



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΚΑΙ Ο ΒΑΣΙΚΟΣ ΤΟΥΣ ΡΟΛΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ »



Εικόνα 1: Το σκυρόδεμα του μέλλοντος, Πηγή Κτίριο Εκδόσεις ⁽⁴⁵⁾

ΣΤΑΝΓΚΙΔΗ ΔΗΜΗΤΡΑ (Α.Μ. 6479)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2021 - 2022

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

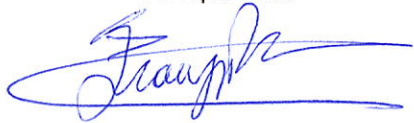
Η κάτωθι υπογεγραμμένη Στανγκίδη Δήμητρα του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 6479 φοιτήτρια του Προγράμματος Διπλωματικών Σπουδών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο *ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ Ο ΒΑΣΙΚΟΣ ΤΟΥΣ ΡΟΛΟΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ* 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 πτυχίου μου».

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι αορίστου χρόνου και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Η Δηλούσα



Στανγκίδη Δήμητρα

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

Αθανάσιος Αυτουσλής
Καθηγητής
Επιβλέπων

Σταυρούλα Δενεζάκη
Καθηγητής
Μέλος

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Μέλος

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο διεξαγωγής διπλωματικής εργασίας κατά το ακαδημαϊκό έτος 2021 - 2022 του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Το θέμα της εργασίας αφορά στην διερεύνηση των πρόσθετων υλικών του σκυροδέματος, και στην εξέταση του βασικού τους ρόλου για αυτό. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στα πρόσθετα υλικά, που στοχεύουν στην βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος.

Το ενδιαφέρον μου για την διερεύνηση των πρόσθετων υλικών για το σκυρόδεμα εστιάζοντας στους βασικούς τους ρόλους, αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της συμμετοχής μου στο Σεμινάριο Τεχνολογίας Σκυροδέματος που διεξήχθη το 2020 με θέμα: «Τεχνολογία Σκυροδέματος ΚΤΣ-2016 και Σύγχρονες Πρακτικές στην Κατασκευή». Το παραπάνω σεμινάριο είχε διάρκεια 25 ωρών και διεξήχθη στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής με υπεύθυνο διδάσκων για την διοργάνωση τον κ. Νικόλαο Πνευματικό, Αναπληρωτή Καθηγητή Πολιτικών Μηχανικών ΠΑ.ΔΑ.. Μέσα από την συμμετοχή μου στο παραπάνω σεμινάριο, διαπίστωσα, ότι με ενδιαφέρει ιδιαίτερα να μελετήσω εκτενέστερα τις ιδιότητες του σκυροδέματος με χρήση πρόσθετων υλικών, καθώς και να πραγματοποιήσω μελλοντικά την δική μου έρευνα για πιθανές προτάσεις νέων πρόσθετων υλικών που θα βελτιώνουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω την βαθύτατη ευγνωμοσύνη μου και τις εγκάρδιες ευχαριστίες μου σε όλους όσους με στήριξαν και με βοήθησαν.

Πρώτα από όλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κύριο Αυτουσμή Αθανάσιο, όχι μόνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί του, αλλά και για τη στήριξή του σε αυτή μου την προσπάθεια. Τα τελευταία δύο χρόνια, λόγω της πανδημίας, είχε ανασταλεί η λειτουργία των εργαστηρίων της σχολής, πράγμα που με εμπόδισε να πραγματοποιήσω το πειραματικό στάδιο της εργασίας μου όπως θα ήθελα. Παρόλα αυτά, ο κύριος Αυτουσμή με καθοδήγησε με μεγάλη προθυμία.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου, τα αδέρφια μου και τους φίλους μου για την άνευ όρων υποστήριξή τους, την κατανόηση και την βοήθειά τους καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ:	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ:.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ:.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ:	7
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	8
ABSTRACT	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	12
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΣΙΜΕΝΤΟ	20
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	20
2.2 ΠΡΟΤΥΠΑ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ	21
2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	21
2.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	21
2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ	21
ΣΑΚΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ.....	24
2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	26
2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ.....	26
2.4.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	26
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ.....	31
3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ.....	31
3.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ.....	33
3.2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	33
3.2.2 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	35
3.2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	37
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	42
4.1 Μελέτη Συνθέσεως σκυροδέματος.....	42
4.2 Κύριες ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος.....	42
4.2.1 Εξίδρωση	42
4.2.2 Απόμειξη	43
4.2.3 Εργασιμότητα (workability).....	43
4.2.3.1 Τρόπος μέτρηση της εργασιμότητας.....	44

Δοκιμή κάθισης (Slump Cone)	44
Εξοπλισμός για την δοκιμή κάθισης:	44
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	48
5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	48
5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ:	49
5.2.1. Χημικά Πρόσθετα σκυροδέματος	49
5.2.2 Φυσικά - ορυκτά πρόσθετα ή πρόσμικτα	54
5.3 Ανασκόπηση στο Πρότυπο ΕΛ.Ο.Τ. EN 934-2: Πρόσθετα σκυροδέματος	59
5.3.1 Πρότυπα του ΕΛ.Ο.Τ.	59
5.3.2 Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934 Πρόσθετα υλικά	59
Σκυρόδεμα και κονίαμα αναφοράς ΕΛΟΤ EN 480-1	63
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	67
6.1 Σκοπός:	67
6.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗ	67
6.3 ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΙΣΗΣ	68
6.3.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	69
ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ:	73
ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ:	76
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ:

Εικόνα 1: Το σκυρόδεμα του μέλλοντος, Πηγή Κτίριο Εκδόσεις ⁽⁴⁵⁾	1
Εικόνα 2: Πυραμίδα στην Γκίζα της Αιγύπτου ⁽²⁴⁾	13
Εικόνα 3: Σινικό Τείχος ⁽²⁵⁾	13
Εικόνα 4: Αρχαίο Θέατρο Πομπηίας	15
Εικόνα 5: Κολοσσαίο, Ρώμη ⁽²⁶⁾	16
Εικόνα 6: Πάνθεον, Ρώμη ⁽²⁷⁾	16
Εικόνα 7: Η Παναγία των Παρισίων ⁽²⁸⁾	17
Εικόνα 8: Φάρος στο Πλίμουθ (Plymouth) ⁽⁴⁹⁾	17
Εικόνα 9: Τσιμέντο ⁽²⁹⁾	20
Εικόνα 10: Πυριτικό τριασβέστιο - C3S ⁽³¹⁾	27
Εικόνα 11: Πυριτικό διασβέστιο – C2S ⁽³¹⁾	28
Εικόνα 12: Αργλικό τριασβέστιο - C3A ⁽³¹⁾	29
Εικόνα 13: Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο ⁽³¹⁾	29

Εικόνα 14: Σκυρόδεμα ⁽⁵⁰⁾	32
Εικόνα 15: Παράδειγμα χαρακτηριστικής αντοχής κύβου & κυλίνδρου για σκυρόδεμα C25/30 ⁽⁵¹⁾	39
Εικόνα 16: Τρόπος δράσης ρευστοποιητικών ⁽³⁵⁾	50
Εικόνα 17: Σκυρόδεμα με προσθήκη αερακτικού και χωρίς ⁽⁴⁸⁾	52
Εικόνα 18: Ποζολάνη ⁽⁵²⁾	56
Εικόνα 19: Ιπτάμενη Τέφρα ⁽⁵³⁾	57
Εικόνα 20: Πυριτική Παιπάλη ⁽⁵⁴⁾	57
Εικόνα 21: Ασβεστόλιθος ⁽⁵⁵⁾	58
Εικόνα 22: Δοκιμή κάθισης ⁽³⁷⁾	68
Εικόνα 23: Διαστάσεις μεταλλικού κόλουρου κώνου ⁽⁵⁷⁾	68
Εικόνα 24: Μεταλλικός κόλουρος κώνος, μεταλλική ράβδος κυκλικής διατομής με στρογγυλεμένα άκρα και μία άκαμπτη ⁽⁵⁶⁾	68
Εικόνα 25: Διαδικασία κάθισης ⁽³³⁾	70
Εικόνα 26: Μετρητής της ωριμότητας (maturity meter) ⁽⁴⁴⁾	77

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ:

Πίνακας 1: Βασικοί τύποι τσιμέντου	22
Πίνακας 2: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές.....	23
Πίνακας 3: Επισημάνσεις και οδηγίες ασφαλείας	25
Πίνακας 4: Είδη σκυροδέματος	33
Πίνακας 5: Κατηγορίες δοκιμίων και επιμέρους χαρακτηριστικά	39
Πίνακας 6: Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου/κύβου για το σκυρόδεμα (οι σκιασμένες αφορούν το Εθνικό Προσάρτημα) ..	40
Πίνακας 7: Μέγιστος λόγος w/z για κάθε ποιότητα σκυροδέματος	47
Πίνακας 8: Γενικές απαιτήσεις ΕΛΟΤ EN 934.01	61
Πίνακας 9: Απαιτήσεις επίδοσης προσθέτων ΕΛΟΤ EN 934.02	62
Πίνακας 10: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης	63
Πίνακας 11: Τύποι Σκυροδέματος αναφοράς	64
Πίνακας 12: Ειδικές απαιτήσεις για Ρευστοποιητές/Μειωτές νερού-Υψηλού βαθμού,για ίδιο λόγο N/T	65
Πίνακας 13: Ειδικές απαιτήσεις για αερακτικά (για την ίδια συνεκτικότητα)	65
Πίνακας 14: Ειδικές απαιτήσεις για Επιβραδυντές πήξης/ μειωτές νερού-απλού/ρευστοποιητές(για την ίδια συνεκτικότητα)	65
Πίνακας 15: Κατηγορίες Κάθισης	70
Πίνακας 16: Χρησιμοποίηση σκυροδεμάτων σε έργα με βάση την κάθιση.....	71
Πίνακας 17: Δεδομένα, ποσοτικές αναλογίες για την παρασκευή σκυροδέματος	73
Πίνακας 18: Δεδομένα, ποσοτικές αντοχές σκυροδέματος για ξεκαλούπωμα και μέσες θερμοκρασίες	76
Πίνακας 19: Τύποι Τσιμέντου	92

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ:

Σχήμα 1: Ονοματολογία Τσιμέντων ΕΛΟΤ EN 197-1 ⁽¹²⁾	24
Σχήμα 2: Παραγωγική Διαδικασία Τσιμέντου ⁽¹²⁾	26
Σχήμα 3: Πλαίσιο Προτύπων και Κανονισμών του CEN για τα έργα από σκυρόδεμα ⁽¹²⁾	35
Σχήμα 4: Συμβαλλόμενοι κατά την εφαρμογή του προϊόντος σκυρόδεμα στα έργα κατά EN 206 ⁽¹²⁾	37
Σχήμα 5: Ταξινόμηση των ποζολανών με βάση την προέλευσή τους περιλαμβάνοντας όλες τις υποκατηγορίες των φυσικών και τεχνητών ποζολανών ⁽⁵⁸⁾	55
Σχήμα 6: Λειτουργία Ρευστοποιητή ⁽⁴⁸⁾	72
Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση του θερμοκρασιακού ιστορικού και του παράγοντα «θερμοκρασίας – χρόνου» υπολογισμένου σύμφωνα με τη σχέση (1).....	78
Σχήμα 8: Βήματα της διαδικασίας για τη δημιουργία της τελικής καμπύλης συσχέτισης του συντελεστή ωρίμανσης R - αντοχής.....	79

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ:

Διάγραμμα 1: Φαινόμενο υπερπήδησης (Crossover effect) – οι καταγεγραμμένες θερμοκρασίες δεν αποτελούν δεδομένα.....	76
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα μεταβολής συντελεστή ωρίμανσης R συναρτήσει ποσοστού αντοχής.....	80

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία διενεργήθηκε στοχεύοντας στην έρευνα των ιδιοτήτων των πρόσθετων υλικών και την διερεύνηση του βασικού τους ρόλου για το σκυρόδεμα. Εξετάζεται η σύνθεση του σκυροδέματος με την προσθήκη χημικών ή φυσικών πρόσθετων υλικών σε διαφορετικές αναλογίες. Κατόπιν θεωρητικής ανασκόπησης των εννοιών, των Οδηγιών και Κανονισμών του τσιμέντου και του σκυροδέματος, των ιδιοτήτων του νωπού σκυροδέματος αλλά και της μελέτης της εκτίμησης και της αντοχής του με τη χρήση έμμεσων μεθόδων, καθώς επίσης και των πρόσθετων υλικών και των ιδιοτήτων τους πραγματοποιώντας ιδιαίτερη μνεία στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934, καταλήγουμε στο πειραματικό στάδιο της παρούσας εργασίας, στο οποίο διερευνάται η κάθιση και ωρίμανση οπλισμένου σκυροδέματος με χρήση πρόσθετου υλικού. Ως πρόσθετο υλικό επιλέχθηκε ο ρευστοποιητής, λόγω της ικανότητάς του να αυξάνει σημαντικά την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Επιπλέον, η χρήση των ρευστοποιητών είναι πολύ σημαντική για τα υψηλής ποιότητας σκυροδέματα. Τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας, οδήγησαν στο συμπέρασμα, ότι τα πρόσθετα υλικά, όπως στην περίπτωσή μας ο ρευστοποιητής, επηρεάζουν την εργασιμότητα και τον χρόνο πήξεως του νωπού σκυροδέματος.

Λέξεις κλειδιά: Σκυρόδεμα, Νωπό σκυρόδεμα, Πρόσθετα υλικά, Ρευστοποιητής, Εργασιμότητα, Χρόνος πήξεως

ABSTRACT

This Thesis was carried out in order to capture the properties of additives and to investigate their main role in concrete, in which additives in different proportions are composed. After a theoretical review, instructions and regulations of the concepts of cement and concrete, the properties of fresh concrete but also the study of its estimation and durability by indirect methods, as well as the additional materials and their properties making special reference to the ELOT EN 934 Standard, we conclude to the experimental part of this paper in which the subsidence and hardening of reinforced concrete using additional material is investigated.

The Water-Reducing was chosen as an additive due to its ability to significantly increase the strength and durability of concrete. In addition, the use of Water-Reducing is very important for high quality concretes. The results of the experimental process, summarized, led to the conclusion that additives, such as in our case the Water-Reducing, affect the workability and setting time of fresh concrete.

Key words: Concrete, Fresh Concrete, Additives, Water-Reducing, Workability, Setting time

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και η διερεύνηση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων που μπορεί να αποκτήσει το σκυρόδεμα, όταν αναμιχθούν σε αυτό φυσικά ή χημικά πρόσθετα υλικά.

Με τον όρο Πρόσθετα υλικά του σκυροδέματος αναφερόμαστε στα υλικά που προστίθενται μέσα στο σκυρόδεμα κατά την παρασκευή του και τροποποιούν κατά ορισμένο τρόπο μερικές από τις ιδιότητες του.

Στην παρούσα εργασία θα μας απασχολήσουν κυρίως τα νωπά σκυροδέματα, στα οποία αναμειγνύονται πρόσθετα υλικά και συγκεκριμένα θα επικεντρωθούμε στην παρασκευή σκυροδέματος κατά την ανάμιξη του οποίου έχει προστεθεί ρευστοποιητής.

Η δομή της εργασίας που θα διεξαχθεί έχει ως ακολούθως :

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία γενική ιστορική αναδρομή του τσιμέντου και του σκυροδέματος, στην οποία θα γίνει μικρή ανάλυση της εξέλιξης των παραπάνω οικοδομικών υλικών.

Κατόπιν της ιστορικής αναδρομής, στο δεύτερο κεφάλαιο επιχειρείται η ανάλυση της έννοιας του τσιμέντου, με ειδική αναφορά στον τρόπο παρασκευής του και τη σύνθεση αυτού. Επιπλέον, γίνεται προσπάθεια αναλυτικής παρουσίασης των Προτύπων και Κανονισμών που ισχύουν παγκοσμίως και με ειδική αναφορά στη χώρα μας. Ωστόσο, δίνεται ιδιαίτερη βάση στην τεχνολογία του τσιμέντου και στον τρόπο κατασκευής.

Έπειτα, στο τρίτο κεφάλαιο εστιάζουμε στο σκυρόδεμα παρουσιάζοντας, αρχικά, την έννοια του σκυροδέματος. Κατόπιν, γίνεται ειδική μνεία στη σύστασή του, τις βασικές του ιδιότητες, τις χρήσεις του. Επιπλέον γίνεται αναφορά στις κατηγορίες σκυροδέματος, όπως και στα υλικά παρασκευής του. Δίνεται, επίσης, ιδιαίτερη βάση στο Κανονιστικό πλαίσιο του σκυροδέματος.

Ακολούθως, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ο οποίος περιλαμβάνει την Μελέτη Σύνθεσης του σκυροδέματος. Τέλος, αναλύονται οι ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος, το οποίο θα μας απασχολήσει μετέπειτα στο πειραματικό στάδιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Όπως, επίσης και το πέμπτο κεφάλαιο είναι βασικό για το πειραματικό στάδιο της εργασίας αυτής, καθώς παρουσιάζονται αναλυτικά τα πρόσθετα υλικά. Γίνεται αναφορά

στην προέλευση και στον βασικό τους ρόλο για το σκυροδέμα (με ποιον τρόπο δλδ επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τις ιδιότητες του σκυροδέματος).

Με αυτόν τον τρόπο, οδηγούμαστε πλέον στο έκτο κεφάλαιο, το οποίο αποτελεί το πειραματικό στάδιο κατά το οποίο διερευνάται η επιρροή ρευστοποιητή που χρησιμοποιήθηκε κατά την παρασκευή οπλισμένου σκυροδέματος, αφού εξετάστηκε προηγουμένως η κάθιση και η ωρίμανση του νωπού σκυροδέματος.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να διευκρινίσω, ότι εξαιτίας των ιδιαίτερων υγειονομικών συνθηκών, που επικράτησαν τόσο παγκοσμίως όσο και στην χώρα μας, κατά τα τελευταία ακαδημαϊκά έτη λόγω του COVID-19, η εκπόνηση και η διεκπεραίωση του πειραματικού σταδίου της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε ιδιαίτερο πρόβλημα, διότι δεν ήταν εφικτή η δια ζώσης διενέργειά του. Η παραπάνω πρόσθετη δυσκολία, η οποία εμπόδισε την διεξαγωγή του πειραματικού μέρους, είχε ως αποτέλεσμα τα συμπεράσματα να έχουν προκύψει αποκλειστικά με προσομοίωση της πειραματικής διαδικασίας με τη χρήση μαθηματικών υπολογισμών και χωρίς τη χρήση εργαστηριακών οργάνων. Εξαιτίας αυτού, παρά το γεγονός, ότι καταβλήθηκε μεγάλη προσπάθεια, ώστε να επιτευχθεί η κατά το δυνατόν ρεαλιστικότερη απεικόνιση των πραγματικών συνθηκών του πειράματος, δεν είναι εφικτή η επαλήθευση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων, τα οποία αποτελούν υποθέσεις.

Τέλος, καταλήγουμε σε συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας, από την οποία, εν συντομία, έγινε αντιληπτό, ότι τα πρόσθετα υλικά, και συγκεκριμένα οι ρευστοποιητές, επηρεάζουν την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος.

Για την επιτυχή και την κατά το δυνατόν πιο εμπειριστατωμένη πληροφόρηση η συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας, έγινε με χρήση ελληνικής και ξένης (κυρίως αγγλόφωνης) βιβλιογραφίας, όπως επίσης χρήσιμες πληροφορίες αντλήθηκαν από ιστοσελίδες στο διαδίκτυο.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Η ιστορική εξέλιξη του τσιμέντου και του σκυροδέματος, ενώ πρόκειται για διαφορετικά οικοδομικά υλικά, είναι αλληλεξαρτώμενη, αφού το σκυρόδεμα, το οποίο είναι σύνθετο υλικό, περιέχει το τσιμέντο και χωρίς αυτό δεν υφίσταται.

Όσον αφορά στο τσιμέντο, πρόκειται για συνδετική σκόνη, η οποία συνήθως αναμιγνύεται με νερό και δεν περιέχει άλλα αδρανή πρόσθετα, όπως είναι η άμμος και το χαλίκι. Από την άλλη μεριά το σκυρόδεμα είναι το μείγμα τσιμέντου με ποσότητες άλλων αδρανών υλικών.

Γενικότερα, αναμιγνύοντας διάφορα φυσικά υλικά με συνδετικές κονίες (λάσπη) και νερό, προκύπτει ένα είδος στερεού υλικού. Πριν από περίπου 9.000 χρόνια έγινε η πρώτη απόπειρα δημιουργίας ενός τέτοιου τεχνητού στερεού υλικού, το οποίο παραπέμπει στο σημερινό σκυρόδεμα.

Το σκυρόδεμα, όπως είναι γνωστό, δεν υφίσταται χωρίς το τσιμέντο. Επομένως, η πρώτη ανακάλυψη ήταν αυτή του φυσικού τσιμέντου, το οποίο είχε δημιουργηθεί από τις έντονες γεωλογικές μεταβολές. Η ανακάλυψη αυτή φαίνεται να έλαβε χώρα πριν από περίπου 12 εκατομμύρια χρόνια. Αργότερα φυσικά και ανακαλύφθηκε ο τρόπος παρασκευής του τσιμέντου όπως είναι σήμερα.

Μετά την σπουδαία ανακάλυψη του τσιμέντου, αναπτύχθηκε η ανάγκη για πιο «γερές» κατασκευές, έτσι ξεκίνησε η διαδικασία δημιουργίας του σκυροδέματος. Η πρώτη απόπειρα φαίνεται να έγινε στη νότια Γαλιλαία του Ισραήλ, περίπου το 7.000π.Χ., όπου είχε δημιουργηθεί κάποιο μίγμα ασβέστη με πέτρες για την διάστρωση δαπέδου. Η ανακάλυψη αυτή έγινε το 1985 κατά τη διάνοιξη ενός δρόμου. Γενικά, αν ο ασβέστης αναμιχθεί με νερό και άμμο θα δημιουργηθεί μία λάσπη (κονίαμα). Όταν το κονίαμα αυτό έρθει σε επαφή με το διοξείδιο του άνθρακα (από τον ατμοσφαιρικό αέρα), τότε το μίγμα θα σκληρύνει και θα δημιουργηθεί ένα στερεό σώμα. Πριν, όμως, έρθει σε επαφή με τον αέρα και γίνει στερεό σώμα, μπορεί το κονίαμα να ανακατευτεί με πέτρες (χαλίκια), ώστε τελικά να έχουμε ένα είδος σκυροδέματος.

Περίπου το 5.600π.Χ., στις όχθες του Δούναβη στη Γιουγκοσλαβία (Lepenski Vir), βρέθηκε ακόμη ένα είδος σκυροδέματος το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δαπέδου μιας προϊστορικής καλύβας.

Λίγο αργότερα, ένα είδος σκυροδέματος ανέπτυξαν οι αρχαίοι Αιγύπτιοι, οι οποίοι με σκοπό να αυξήσουν την αντοχή των πλίνθων, στο στάδιο της ξήρανσής τους προσέθεταν άχυρα. Ακόμη, σαν πρώτες ύλες για την κατασκευή του σκυροδέματος χρησιμοποιούσαν ως πρώτες ύλες κονιάματα με γύψο ή με ασβεστόλιθο. Σε μία από τις σημαντικότερες κατασκευές των αρχαίων Αιγυπτίων, την μεγάλη πυραμίδα στην *Γκίζα της Αιγύπτου* (2.500 π.Χ.), χρησιμοποιήθηκε κάποιο κονίαμα από ασβέστη ή γύψο για την σύνδεση των λίθων.



Εικόνα 2: Πυραμίδα στην Γκίζα της Αιγύπτου⁽²⁴⁾

Επιπλέον, στις *αρχαίες Θήβες*, ανακαλύφθηκε τοιχογραφία, η οποία αναπαριστά τις εργασίες παρασκευής ασβεστοκονιάματος και χτισίματος με το κονίαμα από ασβέστη ή γύψο.

Κατά την ίδια χρονική περίοδο, μία εμβληματική κατασκευή ξεκίνησε στην *Κίνα*, αυτή του Σινικού Τείχους, όπου ανακαλύφθηκε ότι χρησιμοποιήθηκαν τσιμεντοειδή υλικά. Τα υλικά, όμως, που χρησιμοποιήθηκαν δεν ήταν τα ίδια σε όλες τις περιοχές όπου πέρασε το Τείχος. Συγκεκριμένα, κοντά στο Πεκίνο, το τείχος κατασκευάστηκε από ασβεστόλιθο, ενώ σε άλλες περιοχές, τα οικοδομικά υλικά που κυριαρχούσαν ήταν ο εξορυγμένος γρανίτης ή το πυρότουβλο. Ο τρόπος που χρησιμοποιήθηκαν αυτά τα υλικά για την κατασκευή ήταν ο εξής, το πρώτο στάδιο αποτελούσε την κατασκευή δύο



Εικόνα 3: Σινικό Τείχος⁽²⁵⁾

παράλληλων τειχών και το δεύτερο στάδιο ήταν να «γεμίσουν» τον ενδιάμεσο χώρο με αδρανή υλικά. Επιπλέον, σε κάποιες περιοχές τα οικοδομικά υλικά συγκολλούνταν με ένα κολλώδες μίγμα ρυζιού και ασπραδιού αυγών.

Φυσικά δεν θα μπορούσαν να λείπουν από την τέχνη της κατασκευής οι *αρχαίοι Έλληνες*, οι οποίοι χρησιμοποιούσαν πλίνθους φτιαγμένους από πηλό που ξηραίνονταν στον ήλιο και για την επικάλυψή τους χρησιμοποιούσαν μίγματα από ασβέστη.

Μία από τις σημαντικότερες και χρησιμότερες πηγές για την αρχαία ελληνική οικοδομική και αρχιτεκτονική αποτελεί ο Ρωμαίος *αρχιτέκτονας-συγγραφέας Vitruvius*. Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν ένα μίγμα από συνδετικό κονίαμα και τεμάχια λίθων, το οποίο πρόκειται για το σημερινό σκυρόδεμα. Ο Vitruvius για να καταφέρει να περιγράψει με ακρίβεια το παραπάνω υλικό αναφέρεται στην ελληνική λέξη "έμπλεκτον". Επιπλέον, το 1414 μ.Χ. ανακαλύφθηκαν σε μοναστήρι της Ελβετίας χειρόγραφο του (13 π.Χ.), στα οποία κατέγραφε οδηγίες στους αρχιτέκτονες και στους τεχνίτες, ώστε να παρασκευάσουν κονιάματα, τα οποία πήζουν τόσο στον αέρα όσο και στο νερό (υδραυλικές κονίες).

Όπως είναι γνωστό, τα κονιάματα που αποτελούνται από ασβέστη και νερό, για να μπορέσουν να πήξουν και να σκληρυνθούν, απαιτείται να εκτεθούν στον αέρα (αερικά κονιάματα). Όμως, εκτός από τα αερικά κονιάματα, οι αρχαίοι Έλληνες ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν κονιάματα, τα οποία έχουν την ιδιότητα, όταν ανακατευτούν με νερό, να πήζουν και να σκληραίνουν τόσο στον αέρα όσο και στο νερό (υδραυλικές κονίες). Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, υπάρχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στις χρόνιες επιδράσεις του περιβάλλοντος.

Οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν υδραυλικά κονιάματα και παρακάτω καταγράφονται τα κυριότερα αυτών:

1. Μίγμα που αποτελείται από ασβέστη και ηφαιστειακή γη. Την ηφαιστειακή γη προμηθεύονταν είτε από τη Θήρα ή τη Νίσυρο στην Ελλάδα είτε από την ελληνική αποικία της Ιταλίας, το Pozzuoli. Το προαναφερθέν μίγμα είναι υδραυλική κονία (έχει δηλαδή την ιδιότητα να πήζει και να σκληραίνει μέσα στο νερό) χωρίς όμως να διαλύεται όπως συνέβαινε με τα ασβεστοκονιάματα. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, το μίγμα αυτό θεωρείται συγγενές με το σημερινό τσιμέντο. Οι κατασκευές που φαίνεται, ότι χρησιμοποιήθηκε τέτοιο μίγμα, ήταν αυτή της υδατοστεγανής δεξαμενής χωρητικότητας 600κ.μ., που

βρίσκεται στο ναό της Αθηνάς στην αρχαία Κάμειρο στη Ρόδο, όπως επίσης και το λιμάνι του Πειραιά (Ζέα). Επιπλέον, μίγματα που αποτελούνται από ασβέστη, τριμμένη ηφαιστειακή γη και μαρμαρόσκονη χρησιμοποιήθηκαν σε κατασκευές όπως σοβάδες, επικαλύψεις με σκοπό της δημιουργία επιφάνειας για ζωγραφική ή με σκοπό να συγκολληθούν σπασμένα τεμάχια μαρμάρων. Σημαντικές πηγές για τα παραπάνω οικοδομικά υλικά αποτελούν οι αρχαίοι συγγραφείς όπως είναι ο Θεόφραστος, ο Στράβωνας και ο Vitruvius, αλλά και σύγχρονοι ερευνητές (Τάσιος, Μπαντέκα, Ευσταθιάδης, Wilski κ.α.).

2. Τριμμένα κεραμίδια ή πλίνθοι με ασβέστη κυρίως σε θαλάσσια έργα (Δειλός, Ρόδος βίλα ελληνιστικής περιόδου).
3. Άλλα οικοδομικά υλικά, όπως είναι οι τέφρες, η σιδερόσκονη, το πρωτοξείδιο του μόλυβδου.

Αργότερα (ήδη περίπου από το 300π.Χ.), οι *Ρωμαίοι* ανέπτυξαν τις γνώσεις των αρχαίων Ελλήνων όσον αφορούσε στα αερικά κονιάματα και στα υδραυλικά κονιάματα. Όπως είπαμε παραπάνω, υλικό των υδραυλικών κονιαμάτων ήταν η θηραϊκή γη (ηφαιστειακή γαία), την οποία προμηθεύονταν από το χωριό Pozzuoli (ελληνική αποικία). Εξαιτίας της προμήθειας θηραϊκής γης από το χωριό αυτό, δόθηκε το όνομά του («Ποζολάνη») τόσο στα ηφαιστειακά υλικά, όσο και σε τεχνητά οικοδομικά υλικά με τις ίδιες περίπου ιδιότητες (ορισμένες Ιπτάμενες Τέφρες, πυριτική παιπάλη κ.λπ.) που χρησιμοποιούνται και σήμερα εκτεταμένα (π.χ. Ποζολανικά τσιμέντα, ποζολανική χημική αντίδραση). Το πρώτο έργο των Ρωμαίων που κατασκευάστηκε μετην χρήση ποζολάνης είναι το αρχαίο Θέατρο Πομπηίας, το οποίο έχει χωρητικότητα 20.000 θεατών (75 π.Χ.).



Εικόνα 4: Αρχαίο Θέατρο Πομπηίας

Αργότερα κατασκευάστηκαν σημαντικά ιστορικά μνημεία, όπως είναι το Κολοσσαίο (82 μ.Χ.) και το Πάνθεον (123 μ.Χ.), καθώς και διάφορα υδραγωγεία, όπως είναι αυτό της πόλης Nimes στη Γαλλία (150 μ.Χ.).



Εικόνα 5: Κολοσσαίο, Ρώμη⁽²⁶⁾



Εικόνα 6: Πάνθεον, Ρώμη⁽²⁷⁾

Οι Ρωμαίοι, επίσης, προσέθεταν κάποιες φορές στο τότε σκυρόδεμα ορισμένα υλικά, με σκοπό την βελτίωση των ιδιοτήτων του. Η προσθήκη φυσικών ή χημικών υλικών με σκοπό της βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος είναι ο ορισμός των σημερινών πρόσθετων υλικών. Μερικά παραδείγματα πρόσθετων υλικών είναι το αίμα, του οποίου η δράση είναι παρόμοια με εκείνη των σημερινών αερακτικών προσθέτων. Ακόμη ένα πρόσθετο υλικό που χρησιμοποιούσαν και παρουσιάζει ενδιαφέρον είναι η προσθήκη τριχών αλόγου για την αύξηση της αντοχής, το οποίο έχει παρόμοιες ιδιότητες με αυτές των πλαστικών και χαλύβδινων ινών (ινοπλισμένο σκυρόδεμα) που χρησιμοποιούμε σήμερα.

Μετά τον μεσαίωνα, όπου δεν υπήρξε καμία εξέλιξη σε όλα τα επίπεδα, το 1414μ.Χ. ανακαλύφθηκαν τα χειρόγραφα του Vitruvius και με αφορμή αυτήν την ανακάλυψη οι άνθρωποι ξεκίνησαν να ερευνούν εκ νέου για το σκυρόδεμα. Έτσι λίγα χρόνια αργότερα, το 1500μ.Χ., ξεκίνησε η εκτενής χρήση του ποζολανικού κονιάματος. Η απόδειξη ότι χρησιμοποιούσαν σκυρόδεμα εκείνη την εποχή ήταν τα βάρη της Παναγίας των Παρισίων.



Εικόνα 7: Η Παναγία των Παρισίων⁽²⁸⁾

Ο Άγγλος μηχανικός John Smeaton (περίπου κατά το 1700 μ.Χ.) ίσως μπορεί να θεωρηθεί ο «πατέρας» της παρασκευής του τσιμέντου όπως χρησιμοποιείται στις μέρες μας. Του είχε ανατεθεί να κατασκευάσει έναν φάρο κοντά στο Πλίμουθ (Plymouth). Ο φάρος αυτός είχε καταρρεύσει μέχρι τότε ήδη δύο φορές, αρχικά από πυρκαγιά και στη συνέχεια από θύελλα, αφού είχε κατασκευασθεί από ξύλο. Μετά την απόπειρα κατασκευής του από ξύλο, το οικοδομικό υλικό που αποτελούσε την δεύτερη επιλογή ήταν η πέτρα, η οποία δεν ενδείκνυται για κατασκευές δίπλα στη θάλασσα, αφού το γεγονός ότι η πήξη και η σκλήρυνση των ασβεστοκονιαμάτων γίνονται με αργούς



Εικόνα 8: Φάρος στο Πλίμουθ (Plymouth)⁽⁴⁹⁾

ρυθμούς δεν επέτρεπαν το ασφαλές χτίσιμο. Έτσι, ο Smeaton έπρεπε να βρει έναν τρόπο σύνδεσης της πέτρας με ασφάλεια. Εξαιτίας αυτού, ξεκίνησε την έρευνά του σχετικά με τα ασβεστοκονιάματα, κι έτσι κατέληξε στο αποτέλεσμα, ότι ο ασβέστης που παρασκευάζεται κατόπιν ψησίματος ασβεστόλιθου με άργιλο (πυρίτιο και αργίλιο) έχει την ιδιότητα να πήζει εξίσου στον αέρα και το νερό.

Κατόπιν της έρευνας του Smeaton, ο Τζέιμς Πάρκερ (James Parker), βρετανός κληρικός και κατασκευαστής τσιμέντου, εφηύρε ένα από τα πρωτοποριακά νέα τσιμέντα του τέλους του δέκατου όγδοου αιώνα. Το 1791, του χορηγήθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας "Μέθοδος καύσης τούβλων, πλακιδίων, κιμωλίας". Το δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το έλαβε το 1796 κατοχυρώνοντας ένα φυσικό υδραυλικό τσιμέντο, το γνωστό σήμερα ως «ρωμαϊκό τσιμέντο». Πρόκειται για την ασβεστοποίηση ακάθαρτου ασβεστόλιθου, ο οποίος περιέχει άργιλο.

Παράλληλα, κατά το 1812-1813μ.Χ., στην Γαλλία ο νεαρός τότε μηχανικός Louis Vicat, κατάφερε να προσδιορίσει με ακρίβεια τις αναλογίες ποσοτήτων ασβεστόλιθου και πυριτίου που απαιτούνταν, ώστε να παραχθεί ένα μίγμα, που κατόπιν έψησής του σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και άλεσής του, δημιουργείται ένα υδραυλικό συνδετικό υλικό για βιομηχανικές εφαρμογές, το οποίο αποτελεί το γνωστό σήμερα ως τσιμέντο. Ωστόσο, ο Vicat δεν κατέθεσε αίτηση διπλώματος ευρεσιτεχνίας πριν δημοσιεύσει τα αποτελέσματα της έρευνάς του.

Η παρασκευή, όμως, τσιμέντου που αποτελεί την πιο σημαντική ίσως ανακάλυψη, αποδίδεται στον Άγγλο μηχανικό Joseph Aspdin. Το 1824, ο Joseph Aspdin κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το τσιμέντο "Portland" χρησιμοποιώντας μείγμα ασβεστόλιθου (τριμμένη κιμωλία) και αργίλου που θερμαίνονταν σε κλίβανο ασβεστοποιίας και στη συνέχεια αλέστηκαν σε σκόνη. Ονομάστηκε έτσι λόγω των ομοιοτήτων με μια φυσική οικοδομική πέτρα που βρίσκεται στο Πόρτλαντ της Αγγλίας.

Παράλληλα, όμως με το τσιμέντο, υπήρξε και η ραγδαία εξέλιξη του σκυροδέματος, οπότε και φαίνεται να λαμβάνει χώρα η έννοια του άοπλου σκυροδέματος, αφού κατασκευάστηκε με αυτό το υλικό μία γέφυρα στην Γαλλία (1816μ.Χ.).

Λίγο αργότερα ο Βρετανός μηχανικός Ralph Dodd κατοχυρώνει ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που εισάγει ράβδους από σφυρήλατο σίδηρο στο σκυρόδεμα.. Με αυτόν τον τρόπο ξεκίνησε να υφίσταται η έννοια του οπλισμού στο σκυρόδεμα. Η έννοια του

οπλισμού, φυσικά και διευρύνεται πολύ γρήγορα με την προσθήκη σιδηροδοκών στο σκυρόδεμα για την κατασκευή δαπέδων και σύρματος με σκοπό την ενίσχυση γλαστρών από σκυρόδεμα. Ο August Rerrert ήταν ο μηχανικός που κατασκεύασε στο Παρίσι την πρώτη πολυκατοικία με χρήση «συστήματος οπλισμένου σκυροδέματος» όπως το ονόμασε. Ήταν το πρώτο κτίριο, το οποίο είχε φέροντα οργανισμό με υποστυλώματα, δοκούς και πλάκες χωρίς φέρουσα τοιχοποιία.

Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε άμεση πρόοδο στα «δομικά συστήματα κατασκευής». Χρησιμοποιούνταν πλέον εξελιγμένες ποιότητες χάλυβα, συστήματα προέντασης (προεντεταμένο σκυρόδεμα), ινοπλισμοί (ινοπλισμένο σκυρόδεμα) και βελτιωτικά χημικά και φυσικά πρόσθετα υλικά. Επιπλέον, σημειώνεται σημαντική εξέλιξη στις μεθόδους παραγωγής και ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος.

Σύμφωνα με την στατιστική εταιρία Statista Global Consumer Survey: «Ο συνολικός όγκος παραγωγής τσιμέντου παγκοσμίως ανήλθε σε περίπου 4,4 δισεκατομμύρια τόνους το 2021. Το 1995, η συνολική παγκόσμια παραγωγή τσιμέντου ανερχόταν σε μόλις 1,39 δισεκατομμύρια τόνους, ένδειξη του βαθμού ανάπτυξης της οικοδομικής βιομηχανίας από τότε. Παγκοσμίως, πάνω από δέκα δισεκατομμύρια τόνοι σκυροδέματος παράγονται κάθε χρόνο.» [<https://www.statista.com/global-consumer-survey>]

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΣΙΜΕΝΤΟ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Σύμφωνα με την ομάδα που ορίστηκε από την Διοικούσα Επιτροπή (Δ.Ε.) του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) για να συντάξει τον «Οδηγό Δομικών Υλικών» που αφορά στο Τσιμέντο, το τσιμέντο είναι «μία υδραυλική συνδετική ύλη, δηλαδή ένα λεπτότατα αλεσμένο ανόργανο υλικό το οποίο, όταν αναμειχθεί με νερό, σχηματίζει ένα πολτό που πήζει και σκληραίνει δια μέσου αντιδράσεων και μηχανισμών ενυδάτωσης και το οποίο, μετά τη σκλήρυνση, διατηρεί την αντοχή και τη σταθερότητά του ακόμη και μέσα στο νερό».



Εικόνα 9: Τσιμέντο⁽²⁹⁾

Συγκεκριμένα, πρόκειται για το πλέον διαδεδομένο βιομηχανικό υλικό, το οποίο παράγεται κατά την έψηση σε ειδικούς κλιβάνους ενός μίγματος που αποτελείται από αλεσμένο ασβεστόλιθο και άργιλο, σε θερμοκρασίες οι οποίες φτάνουν έως τους 1450°C. Από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει ένα προϊόν που ονομάζεται κλίνκερ το οποίο αλέθεται σε σκόνη για να γίνει το γνωστό σε όλους μας τσιμέντο.

Η βασική και πιο σπουδαία ιδιότητα του τσιμέντου είναι το γεγονός, ότι πρόκειται για υδραυλική κονία. Αυτό σημαίνει, ότι το τσιμέντο έχει την ιδιότητα να διατηρεί τις συνδετικές του ικανότητες ακόμα και όταν έρθει σε επαφή με το νερό. Πιο συγκεκριμένα, δημιουργούνται κάτω από το νερό κρυσταλλικές ενώσεις, οι οποίες διατηρούν την συνδετική του ιδιότητα. Με σκοπό την επιβράδυνση της διαδικασίας της ενυδάτωσης και τον έλεγχο της σκλήρυνσης και της εργασιμότητας, κατά την άλεση προστίθεται μικρή ποσότητα γύψου. Το σκυρόδεμα για να παραχθεί χρειάζεται οπωσδήποτε το τσιμέντο.

Λόγω της εκτεταμένης χρήσης του, η κατανάλωση μίας χώρας σε τσιμέντο (τόνοι/κάτοικο) αποτελεί έναν από τους δείκτες της ανάπτυξης της χώρας αυτής.

2.2 ΠΡΟΤΥΠΑ – ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

2.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βάσει της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 89/106, από 01/04/01, όλα τα μέλη – κράτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης υποχρεούνται να χρησιμοποιούν τσιμέντα, τα οποία να φέρουν πιστοποίηση, να έχουν την σήμανση «CE» και να συμμορφώνονται στα ισχύοντα Ευρωπαϊκά Πρότυπα, τα οποία αναγράφονται παρακάτω:

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

και

«**EN 197-2**: Τσιμέντο Μέρος - 2 : "Αξιολόγηση συμμόρφωσης"»

Στην Ελλάδα ισχύουν τα αντίστοιχα Ελληνικά Πρότυπα τα οποία δημοσιεύθηκαν από την ΕΛΟΤ.

2.2.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

Σύμφωνα με την προαναφερθείσα Ευρωπαϊκή Οδηγία, είναι αναγκαίο το τσιμέντο να πληροί κάποιες προδιαγραφές που έχουν σχέση με τις ιδιότητές του και την ομαλή παραγωγή του. Τα παραπάνω πρότυπα περιέχουν όλα τα τσιμέντα που είναι κοινώς αποδεκτά και έχουν ευρεία χρήση στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε μία «κοινή ορολογία» με την οποία θα μπορούν όλοι όσοι χρησιμοποιούν το τσιμέντο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον, υπάρχει πολύ αυστηρή αξιολόγηση όσον αφορά στην ποιότητα του τσιμέντου που κυκλοφορεί, η οποία γίνεται με δειγματοληψία από κάποιον ανεξάρτητο αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης.

2.2.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΩΝ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ

Με σκοπό να παραχθεί τσιμέντο, είναι απαραίτητη η χρήση τόσο πρώτων υλών όσο και φυσικών υλικών που θεωρούνται υποκατάστατα, όπως είναι για παράδειγμα η ποζολάνη, η ιπτάμενη τέφρα (πυριτική ή ασβεστολιθική), η σκωρία κλπ..

Με γνώμονα τόσο τη διαθεσιμότητα των προαναφερθέντων υλικών όσο και των απαιτήσεων των εφαρμογών τους, παράχθηκαν διαφορετικοί τύποι τσιμέντων, όπως είναι

το καθαρό ή αμιγές τσιμέντο, το ποζολανικό τσιμέντο, η ιπτάμενη τέφρα, κλπ (Πίνακας 1).

Συνολικά λαμβάνουν χώρα 27 τύποι τσιμέντων, οι οποίοι δεν χρειάζεται αναγκαστικά να παράγονται και να κυκλοφορούν σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αφού κάθε τύπος έχει και την δική του ιδιαιτερότητα. Το 2011 αναθεωρήθηκε το Πρότυπο εισάγοντας 7 επιπλέον τύπους που αφορούσαν σε τσιμέντα ανθεκτικά στα θειικά.

Παρακάτω, θα βρείτε σε πινακοποιημένη μορφή τις προδιαγραφές του προτύπου EN 197-1 της γενικής μορφής των τύπων τσιμέντου:

ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΤΥΠΟΥ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ
CEM I	Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM II	Σύνθετο Τσιμέντο Πόρτλαντ
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο

Πίνακας 1: Βασικοί τύποι τσιμέντου

Για να πετύχει η παραγωγή του τσιμέντου χρησιμοποιούνται συστατικά, βάσει του προτύπου. Τα συστατικά αυτά ανάλογα με το είδος και το ποσοστό τους, είναι αυτά που καθορίζουν και τους 27 τύπους τσιμέντου. Ειδική αναφορά αυτών γίνεται στον Πίνακα 19 του [Παραρτήματος Α](#) της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Επιπλέον, βάσει του «ΕΛΟΤ EN 196-1 Μέθοδοι δοκιμών τσιμέντου - Μέρος 1 : Προσδιορισμός αντοχών», ανάλογα με την αντοχή τσιμεντοκονιάματος σε θλίψη, λαμβάνουν χώρα και προδιαγραφές 6 κατηγοριών αντοχής.

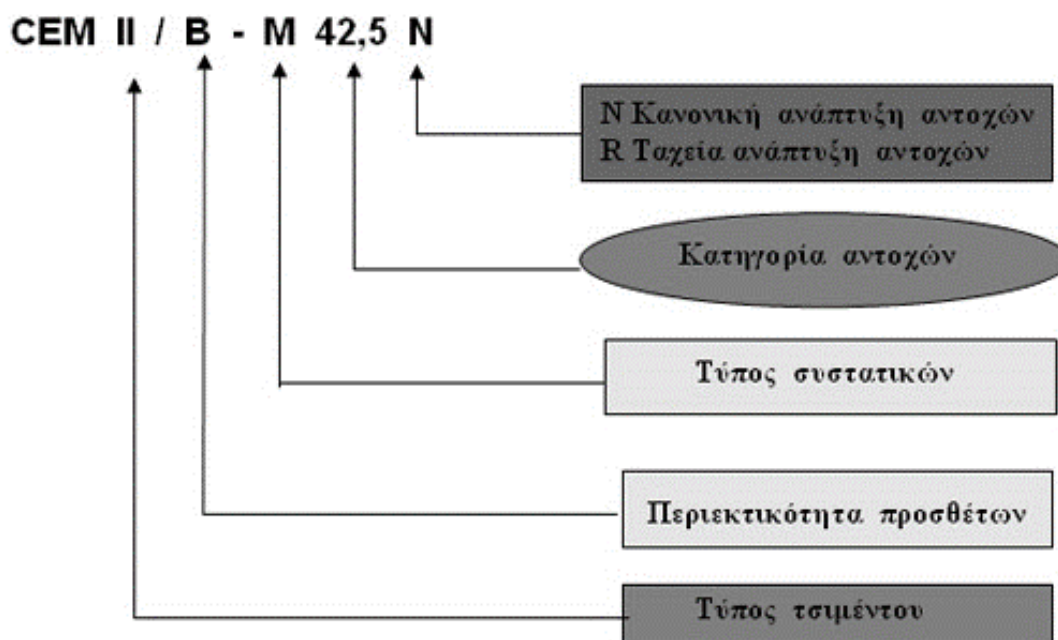
Σχετικά με τις παραπάνω κατηγορίες, για τον προσδιορισμό τους, ορίστηκε ανώτερο και κατώτερο όριο αντοχής. Αυτό που χαρακτηρίζει την κάθε κατηγορία είναι το «κατώτερο όριο αντοχής των 28 ημερών». Κάθε μία από τις προαναφερθείσες κατηγορίες αποτελείται από δύο υποκατηγορίες, οι οποίες αφορούν στον χρόνο ανάπτυξης της αντοχής. Οι υποκατηγορίες είναι η Κανονική (N) ή η Ταχεία (R). (Πίνακας 2).

Κατηγορίες Αντοχής	Αντοχή σε θλίψη ΜΡα		Αρχικός χρόνος πήξης		Διόγκωση (Διαστολή)	
	Αρχική αντοχή	Τυπική αντοχή				
	2 ημέρες	7 ημέρες	28 ημέρες		min	mm
32,5 N	-	≥ 16.0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10.0	-				
42,5 N	≥ 10.0	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20.0	-				
52,5 N	≥ 20.0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30.0	-				

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικές τιμές μηχανικών και φυσικών απαιτήσεων

Στο Πρότυπο μπορεί κανείς να βρει αναλυτικά τον τρόπο που συμμορφώνονται τα τσιμέντα σε σχέση με τα όρια αντοχών, ο οποίος είναι στατιστικός.

Οι διάφοροι τύποι τσιμέντων έχουν συγκεκριμένους συμβολισμούς, οι οποίοι καθορίστηκαν από το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1. Οι τύποι έχουν προσδιοριστεί ανάλογα με τον βασικό τύπο τσιμέντου, την ποσότητα (σε ποσοστό) του κλίνκερ, το δεύτερο κύριο συστατικό που χρησιμοποιείται, την κατηγορία αντοχής και το επίπεδο της πρώιμης αντοχής, όπως φαίνεται παραστατικά στο παρακάτω Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Ανάλυση ονομασίας τσιμέντου βάσει του ΕΛΟΤ EN 197-1 ⁽¹²⁾

ΣΑΚΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Στους σάκους των τσιμέντων που παράγονται, είναι απαραίτητο, βάσει του «Ευρωπαϊκού Κανονισμού Τσιμέντου» που εφαρμόστηκε στην Ελλάδα την 1/4/2002, να αναγράφονται ορισμένα στοιχεία για το περιεχόμενο του τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί, όπως επίσης και κανόνες ώστε να προφυλάσσεται ο χρήστης, όπως:

1. Να φέρει την σήμανση CE
2. Να αναγράφεται ο αριθμός που υποδεικνύει τον αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης
3. Να αναγράφεται η επωνυμία του παραγωγού, καθώς και του εργοστασίου στο οποίο παράχθηκε το τσιμέντο
4. Να αναγράφονται τα δύο τελευταία ψηφία του έτους κατά το οποίο τοποθετήθηκε η σήμανση στο σάκο
5. Να αναγράφεται ο αριθμός του πιστοποιητικού συμμόρφωσης της Ε.Ε.
6. Να αναφέρεται το Πρότυπο με το οποίο πραγματοποιήθηκε η παραγωγή
7. Να αναφέρεται η πλήρης ονοματολογία του τσιμέντου όπως αναφέρεται στο πρότυπο
8. Άλλες πληροφορίες που θεωρεί ο παραγωγός χρήσιμες

9. Οδηγίες προφύλαξης και σχετικές επισημάνσεις (Πίνακας 3)

Σύμβολο	Περιγραφή
Xi	Ερεθιστικό
R 36/37/38	Ερεθίζει τα μάτια, το αναπνευστικό και το δέρμα
R43	Μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό σε επαφή με το δέρμα
S 2	Μακριά από παιδιά
S 22	Μην αναπνέετε την σκόνη
R 24/25	Αποφύγετε την επαφή με δέρμα και τα μάτια
S 26	Σε περίπτωση επαφής με τα μάτια πλύνετε τα αμέσως και ζητήστε ιατρική συμβουλή
S37	Να φοράτε τα κατάλληλα γάντια

Πίνακας 3: Επισημάνσεις και οδηγίες ασφαλείας

Αν αναγράφονται όλα τα παραπάνω απαραίτητα στοιχεία, ο καταναλωτής είναι πλήρως ωφελημένος, διότι:

Όσον αφορά στην σήμανση συμμόρφωσης CE και τον αριθμό αναγνώρισης του φορέα πιστοποίησης είναι ωφέλιμο να υπάρχει, διότι ο καταναλωτής ανά πάσα στιγμή θα γνωρίζει την πιστοποίηση ποιότητας του τσιμέντου. Επιπλέον, βάσει του κανονισμού υπάρχει η υποχρέωση της σήμανσης Ποιότητας CE, ώστε να επιτρέπεται η πώληση του τσιμέντου στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Επιπλέον, όσον αφορά στην καταγραφή της επωνυμίας του εργοστασίου στο οποίο πραγματοποιήθηκε η παραγωγή του τσιμέντου, πρόκειται για απαραίτητη προϋπόθεση, ώστε ο καταναλωτής να γνωρίζει την εταιρία και την μονάδα παραγωγής του προϊόντος.

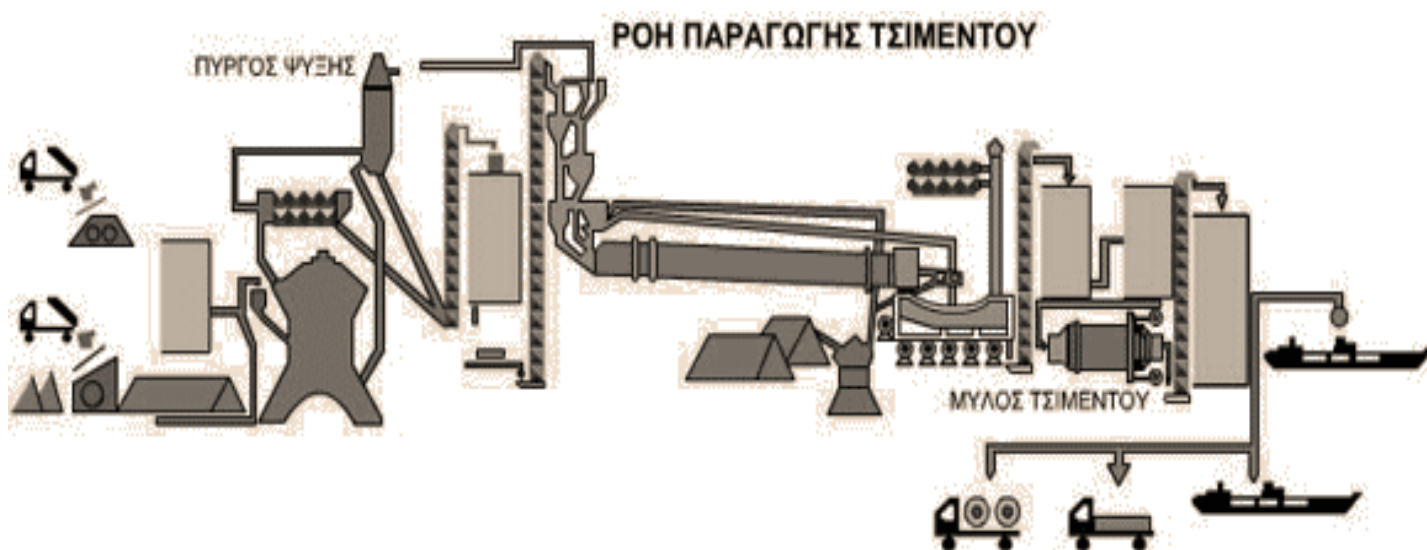
Επιπροσθέτως, με την προσθήκη των δύο τελευταίων ψηφίων του έτους κατά το οποίο τοποθετήθηκε η σήμανση στο σάκο, πλέον ο καταναλωτής γνωρίζει το έτος κατά το οποίο παράχθηκε το τσιμέντο.

Όσον αφορά στον τύπο τσιμέντου, τα τελευταία χρόνια αναφέρονται στην ονομασία όλα τα κύρια συστατικά που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του τσιμέντου και όχι μόνο

το κλίνκερ, όπως συνέβαινε μέχρι πρότινος. Με αυτόν τον τρόπο ο καταναλωτής έχει την πλήρη εικόνα σχετικά με την σύσταση του τσιμέντου αλλά και την ποιότητά του.

Τέλος, αναγράφοντας στους σάκους του τσιμέντου διάφορες επισημάνσεις και οδηγίες ασφαλείας (όπως αναλυτικά φαίνονται στον Πίνακα 3), ώστε να προφυλαχθεί ανάλογα κατά τη χρήση του.

2.3 ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



Σχήμα 2: Παραγωγική Διαδικασία Τσιμέντου ⁽¹²⁾

2.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

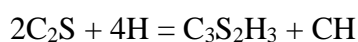
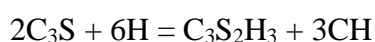
2.4.1 ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το τσιμέντο, ανήκει στην κατηγορία των υδραυλικών υλικών. Οι υδραυλικές κονίες έχουν την ιδιότητα να πήζουν και να σκληραίνουν, όταν ο διαμερισμός τους είναι λεπτόκοκκος, αφού αναμειχθούν με νερό, παράγοντας έτσι ένα στερεό προϊόν.

Το τσιμέντο αποτελείται από τέσσερις κύριες ενώσεις: πυριτικό τριασβέστιο ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), πυριτικό όξινο ασβέστιο ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), αργιλικό τριασβέστιο ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) και έναν αλουμινοφερρίτη τετρασβεστίου ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$). Σε μια συντομευμένη σημείωση που διαφέρει από τα κανονικά ατομικά σύμβολα, αυτές οι ενώσεις χαρακτηρίζονται ως C3S, C2S, C3A και C4AF, όπου το C σημαίνει οξείδιο του

ασβεστίου (άσβεστος), S για πυρίτιο, A για αλουμίνα και F για οξείδιο σιδήρου. Υπάρχουν επίσης μικρές ποσότητες μη συνδυασμένου ασβέστη και μαγνησίου, μαζί με αλκάλια και μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων.

Τα πιο σημαντικά υδραυλικά συστατικά είναι τα πυριτικά ασβέστιο, C2S και C3S. Κατά την ανάμιξη με νερό, τα πυριτικά ασβέστιο αντιδρούν με μόρια νερού για να σχηματίσουν ένυδρο πυριτικό ασβέστιο ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) και υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$). Σε αυτές τις ενώσεις δίνονται οι συντομογραφικοί συμβολισμοί C-S-H (που αντιπροσωπεύονται από τον μέσο τύπο $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$) και CH, και η αντίδραση ενυδάτωσης μπορεί να αναπαρασταθεί χονδρικά από τις ακόλουθες αντιδράσεις:



Το υδροξείδιο του ασβεστίου $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ευθύνεται για την αλκαλικότητα του πολτού ($\text{pH}=12,5$) και κατά συνέπεια την προστασία που αυτή προσφέρει στον σιδηροπλισμό του σκυροδέματος. Το πυριτικό τριασβέστιο προσδίδει στο τσιμέντο πρώιμες και μακροχρόνιες αντοχές.



Εικόνα 10: Πυριτικό τριασβέστιο - C3S⁽³¹⁾

Κατά το αρχικό στάδιο της ενυδάτωσης, οι μητρικές ενώσεις διαλύονται και η διάλυση των χημικών τους δεσμών δημιουργεί σημαντική ποσότητα θερμότητας. Τότε, για λόγους που δεν είναι πλήρως κατανοητοί, η ενυδάτωση σταματά. Αυτή η περίοδος ηρεμίας ή αδράνειας είναι εξαιρετικά σημαντική για την τοποθέτηση του σκυροδέματος, χωρίς αυτήν την περίοδο δεν θα υπήρχαν τσιμεντοφόρα. Η έκχυση θα πρέπει να γίνει αμέσως μετά την ανάμιξη. Μετά την περίοδο αδράνειας (η οποία μπορεί να διαρκέσει αρκετές

ώρες), το τσιμέντο αρχίζει να σκληραίνει, καθώς παράγονται CH και C–S–H. Αυτό είναι το τσιμεντοειδές υλικό που ενώνει το τσιμέντο και το σκυρόδεμα μεταξύ τους. Καθώς προχωρά η ενυδάτωση, το νερό και το τσιμέντο καταναλώνονται συνεχώς. Ευτυχώς, τα προϊόντα C–S–H και CH καταλαμβάνουν σχεδόν τον ίδιο όγκο με το αρχικό τσιμέντο και νερό. Ο όγκος διατηρείται περίπου και η συρρίκνωση είναι διαχειρίσιμη. Αν και οι παραπάνω τύποι αντιμετωπίζουν το C–S–H ως μια συγκεκριμένη στοιχειομετρία, με τον τύπο C3S2H3, δεν σχηματίζει καθόλου μια διατεταγμένη δομή ομοιόμορφης σύνθεσης. Το C–S–H είναι στην πραγματικότητα μια άμορφη γέλη (στα Αγγλικά gel, ημίρρευστη μάζα) με εξαιρετικά μεταβλητή στοιχειομετρία. Η αναλογία C προς S, για παράδειγμα, μπορεί να κυμαίνεται από 1:1 έως 2:1, ανάλογα με το σχεδιασμό του μείγματος και τις συνθήκες σκλήρυνσης.

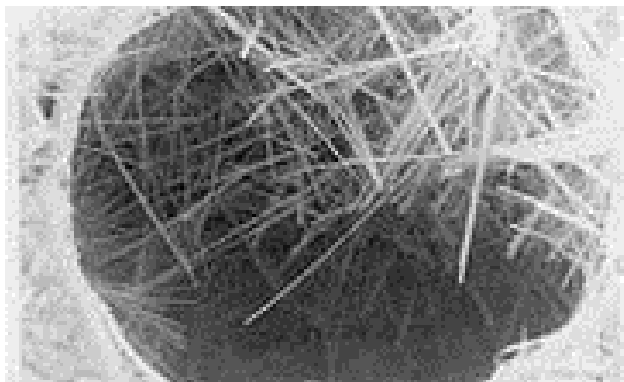
Η αντοχή που αναπτύσσεται από το τσιμέντο εξαρτάται από τη σύνθεσή του και τη λεπτότητα στην οποία αλέθεται. Το C3S είναι κυρίως υπεύθυνο για την αντοχή που αναπτύσσεται την πρώτη εβδομάδα σκλήρυνσης και το C2S για την επακόλουθη αύξηση της αντοχής. Οι ενώσεις αλουμίνας και σιδήρου που υπάρχουν μόνο σε μικρότερες ποσότητες συμβάλλουν ελάχιστα άμεσα στην αντοχή.



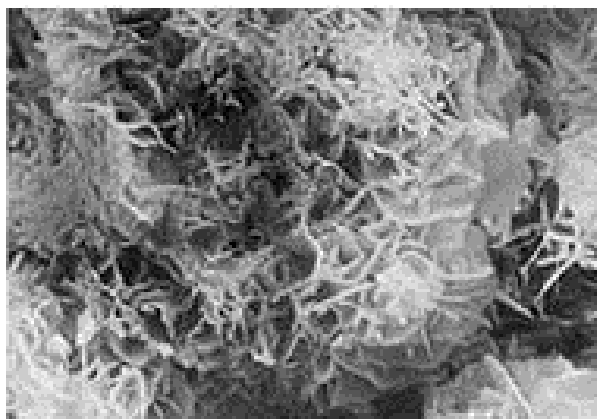
Εικόνα 11: Πυριτικό διασβέστιο – C2S⁽³¹⁾

Το σκληρό τσιμέντο και το σκυρόδεμα μπορεί να υποστούν αλλοίωση από προσβολή από κάποιους φυσικούς ή τεχνητούς χημικούς παράγοντες. Η ένωση αλουμίνας είναι η πιο ευάλωτη σε χημική επίθεση σε εδάφη που περιέχουν θειικά άλατα ή στο θαλασινό νερό, ενώ η ένωση σιδήρου και τα δύο πυριτικά ασβέστιο είναι πιο ανθεκτικά. Το υδροξείδιο του ασβεστίου που απελευθερώνεται κατά την ενυδάτωση των πυριτικών αλάτων του ασβεστίου είναι επίσης ευάλωτο σε προσβολή. Επειδή το τσιμέντο απελευθερώνει θερμότητα όταν ενυδατώνεται, το σκυρόδεμα που τοποθετείται σε μεγάλες μάζες, όπως στα φράγματα, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της μάζας έως και 40 °C (70 °F) πάνω από την εξωτερική θερμοκρασία. Η επακόλουθη ψύξη

μπορεί να είναι αιτία ρωγμών. Η υψηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης εμφανίζεται από το C3A, ακολουθούμενο με φθίνουσα σειρά από τα C3S, C4AF και C2S.



Εικόνα 12: Αργλικό τριασβέστιο - C3A⁽³¹⁾



Εικόνα 13: Αργιλοσιδηρικό τετρασβέστιο⁽³¹⁾

Γενικότερα, η εξέλιξη της ενυδάτωσης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Παρακάτω αναφέρονται οι πιο σημαντικοί:

1. *Η ηλικία:* Δηλαδή το πόσο γρήγορα γίνεται η ενυδάτωση. Στα πρώτα στάδια η ενυδάτωση είναι η μέγιστη, ενώ με τον χρόνο μειώνεται μέχρι να σταματήσει.
2. *Η σύσταση του τσιμέντου:* Συγκεκριμένα, σε τσιμέντα που είναι πλούσια σε C3S και C3A η ενυδάτωση αρχικά είναι πιο γρήγορη, ενώ σταδιακά η ταχύτητα είναι σταθερή.
3. *Η λεπτότητα:* Ο τελικός βαθμός ενυδάτωσης δεν επηρεάζεται, αλλά στην αρχή όσο αυξάνεται η λεπτότητα αυξάνεται και η ενυδάτωση.

4. *Λόγος Νερού/Τσιμέντο*: Στην προκειμένη περίπτωση συμβαίνει το αντίθετο με την λεπτότητα. Ενώ αρχικά ο βαθμός ενυδάτωσης δεν επηρεάζεται, αργότερα όσο μειώνεται ο λόγος τόσο μειώνεται και η ενυδάτωση.
5. *Θερμοκρασία*: Συμβαίνει το ίδιο με την λεπτότητα.
6. *Πρόσθετα υλικά*: Ανάλογα το πρόσθετο υλικό που θα χρησιμοποιήσουμε είτε αυξάνεται είτε μειώνεται η ενυδάτωση.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

3.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Το σκυρόδεμα είναι ένα τεχνητό οικοδομικό υλικό με ευρύτατες και συνεχώς βελτιούμενες ιδιότητες. Τα βασικά συστατικά του σκυροδέματος είναι τσιμέντο σε σκόνη, νερό, άμμο και σκύρα, φυσικής ή τεχνητής προέλευσης, τα οποία σε ελεγχόμενες αναλογίες αποτελούν την βάση του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται ευρέως και συχνότερα. Η σύστασή του στο αρχικό στάδιο είναι ρευστή η οποία με την πάροδο του χρόνου, κατόπιν εξωθερμικών χημικών διεργασιών, στερεοποιείται και κατά συνέπεια αποκτά οριακή αντοχή (ή αλλιώς φέρουσα ικανότητα). Για την βελτίωση και τον έλεγχο των ιδιοτήτων του σκυροδέματος στον χρόνο (αρχική ανάμιξη, διακίνηση, διάστρωση, συντήρηση και μακροχρόνια ανθεκτικότητα), χρησιμοποιούνται στο μείγμα χημικά πρόσθετα. Εξαιτίας της ανθεκτικότητάς του στις διάφορες κλιματολογικές συνθήκες, αλλά και εξαιτίας του γεγονότος ότι είναι αρκετά οικονομικό, το σκυρόδεμα αποτελεί το πλέον διαδεδομένο οικοδομικό τεχνητό υλικό παγκοσμίως. Εξαιτίας του γεγονότος, ότι το σκυρόδεμα είναι το πλέον διαδεδομένο δομικό υλικό στον κόσμο, η κατανάλωση σε σκυρόδεμα μίας χώρας (σε κυβικά μέτρα ανά κάτοικο) δείχνει την ανάπτυξη της χώρας αυτής, όπως ακριβώς συμβαίνει και με το τσιμέντο όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Η παγκόσμια, ραγδαία διάδοση του σκυροδέματος οφείλεται στις παρακάτω βασικές του ιδιότητες:

- Η ικανότητά του να αντέχει κάτω από το νερό (υδραυλική ιδιότητα) που δεν έχουν άλλα δομικά υλικά, όπως είναι το ξύλο και το μέταλλο.
- Η δυνατότητα ευκολίας στην μεταφορά, την διακίνηση και την διάστρωσή του εξαιτίας των θιξοτροπικών του ιδιοτήτων του σε νεαρή ηλικία, όπως επίσης και η ευκολία διαμόρφωσής του.
- Πρόκειται για φθινό και ευέλικτο υλικό. Μπορεί κανείς να παράγει και να διαμορφώσει επί τόπου υπό οποιεσδήποτε συνθήκες και περιβάλλοντα.
- Έχει μεγάλη θερμική αδράνεια και είναι πυράντοχο.

- Εξαιτίας της σχετικά χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης κατά την παραγωγή του έχει σχετικά μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση.
- Χαρακτηρίζεται από την υψηλή του αντοχή σε θλίψη, σε αντίθεση με την αντοχή του σε εφελκυσμό και διάτμηση που είναι αρκετά χαμηλή, το οποίο αποτελεί το μοναδικό του ίσως μειονέκτημα. Για τον λόγο αυτόν οπλίζουμε το σκυρόδεμα με υλικά, τα οποία έχουν μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό, ώστε να καλύψουν αυτήν την αδυναμία του σκυροδέματος, αλλά για να μπορούν να συνεργαστούν με το σκυρόδεμα όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία θα πρέπει να έχουν και παρόμοιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Το υλικό που πληροί όλες τις παραπάνω προϋποθέσεις είναι ο χάλυβος, ο οποίος είναι και το συνηθέστερο υλικό που χρησιμοποιείται για τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Το σκυρόδεμα έχει ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη, παρόλο που πρόκειται για οικονομικό υλικό, ως ένα ποιοτικό υλικό υψηλής επιτελεστικότητας. Πρόκειται για ένα υλικό, το οποίο γνωρίζει συνεχώς βελτιούμενες ιδιότητες και εφαρμογές για οικονομικότερη και με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Επιπλέον, αποτελεί ένα βιομηχανικό υλικό με σημαντική κοινωνική προσφορά, αφού συμβάλλει στη μείωση της περιβαλλοντικής ρύπανσης άμεσα και έμμεσα, αλλά και στην προστασία και



Εικόνα 14: Σκυρόδεμα⁽⁵⁰⁾

βελτίωση της ποιότητας ζωής του κοινωνικού συνόλου.

Η ευρεία χρήση του σκυροδέματος είχε ως αποτέλεσμα την ανάγκη της δημιουργίας διαφορετικών ειδών, της οποίας η ταξινόμηση αποτέλεσε μια περίπλοκη

διαδικασία, η οποία καταγράφεται λεπτομερώς στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 197-1 “Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα”.

ΕΙΔΟΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Σκυρόδεμα	Υλικό που προκύπτει από την ανάμειξη τσιμέντου, αδρανών, νερού, με ή χωρίς την προσθήκη πρόσθετων- πρόσμικτων και αναπτύσσει τις ιδιότητες του μέσω της ενυδάτωσης του τσιμέντου
Ελαφροσκυροδέματα	Σκυρόδεμα πυκνότητας $800\text{kg/m}^3 < \rho < 2000\text{kg/m}^3$
Νωπό Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα που έχει πλήρως αναμειχθεί και είναι δυνατόν να συμπυκνωθεί επιλέγοντας την κατάλληλη μέθοδο
Συμβατικό σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα πυκνότητας $800\text{kg/m}^3 < \rho < 2000\text{kg/m}^3$
Σκληρυμένο Σκυρόδεμα	Σκυρόδεμα το οποίο βρίσκεται σε στερεή κατάσταση και έχει αναπτύξει μετρήσιμη αντοχή
Σκυρόδεμα με μεγάλο ειδικό βάρος	Σκυρόδεμα πυκνότητας $\rho > 2600\text{kg/m}^3$

Πίνακας 4: Είδη σκυροδέματος

3.2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ

3.2.1 ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

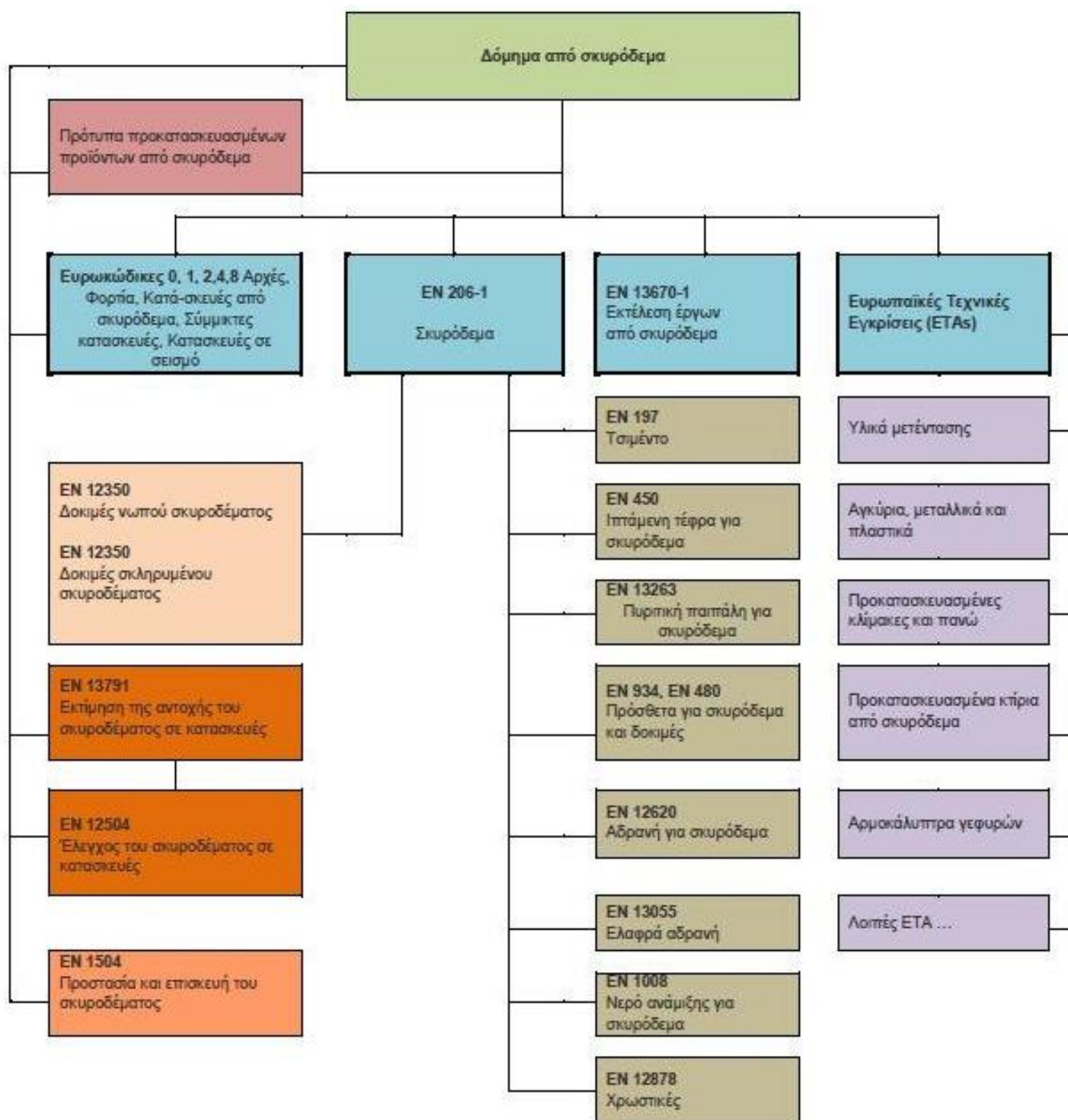
Το πρότυπο, στο οποίο συμμορφώνονται οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι το «EN 206 Σκυρόδεμα: Προδιαγραφή, Επιτελεστικότητα, Παραγωγή και Συμμόρφωση (Concrete: Specification, performance, production and conformity)». Το συγκεκριμένο

πρότυπο καθορίστηκε αρχικά από την από 21/12/88 Ευρωπαϊκή Οδηγία για τα Δομικά Προϊόντα 89/106 (ΠΔ 334/94) (Construction Products Directive CPD) και πλέον καθορίζεται και από τον Ευρωπαϊκό Κανονισμό Δομικών Προϊόντων 305/2011 (Construction Products Regulation CPR), ο οποίος απαιτεί τα προϊόντα που θα χρησιμοποιηθούν στο σκυρόδεμα να φέρουν τη σήμανση CE. Τα πρότυπα, τα οποία προσδιορίζουν τις προδιαγραφές των προϊόντων του σκυροδέματος αναγράφονται παρακάτω:

1. Για το τσιμέντο (σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 197-1-2011)
2. Για τα αδρανή για το σκυρόδεμα (σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 12620-2002)
3. Για τα πρόσθετα σκυροδέματος (σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 934-2-2001 και / Α1-2005)

3.2.2 ΚΑΝΟΝΙΣΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Παρακάτω απεικονίζεται το πλαίσιο των Προτύπων και Κανονισμών για το σκυρόδεμα:



Σχήμα 3: Πλαίσιο Προτύπων και Κανονισμών του CEN για τα έργα από σκυρόδεμα ⁽¹²⁾

Στην Ελλάδα ο Κανονισμός που ισχύει και ακολουθείται για την παραγωγή σκυροδέματος και την κατασκευή έργων από σκυρόδεμα είναι ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '16) ΦΕΚ 1561B / 02-06-2016. Πριν από αυτόν ίσχυαν οι Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος και Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ-97), Β.Δ./1954.

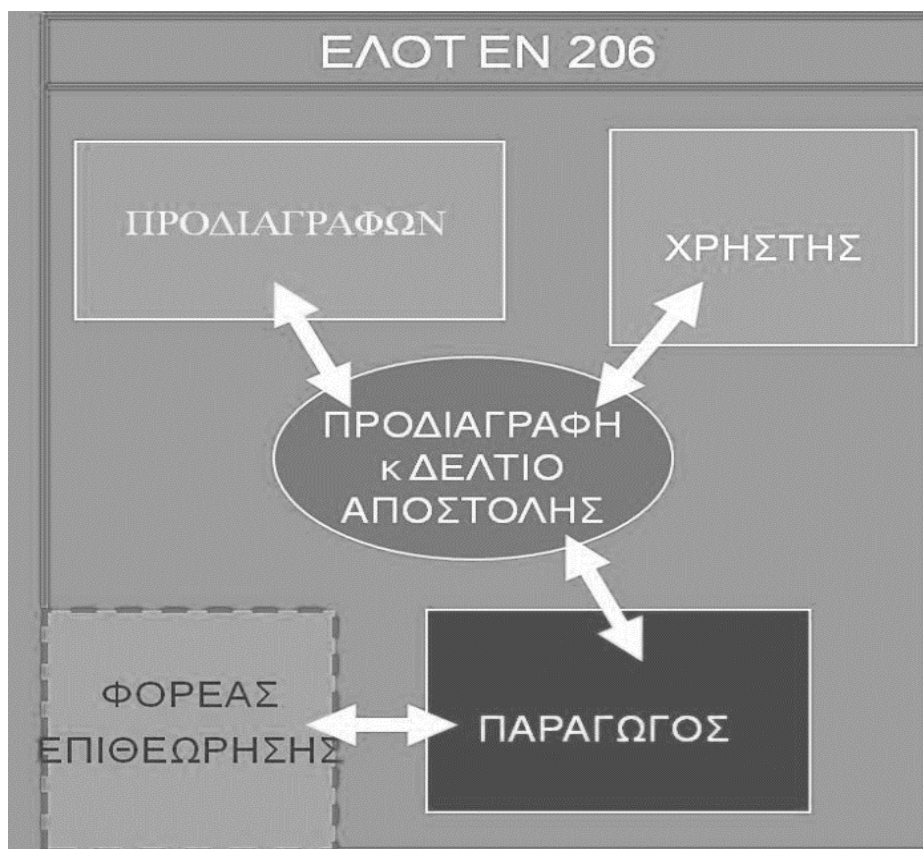
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Το αντικείμενο του Ευρωπαϊκού Προτύπου για το Σκυρόδεμα EN 206 είναι ο προσδιορισμός του σκυροδέματος όσον αφορά στο χαρακτηρισμό, στις ιδιότητές του κατά τη νωπή και σκληρυμένη του φάση, στη διακίνησή του, στην παραγωγή του, καθώς και στην πιστοποίηση και τον έλεγχο ποιότητάς του. Το Πρότυπο επιπλέον, ορίζει τις ιδιότητες του σκυροδέματος μέσα από τον σχεδιασμό του, ώστε να είναι ανθεκτικό σε οποιαδήποτε περιβαλλοντική έκθεση αυτού, όπως ορίζει και το Ευρωκώδικας 2 (EN 1992-1).

Στην Ελλάδα το Πρότυπο έχει εγκριθεί από τον ΕΛΟΤ και η πλήρης ονομασία του είναι ΕΛΟΤ EN 206-1, στο οποίο δεν συμπεριλαμβάνονται ειδικά σκυροδέματα, όπως είναι το εκτοξευόμενο, αφροσκυρόδεμα και σκυρόδεμα ογκωδών έργων.

Τα παραπάνω καθορίζονται αναλυτικά από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '16) και η εισαγωγή του παραπάνω Προτύπου είναι αυτή που διαχωρίζει την παραγωγή / διακίνηση / έλεγχο από την εκτέλεση του έργου και καθορίζει ορισμένες Κατηγορίες Περιβαλλοντικής Έκθεσης.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ - ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΕΛΟΤ EN 206



Σχήμα 4: Συμβαλλόμενοι κατά την εφαρμογή του σκυροδέματος στα έργα κατά EN 206 ⁽¹²⁾

Το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 206 ασχολείται με το σκυρόδεμα εξ ολοκλήρου (από την παραγωγή ως την παράδοση αυτού. Ορίζει τις αρμοδιότητες όσων συμβάλλουν σε αυτό, όπως φαίνεται και το Σχήμα 4. Τέλος, το πρότυπο συνεργάζεται απόλυτα με όλα τα πρότυπα που το επηρεάζουν, τους κανονισμούς και τους Ευρωκώδικες που ορίζουν τον σχεδιασμό.

Η ποιότητα του σκυροδέματος πιστοποιείται στο αυστηρότερο επίπεδο αξιολόγησης συμμόρφωσης, με εξωτερική δειγματοληψία, από ανεξάρτητο αναγνωρισμένο φορέα πιστοποίησης. Για λόγους συντήρησης της τρέχουσας πρακτικής, υιοθετείται και το σκυρόδεμα χωρίς Πιστοποίηση ελέγχου παραγωγής, με κριτήρια ποιοτικού ελέγχου αντούσια με αυτά που ισχύουν μέχρι τώρα κατά ΚΤΣ '16.

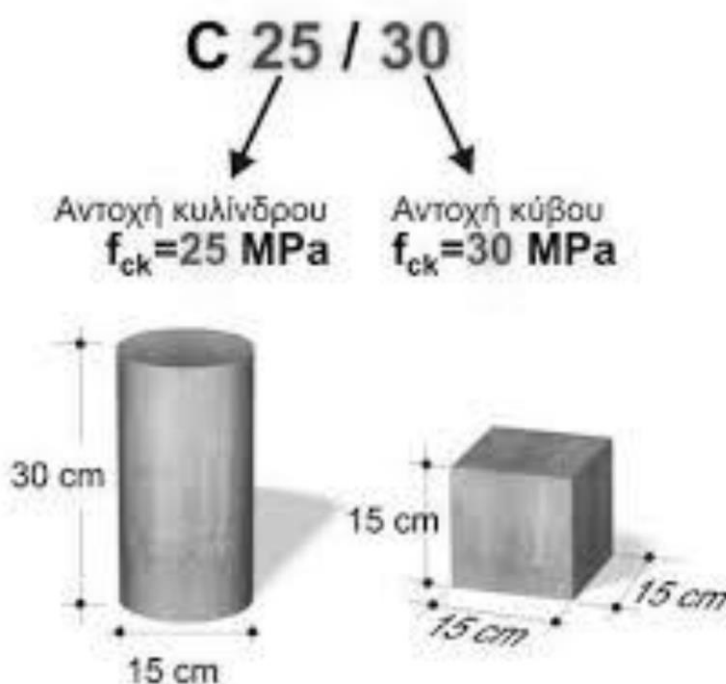
3.2.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Κατά την μελέτη και την κατασκευή έργων χρησιμοποιούνται (κατ' εφαρμογή των σύγχρονων Κανονισμών) συγκεκριμένες κατηγορίες σκυροδέματος, ανάλογες με τις ανάγκες του εκάστοτε έργου, οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 5. Το κριτήριο

σύμφωνα με το οποίο καθορίζονται οι κατηγορίες του σκυροδέματος είναι η χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή. Παράδειγμα αν η κατηγορία είναι C25/30, ο πρώτος αριθμός, δηλαδή το 25, ορίζει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου, δηλαδή $f_{ck}=25\text{MPa}$ και ο δεύτερος αριθμός, στην περίπτωση μας το 30, αφορά στην χαρακτηριστική αντοχή κύβου, δηλαδή $f_{ck}=30\text{MPa}$. Τα κυλινδρικά δοκίμια χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της εφελκυστικής αντοχής σκυροδέματος ενώ τα κυβικά δοκίμια για τον έλεγχο της θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος.

Κατηγορία αντοχής σε θλίψη	Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου	Χαρακτηριστική αντοχή κυβικού δοκιμίου
C8/10	8	10
C12/10	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60

Πίνακας 5: Κατηγορίες δοκιμών και επιμέρους χαρακτηριστικά

Εικόνα 15: Παράδειγμα χαρακτηριστικής αντοχής κύβου & κυλίνδρου για σκυρόδεμα C25/30⁽⁵¹⁾Κατηγορίες για το νωπό σκυρόδεμα

Οι κατηγορίες του νωπού σκυροδέματος ταξινομούνται σύμφωνα με τα παρακάτω:

- ✓ Τη συνεκτικότητα, που είναι η φυσική ιδιότητα του σκυροδέματος που καθορίζει τη συνοχή του νωπού μείγματος των επί μέρους υλικών. Η συνεκτικότητα σχετίζεται έμμεσα με τις μετρήσεις εργασιμότητας. Η εργασιμότητα αφορά το έργο που απαιτείται για τη μεταφορά, διάστρωση και συμπύκνωση του υλικού και εκτιμάται έμμεσα με τις αριθμητικές ενδείξεις που δίνουν οι σχετικές τυποποιημένες δοκιμές κάθισης, δονητικής τράπεζας, εξάπλωσης, οι οποίες περιέχονται στο Πρότυπο (πρόσθετες πρότυπες δοκιμές καθορίζονται για το αυτοσυμπυκνούμενο σκυρόδεμα),

είτε

- ✓ Την ονομαστική διάσταση του μέγιστου κόκκου αδρανούς στο σκυρόδεμα D_{max} όπως αυτή καθορίζεται στο EN 12620.

Κατηγορίες για το σκληρυμένο σκυρόδεμα

Το Πρότυπο EN 206 προσδιορίζει και ταξινομεί το σκυρόδεμα: α) ανάλογα με τη συμβατική αντοχή σε θλίψη, δηλαδή την αντοχή κάτω από την οποία με όριο το 5% ενός πληθυσμού δοκιμών ελέγχου σε θλίψη ενός όγκου από σκυρόδεμα, αναμένεται να πέσει, β) την αντοχή σε κάμψη, γ) το μέτρο ελαστικότητας και δ) την πυκνότητα του υλικού (σκυρόδεμα κανονικού βάρους, ελαφρό και βαρύ σκυρόδεμα). Σχετικά με την αντοχή, καθορίζονται οι εξής κατηγορίες αντοχής σύμφωνα με την θλιπτική αντοχή κυλινδρικών και κυβικών δοκιμών (χαρακτηριστική αντοχή σε 28 ημέρες) σύμφωνα με τον Πίνακα 6 παρακάτω (C Αντοχή κυλίνδρου [MPa]/Αντοχή κύβου [MPa]):

Κατηγορία αντοχής	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου N/mm ²	Ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κύβου N/mm ²
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C26/32	26	32
C28/35	28	35
C30/37	30	37
C32/40	32	40
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Πίνακας 6: Κατηγορίες αντοχής και αντίστοιχη ελάχιστη χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου/κύβου για το σκυρόδεμα (οι σκιασμένες αφορούν το Εθνικό Προσάρτημα)⁽¹²⁾

Σύμφωνα με τις προβλέψεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος, η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος μετράται σε διάστημα 28 ημερών για κυλινδρικά (f_{ck}) ή κυβικά ($f_{ck,cube}$) δοκίμια. Ως χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου ορίζεται μια συγκεκριμένη τιμή αντοχής, στην περίπτωση που υπάρχει 5% πιθανότητα η τιμή αντοχής ενός τυχαίου δοκιμίου να κυμαίνεται σε τιμή μικρότερη αυτής (της χαρακτηριστικής).

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

4.1 Μελέτη Συνθέσεως σκυροδέματος

Το πρώτο στάδιο που απαιτείται είναι να ακολουθείται συγκεκριμένη μέθοδος με σκοπό την μελέτη και κατόπιν την παρασκευή του σκυροδέματος. Θα πρέπει το σκυρόδεμα να είναι ομογενοποιημένο και η εργασιμότητά του να είναι κατάλληλη ώστε να μπορεί να γίνει σωστά η διάστρωση και η συμπύκνωσή του σύμφωνα με τα μέσα που διαθέτουμε. Κάθε έργο έχει διαφορετικές προδιαγραφές και σύμφωνα με αυτές θα πρέπει να μελετηθεί αναλόγως το σκυρόδεμα και κατόπιν να παρασκευαστεί. Με την Μελέτη Σύνθεσης του σκυροδέματος καθορίζονται οι κατάλληλες αναλογίες των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν και έχει καταστεί υποχρεωτική για οποιονδήποτε τύπο σκυροδέματος. Επιπλέον, προηγείται όλων των υπολοίπων διαδικασιών για την παραγωγή του σκυροδέματος και σε περίπτωση οποιασδήποτε αλλαγής επηρεάζει άμεσα το σκυρόδεμα, είναι απαραίτητη η επανάληψη της μελέτης.

4.2 Κύριες ιδιότητες του νωπού σκυροδέματος

Το νωπό σκυρόδεμα ονομάζεται το σκυρόδεμα στο αρχικό στάδιο, δηλαδή κατά την ανάμειξη των πρώτων υλών του. Παρακάτω, αναλύονται οι κύριες ιδιότητες του σκυροδέματος:

4.2.1 Εξίδρωση

Το φαινόμενο γνωστό ως εξίδρωση σκυροδέματος (στα αγγλικά ο όρος είναι γνωστός ως Sweating Slab Syndrome – SSS) προκύπτει από την ανάδυση του νερού στην επιφάνεια του νωπού σκυροδέματος, εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας του σκυροδέματος σε σχέση με αυτήν του περιβάλλοντος. Όταν ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος ταυτιστεί με την θερμοκρασία του σκυροδέματος σχηματίζεται συμπύκνωση στο σκυρόδεμα με αποτέλεσμα να εμφανίζονται σταγονίδια νερού στην επιφάνειά του. Επειδή το νερό αυτό εξατμίζεται, συμπεραίνουμε ότι η εξίδρωση ορίζει και τον τελικό όγκο του νωπού σκυροδέματος. Αν το νερό κατά την ανάμειξη των υλικών για την παραγωγή νωπού σκυροδέματος είναι περισσότερο από το προβλεπόμενο ή αν τα λεπτόκοκκα υλικά είναι λιγότερα, τότε έχουμε το φαινόμενο της εξίδρωσης.

4.2.2 Απόμιξη

Απόμιξη είναι ο διαχωρισμός της πάστας τσιμέντου και των αδρανών σκυροδέματος μεταξύ τους κατά το χειρισμό και την τοποθέτηση. Ο διαχωρισμός συμβαίνει επίσης λόγω υπερβολικής δόνησης ή συμπίεσης του σκυροδέματος, κατά την οποία ο τσιμεντοπολτός έρχεται στην κορυφή και τα αδρανή κατακάθονται στον πυθμένα. Ο διαχωρισμός του σκυροδέματος επηρεάζει την αντοχή και την ανθεκτικότητα στις κατασκευές. Σε ένα καλό σκυρόδεμα, όλα τα αδρανή σκυροδέματος επικαλύπτονται ομοιόμορφα με άμμο και πάστα τσιμέντου και σχηματίζουν μια ομοιογενή μάζα. Κατά τον χειρισμό, τη μεταφορά και την τοποθέτηση, λόγω κραδασμών η πάστα του τσιμέντου και της άμμου διαχωρίζεται από τα χονδρόκοκκα αδρανή. Εάν το σκυρόδεμα διαχωρίζεται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, θα πρέπει να αναμιχθεί σωστά πριν από την εναπόθεση. Ωστόσο, δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σκυρόδεμα όπου ο χρόνος αρχικής πήξης έχει τελειώσει.

4.2.3 Εργασιμότητα (workability)

Η εργασιμότητα του σκυροδέματος είναι ένας ευρύς και υποκειμενικός όρος που περιγράφει πόσο εύκολα το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να αναμιχθεί, να τοποθετηθεί, να στερεοποιηθεί και να τελειώσει με ελάχιστη απώλεια ομοιογένειας. Η εργασιμότητα είναι μια ιδιότητα που επηρεάζει άμεσα την αντοχή, την ποιότητα, την εμφάνιση, ακόμη και το κόστος που αφορούν σε εργασίες τοποθέτησης και φινιρίσματος. Μία «καλή» εργασιμότητα σημαίνει διαφορετικά πράγματα για διαφορετικούς ανθρώπους. Ο πολιτικός μηχανικός θέλει μεγαλύτερη αντοχή και καλή σύνδεση με τον χάλυβα οπλισμού. Ο αρχιτέκτονας ανησυχεί για την αισθητική εμφάνιση. Η φέρουσα ικανότητα είναι ελκυστική για τον ιδιοκτήτη επειδή επιτρέπει μικρότερες διατομές δομικών στοιχείων και επομένως περισσότερο χρησιμοποιήσιμο χώρο δαπέδου. Ένας εργάτης χρειάζεται ένα μείγμα που μπορεί να μετακινηθεί, να τοποθετηθεί και να ενοποιηθεί αποτελεσματικά, και ένας εργάτης ψάχνει για κάτι που απαιτεί ένα ανθεκτικό, υψηλής ποιότητας φινίρισμα γρήγορα και εύκολα. Ένα μείγμα σκυροδέματος με καλή εργασιμότητα συνδυάζει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σε ισορροπία και οδηγεί σε ένα ποιοτικό προϊόν με μεγάλη διάρκεια ζωής. Η εργασιμότητα είναι απαραίτητο να ελέγχεται πριν από την διάστρωση και μετά από την εκφόρτωση σύμφωνα με τον Κανονισμό Τεχνολογίας σκυροδέματος. Οι αναλογίες και τα χαρακτηριστικά των υλικών και οι ιδιότητες των προσμιγμάτων έχουν όλα αντίκτυπο στην εργασιμότητα. Οι

παράγοντες που επηρεάζουν την εργασιμότητα είναι η αναλογία νερού/τσιμέντου, το μέγεθος και το σχήμα των αδρανών, τα πρόσθετα υλικά. Το εργάσιμο αυξάνεται όσο αυξάνεται το νερό αναμίξεως, δηλαδή η ρευστότητα του μείγματος. Η ποσότητα του νερού αναμίξεως επηρεάζει τη ρευστότητα του μείγματος περισσότερο από το λόγο νερού προς τσιμέντο..

4.2.3.1 Τρόπος μέτρηση της εργασιμότητας

Δεν είναι εφικτή η επί τόπου μέτρηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος, επομένως εφαρμόζονται μέθοδοι κατά τις οποίες προκύπτουν μετρήσεις οι οποίες μας βοηθούν να αποκτήσουμε μία όσο το δυνατόν πιο κοντινή εικόνα για τον βαθμό της εργασιμότητας του σκυροδέματος.

Η πιο δημοφιλής μέθοδος μέτρησης της εργασιμότητας - για την οποία έχει ειπωθεί ότι χρησιμοποιείται υπερβολικά - είναι η δοκιμή κάθισης (Slump), η οποία εισήχθη το 1918 από τον Duff Abrams - έναν παραγωγικό Αμερικανό πολιτικό μηχανικό και ερευνητή σκυροδέματος - ως μέρος της εργασίας του που ορίζει τις επιπτώσεις της αναλογίας νερού/τσιμέντου στην αντοχή του σκυροδέματος. Η δοκιμή πραγματοποιείται με τον κώνο κάθισης, που αρχικά ονομαζόταν κώνος Abrams, και παρέχει μια ποιοτική μέτρηση της εργασιμότητας, αλλά όχι μια άμεση ένδειξη της αναλογίας νερού/τσιμέντου.

Δοκιμή κάθισης (Slump Cone)

Η δοκιμή κάθισης καθορίζεται από το Πρότυπο του ΕΛΟΤ 521/1981. Το δείγμα του νωπού σκυροδέματος για την δοκιμή είναι απαραίτητο να λαμβάνεται βάσει της προδιαγραφής του ΕΛΟΤ 516 και επιβάλλεται να είναι αντιπροσωπευτικό της παρτίδας. Ο χρόνος ελέγχου του δείγματος απαιτείται να μην ξεπερνάει τα 5 λεπτά από την ώρα της δειγματοληψίας.

Εξοπλισμός για την δοκιμή κάθισης:

Τα σετ δοκιμών κάθισης προσφέρουν ευκολία και διαβεβαίωση ότι η δοκιμή μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα σύμφωνα με τα προβλεπόμενα των Προτύπων (Πρότυπο EN 12350-2, ΕΛΟΤ -521, ASTM C143-78).

Τα τυπικά σετ περιλαμβάνουν έναν μεταλλικό κώλουρο κώνο κάθισης, συνήθως με κορυφή διαμέτρου 100 mm και ύψος 300 mm, βάση διαμέτρου 200 mm και ράβδο συμπίκνωσης με κυκλική διατομή διαμέτρου 16mm και μήκους 600mm. Τα πολυτελή

σεται περιλαμβάνουν επιπλέον σέσουλα πλάτους 100mm, χωνί, μεζούρα και βούρτσα καθαρισμού.

Ένας κώνος κάθισης τοποθετείται σε μια συμπαγή, επίπεδη βάση και γεμίζεται με φρέσκο σκυρόδεμα σε τρεις ίσες στρώσεις με ράβδο με καθορισμένο τρόπο για να στερεωθεί. Το σκυρόδεμα χτυπιέται ακόμη και με την κορυφή του κώνου και ο κώνος ανασηκώνεται προσεκτικά. Στη συνέχεια, το δείγμα καθιζάνει ή πέφτει και το τελικό ύψος αφαιρείται από το αρχικό ύψος του κώνου και καταγράφεται. Οι καταπτώσεις 4 έως 6 ιντσών (100 έως 150 mm) θεωρούνται γενικά ότι βρίσκονται σε ένα επιθυμητό εύρος για τυπικές εργασίες τοποθέτησης και φινιρίσματος, υπό την προϋπόθεση ότι έχουν επίσης κατάλληλες αναλογίες w/cem και πληρούν τις απαιτήσεις σχεδιασμού μείγματος όταν τοποθετούνται. Η μορφή ή το προφίλ της πτώσης σημειώνεται επίσης και χρησιμοποιείται για να κριθεί η αξιοπιστία κάθε δοκιμής:

- Κανονική κάθιση: το σκυρόδεμα υποχωρεί, διατηρώντας τη γενική του μορφή
- Διατμητική κάθιση: το επάνω τμήμα του σκυροδέματος κόβεται και γλιστρά πλάγια
- Κάθιση κατάρρευσης: το σκυρόδεμα καταρρέει εντελώς, πιθανότατα από το μείγμα που είναι πολύ υγρό

4.1. Υλικά παρασκευής σκυροδέματος

Ποσότητα τσιμέντου:

Σύμφωνα με την κατηγορία του σκυροδέματος απαιτείται και η ανάλογη ποσότητα τσιμέντου με βάση το μέγεθος των κόκκων του και την ποιότητά του. Σημαντικός παράγοντας για την ιδανική ποσότητα τσιμέντου είναι η διατήρηση της απαιτούμενης θλιπτικής αντοχής και η προστασία των οπλισμών από την διάβρωση. Για παράδειγμα, η ποσότητα του τσιμέντου για κατηγορία σκυροδέματος C20 είναι περίπου $350 - 400 \text{ kg/m}^3$.

Ποσότητα νερού:

Το νερό απαιτείται για τη χημική αντίδραση του τσιμέντου αλλά και για την παροχή εργασιμότητας στο σκυρόδεμα. Το νερό που χρησιμοποιείται για την ανάμειξη και τη σκλήρυνση του σκυροδέματος πρέπει να είναι καθαρό και απαλλαγμένο από βλαβερές ποσότητες οξέων, αλκαλίων, αλάτων ή άλλης χημικής ουσίας, που μπορεί να βλάψει το

σκυρόδεμα ή τον χάλυβα. Το νερό ανάμιξης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή του σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008. Τα υπόγεια νερά ή τα νερά που ανακτώνται από διάφορες διεργασίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν έπειτα από έλεγχο και αφού διαπιστωθεί με σιγουριά ότι πληρούνται οι απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ EN 1008. Τέλος, η χρήση νερού που προέρχεται από

αποχετεύσεις και βιομηχανικά απόβλητα είναι απαγορευμένη.

Λόγος νερού – τσιμέντου:

Είναι η αναλογία της μάζας του νερού προς τη μάζα του τσιμέντου που προστίθεται στο σκυρόδεμα. Η αναλογία υδατοτσιμέντου επηρεάζει άμεσα την αντοχή του μίγματος σκυροδέματος. Η τυπική αναλογία w/c για διαφορετικές ποιότητες σκυροδέματος κυμαίνεται μεταξύ 0,40 και 0,60. Στο σκυρόδεμα, το πιο σημαντικό συστατικό που επηρεάζει αυτή την ιδιότητα του σκυροδέματος είναι το τσιμέντο και το νερό. Στο σκυρόδεμα, η αναλογία του βάρους του νερού προς το βάρος του τσιμέντου ονομάζεται λόγος νερού προς τσιμέντο (w/c). Το τσιμέντο και το νερό είναι τα δύο κύρια συστατικά που είναι υπεύθυνα για τη σύνδεση των πάντων μεταξύ τους. Η αναλογία νερού-τσιμέντου είναι ο απόλυτος παράγοντας για την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος όταν αυτό ωριμάσει σωστά. Για παράδειγμα, εάν η αναλογία W/C είναι 0,40 που σημαίνει για κάθε 100 lbs τσιμέντου που χρησιμοποιείται στο σκυρόδεμα, προστίθενται 40 lbs νερού. Η προσθήκη πολύ νερού στο σκυρόδεμα μπορεί να οδηγήσει σε συρρίκνωση, ρωγμές και μειωμένη συνολική αντοχή. Το υπερβολικό νερό καθιστά δύσκολο τον χειρισμό του χαλαρού σκυροδέματος, οδηγεί σε διαχωρισμό και προβλήματα «αιμορραγίας» στο σκυρόδεμα. Ωστόσο, χωρίς αρκετό νερό, το σκυρόδεμα θα γίνει άκαμπτο, δύσκολο να γεμίσει και να συμπιεστεί και μπορεί επίσης να οδηγήσει σε κηρήθρα στο σκυρόδεμα. αυξάνει την εργατική προσπάθεια για τη μετακίνηση του σκυροδέματος. Στον παρακάτω πίνακα δίνεται ο μέγιστος λόγος w/c κατά μέσο όρο για κάθε ποιότητα σκυροδέματος:

ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ ΒΑΡΟΥΣ w/c ΓΙΑ m ³ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
C8	0,70
C12	0,575
C16	0,485
C20	0,42

Πίνακας 7: Μέγιστος λόγος w/cem για κάθε ποιότητα σκυροδέματος

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Σύμφωνα με τον ορισμό του Ευρωπαϊκού Προτύπου EN 934-2: «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 μίγματος, νωπού ή και σκληρυμένου. Τα πρόσθετα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την ιδιότητα ή τις ιδιότητες του σκυροδέματος που τροποποιούν.»

Τα πρόσθετα υλικά είναι εκείνα τα συστατικά του σκυροδέματος εκτός από το τσιμέντο, το νερό και τα αδρανή που προστίθενται στο μείγμα αμέσως πριν ή κατά τη διάρκεια της ανάμιξης. Τα πρόσθετα υλικά στο σκυρόδεμα, τα οποία χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος υπό διάφορες συνθήκες και η κατηγοριοποίησή τους ποικίλει εξαιτίας της πολυπλοκότητας των λειτουργιών του καθενός πρόσθετου υλικού. Συνήθως ταξινομούνται σε χημικά και φυσικά (ή ορυκτά) πρόσθετα. Τα χημικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την ποιότητα του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της ανάμιξης, της μεταφοράς, της τοποθέτησης και της σκλήρυνσής του. Τα φυσικά (ή ορυκτά) πρόσθετα επηρεάζουν το σκληρυμένο σκυρόδεμα μέσω υδραυλικών ή ποζολανικών δραστηριοτήτων.

Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιούνται τα πρόσθετα υλικά είναι οι εξής:

1. Για να μειωθεί το κόστος των κατασκευών.
2. Για να επιτευχθούν ορισμένες ιδιότητες στο σκυρόδεμα πιο αποτελεσματικά από ότι θα συνέβαινε με άλλα μέσα.
3. Για τη διατήρηση της ποιότητας του σκυροδέματος κατά τα στάδια της ανάμιξης, μεταφοράς, τοποθέτησης και σκλήρυνσης σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.
4. Για να ξεπεραστούν ορισμένες καταστάσεις έκτακτης ανάγκης κατά τη διάρκεια εργασιών σκυροδέτησης.

5.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ:

Τα πρόσθετα υλικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τα χημικά πρόσθετα και τα φυσικά (ή ορυκτά) πρόσθετα.

5.2.1. Χημικά Πρόσθετα σκυροδέματος

Τα χημικά πρόσθετα είναι υλικά που δρουν κατά τρόπο χημικό ή φυσικοχημικό, ενώ η ποσότητα τους είναι τόσο μικρή, ώστε να μην επηρεάζει τη σύνθεση του σκυροδέματος. Πρόκειται για υδατοδιαλυτές ενώσεις που προστίθενται κυρίως για τον έλεγχο της πήξης και της πρώιμης σκλήρυνσης του νωπού σκυροδέματος ή για τη μείωση των απαιτήσεων σε νερό. Η ταξινόμηση των χημικών προσμείξεων έχει ως εξής:

1. Ρευστοποιητικά
2. Υπέρρευστοποιητικά
3. Αερακτικά
4. Επιβραδυντικά
5. Επιταχυντικά
6. Στεγανοποιητικά
7. Αντιπαγετικά
8. Διογκωτικά

Αναλυτικά,

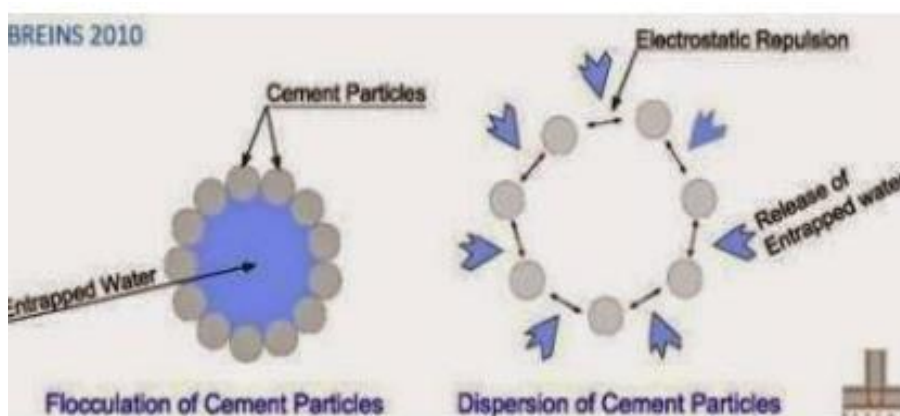
Ρευστοποιητικά: Μειώνουν την πήξη και χρησιμοποιούνται για να επιτευχθεί η επιθυμητή εργασιμότητα αντί να προστεθεί επιπλέον νερό. Η χρήση τους είναι πολύ σημαντική για σκυροδέματα υψηλής ποιότητας. Ο λόγος w/c παραμένει χαμηλός με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής και της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος.

Οι ρευστοποιητές χρησιμοποιούνται για:

- ✓ την μείωση της ποσότητας νερού ανάμιξης που απαιτείται για την παραγωγή σκυροδέματος,
- ✓ την μείωση της αναλογίας νερού – τσιμέντου,

- ✓ την μείωση της περιεκτικότητας σε τσιμέντο,
- ✓ την ενίσχυση της αντοχής του σκυροδέματος,
- ✓ την βελτίωση της στεγανότητας του σκυροδέματος ή
- ✓ την αύξηση της καθίζησης.

Διαφορετικοί τύποι ρευστοποιητικών μπορούν να μειώσουν την περιεκτικότητα σε νερό από περίπου 5% έως 25%. Προσθέτοντας ρευστοποιητή στο σκυρόδεμα χωρίς να μειωθεί η περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να δημιουργήσει μίγμα με μεγαλύτερη καθίζηση. Η ταχεία απώλεια κάθισης έχει ως αποτέλεσμα την μειωμένη εργασιμότητα και λιγότερο χρόνο για την τοποθέτηση σκυροδέματος.



Εικόνα 16: Τρόπος δράσης ρευστοποιητικών⁽³⁵⁾

Υπερρευστοποιητές - Μειωτές νερού: Η χρήση τους είναι παρόμοια με αυτήν των ρευστοποιητικών. Η διαφορά τους είναι, ότι αντί να επιβραδύνουν την πήξη την επιταχύνουν (συνεπάγεται μεγαλύτερη ρευστότητα). Υπάρχουν 4 τύποι υπερρευστοποιητών:

- α) Συμπυκνώματα σουλφονωμένης μελαμινοφορμαλδεΐδης – Είναι κατάλληλο σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας, δοσολογία: 0,5 - 3% κατά βάρος τσιμέντου.
- β) Συμπυκνώματα σουλφονωμένης ναφθαλινοφορμαλδεΐδης – Είναι πιο κατάλληλο σε περιοχές υψηλής θερμοκρασίας, δοσολογία: 0,5 - 3% κατά βάρος τσιμέντου.

γ) Τροποποιημένα θευικά «Ligno» – Είναι κατάλληλο για συνθήκες όπου η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι υψηλή (όπως στην Ινδία), δοσολογία όχι μεγαλύτερη από 0,25% κατά βάρος τσιμέντου.

δ) Καρβοξυλιωμένο πρόσμικτο – Είναι κατάλληλο όπου η εργασιμότητα απαιτείται να διατηρηθεί για μεγάλη διάρκεια.

Τα πλεονεκτήματα των υπερρευστοποιητών είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Σημαντική μείωση του νερού (12-30%).
- ✓ Μείωση της περιεκτικότητας του τσιμέντου.
- ✓ Αύξηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος.
- ✓ Αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος.
- ✓ Μείωση της διαπερατότητας του σκυροδέματος.

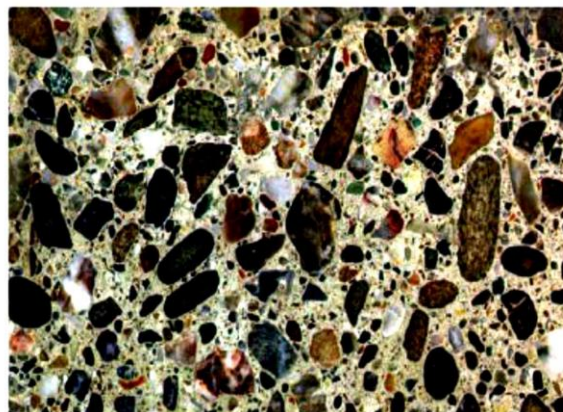
Τα μειονεκτήματα των υπερρευστοποιητών είναι τα ακόλουθα:

- Απώλεια καθίζησης μεγαλύτερη από το συμβατικό σκυρόδεμα.
- Επιπλέον κόστος πρόσμιξης.

Αερακτικά: Έχουν την ιδιότητα να αναπτύσσουν στη μάζα του σκληρυμένου σκυροδέματος φυσαλίδες (περίπου 0,02-0,2mm) με σκοπό να αυξήσουν το ποσοστό του αέρα, το οποίο έχει ως συνέπεια την αύξηση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε κύκλους θερμοκρασίας (ζέστης- παγετού). Η εισαγωγή αέρα θα βελτιώσει δραματικά την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος που εκτίθεται σε κύκλους κατάψυξης και απόψυξης. Επιπλέον, η εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος βελτιώνεται σημαντικά. Καθώς το νερό που δεν αντέδρασε παγώνει, διαστέλλεται κατά 9 % κατ' όγκο κατά την αλλαγή φάσης. Αυτή η εσωτερική επέκταση όγκου προκαλεί εσωτερικές τάσεις στη μήτρα και μπορεί να δημιουργήσει ρωγμές στο σκυρόδεμα, οι οποίες είναι πιθανό να επιτρέψουν τη διείσδυση του νερού και η διαδικασία να επιδεινωθεί προοδευτικά και να οδηγήσει σε σημαντική υποβάθμιση του σκυροδέματος. Επιπλέον, ο σχηματισμός πάγου στους χώρους των πόρων δημιουργεί πίεση σε οποιοδήποτε εναπομείναν μη παγωμένο νερό. Η εισαγωγή μεγάλης ποσότητας φυσαλίδων αέρα παρέχει ένα μέρος για αυτό το νερό να μετακινηθεί, ώστε να ανακουφίσει την εσωτερική πίεση.



Air-Entrained concrete



Non Air-Entrained concrete

Εικόνα 17: Σκυρόδεμα με προσθήκη αερακτικού και χωρίς⁽⁴⁸⁾

Είναι αναγκαίο να σημειωθεί, ότι ο εγκλωβισμένος αέρας είναι διαφορετικός από τον παρασυρόμενο αέρα. Ο παγιδευμένος αέρας αποτελείται από ακανόνιστα κενά που παράγονται μέσω της διαδικασίας συμπίεσης. Κάποια ποσότητα εγκλωβισμένου αέρα υπάρχει πάντα στο σκυρόδεμα και οι κώδικες σχεδιασμού μίγματος γενικά ορίζουν την υπόθεση της ποσότητας παγιδευμένου αέρα με βάση το χονδροειδές μέγεθος αδρανών στο σκυρόδεμα. Γενικά, περίπου 1 – 2% του εγκλωβισμένου αέρα υπάρχει μέσα στο σκυρόδεμα. Ο παρασυρόμενος αέρας, από την άλλη πλευρά, παράγεται με τη χρήση του μίγματος και αποτελείται από μικρά και σφαιρικά κενά.

Η προσθήκη αερακτικών επηρεάζουν τις παρακάτω ιδιότητες του σκυροδέματος:

- ✓ Αύξηση της αντοχής στην κατάψυξη και την απόψυξη.
- ✓ Βελτίωση εργασιμότητας και συνοχής νωπού σκυροδέματος.
- ✓ Μείωση της αντοχής.

Επιβραδυντικά: Έχουν την ιδιότητα να επιβραδύνουν την εξέλιξη της ενυδάτωσης. Απομονώνονται τα αργιλικά άλατα και κυρίως το αργιλικό τριασβέστιο του τσιμέντου, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση της επαφής με το νερό. Χρησιμοποιούνται για σκυροδέτηση σε ζεστές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής του σκυροδέματος.

Οι κύριοι στόχοι των επιβραδυντών είναι:

- Να αντισταθμίσουν την επιτάχυνση της υψηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (ζεστός καιρός) και έτσι να μειώσουν τη μέγιστη θερμοκρασία σε ένα επίπεδο όπου οι θερμικές ρωγμές να δημιουργούν λιγότερα προβλήματα.
- Να διατηρείται το σκυρόδεμα λειτουργικό καθ' όλη τη διάρκεια των περιόδων μεταφοράς, τοποθέτησης και φινιρίσματος. Ιδιαίτερα σημαντικό κατά τη μεταφορά σκυροδέματος σε μεγάλες αποστάσεις.
- Για την αποφυγή πήξης του σκυροδέματος στο φορτηγό σε περίπτωση καθυστέρησης.

Επιταχυντικά: Έχουν την ιδιότητα να επιταχύνουν την διαδικασία της ενυδάτωσης του τσιμέντου. Χρησιμοποιούνται για σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος και την αύξηση της συστολής ξήρανσης. Τα περισσότερα επιταχυντικά βασίζονται σε ένα από τα παρακάτω χημικά: α) διαλυτά ανόργανα άλατα (CaCl₂, ανθρακικά, αργιλικά, φθοριούχα και άλατα σιδήρου) και β) διαλυτές οργανικές ενώσεις (τριαιθανολαμίνη, μυρμηκικό ασβέστιο, οξικό ασβέστιο). Το χλωριούχο ασβέστιο είναι η πιο δημοφιλής επιλογή λόγω του χαμηλού κόστους και του υψηλού ρυθμού επιτάχυνσης για μια δεδομένη δόση.

Τα πλεονεκτήματα των επιταχυντών είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Επιτρέπουν γρηγορότερο φινίρισμα των επιφανειών από σκυρόδεμα.
- ✓ Μείωση της απαιτούμενης περιόδου σκλήρυνσης και προστασίας.
- ✓ Μερική ή πλήρης αντιστάθμιση των επιπτώσεων των χαμηλών θερμοκρασιών στην ανάπτυξη αντοχής.
- ✓ Αύξηση της πυκνότητας του σκυροδέματος.

Προφυλάξεις κατά τη χρήση επιταχυντών:

- Οι υψηλές δοσολογίες ή, κάποιες φορές, οι κανονικές δοσολογίες επιταχυντή με μείγματα υψηλής περιεκτικότητας σε τσιμέντο μπορεί να προκαλέσουν ταχεία ακαμψία και σημαντική έκλυση θερμότητας με επακόλουθο κίνδυνο θερμικής και

συρρικνωτικής πυρόλυσης. Ιδιαίτερα το χλωριούχο ασβέστιο θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή σε ζεστό καιρό.

- Το χλωριούχο ασβέστιο ή τα πρόσμικτα που περιέχουν χλωριούχο ασβέστιο πρέπει να περιορίζονται σε σκυρόδεμα που περιέχει ενσωματωμένο μέταλλο.

Στεγανοποιητικά: Έχουν την ιδιότητα να ελαττώνουν την υδατοπερατότητα και να οδηγούν στην αποφυγή μακροσκοπικών κοιλοτήτων και ρηγματώσεων.

Αντιπαγετικά: Έχουν την ιδιότητα να μειώνουν ή να εξαλείφουν τις κακές επιπτώσεις του παγετού κατά την διαδικασία της πήξεως του σκυροδέματος, με αποτέλεσμα να επιτρέπουν την σκυροδέτηση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι βασική τους ιδιότητα είναι η αύξηση της αντοχής στον παγετό.

Διογκωτικά: Σημαντικό ζήτημα των τσιμεντών όταν πλέον έχουν στεγνώσει στην ατμόσφαιρα, είναι το γεγονός ότι παρουσιάζουν «υδραυλική συρρίκνωση». Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος του τσιμεντού μειώνεται και στην περίπτωση που δεν έχει γίνει η κατάλληλη πρόβλεψη (π.χ. αρμοί) τότε εμφανίζονται ρωγμές στην επιφάνειά του. Στις περιπτώσεις όπου το τσιμέντο είναι αναγκαίο να διατηρήσει τον όγκο του, χρησιμοποιούνται τα διογκωτικά, με σκοπό την διόγκωση των κατασκευών, ώστε όταν λάβει χώρα η συρρίκνωση να καταλήξουν πλέον στις επιθυμητές διαστάσεις. Διογκωτικά είναι η ελεύθερη άσβεστος, η μαγνησία ή περίσσεια γύψου.

5.2.2 Φυσικά - ορυκτά πρόσθετα ή πρόσμικτα

Τα ορυκτά πρόσθετα είναι λεπτόκοκκα, ανόργανα υλικά που προστίθενται στο μείγμα σκυροδέματος για να βελτιώσουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος και έχουν ποζολανικές ιδιότητες. Είναι υλικά που, εκτός από την τυχόν χημική ή φυσικοχημική δράση τους, η ποσότητα τους είναι τέτοια, ώστε να πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η τροποποίηση της συνθέσεως του σκυροδέματος που τα υλικά αυτά προκαλούν.

Τα πρόσθετα ορυκτών προστίθενται στο σκυρόδεμα σε διαφορετικές ποσότητες προκειμένου να:

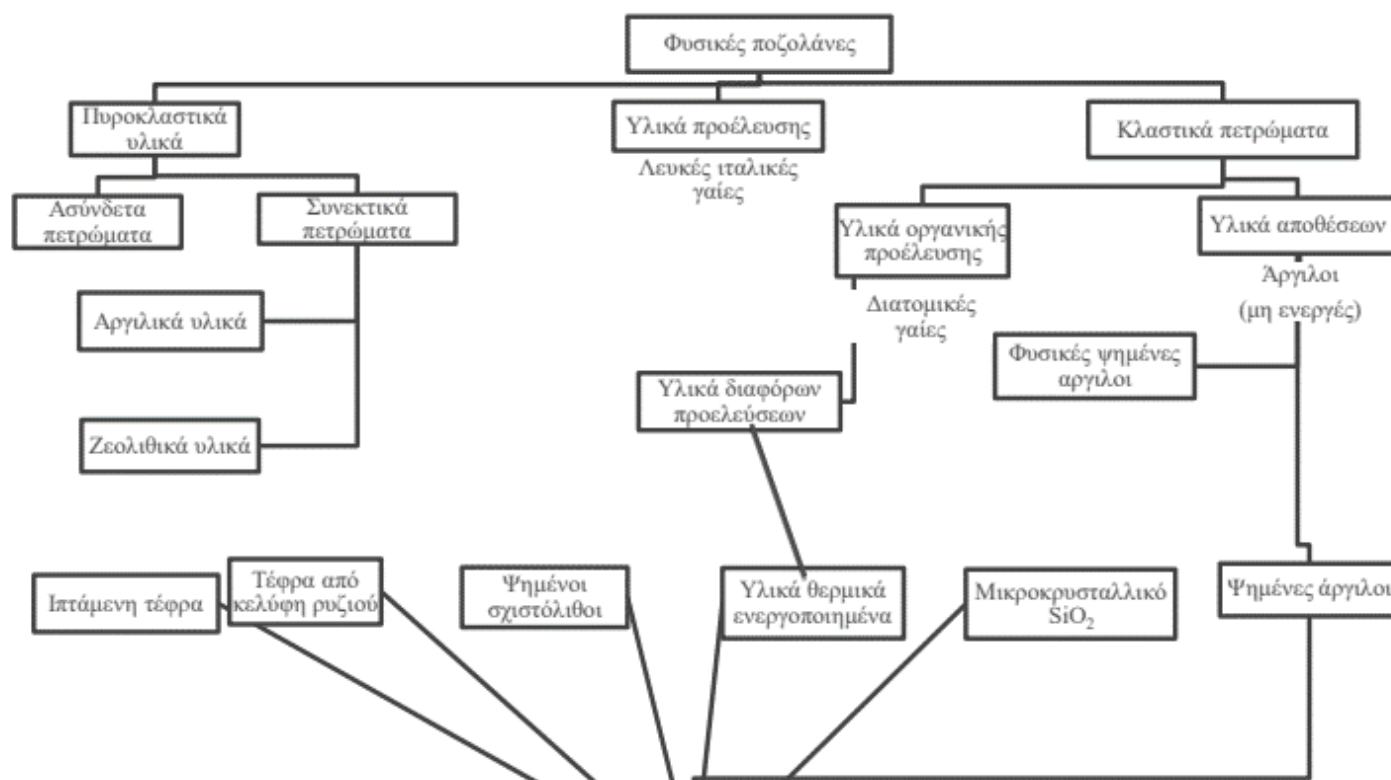
1. Βελτιώσουν την εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος.
2. Βελτιώσουν την αντοχή του σκυροδέματος στη θερμική ρηγματώση.
3. Μειώσουν την περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

Μερικά από τα ορυκτά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

1. Παιπάλη ή Φίλερ
2. Ποζολάνες
3. Ιπτάμενες Τέφρες
4. Πυριτική Παιπάλη
5. Ασβεστόλιθος

Αναλυτικά,

Ποζολάνες: Οι ποζολάνες είναι υλικά με βάση το πυριτικό άλας, που αντιδρούν (καταναλώνουν) με το υδροξείδιο του ασβεστίου, που παράγεται από την ενυδάτωση του τσιμέντου για να σχηματίσουν πρόσθετα τσιμεντοειδή υλικά. Το υδροξείδιο του ασβεστίου (άσβεστος) αντιπροσωπεύει έως και το 25% του ενυδατωμένου τσιμέντου Portland και ο ασβέστης δεν συμβάλλει στην αντοχή ή την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Οι ποζολάνες συνδυάζονται με τον ασβέστη για να παράγουν πρόσθετο ένυδρο πυριτικό ασβέστιο, το υλικό που είναι υπεύθυνο για τη συγκράτηση του σκυροδέματος. Συνήθως, οι ποζολάνες χρησιμοποιούνται ως υποκατάστατα τσιμέντου παρά ως προσθήκες τσιμέντου. Η προσθήκη ποζολάνης σε ένα υπάρχον μίγμα



Σχήμα 5: Ταξινόμηση των ποζολανών με βάση την προέλευσή τους περιλαμβάνοντας όλες τις υποκατηγορίες των φυσικών και τεχνητών ποζολανών⁽⁵⁸⁾

σκυροδέματος χωρίς την αφαίρεση ισοδύναμης ποσότητας τσιμέντου αυξάνει την περιεκτικότητα σε πάστα και μειώνει την αναλογία νερού/τσιμέντου. Με άλλα λόγια, η προσθήκη περισσότερης ποζολάνης σε ένα μείγμα αλλάζει τις αναλογίες του μείγματος. Η αντικατάσταση μέρους του τσιμέντου με ποζολάνες διατηρεί τις αναλογίες του μείγματος.



Εικόνα 18: Ποζολάνη⁽⁵²⁾

Ιπτάμενες Τέφρες: Η ιπτάμενη τέφρα είναι μια λεπτή σκόνη που είναι υποπροϊόν της καύσης κονιοποιημένου άνθρακα σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ιπτάμενη τέφρα είναι μια ποζολάνη, μια ουσία που περιέχει αλουμίνιο και πυριτικό υλικό που σχηματίζει τσιμέντο παρουσία νερού. Όταν αναμιγνύεται με ασβέστη και νερό, η ιπτάμενη τέφρα σχηματίζει μια ένωση παρόμοια με το τσιμέντο Πόρτλαντ. Αυτό καθιστά την ιπτάμενη τέφρα κατάλληλη ως βασικό υλικό σε ανάμεικτο τσιμέντο, ψηφιδωτά πλακάκια και κοίλους λίθους, μεταξύ άλλων δομικών υλικών. Όταν χρησιμοποιείται σε μείγματα σκυροδέματος, η ιπτάμενη τέφρα βελτιώνει την αντοχή και τον διαχωρισμό του σκυροδέματος και διευκολύνει την άντληση. Η ιπτάμενη τέφρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βασικό υλικό σε πολλά προϊόντα με βάση το τσιμέντο, όπως χυτό σκυρόδεμα, τσιμεντόλιθο και τούβλο. Μία από τις πιο κοινές χρήσεις της ιπτάμενης τέφρας είναι στο οδόστρωμα από σκυρόδεμα από τσιμέντο Portland ή στο οδόστρωμα PCC. Τα έργα οδοποιίας που χρησιμοποιούν PCC μπορούν να χρησιμοποιήσουν μεγάλη ποσότητα σκυροδέματος και η υποκατάσταση της ιπτάμενης τέφρας παρέχει σημαντικά οικονομικά οφέλη.



Εικόνα 19: Ιπτάμενη Τέφρα⁽⁵³⁾

Πυριτική Παιπάλη: Πρόκειται για ένα υποπροϊόν της βιομηχανίας σιδηροπυριτίου, είναι ένα υλικό υψηλής ποζολανικής σύνθεσης που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση των μηχανικών και ανθεκτικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Μπορεί να προστεθεί απευθείας στο σκυρόδεμα ως μεμονωμένο συστατικό ή σε μείγμα τσιμέντου Portland και καπνού πυριτίου. Το σκυρόδεμα που περιέχει πυριτική παιπάλη μπορεί να έχει πολύ υψηλή αντοχή και μπορεί να είναι πολύ ανθεκτικό. Η τοποθέτηση, το φινίρισμα και η σκλήρυνση του πυριτικού σκυροδέματος απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή από την πλευρά του εργολάβου σκυροδέματος.



Εικόνα 20: Πυριτική Παιπάλη⁽⁵⁴⁾

Ασβεστόλιθος: Ο ασβεστόλιθος είναι ένα ιζηματογενές πέτρωμα που αποτελείται από ποικίλες αναλογίες χημικών ουσιών όπως ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), ανθρακικό μαγνήσιο (MgCO_3), πυρίτιο (SiO_2), αλουμίνα (Al_2O_3), οξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), θειικά άλατα (SO_3) και φώσφοροι (P_2O_5) με το ανθρακικό ασβέστιο και το μαγνήσιο να είναι τα δύο κύρια συστατικά. Συνήθως αποτελείται από μικροσκοπικά απολιθώματα, θραύσματα κελύφους και άλλα απολιθωμένα συντρίμια. Αυτά τα απολιθώματα είναι συχνά ορατά με γυμνό μάτι με προσεκτική εξέταση της επιφάνειας της πέτρας, ωστόσο

αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Ορισμένες ποικιλίες ασβεστόλιθου έχουν εξαιρετικά λεπτό κόκκο. Μερικά από αυτά τα οφέλη του ασβεστόλιθου στο σκυρόδεμα είναι η καλή αντοχή, η χαμηλή πιθανότητα αντίδρασης αλκαλίου-πυριτίου και η μείωση της συρρίκνωσης κατά την ξήρανση στο σκυρόδεμα.



Εικόνα 21: Ασβεστόλιθος⁽⁵⁵⁾

5.3 Ανασκόπηση στο Πρότυπο ΕΛ.Ο.Τ. EN 934-2: Πρόσθετα σκυροδέματος

5.3.1 Πρότυπα του ΕΛ.Ο.Τ.

Ο Ελληνικός Οργανισμός Τυποποίησης, Ανώνυμη Εταιρεία (ΕΛ.Ο.Τ. Α.Ε.) (στα αγγλικά: Hellenic Organization for Standardization S.A.) πρόκειται για ένα «Νομικό Πρόσωπο Ιδιωτικού Δικαίου», χρηματοδοτούμενο από το κράτος και εποπτευόμενο από το Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων. Ο ΕΛΟΤ έχει ως στόχο την προαγωγή και εφαρμογή της τυποποίησης και των δραστηριοτήτων που είναι συναφείς και απορρέουν από αυτή (π.χ. πιστοποίηση, πληροφόρηση, έλεγχοι και δοκιμές).

Η πιο βασική και κύρια δραστηριότητα του ΕΛΟΤ είναι να μεταφράζει στα Ελληνικά όλες τις Ευρωπαϊκές οδηγίες και γενικά τα διεθνή πρότυπα που η Ελλάδα είναι υποχρεωμένη να εφαρμόζει.

Με τον όρο «Πρότυπο» (ή στα αγγλικά *Standardization, Normalisation*) θεωρείται το έντυπο που αποτελείται από οδηγίες, κανονισμούς και νόμους οι οποίοι χρησιμοποιούνται επαναλαμβανόμενα. Κατόπιν συναίνεσης το Πρότυπο έχει καταρτιστεί ως αναγνωρισμένος φορέας με σκοπό ένα δεδομένο πλαίσιο εφαρμογής να αποκτήσει την καλύτερη δυνατή δομή. Τα πρότυπα που εγκρίνονται από τον ΕΛ.Ο.Τ., ονομάζονται ελληνικά πρότυπα.

5.3.2 Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934 Πρόσθετα υλικά

Όπως ανέφερα και παραπάνω, ο ορισμός των πρόσθετων υλικών για το σκυρόδεμα σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934.02 είναι ο εξής: «*Πρόκειται για υλικό που προστίθεται κατά τη διαδικασία ανάμιξης του σκυροδέματος σε ποσότητα όχι μεγαλύτερη από 5%κβ τιμ.,για να διαμορφώσει τις ιδιότητες του μίγματος σε νωπή ή και σε σκληρυμένη κατάσταση.*»

Παρακάτω, αναγράφονται τα μέρη του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 934 που αφορά στα Πρόσθετα Υλικά:

- Το πρώτο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.01 το οποίο περιλαμβάνει τις κοινές απαιτήσεις σε όλα τα πρόσθετα υλικά.

- Το δεύτερο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.02 στο οποίο αναγράφονται λεπτομερώς τα Πρόσθετα σκυροδέματος.
- Το τρίτο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.03 στο οποίο περιγράφονται τα πρόσθετα για κονιάματα τοιχοποιίας.
- Το τέταρτο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.04 στο οποίο περιγράφονται τα πρόσθετα ενεμάτων για προεντεταμένους τένοντες.
- Το πέμπτο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.05 το οποίο αφορά στα Πρόσθετα εκτοξευόμενου σκυροδέματος
- Και τέλος, το έκτο μέρος είναι το ΕΛΟΤ EN 934.06 και αφορά στην δειγματοληψία, τον έλεγχο συμμόρφωσης και την αξιολόγηση της συμμόρφωσης.

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934.01 για τα πρόσθετα σκυροδέματος, κονιαμάτων και ενεμάτων υπάρχουν ορισμένες κοινές απαιτήσεις οι οποίες πρέπει να τηρηθούν.

Παρακάτω καταγράφονται αυτές οι κοινές απαιτήσεις ανάλογα με την ιδιότητα του πρόσθετου, στον Πίνακα 8.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
Ομοιογένεια/ Homogeneity	Οπτική παρατήρηση	Ομοιογενές κατά την χρήση. Ο διαχωρισμός δεν πρέπει να ξεπερνά το όριο που δηλώνεται από τον παραγωγό.
Χρώμα/ color	Οπτική παρατήρηση	Παρόμοιο με την περιγραφή που δηλώνεται από τον παραγωγό.
Ενεργό συστατικό/ effective component	Έλεγχος από το EN 480-6	Ανάλυση με υπέρυθρη ακτινοβολία : παρόμοιο κατά τη σύγκριση με το φάσμα αναφοράς του παραγωγού
Σχετική πυκνότητα/ density	Έλεγχος από το ISO 758	$D \pm 0,03$ αν $D > 1,10 \text{ kg/l}$ $D \pm 0,02$ αν $D \leq 1,10 \text{ kg/l}$, όπου D η δηλωμένη τιμή πυκνότητας από τον παραγωγό.
Συμβατικό ξηρό υπόλοιπο/ solid content	Έλεγχος από το EN 480-8 ή με την μέθοδο αλογόνου	$0,95T \leq X \leq 1,05T$ αν $T \geq 20\%$ $0,90T \leq X \leq 1,10T$ αν $T < 20\%$

		Όπου T η δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό, %κβ X το αποτέλεσμα της δοκιμής σε %κβ
pH	Έλεγχος από το ISO 4316	Δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό ± 1 ή εντός του φάσματος που δίνεται από τον παραγωγό.
Ολικό χλώριο/ Total chlorine	Έλεγχος από το EN ISO 1158	Είτε $\leq 0,10\%$ κβ ή μέχρι τη δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό
Υδατοδιαλυτά χλωριούχα (Cl⁻) / Water soluble chloride	Έλεγχος από το EN 480-10	Είτε $\leq 0,10\%$ κβ ή μέχρι τη δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό
Περιεκτικότητα σε αλκάλια (ισοδύναμο Na₂O)/ alkali content (Na₂O equivalent)	Έλεγχος από το EN 480-12	Όχι περισσότερο από τη μέγιστη δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό σε %κβ.
Συμπεριφορά σε διάβρωση/ corrosion behaviour	Έλεγχος από το EN 480-14	Βάσει του §5 Προτύπου . «Δεν απαιτείται μέθοδος ελέγχου εφόσον τα πρόσθετα περιέχουν μόνο τις α' ύλες που αναφέρονται στην λίστα του προτύπου»
Περιεχόμενο SiO₂/ Silicon dioxide SiO₂ content	Έλεγχος από το EN 196-2 (ακολουθείται η διαδικασία 13)	Όχι περισσότερο από τη μέγιστη δηλωμένη τιμή από τον παραγωγό σε %κβ.τσ.

Πίνακας 8: Γενικές απαιτήσεις ΕΛΟΤ EN 934.01

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934.02 αναφέρεται σε πρόσθετα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σε άοπλο, οπλισμένο ή προεντεταμένο σκυρόδεμα και εφαρμόζεται σε εργοταξιακό, έτοιμο και προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. [16]

Η ικανότητα ενός πρόσθετου υλικού να είναι αποτελεσματικό για την χρήση που προβλέπεται χωρίς να έχει επιζήμια αποτελέσματα, ονομάζεται «**Επίδοση του πρόσθετου υλικού**». [16]

Για κάθε τύπο προσθέτων υπάρχουν και συγκεκριμένες απαιτήσεις επίδοσης, οι οποίες αναφέρονται στον Πίνακα 9 βάση του Παραρτήματος ΠΒ1-3 του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος 2016 (ΚΤΣ '16) Τεύχος Β' 1561/02.06.2016. Η στήλη «απαιτήσεις επιδόσεις» παραπέμπουν στους πίνακες του ΕΛΟΤ οι οποίοι καταγράφουν λεπτομερώς τις απαιτήσεις για κάθε τύπο προσθέτου.

ΟΡΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΠΡΟΣΘΕΤΟΥ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ
3.2.2	Ρευστοποιητές/Μειωτές νερού (απλοί) Water reducing/plasticizing admixtures	Πίνακας 2
3.2.3	Ρευστοποιητές/Μειωτές νερού (υψηλού βαθμού) High range water reducing/superplasticizing admixtures	Πίνακες 3.1 και 3.2
3.2.4	Μειωτές εξίδρωσης Water retaining admixtures	Πίνακας 4
3.2.5	Αερακτικά Air entraining admixtures	Πίνακας 5
3.2.6	Επιταχυντές πήξης Set accelerating admixtures	Πίνακας 6
3.2.7	Επιταχυντές σκλήρυνσης Hardening accelerating admixtures	Πίνακας 7
3.2.8	Επιβραδυντές πήξης Set retarding admixtures	Πίνακας 8
3.2.9	Μειωτές τριχοειδούς απορρόφησης Water resisting admixtures	Πίνακας 9
3.2.10	Επιβραδυντές πήξης/μειωτές νερού (απλοί/ρευστοποιητές) Set retarding/water reducing/plasticizing admixtures	Πίνακας 10
3.2.11	Επιβραδυντές πήξης/μειωτές νερού (υψηλού βαθμού/υπερρευστοποιητές) Set retarding/water reducing-high range/plasticizing admixtures	Πίνακας 11.1 και 11.2
3.2.12	Επιταχυντές πήξης/μειωτές νερού (απλοί/ ρευστοποιητές) Set accelerating/water reducing/plasticizing admixtures	Πίνακας 12
3.2.13	Ρυθιστής Ιξώδους -Viscosity modifying admixture	Πίνακας 13

Πίνακας 9: Απαιτήσεις επίδοσης προσθέτων ΕΛΟΤ EN 934.02

Η δοσολογία ανάμεσα στο φάσμα που συνιστά ο παραγωγός για το προϊόν (που μετράται σε ποσοστό %κ.β.στιμ.), ονομάζεται «**Συνιστώμενη δοσολογία**». Είναι σημαντικό να αναφερθεί σε αυτό το σημείο, ότι δεν είναι πάντα εφικτή η ακριβής χρήση της συνιστώμενης δοσολογίας που επιβάλλει το Πρότυπο για όλο το φάσμα αυτής. Για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος είναι απαραίτητο να διεξαχθούν δοκιμαστικά αναμίγματα με υλικά που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στο έργο.

Σκυρόδεμα και κονίαμα αναφοράς ΕΛΟΤ EN 480-1

Οι τύποι των τσιμέντων που περιλαμβάνουν το σκυρόδεμα αναφοράς είναι οι: CEM142 ή CEM152,5 (EN197-1). Επιπλέον, το σκυρόδεμα αναφοράς περιέχει νερό ανάμιξης βάσει του προτύπου EN 1008 και αδρανή βάσει του προτύπου EN12620. Τα αδρανή αυτά έχουν μικρή απορρόφηση σε νερό (δλδ <2%κβ) και η κοκκομετρική διαβάθμιση βρίσκεται εντός των ορίων που περιγράφονται στον παρακάτω Πίνακα 10:

ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΟΣΚΙΝΟΥ, mm	ΔΙΕΡΧΟΜΕΝΟ, %κ.β.
31,5	100
16,0	75 έως 95
8,0	45 έως 70
4,0	35 έως 50
2,0	25 έως 40
1,0	20 έως 35
0,5	10 έως 25
0,25	4 έως 12
0,125	1 έως 8

Πίνακας 10: Όρια κοκκομετρικής διαβάθμισης

Το «σκυρόδεμα αναφοράς» που περιέχει πρόσθετο υλικό ονομάζεται «μίγμα υπό δοκιμή» (test mix), ενώ το σκυρόδεμα αναφοράς χωρίς πρόσθετο υλικό ονομάζεται «μάρτυρας» (control mix). Σύμφωνα με τον τύπο προσθέτου που ελέγχουμε, υπάρχουν 4 διαφορετικοί τύποι για τα σκυροδέματα αναφοράς, οι οποίοι φαίνονται στο Πίνακα 11:

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ kg/m ³	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΗΝ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ	
		ΚΑΘΙΣΗ(mm)	ΕΞΑΠΛΩΣΗ(mm)
I	350 ± 5	70 ± 10	400 ± 20
II	300 ± 5	120 ± 20	450 ± 20
III	350 ± 5	50 ± 10	350 ± 10
IV	350 ± 5	30 ± 10	350 ± 20

Πίνακας 11: Τύποι Σκυροδέματος αναφοράς

Είναι απαραίτητο το «μίγμα υπό δοκιμή» με τον «μάρτυρα» να έχουν ίδια αδρανή και ίση ποσότητα τσιμέντου. Αντιθέτως, η ποσότητα του νερού πρέπει να διαμορφώνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει συνεκτικότητα εντός των ορίων που δίνονται στον Πίνακα 11. Επιπλέον, ο περιεχόμενος αέρας στον μάρτυρα δεν πρέπει να ξεπερνά το 2%.

Πρέπει να γίνονται συγκριτικές δοκιμές ανάμεσα στο «μίγμα υπό δοκιμή» και τον «μάρτυρα», σύμφωνα με τις δοκιμές που ορίζονται στους πίνακες που αναφέρονται στο «πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934.02». Τέλος, για το κονίαμα αναφοράς χρησιμοποιείται πρότυπο κονίαμα όπως ορίζεται στο πρότυπο EN 196-1. ^[16]

Παρακάτω, αναγράφονται στους Πίνακες 12, 13 και 14 οι ειδικές απαιτήσεις για Ρευστοποιητές (Υψηλού βαθμού), για ίδιο λόγο N/T, για αερακτικά (με την ίδια συνεκτικότητα) και για Επιβραδυντές πήξης/ μειωτές νερού-απλοί/ρευστοποιητές (με την ίδια συνεκτικότητα) αντίστοιχα: ^[16]

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
Αύξηση συνεκτικότητας	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ IV	EN 12350-2 Κάθιση ή EN 12350-5 Εξάπλωση	Αύξηση κάθισης ≥ 120 mm σε σχέση με την αρχική (30+-10mm) Αύξηση εξάπλωσης ≥ 160 mm σε σχέση με την αρχική (350+-20mm)
Διατήρηση συνεκτικότητας	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ IV	EN 12350-2 Κάθιση ή EN 12350-5 Εξάπλωση	Μετά από 30min από την προσθήκη του προσθέτου η συνεκτικότητα του μίγματος δοκιμής δεν θα πρέπει να είναι \leq της τιμής της αρχικής συνεκτικότητας του μάρτυρα
Θλιπτική αντοχή	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ IV	EN 12390-3	Στις 28 ημέρες: Μίγμα δοκιμής $\geq 90\%$ του μάρτυρα

Περιεκτικότητα αέρα στο νωπό μίγμα	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ IV	EN 12350-7	Μίγμα δοκιμής $\leq 2\%$ κο περισσότερο από τον μάρτυρα (εκτός εάν προδιαγράφεται διαφορετικά από τον κατασκευαστή)
---	-----------------------------------	------------	---

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
Περιεκτικότητα αέρα στο νωπό σκυρόδεμα	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ III	EN 12350-7	Μίγμα δοκιμής $\geq 2,5\%$ κατ' όγκο πάνω από το μίγμα αναφοράς (Συνολική περιεκτικότητα 4-6%)
Χαρακτηριστικά κενών αέρος στο σκληρυμένο σκυρόδεμα	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ III	EN 480-11	Συντελεστής διάταξης κενών στο μίγμα δοκιμής $\leq 0,2\text{mm}$
Θλιπτική αντοχή/ Compressive strength	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ III	EN 12390-3	Στις 28 ημέρες : Μίγμα δοκιμής $\geq 75\%$ του μίγματος αναφοράς

Πίνακας 13: Ειδικές απαιτήσεις για αερακτικά (για την ίδια συνεκτικότητα)

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ
Θλιπτική αντοχή	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ I	EN 12390-3	Στις 28 ημέρες : Μίγμα δοκιμής $\geq 80\%$ του μάρτυρα
Σημείο πήξης	EN 480-1 κονίαμα	EN 480-2	Αρχικό: Μίγμα δοκιμής \geq μάρτυρα + 90min Τελικό: Μίγμα δοκιμής \leq μάρτυρα + 360min
Μείωση νερού	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ I	EN 12350-2 Κάθιση ή EN 12350-5 Εξάπλωση	Στο μίγμα δοκιμής $\geq 5\%$ συγκρινόμενη με το μάρτυρα
Περιεκτικότητα αέρα στο νωπό μίγμα	EN 480-1 ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ I	EN 12350-7	Μίγμα δοκιμής $\leq 2\%$ κο περισσότερο από τον μάρτυρα (εκτός εάν προδιαγράφεται διαφορετικά από τον κατασκευαστή)

Πίνακας 14: Ειδικές απαιτήσεις για Επιβραδυντές πήξης/ μειωτές νερού-απλοί/ρυστοποιητές(για την ίδια συνεκτικότητα)

Τέλος, στο έκτο μέρος του «Ευρωπαϊκού Προτύπου (ΕΛΟΤ EN934.06)» γίνεται ειδική αναφορά στον παραγωγό και τον οργανισμό πιστοποίησης που ονομάζεται «Κοινοποιημένος Φορέας». Καθορίζονται ο «ποιοτικός έλεγχος», η «αξιολόγηση συμμόρφωσης» και το «εγχειρίδιο ελέγχου παραγωγής».

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6.1 Σκοπός:

Σκοπός του πειραματικού μέρους είναι ο προσδιορισμός της κάθισης και ωρίμανσης νωπού σκυροδέματος και η διερεύνηση της εργασιμότητας του σκυροδέματος κατόπιν προσθήκης μίας απαιτούμενης ποσότητας ρευστοποιητή. Επιπλέον, θα διερευνηθεί η αναμενόμενη αντοχή των 28 ημερών κατά Saul καθώς και ο απαιτούμενος χρόνος ξεκαλουπώματος σύμφωνα με την απαιτούμενη αντοχή για τις εκάστοτε συνθήκες μέσες θερμοκρασίες.

6.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΙΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΤΗ

Για να γίνουν οι δοκιμές σκυροδέματος σε κάθιση πρέπει να ακολουθούν το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 206-1.

Η εργασιμότητα του σκυροδέματος είναι το έργο, το οποίο απαιτείται για τη μεταφορά, τη διάστρωση, τη συμπύκνωση και το φινίρισμα του σκυροδέματος χωρίς την απόμιξη των υλικών. Ο πρακτικότερος και πιο συνηθισμένος τρόπος μέτρησης της εργασιμότητας είναι η δοκιμή κάθισης (slump test). Σε ορισμένες περιπτώσεις εάν έχουμε αναμίγματα μικρής ρευστότητας διεξάγεται η *δοκιμή Vebe* και όταν είναι μεγάλη ρευστότητα διεξάγεται η «*δοκιμή μέτρου εξάπλωσης*». Επιπλέον της δοκιμής Vebe, υπάρχει μια ακόμη δοκιμή, η οποία προσδιορίζει κατά κύριο λόγο την ευκολία συμπύκνωσης του σκυροδέματος, πρόκειται για την *δοκιμή βαθμού συμπύκνωσης*. Επισημαίνεται, ότι ο «με το μάτι» ή με ένα απλό μυστρί ή φτυάρι έλεγχος είναι πολύ σημαντικός και οδηγεί συχνά σε ορθή εκτίμηση της εργασιμότητας, αρκεί να υπάρχει σχετική εμπειρία. Βάσει του Κανονισμού Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ '16), η εργασιμότητα του σκυροδέματος πρέπει να ελέγχεται, πριν τη διάστρωση και μετά την εκφόρτωση συγκεκριμένης ποσότητας του αναμίγματος ή του 1/3 του φορτίου του αυτοκινήτου (βαρέλας).

6.3 ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΙΣΗΣ

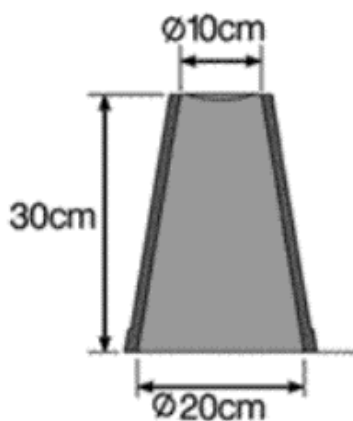
Κάθιση είναι μια εργαστηριακή ή επιτόπια δοκιμή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της συνοχής του σκυροδέματος. Η δοκιμή καθίζησης δείχνει μια ένδειξη της ομοιομορφίας του σκυροδέματος σε διαφορετικές παρτίδες..



Εικόνα 22: Δοκιμή κάθισης⁽³⁷⁾

6.3.1. ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΟΡΓΑΝΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΙΣΗΣ

Τα μόνα όργανα που χρειάζονται για τη δοκιμή κάθισης είναι ένας μεταλλικός κόλουρος κώνος με διαστάσεις (βλ. Εικόνα 23) (συνοδευόμενος με βάση τοποθέτησης και με στηρίγματα συγκράτησης του για τα χέρια και τα πόδια) μια μεταλλική ράβδος με κυκλική διατομή, διαμέτρου 16mm και μήκους 600mm, η οποία να έχει με στρογγυλεμένα άκρα, καθώς και μια άκαμπτη (βλ. Εικόνα 24)



Εικόνα 23: Διαστάσεις μεταλλικού κόλουρου κώνου⁽⁵⁷⁾



Εικόνα 24: Μεταλλικός κόλουρος κώνος, μεταλλική ράβδος κυκλικής διατομής με στρογγυλεμένα άκρα και μία άκαμπτη⁽⁵⁶⁾

6.3.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ο κώνος γεμίζεται με σκυροδέμα, που συμπυκνώνεται σε τρεις ίσες στρώσεις με τη ράβδο. Κάθε στρώση συμπυκνώνεται με 25 ραβδισμούς ομοιόμορφα κατανεμημένους στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

Κατά τη συμπύκνωση της κατώτερης στρώσης είναι αναγκαίο να δίνεται μικρή κλίση στη ράβδο κατά την έμπηξή της στο σκυροδέμα της περιμέτρου του κώνου και βαθμιαία να κατακορυφώνεται, καθώς οι κτύποι συνεχίζουν με σπειροειδή κίνηση προς το κέντρο. Οι μισοί περίπου ραβδισμοί πρέπει να κατανέμονται στη περίμετρο. Η ράβδος πρέπει να βυθίζεται σε όλο το ύψος της κατώτερης στρώσης.

Στη δεύτερη και τρίτη στρώση πρέπει να βυθίζεται σε όλη τη στρώση και μόλις να περνά στην αμέσως κατώτερη. Στην ανώτερη στρώση ο κώνος γεμίζεται έως ότου «ξεχειλίσει» πριν τους ραβδισμούς και κατά την συμπύκνωση πρέπει να συμπληρώνεται υλικό ώστε να υπάρχει πάντοτε περίσσεια υλικού.

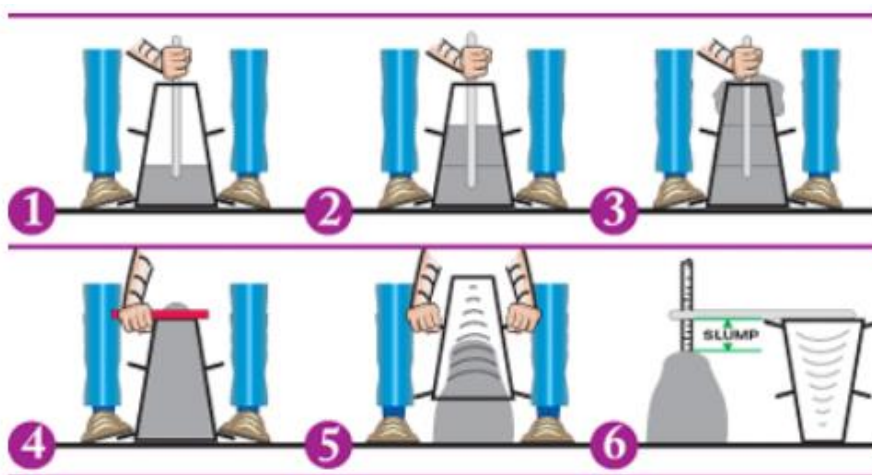
Μετά την τελευταία στρώση με τους 25 ραβδισμούς στο πάνω χείλος του κώνου αποκόπτεται και η επιφάνειά του γίνεται επίπεδη με παλινδρομικές κινήσεις και κυλίσεις της ράβδου συμπύκνωσης.

Στη συνέχεια καθαρίζεται η περιοχή γύρω από τον κώνο και ανασύρεται κατακόρυφα από 5-10 δευτερόλεπτα.

Αυτή η διαδικασία πρέπει να ολοκληρώνεται μέσα σε 2,5 λεπτά.

Όταν αφαιρεθεί ο κώνος, η μάζα του σκυροδέματος παραμορφώνεται λόγω του βάρους.

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να σημειωθεί, ότι η δοκιμή κάθισης θεωρείται μία αναξιόπιστη δοκιμή, στην περίπτωση που η κάθιση του σκυροδέματος οφείλεται σε διατμητική αστοχία. Βασικό χαρακτηριστικό της διατμητικής αστοχίας είναι ότι η επιφάνεια του σκυροδέματος είναι υπό κλίση (σχηματίζεται δηλ ένα διαγώνιο επίπεδο).



Εικόνα 25: Διαδικασία κάθισης⁽³³⁾

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΚΑΘΙΣΗΣ (mm)
S1	Ελάχιστα Πλαστικό	10 - 40
S2	Μέτρια Πλαστικό	50 – 90
S3	Πλαστικό	100 – 150
S4	Ημυρρευστό	160 – 210
S5	Ρευστό	>220
*Το μέτρο κάθισης θα στρογγυλοποιείται στα πλησιέστερα 10mm		

Πίνακας 15: Κατηγορίες Κάθισης

Συνήθεις εφαρμογές σκυροδεμάτων με την ανωτέρω κατηγοριοποιημένη κάθιση (Πίνακας 15) εμφανίζονται σε διάφορα έργα, όπως αναφέρονται στον παρακάτω Πίνακα 16.

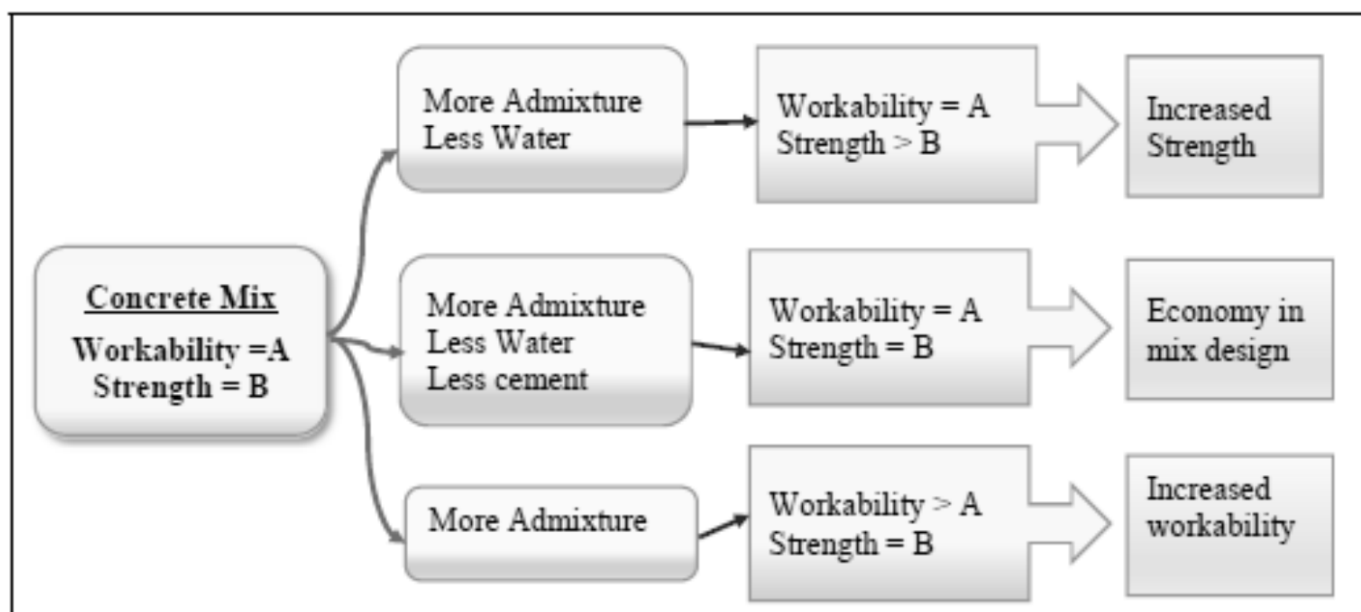
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΑΘΙΣΗΣ	ΕΡΓΑ
S1	Προκατασκευή, οδοστρώματα
S2	Στέγες, ογκώδη στοιχεία, τεχνητοί ογκόλιθοι
S3	Πλάκες, δοκοί, υποστυλώματα
S4	Φρεατοπάσσαλοι
S5	Τοιχεία με πυκνό οπλισμό

Πίνακας 16: Χρησιμοποίηση σκυροδεμάτων σε έργα με βάση την κάθιση

Για την επίτευξη της τροποποίησης κάποιων ιδιοτήτων του σκυροδέματος, κατά την ανάμειξη προσθέτουμε διάφορα χημικά υλικά σε οριζόμενες από το νόμο ποσότητες όσο αυτό είναι νωπό ή ακόμα και μετά τη σκλήρυνσή του. Επιπλέον, μπορεί να προστεθούν κατά την ανάμειξη και ορισμένα λεπτόκοκκα ανόργανα υλικά. Όπως αναφέρθηκε και στο αντίστοιχο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τα υλικά αυτά είναι τα πρόσθετα ή πρόσμικτα υλικά. Στην κατηγορία των πρόσθετων υλικών ανήκει και ο ρευστοποιητής.

Στην περίπτωση που προσθέσουμε ρευστοποιητή στο μείγμα η εργασιμότητα μπορεί και διατηρείται έως και 3 ώρες αν η θερμοκρασία είναι στους 20°C. Για να έχουμε ακρίβεια σχετικά με την διατήρηση της εργασιμότητας στο νωπό σκυροδέμα, θα πρέπει να και οι υπόλοιποι παράγοντες να είναι ακριβείς, δηλαδή η θερμοκρασία, ο τύπος του τσιμέντου, τα αδρανή και ο τόπος μεταφοράς του. Στην ποσότητα του σκυροδέματος που έχει απομείνει μέσα στον αναμικτήρα προστίθεται κατάλληλη ποσότητα ρευστοποιητή, η οποία θα πρέπει να ικανοποιεί την εξής αναλογία.

Ρευστοποιητές:



Σχήμα 6: Λειτουργία Ρευστοποιητή, πλεονεκτήματα⁽⁴⁸⁾

Υπερρευστοποιητές:

1. Αυξάνουν την εργασιμότητα του σκυροδέματος.
2. Μπαίνουν στο έργο με ανάμιξη 5 λεπτών.
3. Λύνουν προβλήματα διάστρωσης, όταν υπάρχει σκυροδέτηση πασσάλων και γενικώς σκυροδέτηση κάτω από το νερό.
4. Βοηθούν στην σκυροδέτηση μικρών και λεπτών διατομών με πολύ οπλισμό.

Τα υπερρευστοποιητικά χρησιμοποιούνται με σκοπό να αυξήσουν το εργάσιμο χωρίς, όμως, να μειώσουν την αντοχή του σκυροδέματος. Μπαίνουν επί τόπου στο έργο, διότι η δράση τους κρατά 20- 30 λεπτά. Η βασική διαφορά μεταξύ ρευστοποιητών και υπερρευστοποιητών είναι ότι με χρήση υπερρευστοποιητή έχουμε επίτευξη υψηλής ρευστότητας χωρίς επιβράδυνση της πήξης.

Δευτερεύουσες δράσεις:

1. Μείωση αντοχής έως και 15%.
2. Αύξηση της θερμότητας ενυδάτωσης έως και 30% κατά τις πρώτες 24 ώρες.

3. Μείωση της ανθεκτικότητας στην επίδραση χημικών.
4. Ευνοείται η διάβρωση του οπλισμού.
5. Αύξηση ερπυσμού και συστολής ξήρανσης.

ΩΡΙΜΑΝΣΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ:

1. Είδος τσιμέντου
2. Χρόνος
3. Υγρασία
4. Θερμοκρασία

ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ:

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι απαιτούμενες ποσοτικές αναλογίες των υλικών σε κιλά (kg) για την παρασκευή σκυροδέματος:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΚΑΘΙΣΗ	ΑΜΜΟΣ	ΓΑΡΜΠΙΛΙ	ΧΑΛΙΚΙ	ΤΣΙΜΕΝΤΟ	ΝΕΡΟ
C _{20/25}	S ₂	1025	180	680	300	185

Πίνακας 17: Δεδομένα, ποσοτικές αναλογίες για την παρασκευή σκυροδέματος

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα θα βρούμε εν συνεχεία τα παρακάτω:

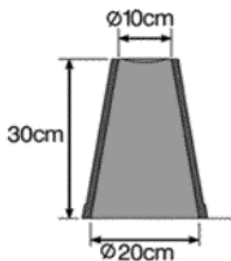
A) Αντίστοιχα κιλά που απαιτούνται για την παρασκευή ποσότητας σκυροδέματος που να ισοδυναμούν με όγκο δύο κόλourων κώνων, δύο κύβων και δύο κυλίνδρων

B) Μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής κάθισης και την πλήρωση ενός κύβου και ενός κυλίνδρου, να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα ρευστοποιητή, ώστε η εργασιμότητα του σκυροδέματος να πέσει μία κατηγορία, δηλαδή (από S₂ σε S₃)

A) Τα κιλά που θα απαιτηθούν για την παρασκευή ποσότητας σκυροδέματος

$$S_2 + 1025\text{kg} + 180\text{kg} + 680\text{kg} + 300\text{kg} + 185\text{kg} = \underline{2.370\text{kg/m}^3}$$

Διαστάσεις κόλουρου κώνου:



Ο όγκος κόλουρου κώνου:

$$V = 1/3\pi (20\text{cm})^2 + (10\text{cm})^2 + (20\text{cm} \times 10\text{cm}) \times 30\text{cm} = 2,2\text{cm}^3 \Rightarrow 0,022\text{m}^3$$

Κύβος:

$$\alpha = 0,16\text{m}^2 \Rightarrow \alpha^3 = 0,004\text{m}^3$$

Ο όγκος του κυλίνδρου με βάση τα κιλά που θα απαιτηθούν:

$$V = 0,006\text{m}^3$$

Κόλουρος κώνος:

Όπως είδαμε παραπάνω τα κιλά που θα απαιτηθούν για την παρασκευή σκυροδέματος ανά κυβικό μέτρο με βάση τα δεδομένα μας είναι 2.370kg/m^3 .

Ο κόλουρος κώνος έχει χωρητικότητα $0,022\text{m}^3$,

Επομένως, $0,022\text{m}^3 \times 2.370\text{kg/m}^3 = 52,14\text{kg}$ για έναν κόλουρο κώνο.

Επειδή εμείς θέλουμε ο όγκος να ισοδυναμεί σε 2 κόλourous κώνους θα πολλαπλασιάσουμε με το 2.

Άρα, $52,14\text{kg} \times 2 = 104,28\text{kg}$

Κύβος:

Ο κύβος έχει χωρητικότητα $0,004\text{m}^3$,

Επομένως, $0,004\text{m}^3 \times 2.370\text{kg}/\text{m}^3 = 9,48\text{kg}$ για έναν κύβο.

Επειδή εμείς θέλουμε ο όγκος να ισοδυναμεί σε 2 κύβους θα πολλαπλασιάσουμε με το 2.

Άρα, **$9,48\text{kg} \times 2 = 18,96\text{kg}$**

Κύλινδρος:

Ο κύλινδρος έχει χωρητικότητα $0,006\text{m}^3$,

Επομένως, $0,006\text{m}^3 \times 2.370\text{kg}/\text{m}^3 = 14,22\text{kg}$ για έναν κύλινδρο.

Επειδή εμείς θέλουμε ο όγκος να ισοδυναμεί σε 2 κύλινδρους θα πολλαπλασιάσουμε με το 2.

Άρα, **$14,22\text{kg} \times 2 = 28,44\text{kg}$**

B) Βάση των κανονισμών (όπως αναλύσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο) η κατάλληλη ποσότητα ρευστοποιητή που θα προστεθεί στο σκυρόδεμα, θα πρέπει να ικανοποιεί την εξής αναλογία:

Στα 100kg τσιμέντου προστίθενται 0.8 kg ρευστοποιητή

Επομένως, εφόσον τα κιλά του τσιμέντου μας είναι 300kg, τότε η αναλογία θα πρέπει να είναι $0,8\text{kg} \times 300\text{kg}/100 = 2,4\text{kg}$ ρευστοποιητή για 300kg τσιμέντου

ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΣΤΑΔΙΟΥ:

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι απαιτούμενες ποσοτικές αντοχές σκυροδέματος για ξεκαλούπωμα και οι μέσες θερμοκρασίες σε °C:

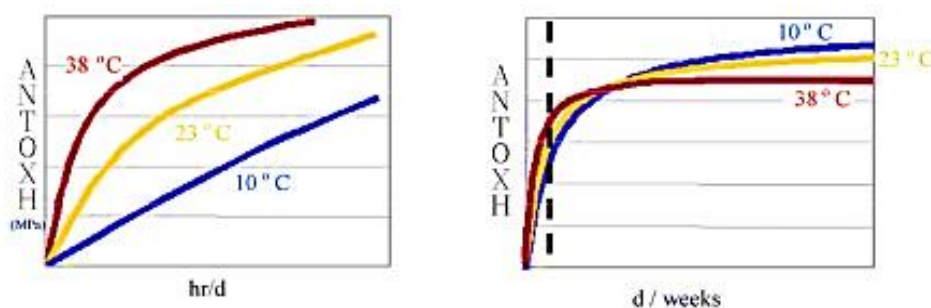
Απαίτηση %	Μέσες θερμοκρασίες °C			
	1 ^η εβδομάδα	2 ^η εβδομάδα	3 ^η εβδομάδα	4 ^η εβδομάδα
70	10	23	17	8

Πίνακας 18: Δεδομένα, ποσοτικές αντοχές σκυροδέματος για ξεκαλούπωμα και μέσες θερμοκρασίες

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, θα βρούμε εν συνεχεία τα παρακάτω:

A) Αναμενόμενη αντοχή των 28 ημερών κατά Saul

B) Απαιτούμενος χρόνος ξεκαλουπώματος σύμφωνα με την απαιτούμενη αντοχή για της εκάστοτε συνθήκες μέσες θερμοκρασίες



Διάγραμμα 1: Φαινόμενο υπερπήδησης (Crossover effect) – οι καταγεγραμμένες θερμοκρασίες δεν αποτελούν δεδομένα.

ΩΡΙΜΑΝΣΗ:

Η μέθοδος ωρίμανσης χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της συνδυασμένης επίδρασης χρόνου και θερμοκρασίας στην ανάπτυξη αντοχής του σκυροδέματος. Το πρώτο βήμα για την εφαρμογή της μεθόδου είναι η επιλογή μιας συνάρτησης ωρίμανσης για τη δημιουργία ενός δείκτη ωρίμανσης. Η μέθοδος ωρίμανσης κατά Saul βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο προφίλ θερμοκρασίας του σκυροδέματος κατά την περίοδο σκλήρυνσης του σκυροδέματος. Η συνάρτηση ωριμότητας Saul υποθέτει, ότι ο ρυθμός αύξησης της δύναμης είναι μια γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας. Αυτή η γραμμική προσέγγιση είναι ένας από τους κύριους περιορισμούς της συνάρτησης ωριμότητας Nurse-Saul.

Ο υπολογισμός του συντελεστή ωρίμανσης κατά Saul χρησιμοποιείται με σκοπό την εκτίμηση της επιτόπου αντοχής του σκυροδέματος σε μία κατασκευή, αφού λάβουμε υπόψη τον τρόπο με τον οποίο συμπεριφέρεται η ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος στις διαφορές της θερμοκρασίας και του χρόνου.

Το πρώτο βήμα για να υπολογίσουμε την αντοχή, είναι η καταγραφή των θερμοκρασιών (δηλ. Οι διάφορες τιμές της θερμοκρασίας που αναπτύσσει εσωτερικά το σκυρόδεμα συναρτήσει του χρόνου, όπως φαίνεται στα δεδομένα του Πίνακα 18) βάση της μεθόδου της ωρίμανσης κατά Saul, όπως θα δούμε στην συνέχεια. Πέρα όμως από αυτό, είναι εφικτός και ο προσδιορισμός της ανθεκτικότητας στο χρόνο.

Κατόπιν, με τις μαθηματικές σχέσεις που μας δίνονται από την μέθοδο, υπολογίζονται οι συνδυασμένες επιδράσεις του χρόνου και της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη αντοχής του σκυροδέματος., δηλαδή ο δείκτης «ωριμότητας». Τελικά, προκύπτει η αντοχή του σκυροδέματος, η οποία αναπαρίσταται γραφικά από την καμπύλη θλιπτικής αντοχής – δείκτη ωριμότητας, η οποία προκύπτει εργαστηριακά και αντιπροσωπεύει το σκυρόδεμα σε κάθε χρονική στιγμή.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί, ότι τον δείκτη ωρίμανσης μπορεί κανείς να τον υπολογίσει απευθείας, αν έχει στην διάθεσή του την κατάλληλη συσκευή, η οποία υπολογίζει τον δείκτη αυτόν και ονομάζεται «μετρητής της ωριμότητας» (maturity meter). Εξαιτίας, όμως, των ιδιαίτερων συνθηκών, δεν ήταν δυνατή η πραγματοποίηση του πειράματος σε εργαστήριο, επομένως θα χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες μαθηματικές σχέσεις.



Εικόνα 26: Μετρητής της ωριμότητας (maturity meter)⁽⁴⁴⁾

Η σχέση ωριμότητας που θα χρησιμοποιήσουμε για τον υπολογισμό της εξάρτησης «θερμοκρασίας-χρόνου» (Saul) είναι η εξής:

$$R(t) = \sum (T_a - T_0) \Delta t \quad (1)$$

Όπου:

$R(t)$ = ο παράγοντας θερμοκρασίας – χρόνου σε χρόνο t με μονάδες βαθμοί θερμοκρασίας επί μονάδες χρόνου (ημέρες, d, ή ώρες, h),

Δt = βηματικό χρονικό διάστημα, σε d ή h,

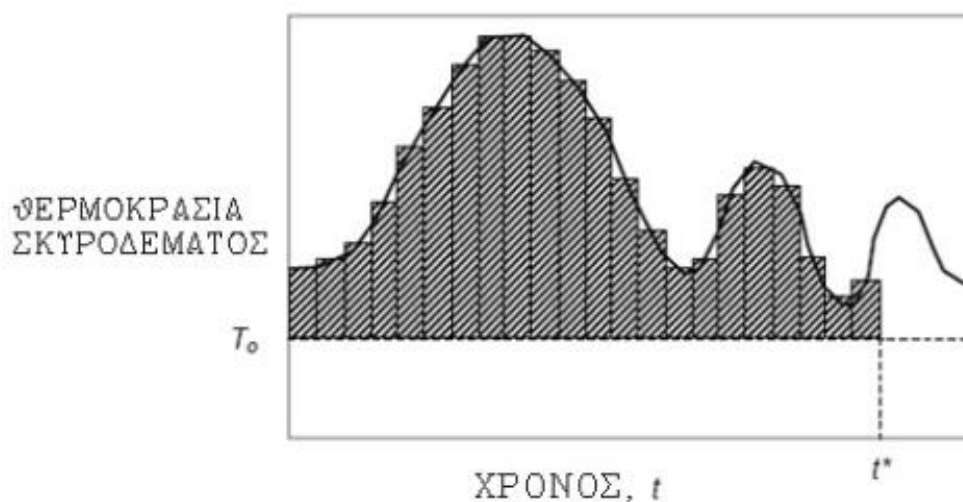
T_0 = θερμοκρασία αναφοράς (datum temperature), °C,

T_a = μέσος όρος της θερμοκρασίας του σκυροδέματος για το χρονικό διάστημα Δt , °C

Ως θερμοκρασία αναφοράς, T_0 , θεωρείται η θερμοκρασία κάτω από την οποία παύει η ενυδάτωση του σκυροδέματος, έχοντας ως αποτέλεσμα μηδενικό ρυθμό αύξησης της αντοχής του. Για τη θερμοκρασία αναφοράς συνήθως λαμβάνεται η τιμή -10 °C.

Η εξίσωση (1) είναι κατάλληλη για θερμοκρασίες μεταξύ 23°F και 86°F και είναι αρκετά εύχρηστη.

όπου $^{\circ}\text{F} = 9/5 ^{\circ}\text{C} + 32$



Σχήμα 7: Σχηματική απεικόνιση του θερμοκρασιακού ιστορικού και του παράγοντα «θερμοκρασίας – χρόνου» υπολογισμένου σύμφωνα με τη σχέση (1)

Για να εφαρμόσουμε την μέθοδο της ωριμότητας πρέπει να ακολουθήσουμε τα βήματα που απεικονίζονται στο Σχήμα 8:



Σχήμα 8: Βήματα της διαδικασίας για τη δημιουργία της τελικής καμπύλης συσχέτισης του συντελεστή ωρίμανσης R - αντοχής.

A) Επομένως, σύμφωνα με όσα είπαμε παραπάνω, για να βρεθεί η αναμενόμενη αντοχή των 28 ημερών, θα πρέπει να υπολογίσουμε τον συντελεστή ωρίμανσης (R) χρησιμοποιώντας την σχέση κατά Saul.

Συντελεστής ωρίμανσης:

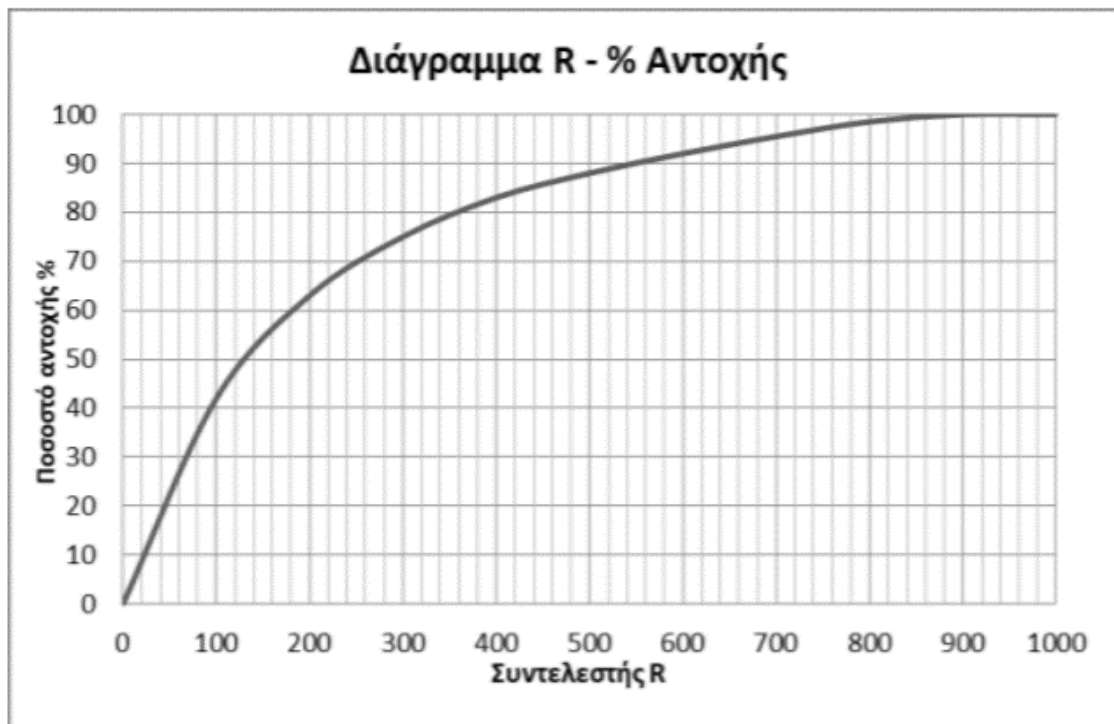
$$R = \sum(T+10)t$$

Όπου:

T: η μέση ημερήσια θερμοκρασία του σκυροδέματος σε °C

t : το πλήθος των ημερών

$$R(28)=(10+10)\times 7+(23+10)\times 7+(17+10)\times 7+(8+10)\times 7 = 686$$



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα μεταβολής συντελεστή ωρίμανσης R συναρτήσει ποσοστού αντοχής.

Με βάση το διάγραμμα R - % Αντοχής (Διάγραμμα 2), η αναμενόμενη αντοχή του σκυροδέματος των 28 ημερών είναι περίπου **94-95%**.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί, ότι ο ρυθμός αντοχής του σκυροδέματος δεν είναι σταθερός. Η σκλήρυνση έχει την υψηλότερη ένταση στις πρώτες 7 ημέρες από τη στιγμή της έκχυσης του μείγματος σκυροδέματος. Υπό κανονικές συνθήκες σκλήρυνσης (χωρίς δηλαδή πιθανές αστοχίες), μετά από 7-14 ημέρες, το σκυρόδεμα κερδίζει το 60-70% της αντοχής του 28 ημερών. Μελλοντικά, η αύξηση της αντοχής δεν θα σταματήσει, αλλά θα συμβαίνει πολύ πιο αργά. Έτσι, έως την ηλικία των τριών ετών, η αντοχή του σκυροδέματος μπορεί να φτάσει το 200-250% της τιμής που καθορίζεται στην ηλικία των 28 ημερών.

B) Ο απαιτούμενος χρόνος ξεκαλουπώματος σύμφωνα με την απαιτούμενη αντοχή για τις εκάστοτε συνθήκες μέσες θερμοκρασίες υπολογίζεται ως εξής:

Συντελεστής ωρίμανσης:

$$R(28) = 10 + 10 \times 7 + (23 + 10) \times 7 = \text{περίπου } 4 \text{ ημέρες}$$

$$\text{ΑΡΑ ΤΟ ΞΕΚΑΛΟΥΠΩΜΑ ΘΑ ΓΙΝΕΙ ΣΕ } 7 + 4 = \underline{\underline{11 \text{ ημέρες}}}$$

Γενικά, ο ξυλότυπος πρέπει να αφαιρείται μόνο όταν το σκυρόδεμα έχει σκληρυνθεί σε σημείο που να μπορεί να υποστηρίξει το δικό του φορτίο και τα φορτία που του τοποθετούνται, διαφορετικά μπορεί να μετατοπιστεί ή να καταρρεύσει χωρίς στήριξη.

Ως γενικός οδηγός, όταν χρησιμοποιείται τυπικό τσιμέντο σε κανονικές συνθήκες:

- Οι τοίχοι, οι κολώνες και άλλοι κάθετοι ξυλότυποι μπορούν συνήθως να αφαιρεθούν μετά από 24 έως 48 ώρες. Εάν χρησιμοποιείται τσιμέντο που στεγνώνει γρήγορα ο χρόνος μπορεί να είναι μόλις 12 ώρες.
- Για πλάκες σκυροδέματος, ο ξυλότυπος μπορεί συνήθως να αφαιρεθεί μετά από 3 ημέρες και τα στηρίγματα μετά από 2 εβδομάδες.
- Για τα δοκάρια, ο ξυλότυπος πρέπει να παραμείνει στη θέση του για 7 ημέρες και τα στηρίγματα για 2 έως 3 εβδομάδες.

Σε οποιαδήποτε περίπτωση, αν το σκυρόδεμα δεν έχει σκληρυνθεί ο χρόνος ξεκαλουπώματος είναι απαραίτητο να παραταθεί μέχρι την σκλήρυνσή του.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Κατά την διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, έγινε αντιληπτό, ότι τα πρόσθετα υλικά, όπως στην περίπτωση μας ο ρευστοποιητής, αποδεικνύεται ότι αν βάλουμε την σωστή αναλογία, όπως περιγράφονται από τους σχετικούς κανονισμούς, δεν επηρεάζουν τον χρόνο ξεκαλουπώματος. Όλα τα πρόσμικτα (και συγκεκριμένα ο ρευστοποιητής) επηρεάζουν την εργασιμότητα και τον χρόνο πήξεως του Νωπού Σκυροδέματος.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά υπολογίσαμε στο πείραμα, τα κιλά που απαιτούνται για την παρασκευή ποσότητας σκυροδέματος που να ισοδυναμούν με όγκο δύο κόλουργων κώνων, δύο κύβων και δύο κυλίνδρων. Αφού υπολογίσαμε τα αντίστοιχα κιλά και μετά την πραγματοποίηση της δοκιμής κάθισης και την πλήρωση ενός κύβου και ενός κυλίνδρου, υπολογίσαμε την απαιτούμενη ποσότητα ρευστοποιητή, ώστε η εργασιμότητα του σκυροδέματος να πέσει μία κατηγορία (από S_2 που αφορά σε μέτρια πλαστικό και η κάθιση κυμαίνεται μεταξύ 50-90mm σε S_3 που αφορούν σε πλαστικό και η κάθιση κυμαίνεται μεταξύ 100-150mm).

Με την προσθήκη των ρευστοποιητών διατηρείται η εργασιμότητα του νωπού σκυροδέματος έως και 3 ώρες σε θερμοκρασία 20°C. Ο ακριβής χρόνος διατήρησης της εργασιμότητας εξαρτάται από τη θερμοκρασία, τον τύπο του τσιμέντου, τα αδρανή και τον τόπο μεταφοράς του. Στην ποσότητα του σκυροδέματος που έχει απομείνει μέσα στον αναμκτήρα, προστίθεται κατάλληλη ποσότητα ρευστοποιητή, η οποία θα πρέπει να ικανοποιεί την εξής αναλογία: Στα 100kg τσιμέντου προστίθενται 0.8 kg ρευστοποιητή. Επομένως, κατόπιν των αντίστοιχων υπολογισμών, τα κιλά που προσθέσαμε στα 300kg τσιμέντου ήταν 2,4kg.

Στην συνέχεια, υπολογίσαμε την αναμενόμενη αντοχή των 28 ημερών χρησιμοποιώντας την μέθοδο Saul, και είδαμε ότι ο συντελεστής ωρίμανσης στις 28 μέρες ήταν 686, και συνεπώς σύμφωνα με το διάγραμμα συντελεστή ωρίμανσης R και % αντοχής, η αναμενόμενη αντοχή είχε ποσοστό 94-95%.

Τέλος, χρησιμοποιώντας ξανά τον συντελεστή ωρίμανσης των 28 ημερών, προκύπτει ότι το ξεκαλούπωμα θα πραγματοποιηθεί στις 11 ημέρες.

Όπως έγινε αντιληπτό, η παρουσία του ρευστοποιητή επηρέασε την εργασιμότητα του νοπού σκυροδέματος. Πέρα από την επιρροή στην εργασιμότητα, με αποτέλεσμα την επιρροή του χρόνου τοποθέτησης του σκυροδέματος, οι ρευστοποιητές επιβραδύνουν την πήξη και μειώνουν την ανάγκη προσθήκης επιπρόσθετου νερού. Επιπλέον, αυξάνουν σημαντικά την αντοχή και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ & ΞΕΝΗ

1. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ – ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΠΟΔΟΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ (ημερομηνία πρόσβασης: 7 Μαρτίου 2021) <https://www.ggde.gr/>
2. Δημητρίου Π, Μιχάλης Σ, (2007), Μελέτη Σύνθεσης Σκυροδέματος
3. Ε. Βιντζηλαίου (Συντονιστής), Ε. Βουγιούκας, Ε. Μπαδογιάννης, ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΜΠ ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ, Παρουσίαση στο μάθημα Τεχνικά Υλικά (Κεφάλαιο 6).
4. Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, (2016), (ΦΕΚ 1561/τ.Β’/2-06-2016)
5. Μοροπούλου Α. & Λαμπρόπουλος Κ., «Δομικά Υλικά» ΕΜΠ, Τσιμέντο και σκυρόδεμα, (ημερομηνία πρόσβασης 7 Σεπτεμβρίου 2021: <https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG114/Cement%20and%20Concrete.pdf>
6. «ΑΝΕΛΙΞΗ», μη κυβερνητικός οργανισμός, (ημερομηνία πρόσβασης: 19 Σεπτεμβρίου 2021)
<https://anelixi2020.org/kathara-ylika-kai-technologies/kathara-ulika-kai-technologies-oikodomika-proionta-proionta-ylikon-tis-gis-skurodema/>
7. Δημάκος Δρ. Κ., (2018), Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Εργαστηριακές ασκήσεις οπλισμένου σκυροδέματος, Αθήνα
8. Τσώνος Α-Δ, (2017), Σχεδιασμός κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, Θεσσαλονίκη
9. Ελληνική Δημοκρατία Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε, (2006), Συντήρηση του σκυροδέματος
10. INTERBETON Δομικά Υλικά Α.Ε. του Ομίλου Εταιριών TITAN (ημερομηνία πρόσβασης: 5 Ιουλίου 2021)
<http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=50&langid=1>

11. Ελληνική Επιστημονική Εταιρία Ερευνών Σκυροδέματος (ΕΠΕΣ) –ΤΕΕ / Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος «Κατασκευές από Σκυρόδεμα» Θεσσαλονίκη, 10-12 Νοεμβρίου 2016
12. ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION), (ημερομηνία πρόσβασης: 27 Αυγούστου 2021)
<http://www.hcia.gr/>
9. «Εγχειρίδιο σχεδιασμού κτιριακών έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2», ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ
10. Ιγνατάκης Χ. & Σέξτος Α., «Κτίρια από οπλισμένο Σκυρόδεμα, Διαστασιολόγηση σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8».
11. Νικόλαος Μαρσέλος, Πολ. Μηχανικός ΕΜΠ, Μέλος Επιτροπής Συντάξεως ΚΤΣ, «Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος, ΚΤΣ-2016», Αθήνα, Νοέμβριος 2016
12. Δρ. Κυριαζόπουλος Αντώνιος, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε., Σημειώσεις Οπλισμένου Σκυροδέματος ΙΙ, Μάιος 2014.
13. Απόστολος Κωνσταντινίδης, Πολιτικός Μηχανικός, «ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, Σύμφωνα με τον νέο κανονισμό σκυροδέματος, ΠΙΝΑΚΕΣ», Εκδόσεις π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E.B.E.A., Αθήνα
14. Χρίστου Μ. Οικονόμου,(2006), Τεχνολογία του Σκυροδέματος
15. Ρούτουλας Α., ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ, (2010), «τσιμέντα-σκυρόδεμα», έλεγχος ποιότητας και τεχνολογίας δομήσιμων υλικών
16. Βιβή Δηλαβέρη, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υπεύθυνος Κλάδου Πρόσθετων Σκυροδέματος & Τσιμέντου, «Ανασκόπηση στο πρότυπο ΕΛΟΤ EN 934-2: Πρόσθετα Σκυροδέματος», Αθήνα, 7 Ιουνίου 2017
17. Χαραλάμπους Ε, (2015), Αύξηση του λόγου νερού/ τσιμέντου στο εργοτάξιο
18. Ελευθερίου Λ, (2019), Προσδιορισμός μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων σκυροδέματος διαφόρων ποιοτήτων με τη μέθοδο των υπερήχων και του

- κρουσίμετρου και έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων με την ηλεκτρονική μηχανή θλίψεως δοκιμίου σκυροδέματος
19. Η Χρήση του Σκυροδέματος στην Κατασκευή Έργων Πολιτικού Μηχανικού, ΤΕΙ Πειραιά
 20. Κάκουρα Δανάη, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΠΑ.Δ.Α., 2021, “ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΑΝΑΜΕΙΚΤΑ ΑΔΡΑΝΗ”, Αθήνα 2021
 21. Ι. Παπαγιάννη, Καθηγήτρια Α.Π.Θ., Εργαστήριο Δομικών Υλικών Α.Π.Θ., 4-9 Δεκεμβρίου, 2006, Επιμορφωτικό σεμινάριο για μηχανικούς (2006), Οδοστρώματα από σκυρόδεμα οι δρόμοι του μέλλοντος
 22. Τεχνικό Επιστημονικό Περιοδικό, Σκυρόδεμα και χάλυβας (ημερομηνία πρόσβασης: 23 Οκτωβρίου 2021), http://www.skyrodemanet.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=132%3A-11&catid=57&Itemid=66
 23. Πολλάλη Σ, Χιώτης Π, Χρηστοφή Ε, (2015), Αντοχή δοκιμίων σε θλίψη σύμφωνα με τον ΚΤΣ 97 και τον ΚΤΣ 15, Πάτρα
 24. Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021), https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%85%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%AF%CE%B4%CE%B5%CF%82_%CF%84%CE%B7%CF%82_%CE%93%CE%BA%CE%AF%CE%B6%CE%B1%CF%82
 25. Versus Travel, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.versustravel.eu/article-xp.asp?aid=617>
 26. Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CF%83%CF%83%CE%B1%CE%AF%CE%BF>

27. Naftemporiki ψηφιακή εφημερίδα, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.naftemporiki.gr/story/1659616/pantheon-to-arxaiio-ktirio-pou-xrisimopoieitai-akoma-2000-xronia-meta>
28. TopTraveller, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://toptraveller.gr/poi/notre-dame-cathedral-paris/>
29. Xtools, διαδικτυακό κατάστημα, φωτογραφία (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.xtools.gr/%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%84%CE%BF-%CE%B3%CF%8D%CF%88%CE%BF%CF%82-%CF%83%CF%84%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CF%82%314-%CF%84%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%AD%CE%BD%CF%84%CE%BF-%CE%B3%CE%BA%CF%81%CE%B9-5-%CE%BA%CE%B9%CE%BB%CF%8E%CE%BD-%CF%83%CF%85%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1-oem.html>
30. ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION) σχήματα και πίνακες (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards/>
31. ΕΝΩΣΗ ΤΣΙΜΕΝΤΟΒΙΟΜΗΧΑΝΙΩΝ ΕΛΛΑΔΟΣ (HELLENIC CEMENT INDUSTRY ASSOCIATION) σχήματα, πίνακες & φωτογραφίες (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/technology/>
32. Σταματούλης Σ, 2013, Μη καταστροφικοί έλεγχοι σκυροδέματος, Στάδια κρουσιμέτρησης, (ημερομηνία πρόσβασης: 18 Οκτωβρίου 2021), http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1093/pol_00975.pdf?sequence=1&isAllowed=y
33. Paver, ΔΟΚΙΜΗ ΚΑΘΙΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (ΣΚ309) (ημερομηνία πρόσβασης: 9 Δεκεμβρίου 2021) http://www.paver.gr/images/stories/virtuemart/product/skyrodema/slump_test_sk309.pdf

34. Πολλάλη Σ & Χιώτης Π & Χρηστοφή Ε, Πάτρα 2015, Κατασκευή συμβατικών δοκιμίων, (ημερομηνία πρόσβασης: 7 Νοεμβρίου 2021), <https://docplayer.gr/52831163-Antohti-dokimion-se-thlipsi-symfona-me-ton-kts-97-kai-ton-kts-15.html>
35. Σκουφεζής Αντώνιος & Σπανουδάκης Γεώργιος, ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, «ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΜΙΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΥΤΟ-ΙΑΣΗ ΤΟΥ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ», ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020
36. Τριαντάφυλλος Δελής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Διπλωματική Εργασία «Παρουσίαση ιδιοτήτων και έργων εφαρμογής του Αυτοσυμπυκνούμενο Σκυροδέματος (ΑΣΣ)», Βόλος Σεπτέμβριος 2020.
37. Παναγιώτης Α. Μιχάλης & Σωτήρης Χ. Δημήτριος, ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, «ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ», Θεσσαλονίκη, Δεκέμβριος 2007
38. Ελληνική Επιστημονική Εταιρία Ερευνών Σκυροδέματος (ΕΠΕΣ) –ΤΕΕ / Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Πανελλήνιο Συνέδριο Σκυροδέματος «Κατασκευές από Σκυρόδεμα» Θεσσαλονίκη, 10-12 Νοεμβρίου 2016, «Επίδραση της χημικής - ορυκτολογικής σύστασης της ιπτάμενης τέφρας στις μηχανικές ιδιότητες και την ανθεκτικότητα του σκυροδέματος»
39. Αρχιμήδης, φόρουμ ενημέρωσης και προβληματισμού των τεχνικών, Θ.Γ. Βουδικλάρης, Πολιτικός Μηχανικός, «Ελληνική ιπτάμενη Τέφρα – Δυνατότητες αξιοποίησεως», (ημερομηνία πρόσβασης: 16 Νοεμβρίου 2021), <https://e-archimedes.gr/latest/item/4805->
40. Βικιπαίδεια, Ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια, ημερομηνία πρόσβασης: 3 Νοεμβρίου 2021), <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%BF%CE%B6%CE%BF%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%B7>

41. Δρ Αθ. Ρούτουλας Καθηγητής, ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΟΜΗΣΙΜΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ, ΕΝΟΤΗΤΑ 3^η – ΤΣΙΜΕΝΤΑ - ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ, ΑΣΚΗΣΗ 9^η: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΑCI-211, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2010
42. Τα Πάντα για τη Δόμηση, Αερακτικά Πρόσθετα Σκυροδέματος : Αναλυτικά, ημερομηνία δημοσίευσης blog Κυριακή 1 Φεβρουαρίου 2015, (ημερομηνία πρόσβασης: 21 Νοεμβρίου 2021) <http://domikanews.blogspot.com/2015/02/blog-post.html>
43. Λαζαράκης, Τεχνικό Πολυκατάστημα, (ημερομηνία πρόσβασης 20 Νοεμβρίου 2021) <https://www.lazarakis.gr/component/eshop/catalog/category/kataskeii-%26-episkeii/skirodetisi/364-epibradintes---reistopoiites-skirodematos>
44. ΑΓΓΕΛΟΠΟΥΛΟΣ Φ. ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ, Διπλωματική Εργασία με τίτλο «ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΥΤΟΣΥΜΠΥΚΝΟΥΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ ΩΡΙΜΟΤΗΤΑΣ (MATURITY METHOD)», ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2006 ΠΑΤΡΑ
45. ΚΤΙΡΙΟ ΕΚΔΟΣΕΙΣ εταιρεία, (φωτογραφία εξωφύλλου), (ημερομηνία πρόσβασης: 1 Μαρτίου 2021) <https://ktirio.gr/el/%CE%B9%CE%B4%CE%B5%CE%B5%CF%82/%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B9%CE%B1/%CF%84%CE%BF-%CF%83%CE%BA%CF%85%CF%81%CF%8C%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B1-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CE%BC%CE%AD%CE%BB%CE%BF%CE%BD%CF%84%CE%BF%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%BF-%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B5%CF%81%CE%B5%CF%85%CE%BD%CE%B7%CF%84%CF%8E%CE%BD>

46. Zalina Tuskaeva and Soslan Karyaev, E3S Web of Conferences 164, 14007 (2020) TPACEE-2019, “Influence of various additives on properties of concrete”
47. Big D ready mix Concrete, (ημερομηνία πρόσβασης 26 Ιανουαρίου 2022) <https://www.bigdreadymix.com/types-of-concrete-additives/>
48. PCA, America’s Cement Manufacturers (ημερομηνία πρόσβασης 23 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.cement.org/Learn/concrete-technology/concrete-design-production/design-and-control-mixtures-landing-page>
49. Redemption Blogs (φωτογραφία), (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://blog.redemptionroadcc.com/plymouth-devon-england/smeaton-s-lighthouse-plymouth-hoe-plymouth-flickr.html>
50. Construction Cost (φωτογραφία), (ημερομηνία πρόσβασης: 17 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.constructioncost.co/specifications-of-cement-concrete.html>
51. Δήμητρα Τσιλιμέκη, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα 2016, ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ (ημερομηνία πρόσβασης: 19 Δεκεμβρίου 2021) <https://docplayer.gr/47455309-Ptyhiaki-ergasia-diereynisi-mihanismon-astohias-se-domika-ylika-kai-kataskeyes.html>
52. KRITHARIS A.E.V.T.E., φωτογραφία, (ημερομηνία πρόσβασης: 19 Δεκεμβρίου 2021) <https://www.kritharis.gr/katastima/domika-ilika-catalog/adrani/gia-ti-sintirisi-ke-tin-apokatastasi-mnimion-ke-archeotiton/thiraiki-gi/>
53. Αφροδίτη Κοντομηνά, Τ.Ε.Ι. Πειραιά, Πτυχιακή Εργασία, «ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΙΠΤΑΜΕΝΗΣ ΤΕΦΡΑΣ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ», Πειραιάς, Σεπτέμβριος 2017 <http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3924/%CE%91%CE%9E%CE%99%CE%9F%CE%A0%CE%9F%CE%99%CE%97%CE%A3%CE%97%20%CE%A4%CE%97%CE%A3%20%CE%99%CE%A0%CE%A4%CE%91%CE%9C%CE%95%CE%9D%CE%97%CE%A3%20%CE%A4%CE%95%CE%A6%CE%A1%CE%91%CE%A3%20%CE%A3%CE%95%20%CE%95%CE%9B%CE%9B%CE%91%CE%94%CE%91%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%A3%CE%A4%CE%9F%20%CE%95%CE%9E%CE%A9%CE%A4%CE%9>

- [5%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%9F%20-%20%CE%94%CE%97%CE%9B%CE%A9%CE%A3%CE%97.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)
54. Εμπορικό και Βιομηχανικό Επιμελητήριο Πειραιά, φωτογραφία, (ημερομηνία πρόσβασης: 19 Δεκεμβρίου 2021)
http://www.pcci.gr/evrep/showroom/jsp1/products.jsp;jsessionid=E0F5B836A6D0F5DD3AAB752FE40B8712?context=406&globalid=29052&orgid=9869&css=css1_1
55. Geologinesia, φωτογραφία, (ημερομηνία πρόσβασης: 19 Δεκεμβρίου 2021)
<https://www.geologinesia.com/2017/01/batugamping-klastik-genesa-jenis-dan-ciri-cirinya.html>
56. Protém Group, (ημερομηνία πρόσβασης: 14 Δεκεμβρίου 2021)
<https://www.protemgroup.com/lyseis/skirodema-tsimentoproionta/ergastiriakos-eksoplismos/metrisi-kathisis.html>
57. Essais destructifs et non destructifs du béton, Cours génie civil - Outils, livres, exercices et vidéos, φωτογραφία, (ημερομηνία πρόσβασης: 14 Δεκεμβρίου 2021)
<https://www.4geniecivil.com/2013/08/essais-destructifs-et-non-destructifs.html>
58. Διδακτορική Διατριβή, Τζιτότζιου Μαρία, Χανιά 2013, Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, με τίτλο «ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΠΗΞΗΣ ΚΟΝΙΑΜΑΤΩΝ ΤΥΠΟΥ ΑΣΒΕΣΤΗ – ΦΥΣΙΚΗΣ ΠΟΖΟΛΑΝΗΣ»

