμικά στοιχεία υπό υψηλή καταπόνηση, σε δοκούς και στύλους. Ο τύπος, η ένταση και η έκταση των αποκολλήσεων εξαρτάται από τις θερμοκρασίες και τη διάρκεια της πυρκαγιάς καθώς και από τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος. Οι αποκολλήσεις κρύβουν ιδιαίτερους κινδύνους καθώς μπορούν να συνεπάγονται με έντονη απομείωση των διατομών και σε έκθεση των σπλισμών σε υψηλές θερμοκρασίες.

Όλα τα καιόμενα σώματα παρουσιάζουν επίσης, διάφορα χαρακτηριστικά χρώματα πυρακτώσεως αναλόγως τη θερμοκρασία στην οποία δοκιμάζονται σύμφωνα με τον πίνακα 5.

Πίνακας 5

Χρώμα Πυρακτώσεως	Θερμοκρασία σε °C
• Στο σκοτάδι κόκκινο	Περίπου 500
• Κόκκινο βαθύ	700
• Βαθύ βυσσινί	800
• Βυσσινί	900
• Ανοιχτό κόκκινο	1.000
• Βαθύ πορτοκαλί	1.100
• Ανοιχτό πορτοκαλί	1.200
• Ερυθρόλευκο	1.300
• Ισχυρά λευκοπυρωμένο	1.350
• Αστραφτερό λευκό	1.500

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ. Στα πλαίσια της πτυχιακής δημιουργήθηκαν και ελέγχθηκαν δυο διαφορετικές συνθέσεις σκυροδέματος. Η πρώτη σύνθεση αποτελούνταν από φυσικά θραυστά, αδρανή υλικά, ενώ η δεύτερη από αδρανή υλικά τα οποία προήλθαν από την ανακύκλωση σπασμένων δοκιμίων.

Στη συνέχεια εξετάστηκε ο τρόπος εργασίας και ο εξοπλισμός ο οποίος χρησιμοποιήθηκε, όπως επίσης και τα αποτελέσματα. Το πείραμα έγινε βάση πειραματικής διαδικασίας και όχι πρότυπης.

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

5.1.1 ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΠΟ ΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

Στο εργαστήριο σκυροδέματος κατασκευάστηκαν 10 δοκίμια από μη ανακυκλωμένα υλικά τα οποία είχαν συγκεκριμένη σύνθεση σκυροδέματος με τσιμέντο τύπου CEM II/B-M(P-W-L) 42,5N.

ΝΕΡΟ	ΑΜΜΟΣ	ΧΑΛΙΚΙ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
189 kg	920 kg	740 kg	210 kg	330 kg

Η σύνθεση αυτή έχει μελετηθεί για 1 m³ σκυροδέματος κατηγορίας C25/30. Οι αναλογίες της σύνθεσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

ΝΕΡΟ	ΑΜΜΟΣ	ΧΑΛΙΚΙ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
10,01kg	56,06kg	45,09 kg	12,79 kg	17,48 kg

5.1.2 ΣΥΝΘΕΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΑΔΡΑΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Για την παρασκευή δοκιμίων από ανακυκλωμένα υλικά χρησιμοποιήθηκε ίδια σύνθεση, με αυτή των μη ανακυκλωμένων υλικών.

Έπειτα έγινε αναγωγή της σύνθεσης από 1 m³ σε 0,04769 m³ η οποία αντιστοιχεί σε 9 κυλινδρικά δοκίμια ύψους h = 30 cm και διαμέτρου d = 15 cm.

ΝΕΡΟ	ΑΜΜΟΣ	ΧΑΛΙΚΙ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
9,01kg	50,45 kg	40,58 kg	11,51 kg	15,74 kg

Για να αυξηθεί το εργάσιμο του σκυροδέματος προστέθηκε υπερευστοποιητής 0,125 kg που αντιστοιχεί σε αναλογία 0,8% του τσιμέντου.

5.1.3 ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

Για την παρασκευή των δοκιμίων αυτών θραύτηκαν αδρανή υλικά ίδιας σύνθεσης με των παραπάνω δοκιμίων, με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων, όπως ηλεκτρικό κομπρεσέρ, βαριοπούλα.

Σκοπός ήταν η δημιουργία κατάλληλου μεγέθους αδρανών, ώστε να ικανοποιείται η σύνθεση.

Στη συνέχεια με τη χρήση κόσκινου 1½ (37,5 mm) έγινε μια πρόχειρη κοσκίνιση των θραυσμένων αδρανών υλικών.

Με τη χρήση μηχανής κοσκίνισματος, κατάλληλων κόσκινων και ζυγαριάς ακριβείας, πραγματοποιήθηκε μια πρώτη κοκκομετρική ανάλυση, από την οποία λήφθηκαν οι κατάλληλες ποσότητες σε άμμο, χαλίκι και γαρμπίλι.



Εικ.5: Ζυγαριά ακριβείας

Έπειτα πραγματοποιήθηκε και δεύτερη κοκκομετρική ανάλυση όπου παρατηρήθηκε ότι, οι ποσότητες που κοκκομετρήθηκαν ήταν ίδιες με της πρώτης και κατάλληλες για δημιουργία σκυροδέματος.



Εικ.6: Αδρανή υλικά έτοιμα για χρήση

Ακολούθως παρατίθενται οι πίνακες κοκκομετρικής ανάλυσης:

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΑΜΜΟΣ 50,45 Kg

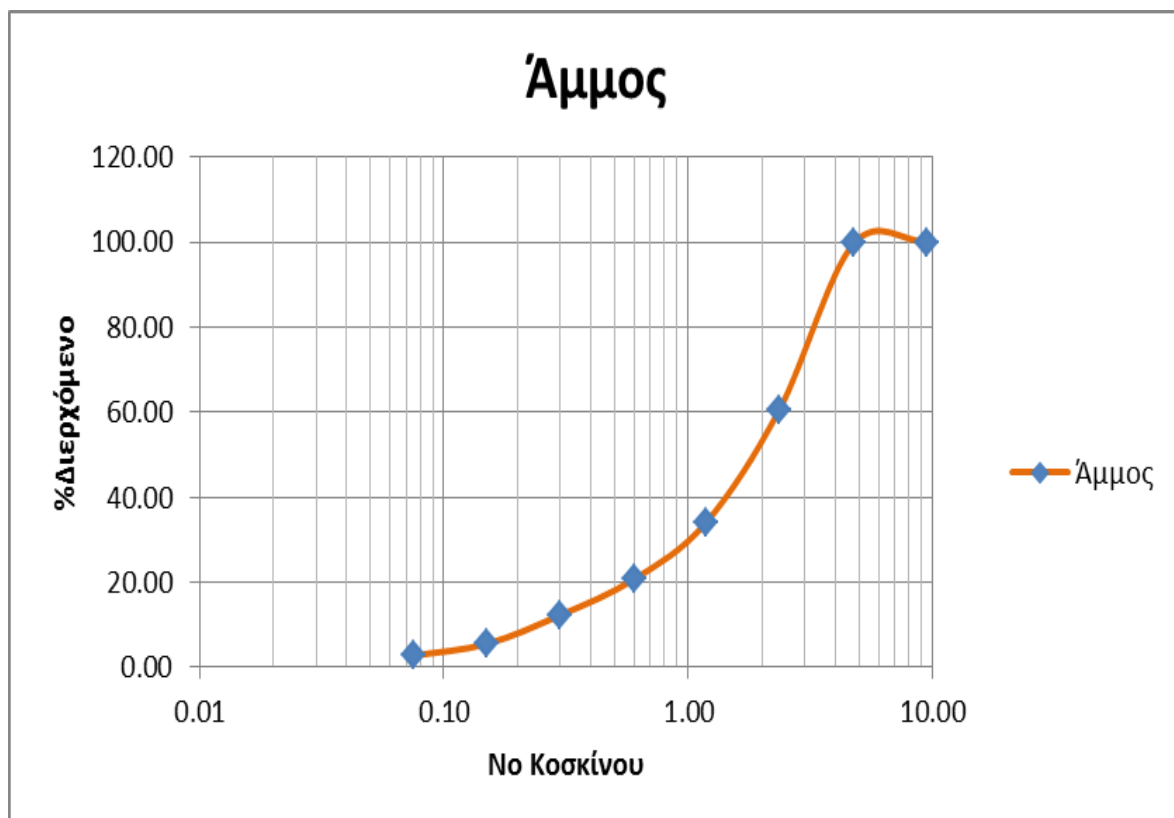
Κόσκιο (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο (gr)	Ολικό συγκρατούμενο (gr)	% ολικό συγκρατούμενο R	% ολικό διερχόμενο P
3/8	9.50	0.0	0.0	0.00	100.00
No 4	4.75	1,875.0	187.5	0.37	99.63
No 8	2.36	19,697.0	19,884.5	39.41	60.59
No 16	1.18	13,421.0	33,305.5	66.02	33.98
No 30	0.60	6,744.0	40,049.5	79.38	20.69
No 50	0.30	4,206.5	44,256.0	87.72	12.28
No 100	0.15	2,422.5	47,678.5	94.50	5.50
No 200	0.075	1,402.0	49,080.5	97.28	2.72
Υποδοχέας	1,216.50				
Περ.	153.00				
Ολικό βάρος	50,297.00				

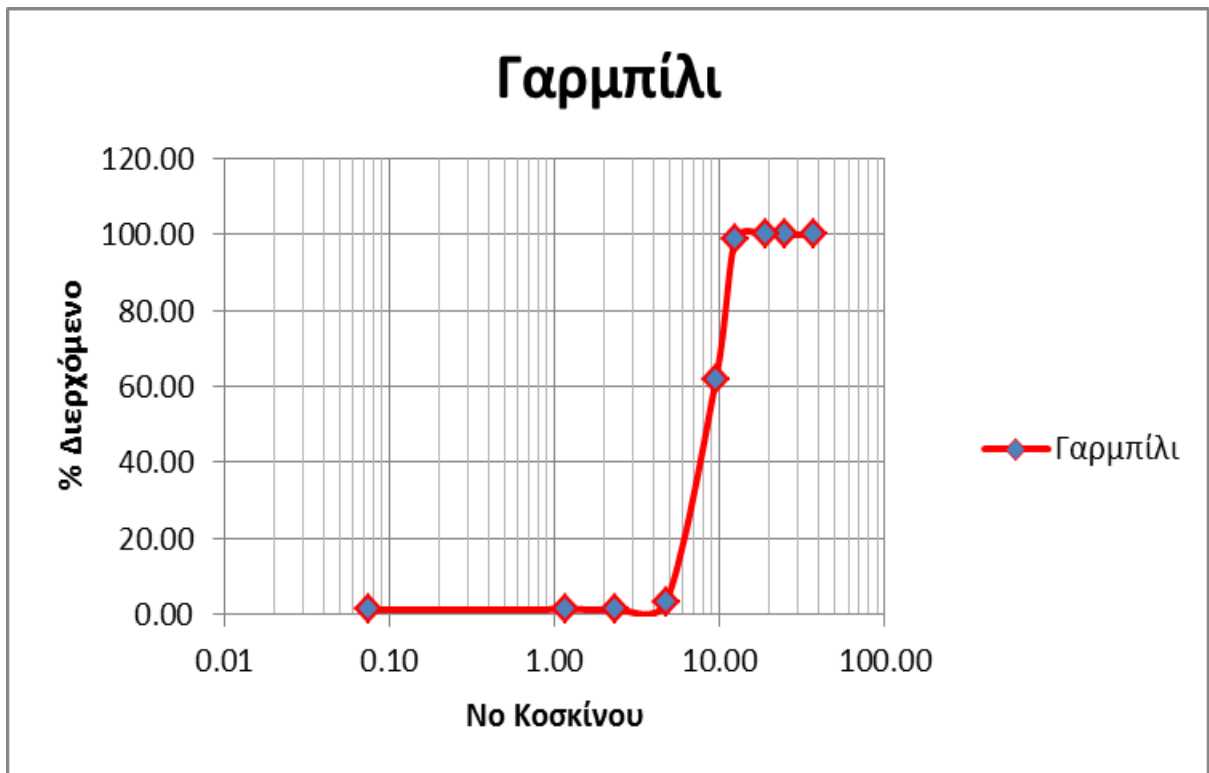
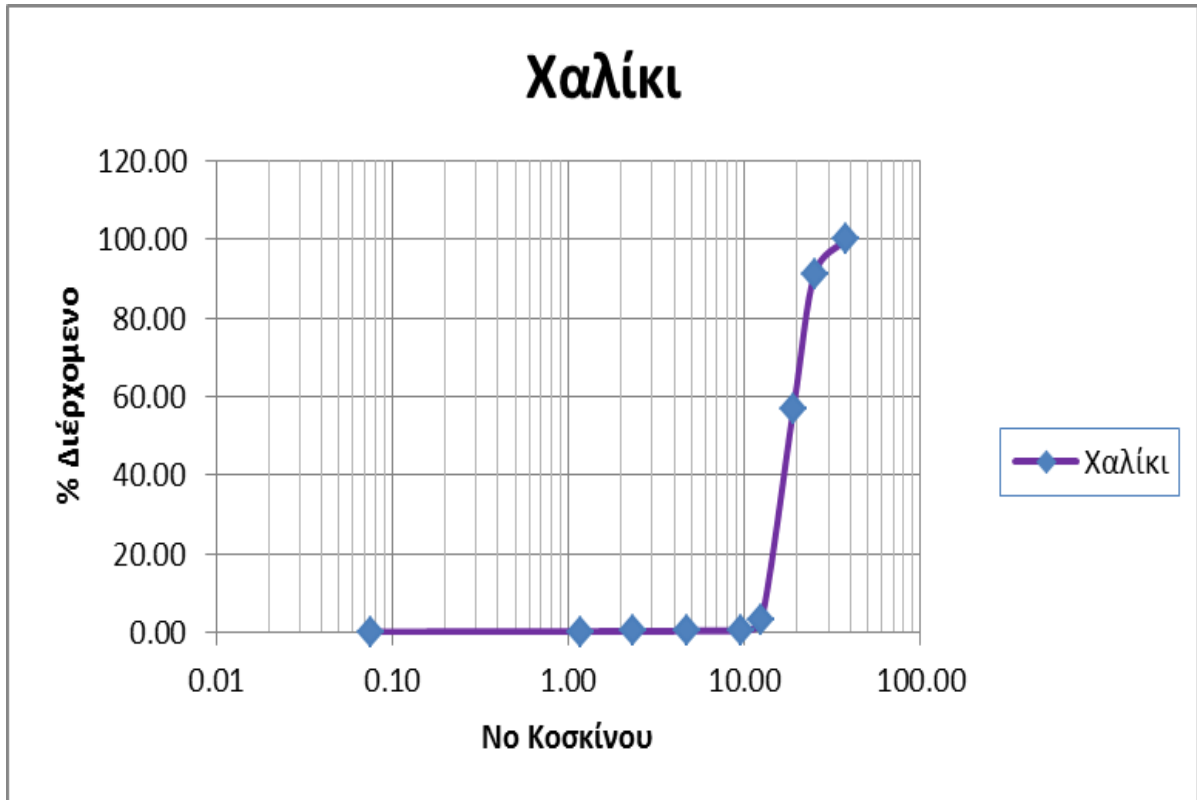
ΧΑΛΙΚΙ 40,58 Kg

Κόσκιο (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο (gr)	Ολικό συγκρατούμενο (gr)	% ολικό συγκρατούμενο R	% ολικό διερχόμενο P
1 ½	37.50	0.0	0.0	0.00	100.00
1	25.00	3,554.0	3,554.0	8.76	91.24
3/4	19.00	13,871.5	17,425.5	42.94	57.06
1/2	12.50	21,841.0	39,266.5	96.76	3.24
3/8	9.50	1,039.0	40,305.5	99.32	0.68
No 4	4.75	102.5	4,048.0	99.57	0.43
No 8	2.36	36.0	40,444.0	99.66	0.34
No 16	1.18	25.0	40,469.0	99.73	0.27
No 200	0.075	45.0	40,514.0	99.84	0.16
Υποδοχέας	50.00				
Περ.	6.00				
Ολικό βάρος	40,574.00				

ΓΑΡΜΠΙΛΙ 11,51 Kg					
Κόσκινο (in)	Άνοιγμα βροχίδας (mm)	Μερικό συγκρατούμενο (gr)	Ολικό συγκρατούμενο (gr)	% ολικό συγκρατούμενο R	% ολικό διερχόμενο P
1 ½	37.50	0.0	0.0	0.00	100.00
1	25.00	0.0	0.0	0.00	100.00
3/4	19.00	0.0	0.0	0.00	100.00
1/2	12.50	124.5	124.5	1.08	98.92
3/8	9.50	4,251.5	4,376.0	38.02	61.98
No 4	4.75	6,740.5	11,116.5	96.58	3.42
No 8	2.36	234.0	11,350.5	98.61	1.39
No 16	1.18	8.0	11,358.5	98.68	1.32
No 200	0.075	14.0	11,372.5	98.80	1.20
Υποδοχέας	32.00				
Περ.	105.50				
Ολικό βάρος	11,404.50				

Συμφώνα με τα όρια του Κ.Τ.Σ 97 τα ανακυκλώσιμα αδρανή είναι κατάλληλα για χρήση και δίνονται τα εξής διαγράμματα.





Στη συνέχεια ξεκίνησε η διαδικασία παραγωγής του σκυροδέματος. Με τη χρήση κατάλληλων δοχείων ζυγιστήκαν οι απαιτούμενες ποσότητες των υλικών (νερό, χαλίκι, γαρμπίλι, άμμος και τσιμέντο) τα οποία εισήχθησαν στον αναμικτήρα (μπετονιέρα) με την ακόλουθη σειρά:

- Νερό
- Χαλίκι
- Γαρμπίλι
- Άμμος
- Τσιμέντο
- Υπερευστοποιητής

Να σημειωθεί ότι, λόγω κακής ποιότητας τσιμέντου παρατηρήθηκε αυξημένη συσσωμάτωση των υλικών μέσα στον αναμικτήρα. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε επιπλέον υπερευστοποιητής 0,20 kg.

Μετά το τέλος της ανάμιξης πραγματοποιήθηκε slump test, το οποίο έδωσε κάθιση κατηγορίας S1 (1cm-4cm).



Εικ.7: Μπετονιέρα

Στη συνέχεια το σκυρόδεμα τοποθετήθηκε στις μήτρες (εικ.8), οι οποίες ήταν τοποθετημένες πάνω στη δονητική τράπεζα, για την συμπύκνωσή του. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας δόνησης, οι μήτρες τοποθετήθηκαν σε ειδικό χώρο, σκεπασμένες με βρεγμένα πανιά (εικ.9).



Εικ.7: Τράπεζα τοποθέτησης μήτρων



Εικ.8



Εικ.9

Την επομένη της σκυροδέτησης και αφού ξεκαλουπώθηκαν τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε δεξαμενή νερού για 28 μέρες, για συντήρηση σε υγρό περιβάλλον.



Εικ.10: Δοκίμια τοποθετημένα σε δεξαμενή νερού

5.1.4 ΚΑΥΣΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα 19 δοκίμια μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου Τεχνολογίας και Υλικών (Π.Ε.Τ.Υ.Λ.). Εισήλθαν σε ειδικούς φούρνους υψηλής τάσης. Οι θερμοκρασίες στις οποίες δοκιμάστηκαν ήταν 200 °C, 400 °C, 600 °C και 900 °C. Η επιλογή των θερμοκρασιών αυτών έγινε για να μελετηθούν οι διαφορετικές συνθήκες σε περιπτώσεις πυρκαγιάς που εκδηλώνονται σε έναν όροφο ενός κτιρίου. Σε κάθε θερμοκρασία χρησιμοποιήθηκαν δύο μη ανακυκλούμενα και δύο ανακυκλούμενα δοκίμια.

Για την εισαγωγή και εξαγωγή των δοκιμών δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ειδικά ταψιά υψηλής αντοχής και διαστάσεων 33 cm x 20 cm.



Εικ.11: Εξοπλισμός εργαστηρίου



Εικ.12 Εξοπλισμός εργαστηρίου

Το κάθε δοκίμιο παρέμεινε στο φούρνο, ο οποίος είχε προκαθορισμένη θερμοκρασία, για 45 λεπτά. Μετά την εξαγωγή τους τοποθετήθηκαν σε πυρότουβλα μέχρι η θερμοκρασία τους να φτάσει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (Εικ.14).





Εικ.13: Δοκίμιο μετά την εξαγωγή του από τον φούρνο



Εικ.14 Δοκίμιο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

5.1.5 ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΛΙΠΤΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ

Ο έλεγχος θλιπτικών αντοχών των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πρέσας, στην οποία τοποθετήθηκαν τα δοκίμια μέχρι αυτά να αστοχήσουν.



Εικ.15: Μηχανή πρέσας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1 ΜΗ ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ

Οι τιμές δύναμης και τάσης θραύσης έπειτα από τον έλεγχο σε θλίψη είναι οι παρακάτω:

20°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 1	660	37,36738
Δοκίμιο 2	670	37,93357

200°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 3	634	35,89526
Δοκίμιο 4	640	36,23496

400°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 5	509	28,81812
Δοκίμιο 6	561	31,76221

600°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 7	480	27,17622
Δοκίμιο 8	506	28,64827

900°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 9	0	0

Στη θερμοκρασία αυτή, όταν το δοκίμιο 9 “κρύωσε”, σε συνθήκες περιβάλλοντος, παρατηρήθηκαν έντονες και άτακτες ρηγματώσεις οι οποίες οδήγησαν στην πλήρη κατάρρευσή του, με αποτέλεσμα την αστοχία του δοκιμίου (Εικ.16,17).



Εικ.16



Εικ.17

Για το λόγο αυτό, το δοκίμιο 10 παρέμεινε **μέσα** στον φούρνο, μέχρι να φτάσει στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αποτέλεσμα ήταν, στο δοκίμιο να δημιουργηθούν ρηγματώσεις χωρίς όμως την ολική του κατάρρευση (Εικ.18,19).



Εικ.18



Εικ.19

Για την καλύτερη λήψη αποτελεσμάτων στη πρέσα του δοκιμίου αυτού, χρησιμοποιήθηκε τροχός, για την αφαίρεση του μη ικανοποιητικού μέρους του (Εικ.20). Έπειτα, με την σχέση του ΕΛΟΤ 344 $f_c = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{K_\phi K_c K_d} f_{c, core}$ για την αναγωγή της αντοχής κυλινδρικού δοκιμίου σε σχέση με το ύψος του βγάζουμε την παρακάτω δύναμη θραύσης, η οποία ήταν 197 KN με τάση 11,15357.



Εικ.20

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 10	197	11,15357

6.2 ΑΝΑΚΥΚΛΟΥΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ

Οι τιμές δύναμης και τάσης θραύσης έπειτα από τον έλεγχο σε θλίψη είναι οι παρακάτω:

20°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 1	490	27,74239
Δοκίμιο 2	524	29,66737

200°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη θραύσης KN	Τάση θραύσης MPa
Δοκίμιο 3	443	25,08139
Δοκίμιο 4	488	27,62916

400°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη Θραύσης KN	Τάση Θραύσης MPa
Δοκίμιο 5	389	22,02406
Δοκίμιο 6	404	22,87332

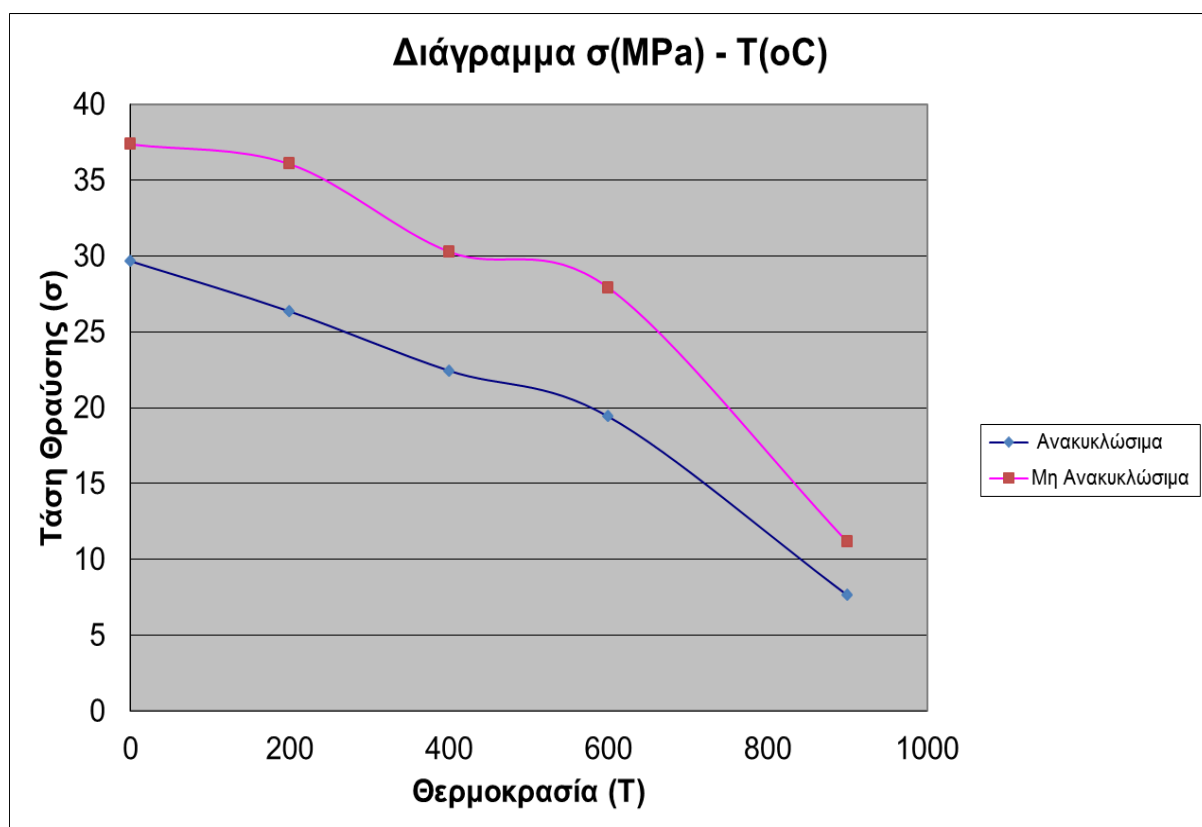
600°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη Θραύσης KN	Τάση Θραύσης MPa
Δοκίμιο 7	325	18,40057
Δοκίμιο 8	361	20,43878

900°C

Αρ. Δοκιμίου	Δύναμη Θραύσης KN	Τάση Θραύσης MPa
Δοκίμιο 9	135	7,64331

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα Τάσης-Θερμοκρασίας και δίνονται τα συμπεράσματα για τα ανακυκλωμένα και μη δοκίμια στις θερμοκρασίες **20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 900 °C** :



Διάγραμμα 4 : Διάγραμμα Τάσης - Θερμοκρασίας (σ-T)

6.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

1. Στο φλοιό των δοκιμίων, τα οποία δοκιμάστηκαν στις θερμοκρασίες των 400°C, 600°C και 900°C παρατηρήθηκαν έντονες ρηγματώσεις καθώς και αλλαγή στο χρώμα (ανοιχτό γκρι)(Εικ. 21,22).



Εικ.21 Αλλαγή χρώματος (γκρι)



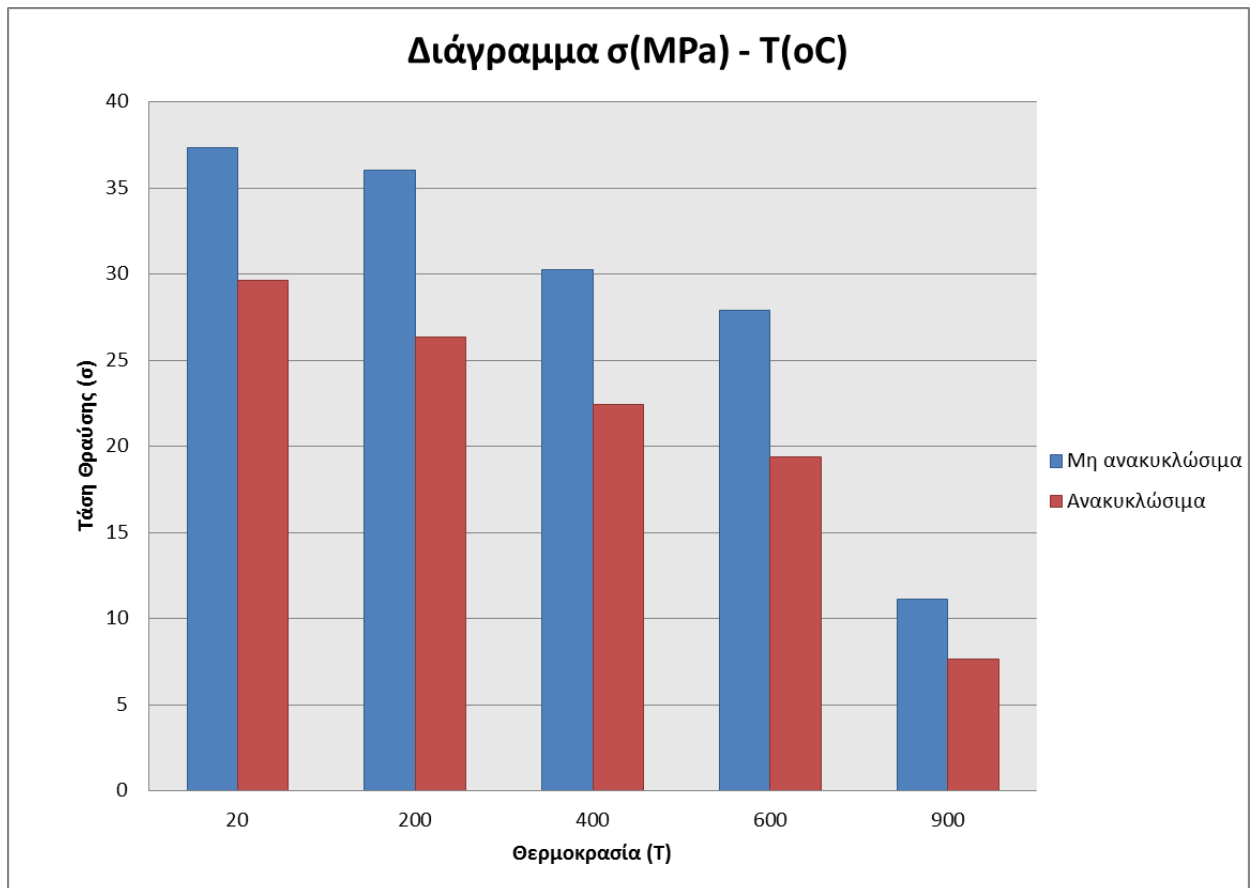
Εικ.22 Έντονες ρηγματώσεις

2. Ο τύπος του τσιμέντου, CEM II/B-M(P-W-L) 42,5N, που χρησιμοποιήθηκε είχε πρόσθετα υλικά τα οποία μείωσαν το εργάσιμο του σκυροδέματος που παρασκευάστηκε. Αποτέλεσμα ήταν η μη καλή συμπίκνωση, όπως φαίνεται στην εικόνα 23 με τα πολλά κενά στο σώμα, τα οποία μείωσαν τη θλιπτική του αντοχή.



Εικ.23 Δοκίμιο με κενά και πόρους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



Διάγραμμα 5 : Διάγραμμα Τάσης - Θερμοκρασίας (σ -T)

Μετά την ολοκλήρωση του πειράματος και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, παρατηρήθηκε μειωμένη θλιπτική αντοχή των ανακυκλωμένων δοκιμίων σε σχέση με αυτής των μη ανακυκλωμένων. Από το διάγραμμα 5 παρατηρούμε ότι τα δοκίμια χάνουν αναλογικά την αντοχή τους. Σε κάθε θερμοκρασία παρατηρείται σχεδόν όμοια μείωση της αντοχής, στους 20 °C η διαφορά της τάσης μεταξύ των μη ανακυκλωμένων και των ανακυκλωμένων δοκιμίων είναι 9 MPa, ενώ στους 200 °C η διαφορά είναι 10 MPa. Παρόμοια στους 400 °C και 600 °C η μείωση της τάσης είναι 8 MPa.

Οι υψηλές θερμοκρασίες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην πτώση των αντοχών τόσο στα ανακυκλώσιμα όσο και στα μη ανακυκλώσιμα δοκίμια. Στις υψηλές θερμοκρασίες τα δοκίμια έχαναν τις μηχανικές τους αντοχές καθώς χάνεται ο προστατευτικός μανδύας γύρω από αυτά και καθίσταται ευκολότερο να επέλθει η διαρροή του σκυροδέματος. Αυτό συμβαίνει για φορτίσεις από 600°C και υψηλότερα. Πιο συγκεκριμένα στα μη ανακλώμενα δοκίμια παρατηρείται πτώση της τάσης, περίπου 2 MPa στις θερμοκρασίες μεταξύ 20 °C -200 °C, 5 MPa στους 200 °C - 400 °C, 2,5 MPa στους 400 °C - 600 °C ενώ από τους 600 °C στους 900 °C η διαφορά είναι στα 16 MPa.

Παρόμοια πτώση έχουμε και στα ανακυκλωμένα δοκίμια δείγμα του ότι η αντοχή χάθηκε αναλογικά και στις δυο περιπτώσεις.

Αυτή η πτώση οφείλεται στο ότι, οι μηχανικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων υλικών επηρεάζουν σημαντικά τη συνολική αντοχή του δοκιμίου. Το μεγαλύτερο πορώδες καθώς και η σημαντική διαφοροποίηση στην ποιότητα σε σχέση με τα φυσικά αδρανή καθιστούν το σκυρόδεμα με ανακυκλωμένα υλικά πιο ψαθυρό.

Η πυρκαγιά έχει πολύ επιβλαβείς επιδράσεις σε μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα και μπορεί να προκαλέσει ακόμα και την αχρήστευση αυτής. Τις περισσότερες φορές όμως οι βλάβες είναι επισκευάσιμες με τις κατάλληλες μεθόδους

Παρόλο που τα δοκίμια με ανακυκλωμένα υλικά παρουσίασαν πτώση της αντοχής, συνιστάται η εφαρμογή τους σε έργα μικρότερης κλίμακας τόσο για περιβαλλοντικούς λόγους όσο και για οικονομικούς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δομική Φυσική Θερμομόνωση – Ηχομόνωση – Πυροπροστασία, εκδόσεις Ευρωπαϊκές τεχνολογικές εκδόσεις, Αθήνα 2000, Blasi Walter
- Εισαγωγή στην Πυροπροστασία των κατασκευών, εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS, Παπαϊωάννου Κυριάκος Σ2
- Νέος Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΕ – 97), 3^η έκδοση, Ιανουάριος 2000, Αθήνα , Νοέμβριος 1997
- Πρακτικός σχεδιασμός Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα έναντι Πυρκαγιάς, Αθήνα 1984 Θ.Π. Τάσιος, Γ. Δεοδάτης
- Εφαρμοσμένη Πυρασφάλεια, εκδόσεις Ιδίου 1988, Κώνστας Αλέξανδρος
- Πρακτικός Οδηγός για την Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας και τις Δομητικές Επισκευές μετά από Πυρκαγιά, σε Μικρά Κτίρια από Σκυρόδεμα και από Τοιχοποιία
- http://portal.tee.gr/portal/page/portal/SCIENTIFIC_WORK/anasigr/draseis/Tab/59_EAFDB354F76822E0440003BA2D133C
- <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=35&langid=1>
- http://www.lafarge.gr/wps/portal/gr/el/3_A_2_3-History
- <http://www.hcia.gr>
- <https://www.eoan.gr/el/content/14/apovlita-ekskafon-kataskeuon-katedafiseon-aeck>
- <http://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/adrani>
29/6/2017
- http://library.tee.gr/digital/m2316/m2316_contents.htm