



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ - ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ»**

ΑΝΤΖΕΛΑ ΣΙΝΑ
Α.Μ.: 44547483

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΥΤΟΥΣΜΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2022, ΑΙΓΑΛΕΩ

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη ΣΙΝΑ ΑΝΤΖΕΛΑ του ΑΣΛΑΝ, με αριθμό μητρώου 44547483 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας με τίτλο «ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ - ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ» 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 συγγράφει από εμένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

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

Η Δηλούσα

ΑΝΤΖΕΛΑ ΣΙΝΑ



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

Αθανάσιος Αυτουσμής
Καθηγητής
Επιβλέπων

Σταυρούλα Δενεζάκη
Καθηγητής
Μέλος

Τριαντ.-Φίλης Κόκκινος
Αναπληρωτής Καθηγητής
Μέλος

ΙΟΥΝΙΟΣ 2022, ΑΙΓΑΛΕΩ

Ευχαριστίες

«Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Αθανάσιο Αυτουσμή για την εμπιστοσύνη του και την επιστημονική του καθοδήση, ώστε να ολοκληρώσω την εργασία.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Γεώργιο Βλαντή, Πολιτικό Μηχανικό, για την βοήθεια που μου παρείχε σχετικά με την λήψη των απαραίτητων μετρήσεων που χρειάστηκα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για όλη την υποστήριξη και συμπαράσταση τους, κατά την διάρκεια των σπουδών μου.»

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στις μεθόδους επισκευών και ενισχύσεων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με τη χρήση υλικών καθώς και στον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος.

Αρχικά γίνεται αναφορά στις μορφές αστοχίες που μπορεί να προκληθούν σε κάθε στοιχείο του φέροντος οργανισμού με βάση τον τρόπο στήριξης, τα φορτία, την όπλιση και την γεωμετρία τους. Έτσι εμφανίζονται αστοχίες σε δοκούς, υποστυλώματα, τοιχώματα, κόμβους, πλάκες και τοιχοποιίες που μπορεί να προκληθούν λόγω κάμψης, διάτμησης, στρέψης κτλ..

Στην συνέχεια γίνεται παρουσίαση των υλικών και των κύριων εφαρμογών επισκευών και ενισχύσεων. Το σκυρόδεμα, που είναι το βασικό δομικό υλικό, αναλύεται σχετικά με την σύσταση του και τους ειδικούς τύπους σκυροδέματος. Ακολουθεί εκτενής αναφορά στις πολυμερικές κόλλες, στα επισκευαστικά κονιάματα, στα επικολλητά φύλλα από χάλυβα, στους διατμητικούς συνδέσμους, στις συγκολλήσεις και στους μανδύες.

Έπειτα, αναλύεται ο ποιοτικός έλεγχος σκυροδέματος. Περιγράφονται οι κυριότεροι άμεσοι και έμμεσοι μέθοδοι ελέγχου σκυροδέματος. Οι μέθοδοι αυτοί είναι του κρουσίμετρου, της εξόλκευσης ήλου, των υπερήχων, η πυρηνοληψία αλλά και ο συνδιασμός τους.

Τέλος, παρουσιάζεται μια πρακτική εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος μιας υφιστάμενης κατασκευής με τη χρήση της πυρηνοληψίας και του κρουσίμετρου για τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος της κατασκευής.

Abstract

The present diploma thesis focuses on the methods of repair and rehabilitation of reinforced concrete structures with the use of materials as well as on the quality control of concrete.

Initially, reference is made to the types of failures that can be caused to each element of the bearing body based on how they are supported, their loads, their armament and their geometry. So failures appear in beams, columns, walls, joints, slabs and masonry that can be caused due to bending, shear, torsion, etc..

Then, the materials and the main applications of repairs and reinforcements are presented. Concrete, which is the basic building material, is analyzed in terms of its composition and special types of concrete. The following is an extensive reference to polymeric adhesives, repair mortars, steel sheets, shear joints, welds and FRP.

Then, the quality control of concrete is analyzed. The main direct and indirect methods of concrete control are described. These methods are the concrete test hammer, the pull out test, the ultrasounds, compression test on concrete cores and their combination.

Finally, a practical application of concrete quality control of an existing structure is presented using the compression test on concrete cores and the concrete test hammer to determine the strength of the concrete of the structure.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Εικόνων	iii
Κατάλογος Πινάκων	vii
1 Εισαγωγή - Επισκευή και Ενίσχυση σκυροδέματος & Ποιοτικός Έλεγχος.....	1
2 Μορφές αστοχίας φορέων οπλισμένου σκυροδέματος.....	3
2.1 Αστοχία σε δοκούς	3
2.1.1 Αστοχία δοκού λόγω κάμψης	4
2.1.2 Αστοχία δοκού λόγω διάτμησης	7
2.1.3 Αστοχία δοκού λόγω στρέψης	11
2.2 Αστοχία σε υποστυλώματα	14
2.2.1 Μορφές αστοχίας υποστυλωμάτων.....	16
2.2.2 Αναγνώριση βαθμού βλάβης στα υποστυλώματα κατά την απόφαση για μετασεισμική επέμβαση	25
2.3 Βλάβες σε τοιχώματα.....	28
2.4 Αστοχία σε κόμβους	32
2.5 Αστοχία σε πλάκες.....	34
2.6 Βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης (τοιχοποιίες)	39
3 Υλικά και τεχνολογίες εφαρμογής στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών	42
3.1 Σκυρόδεμα.....	42
3.1.1 Γενικά στοιχεία για το σκυρόδεμα.....	43
3.1.2 Κανονισμοί σκυροδέματος	45
3.1.3 Συστατικά σκυροδέματος	48
3.2 Ειδικοί τύποι σκυροδέματος.....	61
3.2.1 Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής	61
3.2.2 Ελαφροσκυρόδεμα	63
3.2.3 Ινοπλισμένο σκυρόδεμα	65
3.2.4 Σκυρόδεμα με πολυμερή	66
3.2.5 Διογκούμενο σκυρόδεμα	67
3.2.6 Σκυρόδεμα για κατασκευές μεγάλου όγκου (mass concrete).....	68
3.3 Πολυμερικές κόλλες	70
3.4 Επισκευαστικά κονιάματα	72
3.5 Επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs).....	74

3.6 Διατμητικοί σύνδεσμοι – Αγκύρια	77
3.7 Αγκυρώσεις και συγκολλήσεις νέων ράβδων σπλισμού.....	78
3.8 Μανδύες	81
4 Μέθοδοι αποτίμησης των Δομικών Στοιχείων – Ποιοτικός Έλεγχος Σκυροδέματος	85
4.1 Μέθοδος του κρουσίμετρου	87
4.2 Μέθοδος εξόλκευσης ήλου	91
4.3 Μέθοδος των Υπερήχων	92
4.4 Πυρηνοληψία.....	99
4.5 Συνδυασμός μεθόδων	102
5 Πρακτική Εφαρμογή Ποιοτικού Ελέγχου Σκυροδέματος.....	104
5.1 Δοκίμια Πυρηνοληψίας.....	104
5.2 Βαθμονόμηση Έμμεσης Μεθόδου Κρουσίμετρου	113
5.3 Αναλυτικοί υπολογισμοί ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος	116
6 Βιβλιογραφία	119

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1-1: Εφαρμογή ενίσχυσης υφιστάμενης κατασκευής (πάνω). Ποιοτικός έλεγχος δοκού με αποκοπή πυρήνα σκυροδέματος (κάτω)	2
Εικόνα 2-1: Καμπτική Εφελκυστική αστοχία [2].....	4
Εικόνα 2-2: Καμπτική θλιπτική αστοχία.....	5
Εικόνα 2-3: Ρηγματώσεις και οπλισμοί σε δοκό με βάση τον τρόπο στήριξης της	6
Εικόνα 2-4: Διάταξη οπλισμού διάτμησης σε δοκό [3]	8
Εικόνα 2-5: Ανάπτυξη ρωγμών διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας.....	8
Εικόνα 2-6: Ανάπτυξη ρωγμών διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας.....	9
Εικόνα 2-7: Αστοχία Καθαρής Διάτμησης.....	9
Εικόνα 2-8: Διατμητική αστοχία δοκού μετά από σεισμό ([4])	10
Εικόνα 2-9: Διατμητική αστοχία εξαιτίας συγκεντρωμένου φορτίου (δοκός επί δοκού).....	10
Εικόνα 2-10: Έμμεση στρέψη σε ακραία δοκό (a), Άμεση στρέψη σε δοκό που στηρίζει πρόβολο (b) [5]	11
Εικόνα 2-11: Μηχανισμός ανάπτυξης ρωγμών σε δοκό υπό στρέψη.....	12
Εικόνα 2-12: Θρυμματισμός επικάλυψης λόγω περιστροφικής παραμόρφωσης στρέψης [6].....	12
Εικόνα 2-13: Διαφοροποίηση τάσεων και ρηγματώσεων μεταξύ στρέψης και διάτμησης [7]	13
Εικόνα 2-14: Κατάρρευση εργοστασίου Ρικομέξ στο σεισμό της Αθήνας το 1999 με βασικό παράγοντα τα κοντά υποστυλώματα.....	14
Εικόνα 2-15: Κατάρρευση πολυκατοικίας στο Zurnut της Τουρκίας εξαιτίας των κατακόρυφων φορτίων ([9]	15
Εικόνα 2-16: Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων [10]	16
Εικόνα 2-17: Βλάβη υποστυλώματος από ισχυρή αξονική σύνθλιψη και εναλλασσόμενη ροπή [4]	17
Εικόνα 2-18 : Μορφή παραμόρφωσης υποστυλώματος υπό πλευρικά φορτία (πχ σεισμικά) & καμπτικές ρωγμές στη βάση υφιστάμενου υποστυλώματος [8].....	18
Εικόνα 2-19: Διαμορφώσεις κοντών υποστυλωμάτων [12] , [13]	19
Εικόνα 2-20: Εμφάνιση διατμητικής αστοχίας σε υποστυλώμα (σεισμός Μαρμαρά 1999 [8]) & χαρακτηριστική χιαστή διατμητική ρωγμή σε υποστυλώμα που συμπεριφέρεται ως κοντό διπλά από φεγγίτη [12].....	20
Εικόνα 2-21: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος [4]	20
Εικόνα 2-22: Υποστυλώματα που έχουν υποστεί καμπτο-διατμητική βλάβη μετά από σεισμό με σύνθλιψη και λυγισμό των ράβδων οπλισμού	21
Εικόνα 2-23: Σκαρίφημα λεπτομέρειας κατασκευαστικού αρμού στο επίπεδο ορόφων με οπλισμούς αναμονής για τη μάτιση	22
Εικόνα 2-24: Μάτιση με αλληλοκάλυψη [14].....	23
Εικόνα 2-25: Μηχανική μάτιση με συζευκτήρες [14]	23
Εικόνα 2-26: Μάτιση με συγκόλληση των οπλισμών [14]	24
Εικόνα 2-27: Αστοχία ματίσεων στην βάση υποστυλωμάτων [8]	25
Εικόνα 2-28: Βλάβη τύπου A [4].....	25
Εικόνα 2-29: Βλάβη τύπου B [4].....	26
Εικόνα 2-30: Βλάβη τύπου C [4].....	26
Εικόνα 2-31: Βλάβη τύπου D [4].....	27
Εικόνα 2-32: Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος στους άνω ορόφους που θα ταξινομούσαν ως βλάβη βαθμού E.....	27

Εικόνα 2-33: Τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα και στις δύο διευθύνσεις σε οικοδομή υπό ανέγερση.....	28
Εικόνα 2-34: Γραφική απεικόνιση καμπτικής αστοχίας τοιχείου	29
Εικόνα 2-35: Απεικόνιση διατμητικής βλάβης τοιχώματος [4] & διατμητική αστοχία τοιχώματος στο ισόγειο οικοδομής κατά το σεισμό της Αθήνας το 1999 [19].....	29
Εικόνα 2-36: Καμπτο – διατμητική απόκριση τοιχώματος κατά τον σεισμό της Καλαμάτας το 1986 [19]	30
Εικόνα 2-37: Απεικόνιση αστοχίας ολίσθησης στον αρμό διακοπής εργασίας [4].....	31
Εικόνα 2-38: Αστοχία ακραίου κόμβου με ψαθυρή αστοχία και του άκρου του υποστυλώματος λόγω έλλειψης συνδετήρων και ανεπαρκούς αγκύρωσης. Αθήνα σεισμός 1999. [19]	32
Εικόνα 2-39: Βλάβες σε κόμβους πλαισίων [4]	33
Εικόνα 2-40: Διαμόρφωση πλακών ανάλογα με τον τρόπο στήριξης [22].....	34
Εικόνα 2-41: Βιομηχανικό μεταλλικό υπόστεγο με πλάκα σκυροδέματος επί εδάφους [23].	34
Εικόνα 2-42: Βλάβες σε πλάκες και προβόλους στην παρειά στηρίξεων με δοκούς.....	36
Εικόνα 2-43: Μυκητοειδής πλάκα [24].....	36
Εικόνα 2-44: Βλάβη πλάκας από διάτρηση [4]	36
Εικόνα 2-45 : Ρωγμές στην γωνία οπής της πλάκας [24].....	37
Εικόνα 2-46: Απεικόνιση ρωγμών σε πλάκα λόγω αστοχίας εδάφους.....	38
Εικόνα 2-47: Τυπικός οπτόπλινθος 6x9x19cm [25]	39
Εικόνα 2-48: Δρομική τοιχοποιία (αριστερά) & μπατική τοιχοποιία (δεξιά)	39
Εικόνα 2-49: Σύνθλιψη της γωνίας του τοίχου λόγω αποκόλλησης από το πλαίσιο και ανεξάρτητης παραμόρφωσης.....	40
Εικόνα 2-50: Οριζόντια ολίσθηση κατά μήκος αρμού	41
Εικόνα 2-51 : Διαγώνια ρηγμάτωση τοιχοποιίας.....	41
Εικόνα 2-52: Μορφές αστοχίας τοιχοποιίας από σεισμική φόρτιση εκτός επιπέδου [26]	41
Εικόνα 3-1: Σκυροδέτηση πλάκας σε εργοτάξιο	43
Εικόνα 3-2: Εργασίες σκυροδέτησης σε εργοτάξιο μεγάλης κλίμακας κατασκευής σκυροδέματος	44
Εικόνα 3-3: Πλαίσιο CEN προτύπων και κανονισμών για τα έργα από σκυρόδεμα [32]	46
Εικόνα 3-4: Τσιμέντο Πόρτλαντ σε σκόνη	49
Εικόνα 3-5: Διαδικασία παραγωγής τσιμέντου Πορτλαντ.....	51
Εικόνα 3-6: Τύποι τσιμέντων και σύνθεση τους (EN 197 – 1)	53
Εικόνα 3-7: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές στα τσιμέντα.....	54
Εικόνα 3-8: Αδρανή διαφορετικής προέλευσης και κοκκομετρίας.....	55
Εικόνα 3-9: Προσθήκη νερού σε μπετονέρα.....	57
Εικόνα 3-10: Υλικά που αποτελούν το μείγμα ενός σκυροδέματος με τη χρήση πρόσθετων. Από αριστερά προς δεξιά: χοντρόκοκκα αδρανή, νερό, τσιμέντο, υπερευστοποιητής (πρόσμεικτο), λεπτόκοκκα αδρανή (άμμος).....	60
Εικόνα 3-11: Πυλώνες γέφυρας οι οποίοι τυπικά κατασκευάζονται με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής.....	61
Εικόνα 3-12: Οδοστρώματα αεροδρομίων όπου χρησιμοποιούνται σκυροδέματα υψηλών αντοχών	62
Εικόνα 3-13: Τσιμεντόλιθος από ελαφροσκυρόδεμα για κατασκευή τοίχου.....	63
Εικόνα 3-14: Χρήση ελαφροσκυροδέματος σε επίπεδο στέγης για θερμομόνωση.....	64

Εικόνα 3-15: Συνθετικές μακρο-ίνες (I), Χαλύβδινες ίνες (II), Συνθετικές μικρο-ίνες (III) [37]	65
Εικόνα 3-16: Στις οπές κοχλιών αγκυρώσεις που διανοίχθηκαν μετά τη σκυροδέτηση γίνεται χρήση διογκούμενου σκυροδέματος για την πλήρωση τους	67
Εικόνα 3-17: Τοξωτό φράγμα σκυροδέματος	68
Εικόνα 3-18: Ειδικοί αισθητήρες παρακολούθησης του σκυροδέματος [40]	69
Εικόνα 3-19: Συστατικά πολυμερικής κόλλας. Σκληρυντής (πάνω) & πολυμερές (εποξική ρητίνη) (κάτω)	70
Εικόνα 3-20: Επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στο Μέτρο Ελαστικότητας [4]	71
Εικόνα 3-21: Εφαρμογή επισκευαστικού κονιάματος	73
Εικόνα 3-22: Εργασίες επικόλλησης χαλύβδινων ελασμάτων σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος [33]	75
Εικόνα 3-23: Εργασίες τοποθέτησης φύλλων FRP σε πλάκα και δοκό για καμπτική ενίσχυση (προετοιμασία επάλειψη επιφάνειας με εποξική ρητίνη και τοποθέτηση στρώσεων πολυμερούς)	76
Εικόνα 3-24: Τοποθέτηση βλήτρων [33]	77
Εικόνα 3-25: Συγκόλληση ράβδων οπλισμού κατά παράθεση [4]	78
Εικόνα 3-26: Συγκόλληση ράβδων οπλισμού με λωρίδες [4]	79
Εικόνα 3-27: Παρεμβλήματα ράβδων [4]	79
Εικόνα 3-28: Χαρακτηριστικά κλειστού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος	81
Εικόνα 3-29: Αποφόρτιση υποστυλώματος	82
Εικόνα 3-30: Αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών μανδύα μέσα στο πέδιλο	83
Εικόνα 3-31: Επέκταση του μανδύα υποστυλώματος στον παραπάνω όροφο	84
Εικόνα 4-1: Μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος [46]. Από πάνω και ωρολογιακά : α) Πυρηνοληψία από πλάκα, β) Εφαρμογή κρουσίμετρου, γ) Μέθοδος εξόλκευσης ήλου, δ) Μέτρηση βάθους ρωγμής με υπερήχους, ε) Έλεγχος ενανθράκωσης σκυροδέματος με ψεκασμό διαλύματος φαινολοφθαλεΐνης	86
Εικόνα 4-2: Κρουσίμετρο	87
Εικόνα 4-3: Καμπύλες συσχέτισης μέσης θλιπτικής αντοχής και ενδείξεως του κρουσίμετρου [47]	90
Εικόνα 4-4: Η αρχή της μεθόδου [47]	90
Εικόνα 4-5: Εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην τεχνική εξόλκευσης ήλου. Ειδικός εκτοξευτής με τους πρότυπους ήλους αριστερά και εξολκέας με δυναμόμετρο δεξιά	91
Εικόνα 4-6: Συσχέτιση δύναμης εξόλκευσης με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [47]	91
Εικόνα 4-7: Διάγραμμα συστήματος μέτρησης και καταγραφής της μεθόδου των υπερήχων (πάνω) & εφαρμογή της μεθόδου σε κυβικό δοκίμιο (κάτω)	92
Εικόνα 4-8: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων	93
Εικόνα 4-9: Τοποθέτηση πομπού και δέκτη της συσκευής υπερήχων για μέτρηση βάθους (c) επιφανειακών ρωγμών [48]	94
Εικόνα 4-10: Μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων μέσα σε οπλισμένο σκυρόδεμα [48]	96
Εικόνα 4-11: Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας υπερήχων [1]	98
Εικόνα 4-12: Κυλινδρικοί πυρήνες ψεκασμένοι με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης για την εύρεση του πάχους ενανθράκωσης με το χρωματισμένο σημείο να αποτελεί το υγιές σκυρόδεμα	100

Εικόνα 5-1: Τιμές των συντελεστών λ με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 344 [50].....	107
Εικόνα 5-2: Βαθμονόμηση κρουσίμετρου	114

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3-1: Πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές υλικών παρασκευής σκυροδέματος	47
Πίνακας 3-2: Τύποι τσιμέντων με βάση τον ΕΛΟΤ 197-1	53
Πίνακας 3-3: Κατηγορίες αδρανών με βάση την πυκνότητα	56
Πίνακας 3-4: Καταλληλόλητα νερού για προσθήκη στο μείγμα σκυροδέματος με βάση την προέλευση του	58
Πίνακας 3-5: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σκυροδέματος με πολυμερή σε σχέση με το συμβατικό	66
Πίνακας 4-1: Διορθώσεις των μετρήσεων με βάση τη γωνία μέτρησης.....	89
Πίνακας 4-2: Συσχέτιση ποιότητας σκυροδέματος με τις τιμές του συντελεστή επιφανειακής σκληρότητας (αναπήδησης) R.....	89
Πίνακας 4-3: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα υπερήχων [1].....	95
Πίνακας 4-4: Απαιτούμενη συχνότητα οργάνου συναρτήσει του μήκους διαδρομής [47]	97
Πίνακας 4-5: Ελάχιστη διάσταση δοκιμίου με βάση τη συχνότητα και την ταχύτητα των υπερήχων	97
Πίνακας 4-6: Ποιοτική κατάταξη σκυροδεμάτων με βάση τη μετρούμενη ταχύτητα υπερήχων [1].....	98
Πίνακας 5-1: Ονομασία και τοποθεσία εξαγόμενων πυρήνων.....	104
Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά των εξαγόμενων δοκιμίων	106
Πίνακας 5-3: Μετρήσεις από τον εργαστηριακό έλεγχο των δοκιμίων.....	106
Πίνακας 5-4: Θλιπτική αντοχή δοκιμίων	112

1 Εισαγωγή - Επισκευή και Ενίσχυση σκυροδέματος & Ποιοτικός Έλεγχος

Όπως είναι γνωστό, το οπλισμένο σκυρόδεμα δεν μπορεί μείνει αναλλοίωτο με την πάροδο του χρόνου. Πολλοί είναι οι παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ζωή του σκυροδέματος όπως είναι τα φυσικά αίτια (π.χ. σεισμός, πυρκαγιά), η ενανθράκωση του σκυροδέματος, η διάβρωση κ.α.. Έτσι, από αυτούς τους παράγοντες μπορεί να δημιουργηθούν στο στατικό φορέα βλάβες, οι οποίες μπορεί να είναι άλλες φορές σοβαρές και άλλες λιγότερο σοβαρές.

Ωστόσο οι βλάβες αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν με ανακαίνιση ή αναβάθμιση του φορέα οπλισμένου σκυροδέματος με διάφορες μεθόδους επισκευών και ενισχύσεων. Έτσι με την επισκευή του φορέα γίνεται επαναφορά των δομικών ιδιοτήτων (αντοχή, δυσκαμψία, πλαστιμότητα) που είχε όταν κατασκευάστηκε και με την ενίσχυση αυτές οι δομικές ιδιότητες βελτιώνονται. Τις περισσότερες φορές η αποκατάσταση αυτή γίνεται με τη χρήση υλικών όπως θα αναλυθεί πιο κάτω.

Η μελέτη καινούριων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα βασίζεται στις ονομαστικές ιδιότητες των υλικών, οι οποίες προσδιορίζονται με παραδοχές από τον Μελετητή Μηχανικό και με βάση το νομικό πλαίσιο ελέγχεται αν τηρούνται κατά τη διάρκεια κατασκευής από τον Εργολάβο μέσω ενός συστήματος ποιοτικού ελέγχου και διασφάλισης ποιότητας. Στην περίπτωση όμως επεμβάσεων σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές ειδικότερα μεγάλης ηλικίας, είναι συνήθης η έλλειψη στοιχείων για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή τους. Η εκτίμηση και ο προσδιορισμός αυτών των ιδιοτήτων γίνεται κυρίως επί τόπου ή και εργαστηριακά αν αυτό χρειαστεί. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται άμεσες ή έμμεσες μέθοδοι προσδιορισμού των ιδιοτήτων των υλικών. Οι έμμεσες μέθοδοι από μόνες τους συνήθως δεν μπορούν να δώσουν παρά μια εκτίμηση των ζητούμενων ιδιοτήτων και η καλύτερη πρακτική είναι ο συνδυασμός τους με άμεσες ημικαταστροφικές μεθόδους υπό την έννοια των τοπικών φθορών που δημιουργούν στην κατασκευή (π.χ. πυρηνοληψία).

Επομένως η ανάγκη προσδιορισμού των ιδιοτήτων των υλικών προκύπτει στις παρακάτω περιπτώσεις [1]:

- Σε ποιοτικό έλεγχο υφιστάμενης ή νέας κατασκευής
- Σε αμφισβήτηση της ποιότητας των υλικών υφιστάμενων ή νέων κατασκευών
- Σε προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών για να γίνουν εργασίες επεμβάσεων και ενισχύσεων σε υφιστάμενες κατασκευές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί ένα κείμενο μελέτης των μεθόδων ποιοτικού ελέγχου, επισκευών και ενισχύσεων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για να παρουσιαστεί μια σφαιρική εικόνα των εφαρμογών αυτών, πρέπει αρχικά να γίνει κατανοητός ο τρόπος σχηματισμού βλαβών στα δομικά και μη στοιχεία του φέροντα οργανισμού της κατασκευής. Επίσης πρέπει να είναι ξεκάθαρη στον αναγνώστη η προέλευση, η σύσταση, οι ιδιότητες και η χρήση του οπλισμένου σκυροδέματος αφού για το συγκεκριμένο υλικό θα αναφερθούν μέθοδοι επισκευών και ελέγχου, και το οποίο αποτελεί

και την συντριπτική πλειοψηφία δομικού κατασκευαστικού υλικού στο κτηριακό δυναμικό της χώρας μας.

Η παρούσα διπλωματική οργανώνεται με την εξής διάρθρωση:

1^ο Κεφάλαιο: παρέχονται γενικές πληροφορίες για το κυρίως θέμα και γίνεται εισαγωγή για τα περιεχόμενα που θα ακολουθήσουν.

2^ο Κεφάλαιο: Αναλύονται οι μορφές αστοχίας με βάση την εντατική κατάσταση, τη θέση στο φορέα και τη γεωμετρία δοκών, υποστυλωμάτων, τοιχωμάτων, κόμβων, πλακών και τοιχοποιίας μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα.

3^ο Κεφάλαιο: Παρουσιάζονται τα υλικά και οι βασικές εφαρμογές επισκευών και ενισχύσεων. Το σκυρόδεμα ως το βασικό δομικό υλικό παρουσιάζεται εκτενώς ώστε να γίνουν κατανοητά ο τρόπος λειτουργίας του και τα κυριότερα χαρακτηριστικά του.

4^ο Κεφάλαιο: Γίνεται ανάλυση των κυριότερων έμμεσων μεθόδων και άμεσων μεθόδων ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος.

5^ο Κεφάλαιο: Παρουσιάζεται μια πρακτική εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου υφιστάμενης κατασκευής με συνδυασμό άμεσης και έμμεσης μεθόδου

6^ο Κεφάλαιο: Παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής



Εικόνα 1-1: Εφαρμογή ενίσχυσης υφιστάμενης κατασκευής (πάνω). Ποιοτικός έλεγχος δοκού με αποκοπή πυρήνα σκυροδέματος (κάτω)

2 Μορφές αστοχίας φορέων οπλισμένου σκυροδέματος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι μορφές αστοχίας των βασικών στοιχείων μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, εξαιτίας παραμορφώσεων και εντάσεων που προκαλούνται κατά κύριο λόγο από σεισμικά φορτία αλλά και από τα φορτία λειτουργίας τους, τα μόνιμα και τα περιβαλλοντικά φορτία που ενδέχεται να επηρεάσουν μια κατασκευή στην διάρκεια της ζωής της. Συγκεκριμένα αναλύονται οι τρόποι και οι μορφές αστοχίας σε δοκούς, υποστυλώματα, τοιχώματα, κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων, πλάκες και στοιχεία πλήρωσης των κατασκευών. Η μορφή αστοχίας του εκάστοτε στοιχείου, όπως θα αναλυθεί στα παρακάτω, εξαρτάται από τις συνθήκες φόρτισης και στήριξης του, από τη γεωμετρία και τις εξωτερικές διαστάσεις του μέλους, από την ποσότητα, την ποιότητα, τις μηχανικές ιδιότητες, τη διάταξη και τη συνεργασία των υλικών (σκυροδέματος και χάλυβα). Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά είναι σημαντικά για την συμπεριφορά, την ακεραιότητα και τη λειτουργικότητα των μελών και εν τέλη όλης της κατασκευής. Η ενδεχόμενη αστοχία, όταν δεν είναι δυνατό να αποφευχθεί (π.χ. στον σεισμό σχεδιασμού), πρέπει να επέλθει στο σημείο, με τον τρόπο που σχεδιάζει ο μηχανικός, βάση τους συγχρόνους κανονισμούς σχεδιασμού και τους αντισεισμικούς κανονισμούς.

2.1 Αστοχία σε δοκούς

Οι δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι δομικά στοιχεία σχεδιασμένα να φέρουν κατακόρυφα φορτία (μόνιμα, κινητά, περιβαλλοντικά κτλ.). Τα φορτία προκαλούν καμπτικές ροπές, διατμητικές δυνάμεις και σε ορισμένες περιπτώσεις και στρεπτικές ροπές κατά μήκος των δοκών. Οι δοκοί στηρίζουν τα φορτία από τις πλάκες, άλλες δοκούς, τοίχους και υποστυλώματα και τα μεταβιβάζουν στα υποστυλώματα στα οποία στηρίζονται. Εξαιτίας της μικρής εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος, ο διαμήκης οπλισμός είναι υπεύθυνος για την παραλαβή των εφελκυστικών τάσεων στις ίνες που εφελκύνονται και οι οπλισμοί διάτμησης (συνδετήρες) είναι υπεύθυνοι για την παραλαβή εφελκυστικών τάσεων στους ελκυστήρες που δημιουργούνται λόγω διάτμησης. Οι δοκοί μπορεί να είναι αμφιέριστοι, συνεχείς ή πρόβολοι όσον αφορά το σύστημα στήριξης τους, ενώ μπορεί να σχεδιάζονται σε ορθογωνικές διατομές ή διατομές τύπου T ή L. Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης, τα φορτία, την όπλιση και τη γεωμετρία τους, οι δοκοί μπορεί να αστοχήσουν υπό κάμψη, διάτμηση ή στρέψη, όπως αναλυτικά εξηγείται στις επόμενες παραγράφους.

2.1.1 Αστοχία δοκού λόγω κάμψης

Οι δοκοί στις συνήθεις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα καταπονούνται καμπτικά εξαιτίας κατακόρυφων φορτίων (π.χ. αύξηση των κατακόρυφων επιβαλλόμενων φορτίων πέρα από τα προβλεπόμενα από το σχεδιασμό όρια κατά την αλλαγή χρήσης ενός κτηρίου) και εξαιτίας οριζόντιων δυναμικών φορτίων (π.χ. σεισμικές δράσεις). Η μορφή αστοχίας λόγω κάμψης και το σημείο που θα εμφανιστεί στη δοκό εξαρτάται από τις συνθήκες στήριξης της (αμφιέρειστη, συνεχής, πρόβολος) και το ποσοστό του διαμήκους οπλισμού της.

- Μορφές καμπτικής αστοχίας με βάση το ποσοστό οπλισμού

Η πειραματική έρευνα έχει δείξει ότι ο τρόπος καμπτικής αστοχίας σε μια δοκό οπλισμένου σκυροδέματος ποικίλει ανάλογα με το ποσοστό του διαμήκους εφελκυστικού οπλισμού της. Αρχικά για την εκδήλωση αστοχίας λόγω κάμψης σε μία δοκό, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής αντοχή σε διάτμηση (μέσω του διατμητικού οπλισμού της), ώστε να της επιτραπεί να αστοχήσει καμπτικά. Όταν επέλθει η καμπτική αστοχία στην δοκό, σημαίνει ότι το επιβαλλόμενο φορτίο έχει ξεπεράσει την καμπτική αντοχή. Οι μορφές αστοχίας σε δοκούς υπό κάμψη διακρίνονται σε καμπτική εφελκυστική αστοχία, σε ψαθυρή θλιπτική αστοχία και σε ισορροπημένη αστοχία, καθώς η φύση και οι μηχανισμοί που οδηγούν στην αστοχία είναι διαφορετικοί σε κάθε περίπτωση.

- Καμπτική εφελκυστική αστοχία

Η καμπτική εφελκυστική αστοχία, ξεκινάει με τη διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα πριν την σύνθλιψη του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ίνα, και αφορά υπο-οπλισμένες δοκούς. Τα σημάδια τέτοιου τύπου αστοχίας είναι η ανάπτυξη ρωγμών στην εφελκυσόμενη ίνα, όπου όσο μεγαλώνει το επιβαλλόμενο φορτίο, τόσο οι ρωγμές επεκτείνονται προς τη θλιβόμενη ίνα. Αυτές οι ρωγμές είναι σχεδόν κάθετες στον διαμήκη άξονα της δοκού και εντοπίζονται στο μεσαίο τρίτο της (άνοιγμα). Οι μεγάλες βυθίσεις είναι άλλο ένα σημάδι της εφελκυστικής αστοχίας. Η αστοχία τέτοιου τύπου συμβαίνει σταδιακά, γι' αυτό και θεωρείται ελαστικής μορφής και είναι επιθυμητή κατά τον σχεδιασμό της δοκού, καθώς οι χρήστες έχουν τον χρόνο να ανταποκριθούν είτε με επιδιόρθωση της βλάβης, είτε με ενδεχόμενη εκκένωση της κατασκευής.



Εικόνα 2-1: Καμπτική Εφελκυστική αστοχία [2]

- Καμπτική θλιπτική αστοχία

Η θλιπτική αστοχία ξεκινά με σύνθλιψη του σκυροδέματος στην θλιβόμενη ίνα πριν τη διαρροή του χάλυβα οπλισμού στην εφελκυσμένη ίνα, και αφορά υπέρ-οπλισμένες δοκούς (ποσοστά οπλισμού πάνω από τα μέγιστα όρια που προβλέπουν οι κανονισμοί). Αυτού του τύπου η αστοχία είναι ξαφνική χωρίς προειδοποιητικά σημάδια και χαρακτηρίζεται ως ψαθυρή, γι' αυτό και δεν είναι επιθυμητή από τους κανονισμούς σχεδιασμού. Οι ρωγμές αυτού του τύπου αστοχίας ακολουθούν τη μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος κατά μήκος της θλιβόμενης ίνας (θλιπτήρας).



Εικόνα 2-2: Καμπτική θλιπτική αστοχία

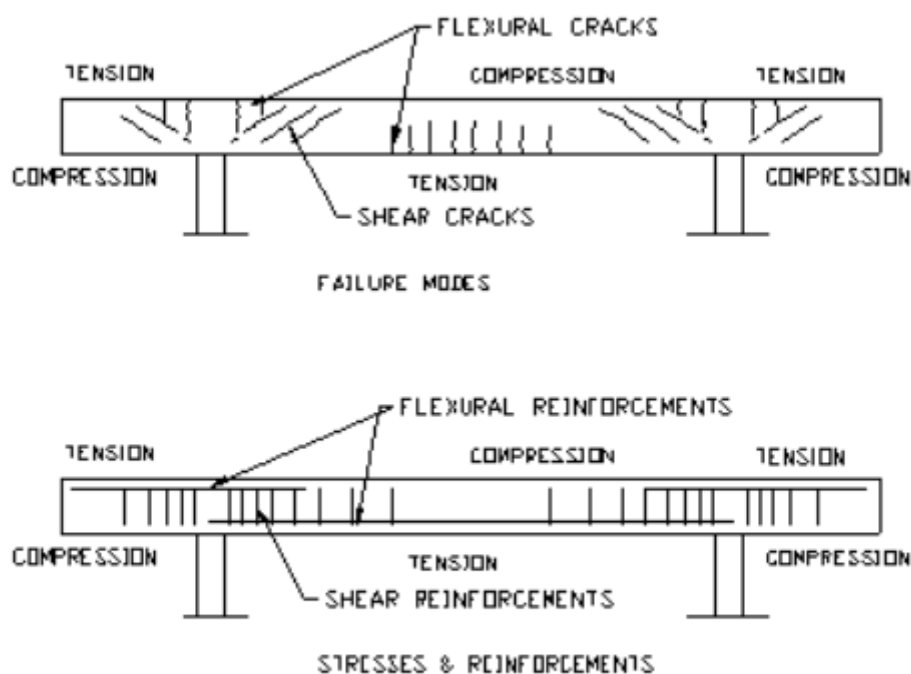
- Καμπτική ισορροπημένη αστοχία

Συμβαίνει όταν η διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα οπλισμού πραγματοποιείται ταυτόχρονα με την σύνθλιψη του σκυροδέματος. Οι περισσότεροι κανονισμοί σχεδιασμού προδιαγράφουν οπλισμό ελαφρώς λιγότερο από την ισορροπημένη κατάσταση, ώστε να αποφευχθεί μια ενδεχόμενη ψαθυρή αστοχία.

- Εμφάνιση ρωγμών καμπτικής αστοχίας ανάλογα με τις συνθήκες στήριξης (Εικόνα 2-3):

Σε μία αμφιέριστη δοκό με συνεχές φορτίο, η κρίσιμη διατομή εντοπίζεται στη μέση του ανοίγματος, όπου η θετική ροπή είναι μέγιστη. Σε δοκούς περισσότερων ανοιγμάτων εκτός από το μέσο λόγω μέγιστης θετικής ροπής (εφελκυσμένη άνω ίνα, θλιβόμενη η κάτω), εμφανίζονται ρωγμές και στις στηρίξεις λόγω μέγιστης αρνητικής ροπής (εφελκυσμένη η άνω ίνα, θλιβόμενη η κάτω). Στην παρειά της στήριξης αναμένονται βλάβες και στην περίπτωση των προβολοδοκών.

Η διάνοιξη των ρωγμών στις εφελκόμενες ίνες γίνεται για πολύ μικρά φορτία καθώς η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή. Για τα συνήθη φορτία λειτουργίας οι ρωγμές στις εφελκόμενες ίνες δεν φαίνονται με γυμνό μάτι και σε περίπτωση που είναι σαφώς διακριτές, σημαίνει πως η παραμόρφωση του εφελκόμενου χάλυβα είναι σημαντική και ο φορέας πλησιάζει στην αστοχία του. Η εμφάνιση ρωγμών στις θλιβόμενες ίνες σηματοδοτούν ψαθυρή αστοχία του φορέα όπως εξηγήθηκε και προηγουμένως.



Εικόνα 2-3: Ρηγματώσεις και οπλισμοί σε δοκό με βάση τον τρόπο στήριξης της

2.1.2 Αστοχία δοκού λόγω διάτμησης

Κατά τη μελέτη και το σχεδιασμό κατασκευών Ο.Σ., ακολουθώντας τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς, τα μέλη του φέροντα οργανισμού δομήματος (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχώματα κτλ.) σχεδιάζονται για να εξαντλήσουν το όριο ελαστικότητας των υλικών τους (σκυρόδεμα και χάλυβας οπλισμού) και να εισέλθουν στην ζώνη ανελαστικής συμπεριφοράς, όταν συμβεί ο σεισμός σχεδιασμού.

Οι συνήθεις δοκοί, υποστυλώματα και τοιχώματα παρουσιάζουν λόγο διάτμησης $L = a/d = M/(V \cdot h)$, (όπου a το μήκος ανοίγματος, d το ενεργό ύψος και h είναι το ύψος της διατομής), μεγαλύτερο του 2-2.5. Σε αυτήν την περίπτωση, ο μηχανισμός μεταφοράς δυνάμεων μέσω κάμψης (δυνάμεις παράλληλες στον άξονα του διαμήκους οπλισμού) και διάτμησης (δυνάμεις λοξές και κάθετες προς τον άξονα της δοκού) θεωρούνται ανεξάρτητοι ο ένας από τον άλλο. Από την άλλη μεριά στοιχεία με λόγο διάτμησης μικρότερο του 2-2.5, όπως τα κοντά υποστυλώματα και τοιχώματα, οι κοντές ή υψίκορμες δοκοί, οι δύο προηγουμένως ανεξάρτητοι μηχανισμοί μεταφοράς δυνάμεων κάμψης και διάτμησης, συγχωνεύονται σε έναν, κάτι που ουσιαστικά σημαίνει σημαντική μείωση της διατμητικής αντοχής λόγω τεμνουσών δυνάμεων και της καμπτικής αντοχής λόγω διατμητικών δυνάμεων.

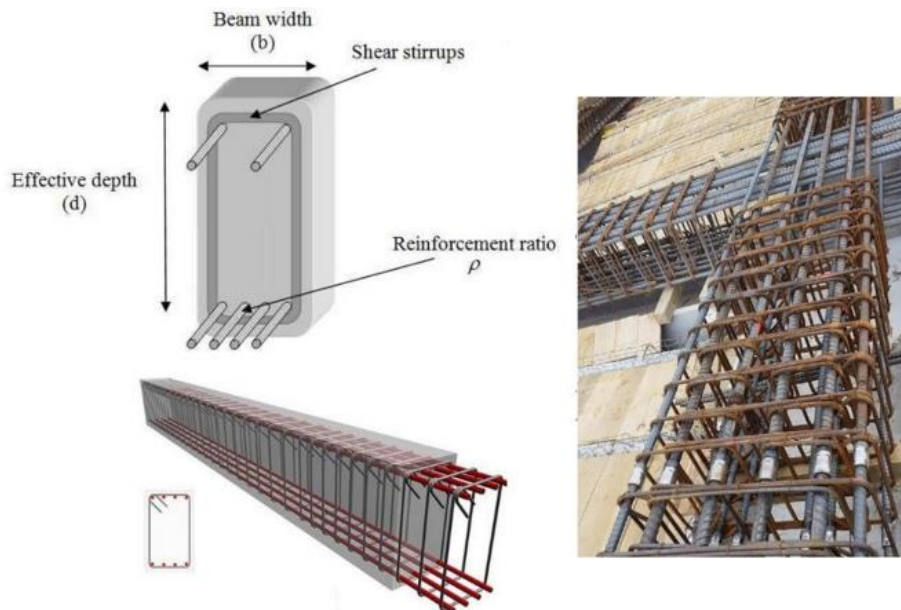
Στα συνήθη στοιχεία με λόγο διάτμησης μεγαλύτερο του 2, ο μηχανισμός παραλαβής της κάμψης και ο μηχανισμός παραλαβής της διάτμησης μπορούν να θεωρηθούν ότι λειτουργούν εν σειρά μέσα στο ενεργό μήκος διάτμησης L_s υπό την έννοια ότι:

- Οι δυνάμεις αναλαμβάνονται και από τους δυο και αστοχία του ενός ισοδυναμεί με αστοχία του στοιχείου.
- Οι τελικές παραμορφώσεις του στοιχείου είναι ίσες με το άθροισμα των παραμορφώσεων ελαστικών και πλαστικών που οφείλονται στους δυο ανεξάρτητους μηχανισμούς.

Γι' αυτό ο ικανοτικός σχεδιασμός των αντισεισμικών κανονισμών για μέλη υπό διάτμηση βασίζεται σε αυτή ακριβώς την εν σειρά λειτουργία αυτών των δύο μηχανισμών, (κάμψης και διάτμησης) για να εξασφαλίσει ότι οι πλαστικές παραμορφώσεις θα οφείλονται στην πλάστιμη, καμπτική συμπεριφορά και όχι στην ψαθυρή διατμητική.

Η διατμητική αστοχία δοκού επέρχεται όταν η διατμητική αντοχή είναι μικρότερη από την καμπτική αντοχή και η διατμητική δύναμη στη δοκό ξεπερνά την διατμητική αυτή αντοχή των υλικών της διατομής. Η διατμητική δύναμη είναι ένα φορτίο που τείνει να παράγει ολισθαίνουσα αστοχία στο υλικό κατά μήκος του επιπέδου που είναι παράλληλο στην διεύθυνση της δύναμης.

Ο λόγος διάτμησης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω ως ο λόγος ανοίγματος προς ύψους διατομής, η εντατική κατάσταση και το μέγεθος της δοκού, είναι σημαντικοί παράγοντες που θα καθορίσουν το είδος της διατμητικής αστοχίας. Αυτός ο τύπος αστοχίας είναι ξαφνικός και δεν παρέχει προειδοποιητικά σημάδια, οδηγώντας σε ψαθυρή αστοχία και στο χειρότερο σενάριο την κατάρρευση. Η διατμητική αστοχία επομένως, είναι ένας μη επιθυμητός τύπος αστοχίας και γι' αυτό οπλισμός συνδετήρων τοποθετείται στη δοκό, **(Εικόνα 2-4)** για να προλάβει αυτόν τον τύπο αστοχίας.



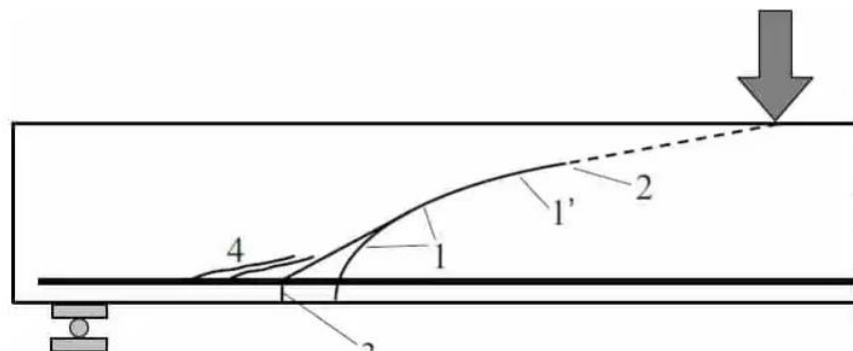
Εικόνα 2-4: Διάταξη οπλισμού διάτμησης σε δοκό [3]

Ο μηχανισμός διατμητικής αστοχίας χαρακτηρίζεται από διαμήκη ολίσθηση κατά μήκος των διαγώνιων ρωγμών σε μια δοκό χωρίς επαρκή οπλισμό διάτμησης ή διαρροή του χάλυβα των συνδετήρων σε μια δοκό με επαρκή οπλισμό διάτμησης και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στους ακόλουθους τύπους:

- Διαγώνια Εφελκυστική Αστοχία

Η διαγώνια εφελκυστική αστοχία ξεκινά με την ανάπτυξη κάθετων ρωγμών (όπως οι εφελκυστικές ρωγμές που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο) στην κάτω ίνα της διατομής, εξαιτίας καμπτικής εφελκυστικής τάσης. Έπειτα, όσο το φορτίο στη δοκό αυξάνεται οι ρωγμές μεγαλώνουν τόσο σε πλάτος όσο και σε μήκος και αρχίζουν να συγχωνεύονται σε μία κύρια ρωγή που επεκτείνεται διαγώνια προχωρώντας προς την άνω ίνα της δοκού και το σημείο φόρτισης. Στο τελικό στάδιο η διατμητική εφελκυστική αστοχία επέρχεται με την ξαφνική αστοχία του σκυροδέματος σε διάτμηση.

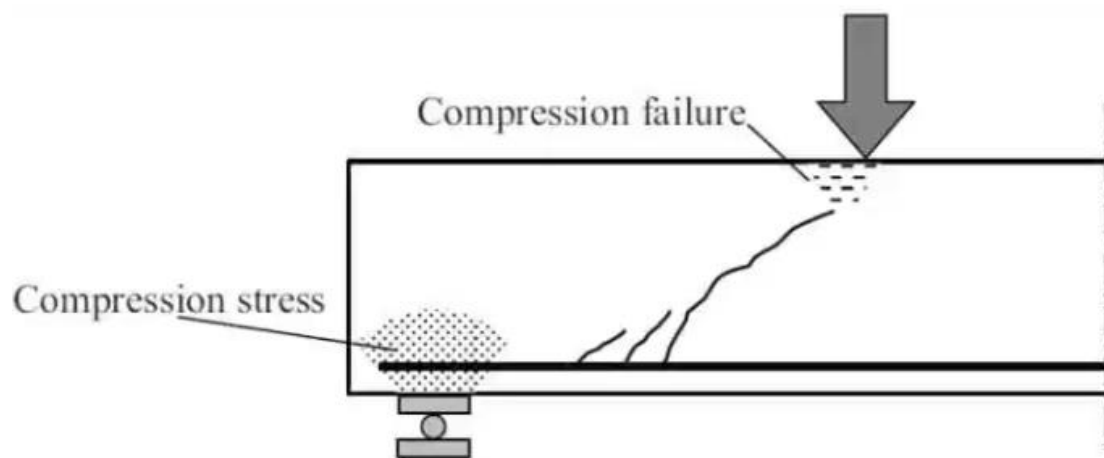
Αυτός ο τύπος αστοχίας είναι κοινός σε δοκούς με ελάχιστο ή καθόλου οπλισμό του κορμού (συνδετήρες). Η διαγώνια εφελκυστική αστοχία τυπικά αφορά δοκούς με λόγο διάτμησης μεγαλύτερο του 2.



Εικόνα 2-5: Ανάπτυξη ρωγμών διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας

- Διατμητική Θλιπτική Αστοχία

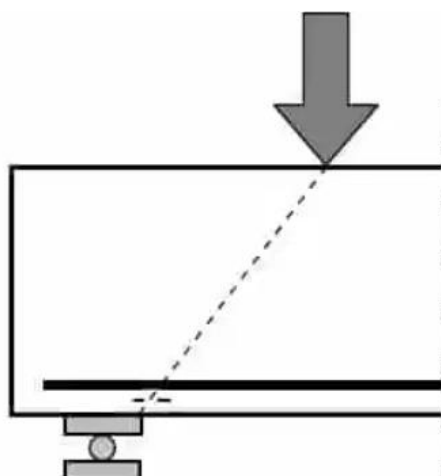
Η διατμητική θλιπτική αστοχία ξεκινά με την ανάπτυξη ρωγμών στην διατομή της δοκού. Έπειτα, αυτές οι ρωγμές αναπτύσσονται και διεισδύουν στην θλιπτική ζώνη της δοκού και στο τελικό στάδιο επέρχεται αστοχία όταν η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος εξαντλείται. Η σύνθλιψη του σκυροδέματος πραγματοποιείται στην άκρη της διαγώνιας ρωγμής στην περιοχή γύρω από την εφαρμογή του φορτίου. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ανάπτυξη των ρωγμών στην περιοχή της διατμητικής θλιπτικής αστοχίας στη δοκό. Τέτοιου τύπου αστοχία σχετίζεται με υψηλά ποσοστά διατμητικού οπλισμού στη δοκό.



Εικόνα 2-6: Ανάπτυξη ρωγμών διαγώνιας εφελκυστικής αστοχίας

- Αστοχία Καθαρής Διάτμησης

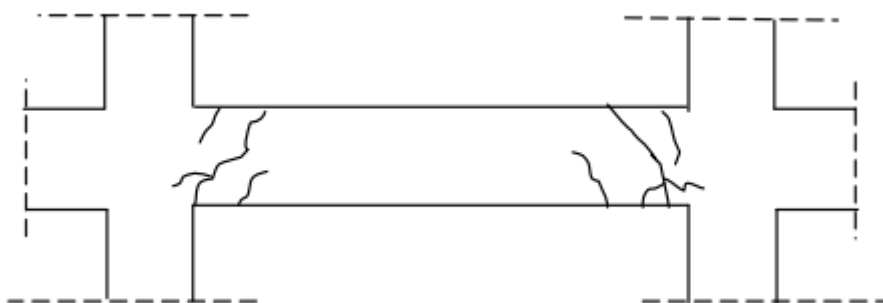
Για δοκούς με λόγο διάτμησης μικρότερο του 1 αναμένεται τέτοιας μορφής αστοχία. Τέτοιες δοκοί ονομάζονται υψίκορμες δοκοί και τα επιβαλλόμενα φορτία στην άνω ίνα τους μεταφέρονται στις στηρίξεις. Μερικές φορές σε υψίκορμες δοκούς, αστοχία σε θίψη του σκυροδέματος παρατηρείται στην περιοχή γύρω από τις στηρίξεις.



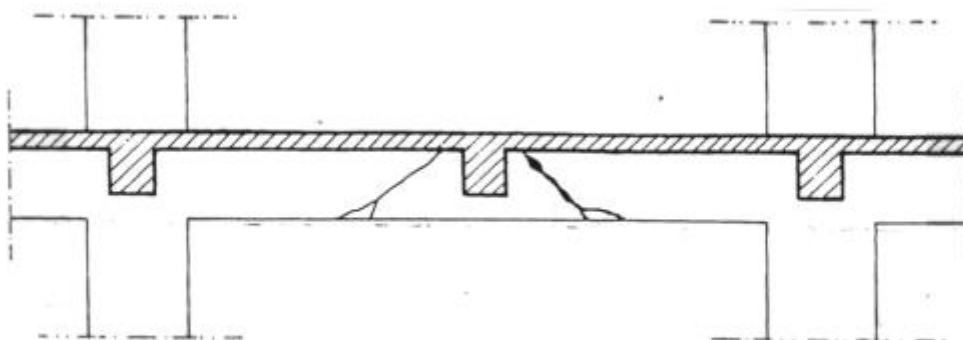
Εικόνα 2-7: Αστοχία Καθαρής Διάτμησης

Στα συνήθη κτήρια από Ο.Σ., σχεδιασμένα με βάση τους αντισεισμικούς κανονισμούς, οι διατμητικές βλάβες σε δοκούς παρουσιάζονται μετά από ισχυρούς σεισμούς, και εντοπίζονται στις περιοχές στήριξης κοντά στους κόμβους με τα υποστυλώματα. Επίσης διατμητικές βλάβες μπορεί να εμφανιστούν σε περιπτώσεις φυτευτών υποστυλωμάτων ή δοκών επί δοκού, (Εικόνα 2-9) λόγω ανεπαρκούς σχεδιασμού της λεπτομέρειας για οπλισμό διάτμησης και ανάρτησης στο σημείο σύνδεσης των δυο στοιχείων [4].

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι ένας ανεπιθύμητος τύπος βλάβης αφού οδηγεί σε ψαθυρή αστοχία, γι' αυτό και στους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς προβλέπεται αυστηρός ικανοτικός σχεδιασμός.



Εικόνα 2-8: Διατμητική αστοχία δοκού μετά από σεισμό ([4])



Εικόνα 2-9: Διατμητική αστοχία εξαιτίας συγκεντρωμένου φορτίου (δοκός επί δοκού)

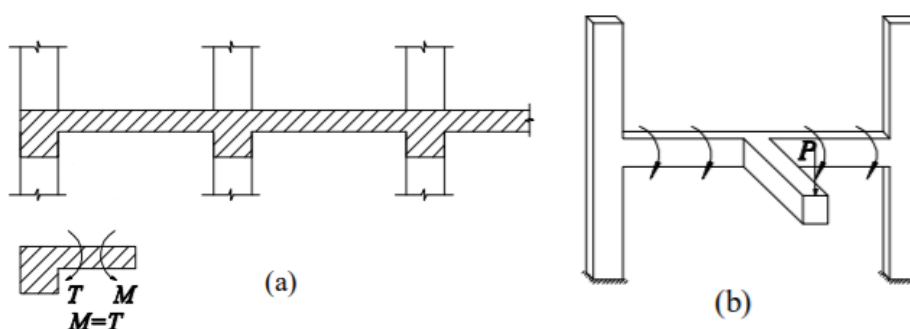
2.1.3 Αστοχία δοκού λόγω στρέψης

Στις δοκούς των κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος εμφανίζονται δύο είδη στρέψης:

- Έμμεση στρέψη γνωστή ως στρέψη λόγω συμβιβαστού
- Άμεση στρέψη γνωστή ως στρέψη λόγω ισορροπίας

Η έμμεση στρέψη προκαλείται στους κόμβους πλαισιωτών φορέων με γραμμικά μέλη, λόγω της απαίτησης συμβιβαστού των στροφών. Για παράδειγμα, η γωνία στροφής λόγω της κάμψης ενός μέλους στον κόμβο, προκαλεί στρέψη στο εγκάρσιο μέλος με το οποίο συνδέεται. Οι κανονισμοί σχεδιασμού των κατασκευών θεωρούν ότι για αυτό το είδος στρέψης δεν χρειάζεται έλεγχο αντοχής των μελών.

Η άμεση στρέψη, προκαλείται από τη δράση εξωτερικών φορτίων, που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση άμεσων στρεπτικών ροπών στα γραμμικά μέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα. Επειδή το διάνυσμα αυτών των ροπών είναι παράλληλο στον διαμήκη άξονα των μελών, δεν μπορούν να αναληφθούν χωρίς την ανάπτυξη στρέψης. Για παράδειγμα, η δοκός στήριξης ενός προβόλου, καταπονείται από στρέψη ισορροπίας αφού αν δεν αναπτυχθεί στρέψη στη δοκό ο πρόβολος δεν ισορροπεί. Σε αντίθεση με την έμμεση, για την άμεση στρέψη υπάρχει κανονιστικό πλαίσιο για τον υπολογισμό της οριακής κατάστασης αντοχής.

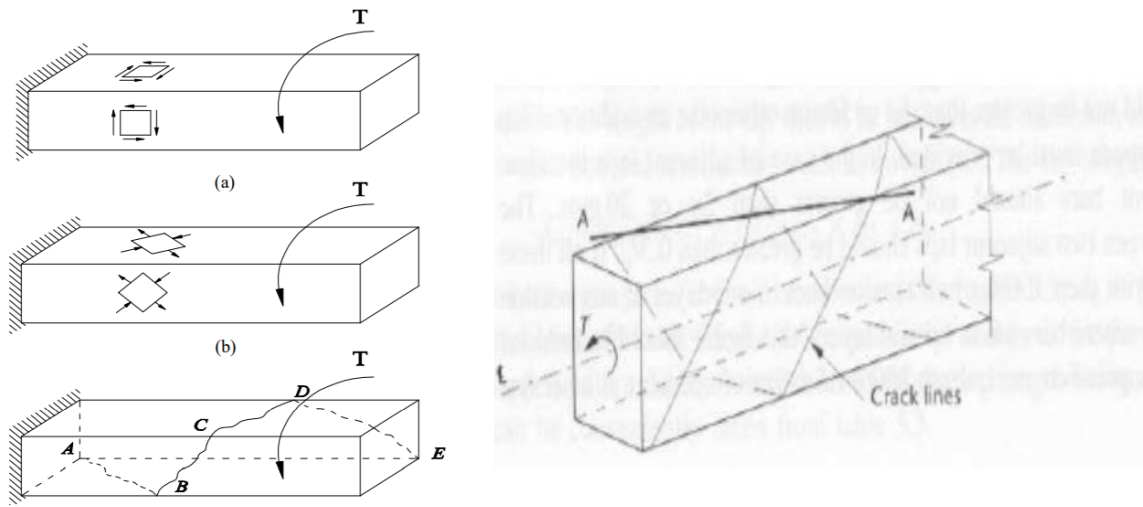


Εικόνα 2-10: Έμμεση στρέψη σε ακραία δοκό (a), Άμεση στρέψη σε δοκό που στηρίζει πρόβολο (b) [5]

Για την κατανόηση του μηχανισμού αστοχίας μιας δοκού που υπόκειται σε καθαρή στέψη, πρέπει να γίνουν αντιληπτές οι παραμορφώσεις και οι τάσεις που ασκούνται στη δοκό και οδηγούν στην εμφάνιση ρωγμών. Όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, όταν η επιβαλλόμενη φόρτιση ενεργεί μακριά από το επίπεδο κάμψης της, η δοκός υπόκειται σε στρέψη. Τυπικές περιπτώσεις δοκών οπλισμένου σκυροδέματος που υφίστανται στρεπτική καταπόνηση σε συνήθεις κατασκευές, αποτελούν δοκοί που στηρίζουν πλάκες ή άλλες δοκούς μονόπλευρα (Εικόνα 2-10) ή δοκών που υπόκεινται σε φορτίσεις μακριά από τον διαμήκη άξονα τους λόγω γεωμετρίας.

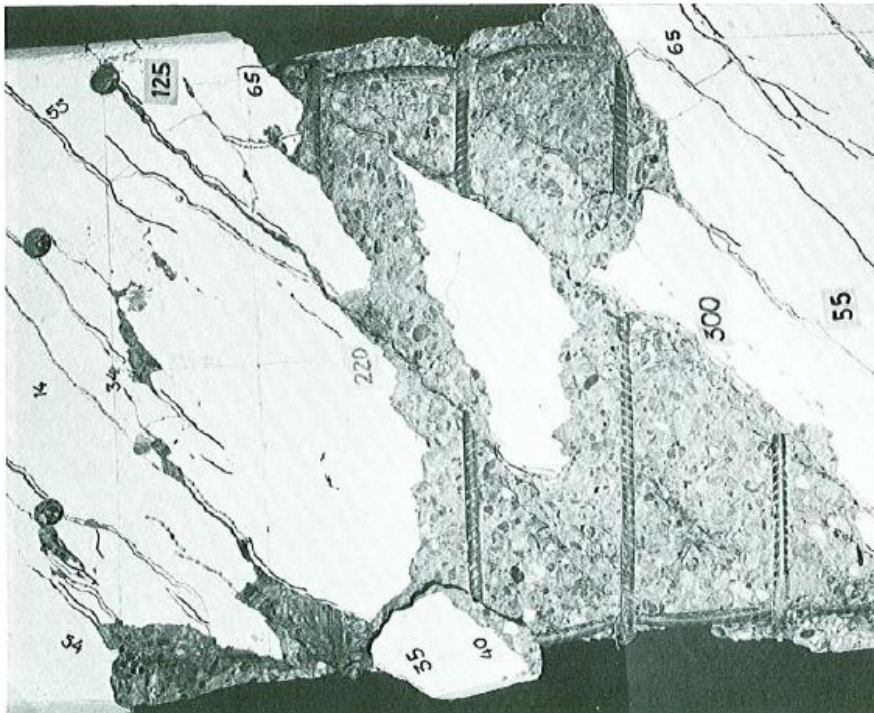
Οι στρεπτικές ροπές τείνουν να περιστρέψουν τη δοκό γύρω από το διαμήκη άξονα της και σε αυτή την περιστροφή αντιστέκονται εσωτερικές διατμητικές τάσεις, των οποίων οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται στην περίμετρο της διατομής. Οι συγκεκριμένες διατμητικές τάσεις οδηγούν σε διαγώνιες κύριες θλιπτικές και εφελκυστικές τάσεις. Όταν οι κύριες εφελκυστικές τάσεις ξεπεράσουν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, τότε ξεκινά η διάνοιξη διαγώνιων ρωγμών. Όταν ξεκινήσουν οι διαγώνιες ρωγμές λόγω στρέψης σε

ορισμένες διατομές, επεκτείνονται με σπειροειδή ελικοειδή μορφή γύρω από την περίμετρο της δοκού περικλείοντας την.



Εικόνα 2-11: Μηχανισμός ανάπτυξης ρωγμών σε δοκό υπό στρέψη

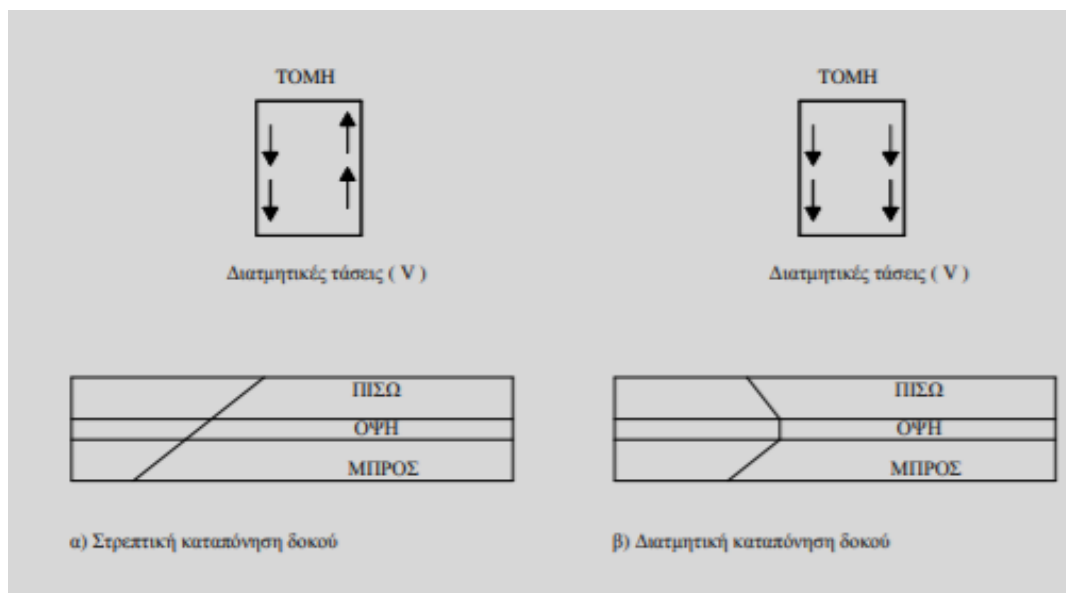
Εάν το στρεπτικό φορτίο συνεχίσει να αυξάνεται, παρατηρείται εκτεταμένη περιστροφική παραμόρφωση της δοκού που οδηγεί σε θρυμματισμό της επικάλυψης του σκυροδέματος όπως φαίνεται και στην παρακάτω **Εικόνα 2-12**. Η μορφή αστοχίας που παρατηρείται σε δοκούς με στρεπτική καταπόνηση χωρίς επαρκή οπλισμό για στρέψη (κλειστοί συνδετήρες και διαμήκης οπλισμός ειδικά στις γωνίες της διατομής) χαρακτηρίζεται ως ψαθυρή και εμφανίζεται ξαφνικά.



Εικόνα 2-12: Θρυμματισμός επικάλυψης λόγω περιστροφικής παραμόρφωσης στρέψης [6]

Πρέπει να επισημανθεί ότι ενώ κατά τη διατμητική αστοχία οι λοξές ρωγμές που εμφανίζονται στις δυο πλευρές μιας δοκού είναι παράλληλες, στην στρεπτική αστοχία έχουν

αντίθετη κατεύθυνση λόγω του αντίθετου προσήμου των διατμητικών τάσεων στις δύο εξωτερικές επιφάνειες (Εικόνα 2-13).



Εικόνα 2-13: Διαφοροποίηση τάσεων και ρηγματώσεων μεταξύ στρέψης και διάτμησης [7]

Έχει παρατηρηθεί πειραματικά ότι σε συμπαγείς και κοίλες δοκούς με παρόμοιες εξωτερικές διαστάσεις διατομής και παρόμοιο οπλισμό εμφανίζονται και παρόμοιες αντοχές σε στρέψη. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στις συμπαγείς διατομές που υπόκεινται σε στρέψη το σκυρόδεμα στον πυρήνα της διατομής δεν συνεισφέρει στην στρεπτική αντοχή.

2.2 Αστοχία σε υποστυλώματα

Η αστοχία υποστυλωμάτων Ο.Σ. έχει υπάρξει η κύρια αιτία κατάρρευσης υφιστάμενων κατασκευών. Βλάβες σε υποστυλώματα που εμφανίζουν κοινά χαρακτηριστικά έχουν παρατηρηθεί επανειλημμένα σε παλαιότερους σεισμούς ανά τον κόσμο. Όπως παρατηρήθηκε από τις έρευνες, κυρίως μετά από τέτοια συμβάντα, οι βλάβες αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν από μηχανικής - στατικής έννοιας στις εξής κατηγορίες:

- Καμπτική (Θλίψη-Κάμψη) αστοχία
- Διατμητική αστοχία
- Καμπτο-διατμητική αστοχία
- Αστοχία στην περιοχή μάτισης του διαμήκους οπλισμού

Υπάρχουν και άλλες κατηγορίες αστοχίας στα υποστυλώματα όπως αστοχία λόγω ερπυσμού, διάτρηση πλακών από τα υποστυλώματα, αστοχία του σημείου στις αγκυρώσεις αλλά δεν θα εξεταστούν περαιτέρω σε αυτή την παράγραφο.

Πρόσφατοι μεγάλοι σεισμοί (Μαρμαράς - Τουρκία 1999, Αθηνά - Ελλάδα 1999, Κόμπε - Ιαπωνία 1995), έδειξαν ότι η αστοχία δομικών στοιχείων μπορεί να οδηγήσει σε ολική ή μερική κατάρρευση κτηρίων, και συγκεκριμένα οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι η πιο σοβαρή και σημαντική μορφή αστοχίας μεταξύ των δομικών στοιχείων όσον αφορά το σύνολο της ευστάθειας του φέροντα οργανισμού [8].



Εικόνα 2-14: Κατάρρευση εργοστασίου Ρικομέξ στο σεισμό της Αθήνας το 1999 με βασικό παράγοντα τα κοντά υποστυλώματα

Οι αστοχίες υποστυλωμάτων μπορούν να συμβούν είτε κυρίως εξαιτίας μεγάλων μετακινήσεων και συνεπώς τάσεων και δυνάμεων κατά τη διάρκεια δυνατών σεισμών, είτε σε μικρότερο βαθμό από τα ίδια τα κατακόρυφα φορτία του κτηρίου, καθώς δεν πρέπει να λησμονείται ότι ένα υποστύλωμα είναι ένα στοιχείο υπό κάμψη και θλίψη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατάρρευσης εξαιτίας του ίδιου βάρους μονίμων και κινητών φορτίων, είναι το 9-οροφο κτήριο στο Zuirmut της Τουρκίας που κατέρρευσε στις 2 Φεβρουάριου 2004 με 92 θύματα (Εικόνα 2-15).



Εικόνα 2-15: Κατάρρευση πολυκατοικίας στο Zuirmut της Τουρκίας εξαιτίας των κατακόρυφων φορτίων [9]

Όπως έγινε κατανοητό τα υποστυλώματα έχουν τον κυριότερο ρόλο ανάμεσα στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής από Ο.Σ.. Σύμφωνα με την αρχή της επιτελεστικότητας του αντισεισμικού σχεδιασμού για τις αποδεκτές βλάβες, σε ένα πιθανό σεισμικό συμβάν, η αστοχία των υποστυλωμάτων πρέπει να συμβεί αφού έχουν αστοχήσει πρώτα οι δοκοί και τα υπόλοιπα δομικά και μη μέλη (τοιχοπληρώσεις π.χ.). Η συμπεριφορά υφιστάμενων κτηρίων σε ισχυρούς σεισμούς, έχει δείξει ότι οι δοκοί είναι λιγότερο ευάλωτοι και ότι η αστοχία τους είναι λιγότερο σημαντική, καθώς τα φορτία μπορούν να ανακατανεμηθούν μέσα στα δομικά πλαίσια λόγω της υπερστατικότητας. Αντίθετα, σε ενδεχόμενη αστοχία υποστυλωμάτων ή κόμβων μπορεί να σχηματιστεί μηχανισμός κατάρρευσης.

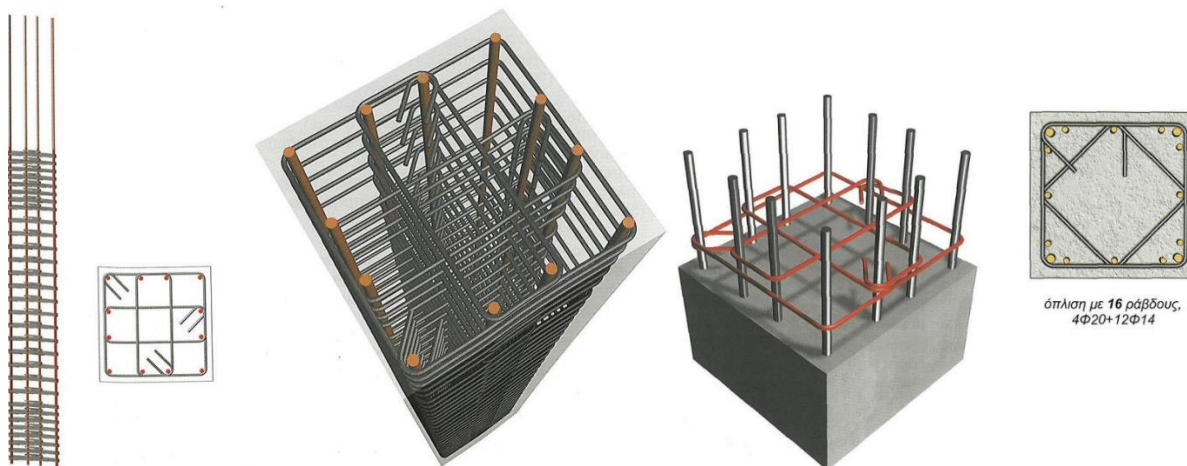
Γι' αυτό μετά από ένα μεγάλο σεισμό, οι βλάβες των υποστυλωμάτων πρέπει να είναι η πρώτη προτεραιότητα των εμπειρογνομόνων μηχανικών για την αξιολόγηση και εκτίμηση της ασφάλειας της κατασκευής, ώστε να εξασφαλισθεί ότι το κτήριο δεν κινδυνεύει από ολική ή μερική κατάρρευση. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει πολύ γρήγορα να αποφασιστεί για το αν πρέπει να παρθούν μέτρα προσωρινής υποστύλωσης ή διαταγή εκκένωσης των ενοίκων καθώς ακολουθούν συχνά και άμεσα ισχυροί μετασεισμοί [4].

Όπως αναλύθηκε παραπάνω, η αστοχία στα υποστυλώματα ενός δομήματος από Ο.Σ. λόγω σεισμού ή συνήθων φορτίων, είναι ύψιστης σημασίας για την μετέπειτα ευστάθεια και στατικότητα μιας κατασκευής, επομένως για την ασφάλεια ανθρώπων και περιουσίας. Άρα, είναι σημαντικό να γνωρίζει ο μηχανικός τις αιτίες που οδηγούν στην αστοχία αλλά και να μπορεί να αναγνωρίσει το είδος και τον βαθμό μιας βλάβης σε υποστύλωμα. Παρακάτω αναλύονται οι μορφές αστοχίας των υποστυλωμάτων από την πλευρά της δομοστατικής μηχανικής και έπειτα αναλύονται τα είδη των βλαβών ως προς την εμφάνιση τους σε μια αυτοψία κατά τον Ευρωκώδικα 4.

2.2.1 Μορφές αστοχίας υποστυλωμάτων

Οι βλάβες όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο **2.1.2** για τις δοκούς, έτσι και στα υποστυλώματα μπορεί να είναι καμπτικού ή διατμητικού τύπου. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο διάτμησης του στοιχείου που σχετίζει την καμπτική με τη διατμητική καταπόνηση και τις διαστάσεις του στοιχείου. Υπενθυμίζεται ότι ο λόγος διάτμησης εκφράζεται ως $L=M/(V \cdot h)$.

Με βάση αυτόν το λόγο είναι εύκολα κατανοητό ότι υποστυλώματα με μικρές διαστάσεις διατομής και μεγάλο ύψος (λιγυρά υποστυλώματα), είναι πιο ευάλωτα σε καμπτικές καταπονήσεις, ενώ στην αντίθετη περίπτωση πιο κοντά υποστυλώματα είναι ευάλωτα σε διατμητικές καταπονήσεις. Είναι προφανές ότι ο σωστός σχεδιασμός διατομής, η όπλιση και οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες (αγκυρώσεις διαμηκών οπλισμών και συνδετήρων, μήκη αλληλοκάλυψης των οπλισμών στους κατασκευαστικούς αρμούς, κόμβοι δοκών και υποστυλωμάτων), (Εικόνα **2-16**), αλλά και η σωστή εφαρμογή όλων αυτών στο στάδιο κατασκευής και ανέγερσης, παίζουν σημαντικό ρόλο στο αν θα επέλθει βλάβη πόσο μεγάλη θα είναι και τι μορφής.



Εικόνα 2-16: Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων [10]

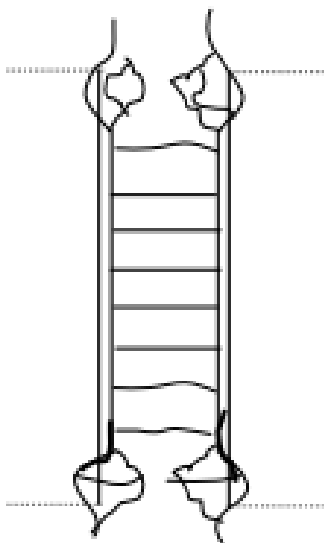
Με βάση τα εντατικά μεγέθη στα στοιχεία υποστυλωμάτων και στις κατασκευαστικές τους λεπτομέρειες οι μορφές αστοχίας ταξινομούνται ως εξής:

2.2.1.1 Καμπτική αστοχία υποστυλώματος

Η αστοχία καμπτικού χαρακτήρα είναι ένας κοινός τύπος αστοχίας για υποστυλώματα σε υψηλά κτήρια. Ένα υποστυλώμα από οπλισμένο σκυρόδεμα, που υφίσταται συνδυασμένη φόρτιση θλίψης και κάμψης, εξαντλεί την αντοχή του όταν το σκυρόδεμα φτάσει σε μια οριακή παραμόρφωση της τάξης του 3-5%. Αν το σκυρόδεμα φτάσει σε αυτή την οριακή θλιπτική παραμόρφωση πριν την διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα στην εφελκόμενη ζώνη, το στοιχείο αστοχεί καμπτικά με σύνθλιψη του σκυροδέματος. Αυτού του τύπου η αστοχία εμφανίζεται με αποφλοιώση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των οπλισμών (ακραία ίνα), λόγω υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής. Οι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καμπτική παραμόρφωση υπό συνδυασμένα θλιπτικά και καμπτικά φορτία είναι:

- Οι διαστάσεις της διατομής του υποστυλώματος
- Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος
- Η ένταση του αξονικού θλιπτικού φορτιού
- Το ποσοστό διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού

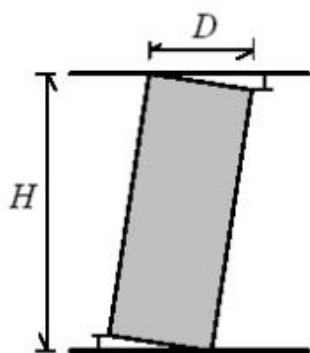
Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού εξωτερικά περιμετρικά υποστυλώματα των κατωτέρων ορόφων υπόκεινται σε μεταβλητή αξονική δύναμη λόγω της εναλλασσόμενης καμπτικής ροπής. Η ένταση της αξονικής δύναμης σε αυτά τα υποστυλώματα μπορεί να γίνει πολύ υψηλή οδηγώντας σε καμπτική θλιπτική αστοχία όπως περιεγράφηκε πριν. (Εικόνα 2-17).



Εικόνα 2-17: Βλάβη υποστυλώματος από ισχυρή αξονική σύνθλιψη και εναλλασσόμενη ροπή [4]

Σε περιπτώσεις, παραδείγματος χάρη, υποστυλωμάτων ανώτερων ορόφων στην περίμετρο του κτηρίου που προφανώς έχουν μικρότερα αξονικά θλιπτικά φορτία, η καμπτική αστοχία έχει την εικόνα οριζόντιας καμπτικής ρωγμής στις διατομές όπου η τάση στον χάλυβα οπλισμού έχει ξεπεράσει το όριο διαρροής. Επομένως οφείλεται σε ανεπάρκεια και αστοχία των διαμηκών οπλισμών του υποστυλώματος στις εφελκυστικές ίνες.

Βλάβες καμπτικού τύπου εμφανίζονται τυπικά στα άκρα των υποστυλωμάτων κοντά στις συνδέσεις τους με τις δοκούς, αφού εκεί η καμπτική ροπή έχει μεγαλύτερες τιμές (Εικόνα 2-18). Τέτοιου είδους βλάβες δεν εγκυμονούν σοβαρούς κινδύνους ειδικότερα αν περιορίζονται έξω από το κέντρο της διατομής όπου βρίσκεται ο πυρήνας του σκυροδέματος [4].



Εικόνα 2-18 : Μορφή παραμόρφωσης υποστυλώματος υπό πλευρικά φορτία (π.χ. σεισμικά) & καμπτικές ρωγμές στη βάση υφιστάμενου υποστυλώματος [8]

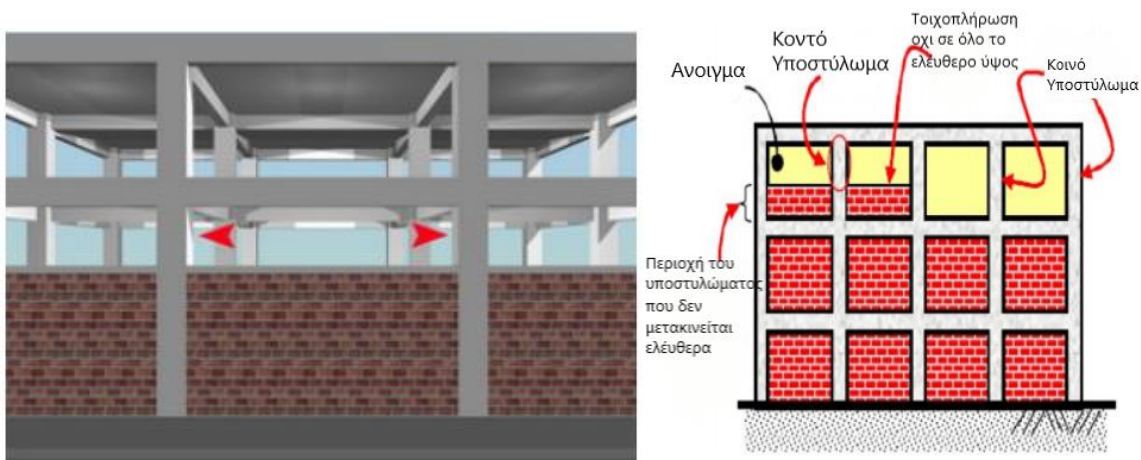
2.2.1.2 Διατμητική αστοχία υποστυλώματος

Η διατμητική αστοχία υποστυλωμάτων μετά από ανελαστικές κυκλικές φορτίσεις (όπως στην περίπτωση ενός σεισμού), συχνά παρατηρείται σε υποστυλώματα με μεγαλύτερη διατμητική αντοχή και δυσκαμψία από ότι καμπτική. Τέτοια υποστυλώματα είναι αυτά με μικρό λόγο διάτμησης (π.χ. κοντά υποστυλώματα) των οποίων η συμπεριφορά εξηγήθηκε περιληπτικά στην **παράγραφο 2.1.2** για τις δοκούς αλλά ισχύει για όλα τα διατμητικά στοιχεία. Οι περιοχές στο υποστυλώμα που αναμένεται να εμφανιστούν τέτοιες βλάβες, δεν είναι υποχρεωτικά στα άκρα του όπως στην καμπτική αστοχία, αλλά εκεί που το υποστυλώμα είναι πιο ευάλωτο διατμητικά, παραδείγματος χάρη λόγω έλλειψης επαρκών συνδετήρων. Από πλευράς σκυροδέματος αυτή η αστοχία αποδίδεται σε δύο λόγους [11] :

- Μείωση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εξαιτίας αλληλο-εμπλεκόμενων καμπτικών και διατμητικών ρωγμών.
- Μείωση της συναρμογής των αδρανών μέσα στο σκυρόδεμα εξαιτίας των καμπτο-διατμητικών ρωγμών.

Αυτού του τύπου η αστοχία μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο ψαθυρή αστοχία σε υποστυλώματα κτηρίων. Αποδίδεται κυρίως σε έλλειψη εγκάρσιων διατμητικών συνδετήρων οπλισμού, και όσο η αλληλουχία της βλάβης προχωρά το υποστύλωμα φτάνει να χάσει την ικανότητα μεταφοράς φορτίου και τα φορτία βαρύτητας που υποστηρίζονταν από το υποστύλωμα πρέπει να ανακατανεμηθούν σε γειτονικά στοιχεία του πλαισίου οδηγώντας σε ενδεχόμενο σχηματισμό μηχανισμού κατάρρευσης. Γι' αυτό το λόγο τέτοιου είδους βλάβες αξιολογούνται ως κρίσιμες και πολύ σοβαρές.

Είναι πολύ σημαντικό επομένως τα ευάλωτα υποστυλώματα σε διατμητική αστοχία να αναγνωρίζονται αφενός από την φάση του σχεδιασμού ώστε να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα και να αποφευχθούν τέτοιου είδους βλάβες, αφετέρου να αναγνωρίζεται η εμφάνιση και τα χαρακτηριστικά τους μετά από σεισμούς από τους εμπειρογνώμονες ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες αποφάσεις ασφαλείας και επισκευών. Πέρα από τα προφανή διατμητικά κοντά υποστυλώματα με λόγο διάτμησης μικρότερο του 2-2.5, κινδυνεύουν πολύ και κοινά μη διατμητικά υποστυλώματα τα οποία όμως λόγω κατασκευής συμπεριφέρονται ως κοντά. Τέτοιες είναι περιπτώσεις υποστυλωμάτων στον οποίων τις παρειές υπάρχει τοιχοπλήρωση αλλά όχι σε όλο το ελεύθερο μήκος με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η ελεύθερη μετακίνηση τους κατά το σεισμό (Εικόνα 2-19).



Εικόνα 2-19: Διαμορφώσεις κοντών υποστυλωμάτων [12] , [13]

Τέτοια υποστυλώματα παρατηρούνται συχνά σε βιομηχανικούς χώρους για παροχή παραθύρων και φεγγιτών, αλλά και σε κατοικίες σε κλιμακοστάσια όπου το κλιμακοστάσιο διακόπτει την συνέχεια υποστυλώματος και σε ανοίγματα για παράθυρα. Κατά τον σεισμό της Αθήνας το 1999, πολλές από τις καταρρεύσεις και βλάβες βιομηχανικών κυρίως χώρων οφείλονταν σε τέτοιου είδους κοντά υποστυλώματα.

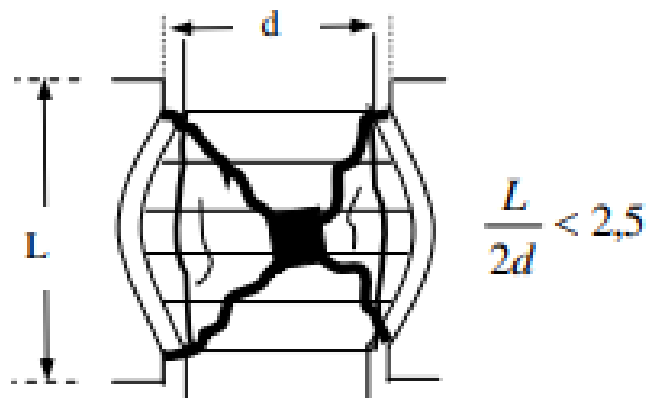
Η διατμητικές βλάβες εμφανίζονται με τη μορφή λοξών ρωγμών που εξαιτίας της αλλαγής πρόσημου των ροπών κατά το σεισμό, πολλές φορές έχουν χιαστί μορφή (Εικόνα 2-20). Μετά τις ρωγμές στο σκυροδέμα οι τάσεις μεταφέρονται στον εγκάρσιο οπλισμό από συνδετήρες. Η ψαθυρή μορφή αυτή αστοχίας, επέρχεται στον διαγώνιο ελκυστήρα όταν οι συνδετήρες δεν επαρκούν για να αναλάβουν τις τάσεις. Οι συνδετήρες στα υποστυλώματα τυπικά έχουν τριπλό ρόλο:

- Εμποδίζουν τον λυγισμό των διαμηκών ράβδων
- Αυξάνουν την διατμητική αντοχή της διατομής
- Περισφίγγουν τον πυρήνα του σκυροδέματος βελτιώνοντας την ικανότητα ανάληψης θλιπτικών φορτίων

Τα κοντά υποστυλώματα ελκύουν παραπάνω διατμητικά φορτία τα οποία ξεπερνούν την διατμητική αντοχή του σκυροδέματος και παραλαμβάνονται από τους συνδετήρες που πρέπει να έχουν επαρκή αντοχή για να τα φέρουν. Όταν αστοχούν και οι συνδετήρες, η διατμητική βλάβη εξελίσσεται γρήγορα με πλήρη φθορά και αποδιοργάνωση του πυρήνα σκυροδέματος και τη χαρακτηριστική λοξή εμφάνιση. [8]



Εικόνα 2-20: Εμφάνιση διατμητικής αστοχίας σε υποστύλωμα (σεισμός Μαρμαρά 1999 [8]) & χαρακτηριστική χιαστί διατμητική ρωγή σε υποστύλωμα που συμπεριφέρεται ως κοντό διπλά από φεγγίτη [12]



Εικόνα 2-21: Διατμητική αστοχία κοντού υποστυλώματος [4]

2.2.1.3 Καμπτο-διατμητική αστοχία

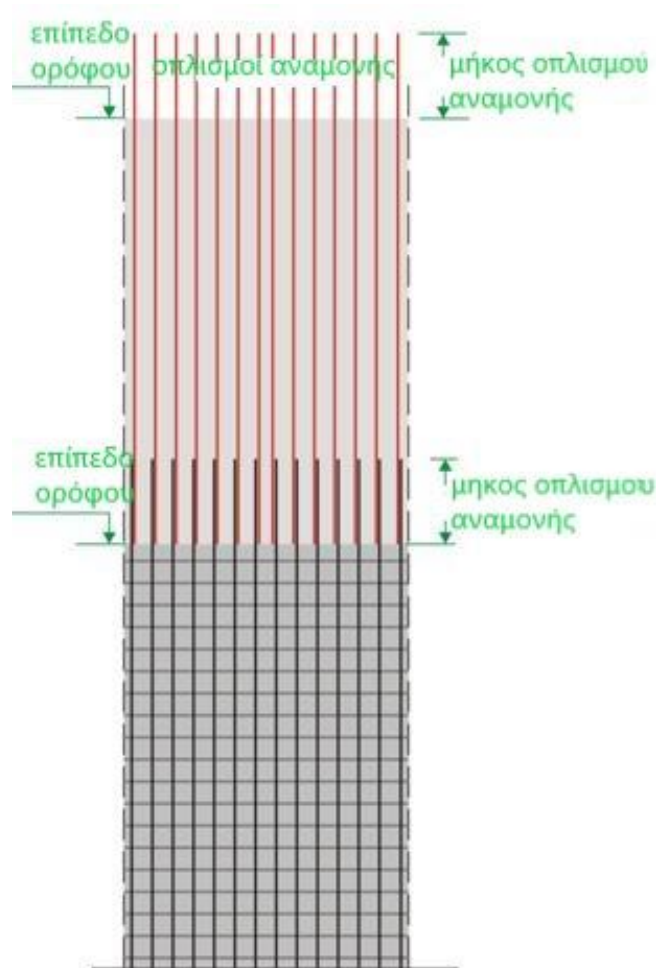
Αυτή η μορφή αστοχίας αφορά στοιχεία υποστυλωμάτων με υψηλά αξονικά θλιπτικά φορτία και ταυτόχρονη ύπαρξη μεγάλης καμπτικής και διατμητικής έντασης. Έχει παρατηρηθεί επανειλημμένα σε αστοχίες υποστυλωμάτων μετά από ισχυρούς σεισμούς, όπου εξαιτίας της αντιστροφής πρόσημου των σεισμικών φορτίων, εκδηλώνεται σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και στις δυο παρειές του υποστυλώματος. Η σύνθλιψη του σκυροδέματος οδηγεί σε διόγκωση κατά την εγκάρσια διεύθυνση, έχοντας ως αποτέλεσμα τη διαρροή και εν τέλει τη θραύση των συνδετήρων στις διατομές που επέρχεται αυτού του είδους η βλάβη. Αρκετές φορές αυτή η αλληλουχία οδηγεί σε βράχυνση του υποστυλώματος (το υποστυλώμα «κονταίνει» σε σχέση με το αρχικό του ύψος) και οι επακόλουθες επιβαλλόμενες παραμορφώσεις οδηγούν σε λυγισμό των διαμηκών οπλισμών (Εικόνα 2-22). Συνήθειες περιπτώσεις όπου τέτοιες βλάβες εμφανίζονται, είναι σε υποστυλώματα με ανεπαρκείς διαστάσεις διατομής ιδίως κοντά σε κόμβους με ισχυρές δοκούς, σε υποστυλώματα με χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος και απουσία συνδετήρων που θα εξασφάλιζαν επαρκή περίσφιξη. Πρέπει να επισημανθεί ότι αυτού του τύπου οι βλάβες αξιολογούνται ως πολύ σοβαρές, καθώς οδηγούν σε ψαθυρού τύπου αστοχία και ενδεχόμενη εμφάνιση μηχανισμού κατάρρευσης, αφού τα κατακόρυφα φορτία του φέροντα οργανισμού δεν είναι δυνατόν πλέον να μεταφερθούν μέσω αυτών των υποστυλωμάτων, και πρέπει να γίνει ανακατανομή σε άλλα μέλη.



Εικόνα 2-22: Υποστυλώματα που έχουν υποστεί καμπτο-διατμητική βλάβη μετά από σεισμό με σύνθλιψη και λυγισμό των ράβδων οπλισμού

2.2.1.4 Αστοχία υποστυλώματος λόγω μη επαρκούς λεπτομέρειας μάτισης

Στις περισσότερες κατασκευές από Ο.Σ., τα στοιχεία συνήθως δεν είναι οπλισμένα με συνεχείς ράβδους σε όλο το μήκος (παραδείγματος χάρη σε όλο το ύψος ενός υποστυλώματος από το υπόγειο ως τον τελευταίο όροφο). Αυτό συμβαίνει για λόγους παραγωγής των ράβδων οπλισμού (τυπικά βγαίνουν σε κομμάτια έως 12m), μεταφοράς τους στα εργοτάξια και κατασκευαστικών λεπτομερειών στις ίδιες τις κατασκευές (π.χ. μικρότερες διάμετροι στους οπλισμούς υποστυλωμάτων ανωτέρων ορόφων που μειώνονται τα φορτία βαρύτητας, κατασκευαστικοί αρμοί ορόφων (βλ. Εικόνα 2-23). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η εφαρμογή της μάτισης μεταξύ των διαμήκων οπλισμών, έτσι ώστε οι δυνάμεις να μεταφέρονται αποτελεσματικά από την μία ράβδο στην άλλη. Οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες των ματίσεων είναι πολύ σημαντικές, καθώς οι περιοχές αυτές αποτελούν κρίσιμο σημείο και πολλές φορές ιδιαίτερα όσον αφορά υποστυλώματα, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι κρίσιμα για την στατικότητα της κατασκευής, η αστοχία της μάτισης μπορεί να βάλει σε κίνδυνο το όλο δόμημα.



Εικόνα 2-23: Σκαρίφημα λεπτομέρειας κατασκευαστικού αρμού στο επίπεδο ορόφων με οπλισμούς αναμονής για τη μάτιση

Οι δυνάμεις μεταφέρονται από την μία ράβδο στην άλλη στα σημεία των ματίσεων μέσω συνάφειας με το σκυρόδεμα. Η δύναμη πρώτα μεταβιβάζεται από την πρώτη ράβδο στο περιβάλλον σκυρόδεμα της και έπειτα μεταφέρεται στην δεύτερη ράβδο λόγω τάσεων συνάφειας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος. Επομένως το σκυρόδεμα στην περιοχή των ματίσεων υπόκεινται σε υψηλές διατμητικές δυνάμεις, που μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές και να ξεκινήσουν την αλληλουχία μίας βλάβης στο σημείο. Για να αποφευχθεί αυτό χρειάζεται σωστός σχεδιασμός της λεπτομέρειας της μάτισης με σωστά μήκη αλληλοκάλυψης και συνδετήρες ικανούς να παραλάβουν τις δυνάμεις.

Οι κατασκευαστικές μέθοδοι για την επίτευξη της μάτισης είναι οι ακόλουθες:

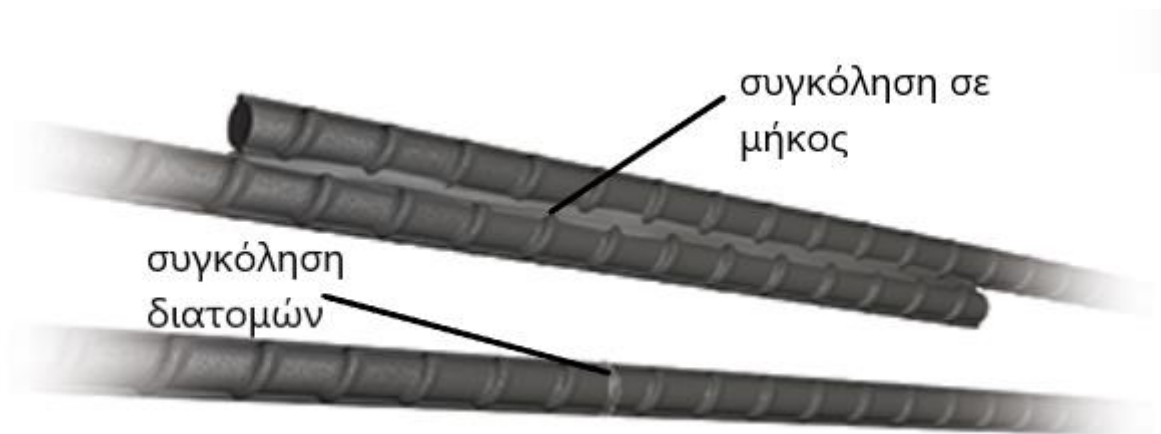
- Μάτιση με αλληλοκάλυψη ράβδων (**Εικόνα 2-24**)
- Μηχανική μάτιση με ειδικούς συζευκτήρες (**Εικόνα 2-25**)
- Μάτιση με συγκόλληση των ράβδων (**Εικόνα 2-26**)



Εικόνα 2-24: Μάτιση με αλληλοκάλυψη [14]



Εικόνα 2-25: Μηχανική μάτιση με συζευκτήρες [14]



Εικόνα 2-26: Μάτιση με συγκόλληση των οπλισμών [14]

Ενδεχόμενη αστοχία της περιοχής μάτισης μπορεί να οδηγήσει σε ψαθυρή αστοχία. Τέτοια αστοχία μειώνει την αντίσταση σε κάμψη ακόμα και πριν τη διαρροή των οπλισμών [8]. Γενικά πρέπει να αποφεύγονται οι ματίσεις σε περιοχές υψηλής εφελκυστικής έντασης και σε περιοχές που αναμένεται ο σχηματισμός πλαστικών αρθρώσεων κατά το σχεδιασμό, όπως στα άκρα των υποστυλωμάτων.

Στον Ευρωκώδικα 2 για σχεδιασμό κατασκευών από Ο.Σ. προβλέπεται ότι για ματίσεις οπλισμών που βρίσκονται σε εφελκυστικές ζώνες αν το ποσοστό των οπλισμών που αλληλεπικαλύπτονται είναι λιγότερο από 25% σε κάθε διατομή του στοιχείου για ράβδους μικρότερες από 20cm, τότε οι συνδετήρες που έχουν τοποθετηθεί από το σχεδιασμό σε διάτμηση αρκούν για να παραλάβουν τα επιπλέον φορτία λόγω μάτισης. Σε αντίθετη περίπτωση τοποθετείται εξτρά οπλισμός από συνδετήρες [15].

Στον Ευρωκώδικα 8 για τον αντισεισμικό σχεδιασμό, ειδικά μέτρα επιβάλλονται για τις λεπτομέρειες των ματίσεων ώστε τα υποστυλώματα να μην κινδυνεύουν από σεισμικές δράσεις. Έτσι απαγορεύεται η μάτιση με συγκόλληση ράβδων, ενώ επιτρέπεται η χρήση μηχανικών συζευκτών υπό προϋποθέσεις ποιοτικών ελέγχων και επιβάλλονται όρια στις μέγιστες αποστάσεις των συνδετήρων στην περιοχή της μάτισης [16].

Επομένως φαίνεται από τα παραπάνω ότι οι Ευρωπαϊκοί, και το ίδιο ισχύει και για τους υπόλοιπους κανονισμούς σχεδιασμού ανά τον κόσμο ειδικά σε σειсмоγενείς περιοχές, δίνουν μεγάλη σημασία στην κατασκευαστική λεπτομέρεια της μάτισης και στον σωστό σχεδιασμό της. Συχνά, ιδίως σε υφιστάμενες παλαιότερες κατασκευές, στα καμπτικά πλαίσια από Ο.Σ., οι ματίσεις γίνονταν αμέσως πάνω από το σημείο σύνδεσης υποστυλώματος και θεμελίου σε περιοχή αναμενόμενης πλαστικής άρθρωσης (διαρροή του χάλυβα οπλισμού στο σεισμό σχεδιασμού), κάτι που θα έπρεπε να αποφευχθεί καθώς αυτό το σημείο είναι από τα πιο κρίσιμα. Πολλά κτήρια στον σεισμό του Μαρμαρά της Τουρκίας το 1999 υπέστησαν βλάβες ή κατέρρευσαν εξαιτίας μη επαρκών κατασκευαστικών λεπτομερειών μάτισης στην σύνδεση θεμελίου – υποστυλώματος [8].



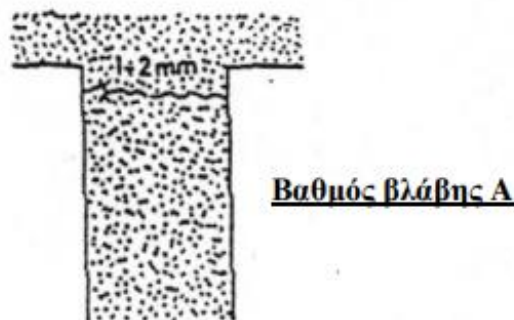
Εικόνα 2-27: Αστοχία ματίσεων στην βάση υποστυλωμάτων [8]

2.2.2 Αναγνώριση βαθμού βλάβης στα υποστυλώματα κατά την απόφαση για μετασεισμική επέμβαση

Με βάση τον Ευρωκώδικα 8, [17] καθώς και τον Ο.Α.Σ.Π. [18], γίνεται μια κατάταξη των βαθμών βλάβης στα υποστυλώματα, η οποία χρησιμεύει στους εμπειρογνώμονες μηχανικούς μετά από σεισμούς κατά τις αυτοψίες, για να ληφθούν αποφάσεις ενίσχυσης, επιδιόρθωσης και του κατά πόσο είναι ασφαλείς οι κατασκευές που έχουν πληγεί. Η κατάταξη αυτή γίνεται με βάση τον τυπικό βαθμό βλάβης των υποστυλωμάτων και παρουσιάζεται στα παρακάτω.

2.2.2.1 Βλάβη Α Βαθμού

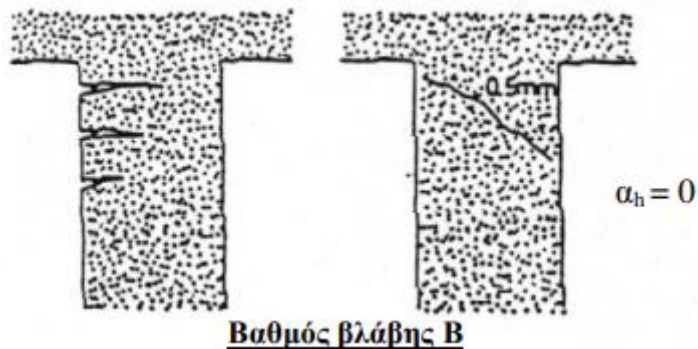
Αφορά μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 1-2mm υπό τον όρο ότι μπορεί να αποδειχθεί με απλούς υπολογισμούς ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά είναι πιθανότερο να είναι τοπικές αδυναμίες όπως κατασκευαστικοί αρμοί διακοπής εργασιών, λανθασμένη αγκύρωση οπλισμών και επίδραση των τοιχοπληρώσεων σε επαφή με το υποστυλώμα.



Εικόνα 2-28: Βλάβη τύπου Α [4]

2.2.2.2 Βλάβη Β βαθμού

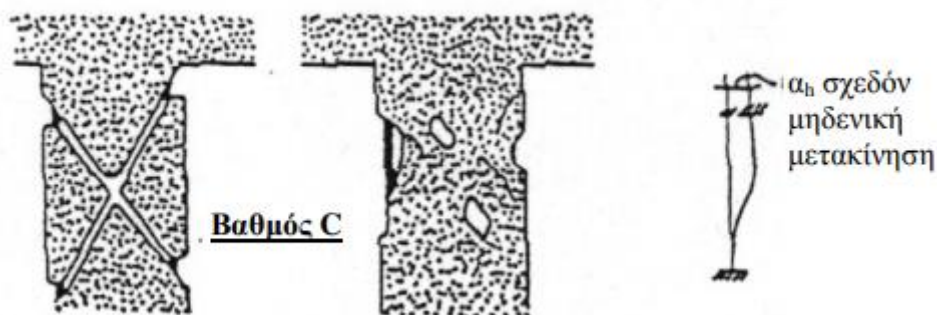
Κατηγοριοποιείται ως τέτοια όταν εμφανίζονται στο υποστύλωμα πολλές πλατιές ρωγμές καμπτικού τύπου ή μεμονωμένες ρωγμές διατμητικού τύπου με πλάτος μικρότερο από 0.5mm αρκεί να μην παρατηρούνται εναπομένουσες μετακινήσεις.



Εικόνα 2-29:Βλάβη τύπου Β [4]

2.2.2.3 Βλάβη C βαθμού

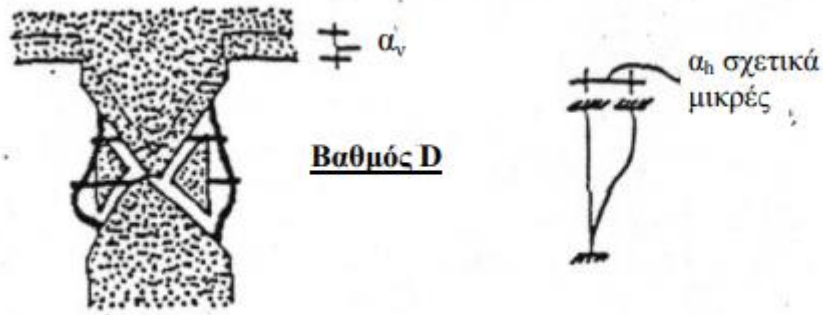
Παρατηρούνται διατμητικές ρωγμές με χαρακτηριστική χιαστί λοξή εμφάνιση στο υποστύλωμα ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος υπό τον όρο ότι δεν παραμένουν εναπομένουσες μετακινήσεις.



Εικόνα 2-30: Βλάβη τύπου C [4]

2.2.2.4 Βλάβη D βαθμού

Εμφανίζεται με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή της αστοχίας, παρατηρείται λυγισμός των διαμήκων οπλισμών, διαρροή των συνδετήρων στο σημείο, ασυνέχειες στο υποστύλωμα χωρίς όμως την κατάρρευση του. Για να ταξινομηθεί ως βλάβη αυτού του βαθμού πρέπει παρόλα τα παραπάνω οι εναπομένουσες μετακινήσεις (οριζόντιες και κατακόρυφες) να είναι σχετικά μικρές.



Εικόνα 2-31: Βλάβη τύπου D [4]

2.2.2.5 Βλάβη E βαθμού

Πρόκειται για πλήρη κατάρρευση του υποστυλώματος



Εικόνα 2-32: Πλήρης κατάρρευση του υποστυλώματος στους άνω ορόφους που θα ταξινομούταν ως βλάβη βαθμού E

2.3 Βλάβες σε τοιχώματα

Τα τοιχώματα σε κατασκευές από Ο.Σ. παίζουν πρωταρχικό ρόλο στην απόκριση του φέροντα οργανισμού σε σεισμικά γεγονότα. Τοποθετούνται και στις δύο διευθύνσεις της κάτοψης για να παρέχουν την απαραίτητη δυσκαμψία στα πλαίσια (**Εικόνα 2-33**). Ως δύσκαμπτα στοιχεία που προορίζονται για την παραλαβή των οριζόντιων σεισμικών φορτίων, συγκεντρώνουν πάνω τους το μεγαλύτερο κομμάτι της σεισμικής έντασης στην διάρκεια ενός σεισμού.

Βασικό στοιχείο της συμπεριφοράς τους είναι ότι δρουν σαν πρόβολος υπό κάμψη και διάτμηση εξαιτίας του οριζόντιου σεισμικού φορτίου που δρα παράλληλα στο επίπεδο του τοιχώματος, και της πάκτωσης στη βάση που συγκεντρώνεται και η μεγαλύτερη σεισμική ροπή [19].

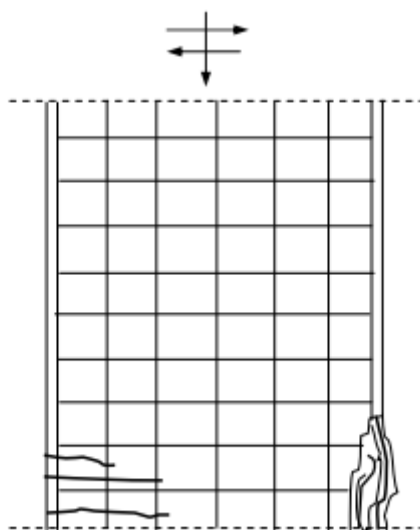


Εικόνα 2-33: Τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα και στις δύο διευθύνσεις σε οικοδομή υπό ανέγερση

Οι βλάβες λόγω σεισμού στα τοιχώματα είναι καμπτικού, διατμητικού ή καμπτο - διατμητικού τύπου.

- ο Αστοχία καμπτικού τύπου

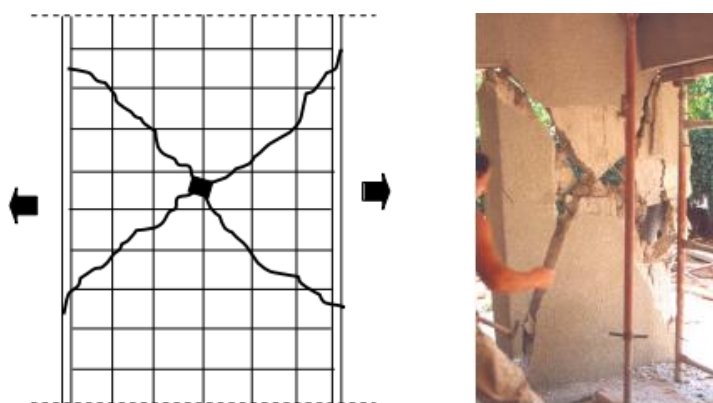
Εμφανίζεται με οριζόντια ρωγή εφελκυστικού τύπου στον ένα πόδα και σύνθλιψη με αποφλοίωση του σκυροδέματος στον άλλο πόδα του θεμελίου όπου μπορεί να παρατηρηθεί και λυγισμός των διαμήκων ραβδών (**Εικόνα 2-34**). Εμφανίζεται σε τοιχώματα με ισχυρή θεμελίωση όπου και δημιουργείται πάκτωση. Αστοχία τέτοιου τύπου δημιουργεί πλαστική άρθρωση στο επίπεδο του ισογείου, που είναι και επιθυμητή από τον σχεδιασμό αρκεί το υπόλοιπο τοίχωμα καθ' ύψος της οικοδομής να συνεχίσει να λειτουργεί ελαστικά [19], και δεν αξιολογείται ως τόσο σοβαρή βλάβη όσο αυτή του διατμητικού τύπου.



Εικόνα 2-34: Γραφική απεικόνιση καμπτικής αστοχίας τοιχείου

- ο Αστοχία διατμητικού τύπου

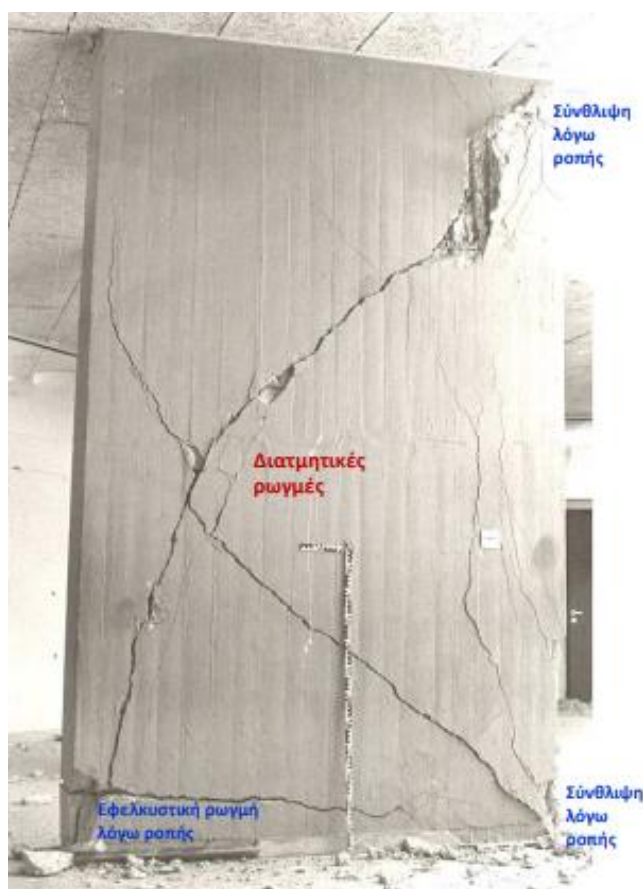
Οι βλάβες διατμητικής μορφής είναι πολύ πιο συχνές από τις καμπτικές και αξιολογούνται ως πολύ πιο σοβαρές. Εμφανίζεται με χιαστί ρωγμές που είναι η χαρακτηριστική ρηγμάτωση των τοιχωμάτων από σεισμό και οφείλεται στην τέμνουσα εναλλασσόμενου πρόσημου λόγω του σεισμικού φαινομένου. Η σοβαρότητα της αστοχίας δεν έγκειται μόνο στο ότι η διατμητικές βλάβες είναι ψαθυρού τύπου, αλλά και στο γεγονός ότι μπορεί να γίνουν αποκολλήσεις των τριγωνικών τμημάτων του τοιχώματος που δημιουργούνται μεταξύ των χιαστί ρωγμών (Εικόνα 2-35). Συνήθως οφείλεται σε ανεπάρκεια οπλισμού και χαμηλής αντοχής του σκυροδέματος.



Εικόνα 2-35: Απεικόνιση διατμητικής βλάβης τοιχώματος [4] & διατμητική αστοχία τοιχώματος στο ισόγειο οικοδομής κατά το σεισμό της Αθήνας το 1999 [19]

ο Αστοχία καμπτο – διατμητικού τύπου

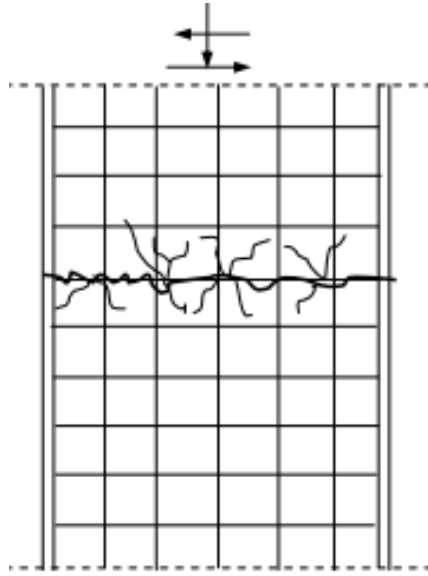
Η καμπτο – διατμητική (M+V) εντατική κατάσταση του τοιχώματος μπορεί να οδηγήσει και σε διατμητική αστοχία. Η εμφάνιση της είναι ένας συνδυασμός των δύο προηγούμενων αστοχιών λόγω κάμψης και διάτμησης. Αναμένεται δηλαδή η δημιουργία της χιαστί ρηγμάτωσης λόγω της σεισμικής τέμνουσας και εφελκυστική ρωγμή και αστοχία στον ένα πόδα και η θλιπτική αστοχία με σύνθλιψη στον άλλο πόδα του τοιχείου (Εικόνα 2-36).



Εικόνα 2-36: Καμπτο – διατμητική απόκριση τοιχώματος κατά τον σεισμό της Καλαμάτας το 1986 [19]

ο Αστοχία λόγω ολίσθησης στο σημείο του αρμού διακοπής εργασιών

Είναι πολύ συχνή μορφή βλάβης των τοιχωμάτων που οφείλεται στην ελλιπή προετοιμασία του παλιού σκυροδέματος πριν την έγχυση του νέου κατά τη συνέχιση των εργασιών από το σημείο του αρμού διακοπής εργασιών. Γι' αυτό οι αντισεισμικοί κανονισμοί προβλέπουν τον κατάλληλο οπλισμό και τις σωστές ματίσεις στο σημείο του αρμού διακοπής κάτι που αναφέρθηκε και για τα υποστυλώματα στην παράγραφο 2.2.1.4. Δεν αξιολογείται ως επικίνδυνη αφού δεν μειώνει την δυσκαμψία του τοιχώματος ούτε την ικανότητα μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων [4].



Εικόνα 2-37: Απεικόνιση αστοχίας ολίσθησης στον αρμό διακοπής εργασίας [4]

2.4 Αστοχία σε κόμβους

Με βάση τους παλαιότερους κανονισμούς σχεδιασμού κατασκευών Ο.Σ., δεν δινόταν ιδιαίτερη σημασία στο σχεδιασμό των κόμβων αλλά θεωρούνταν ότι η γεωμετρία τους αρκούσε για την παραλαβή της έντασης, αφού ήταν πάντα σε διατομή ίσοι ή μεγαλύτεροι από ότι τα στοιχεία που συνέτρεχαν σε αυτούς. Με βάση όμως τις βλάβες σε αυτούς από σημαντικά σεισμικά γεγονότα ανά τον κόσμο από τη δεκαετία του 80 και μετά, αυτή η άποψη έχει αλλάξει άρδην [19]. Αυτό γιατί έγινε εμφανές με βάση την απόκριση των κόμβων στους σεισμούς, ότι αποτελούν το πλέον αδύναμο τμήμα του φέροντα οργανισμού (ιδίως οι εξωτερικοί) αφού οι αστοχίες και οι μηχανισμοί κατάρρευσης συνήθως ξεκινούν από εκεί (Εικόνα 2-38).

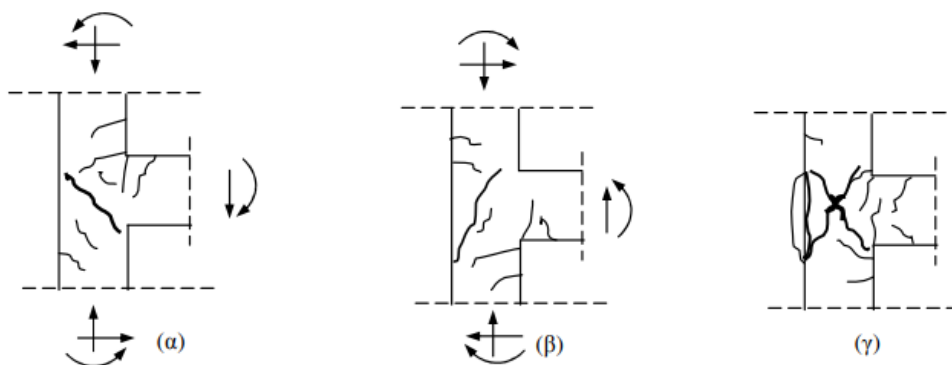
Η αστοχία στους κόμβους μπορεί να επέρθει για τους ακόλουθους λόγους:

- Το επίπεδο της διατμητικής έντασης είναι ιδιαίτερα υψηλό εκεί.
- Λόγω μεγάλης πυκνότητας σε οπλισμούς σε μικρή περιοχή ο κόμβος είναι σημείο κακής σκυροδέτησης αφού δεν μπορούν να περάσουν τα αδρανή πολλές φορές μεταξύ των οπλισμών ή να γίνει σωστή συμπίκνωση με τους δονητές.
- Κανονιστικά οι κόμβοι δεν αντιμετωπίζονται τοπικά αλλά η ένταση τους λαμβάνεται υπόψιν μόνο ως μέρος του συνολικού φορέα.
- Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης των διαμηκών οπλισμών των δοκών .
- Ανεπαρκές μήκος αγκύρωσης και μάτισης των οπλισμών των υποστυλωμάτων.
- Έλλειψη επαρκών συνδετήρων που οδηγεί σε λυγισμό των διαμηκών οπλισμών και διατμητική αστοχία του κόμβου.

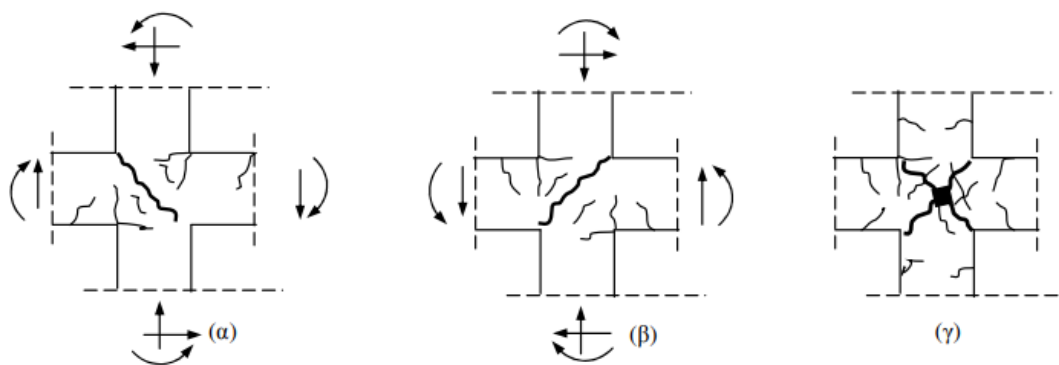


Εικόνα 2-38: Αστοχία ακραίου κόμβου με ψαθυρή αστοχία και του άκρου του υποστυλώματος λόγω έλλειψης συνδετήρων και ανεπαρκούς αγκύρωσης. Αθήνα σεισμός 1999. [19]

Η αστοχία των κόμβων όπως αναφέρθηκε απειλεί την ευστάθεια και την ακεραιότητα του φορέα. Γι' αυτό μετά από σεισμούς οποιαδήποτε ρωγή σε κόμβο αξιολογείται ως πολύ επικίνδυνη ανεξάρτητα από το μέγεθος της. Με βάση τον Ευρωκώδικα 8 [16], οι αστοχίες στους κόμβους κατηγοριοποιούνται σε μία κατηγορία υψηλότερη από αυτή που αντιστοιχεί στα υποστυλώματα (2.2.2) με την ίδια εικόνα και ίδιο εύρος βλάβης.



βλάβες σε ακραίους κόμβους

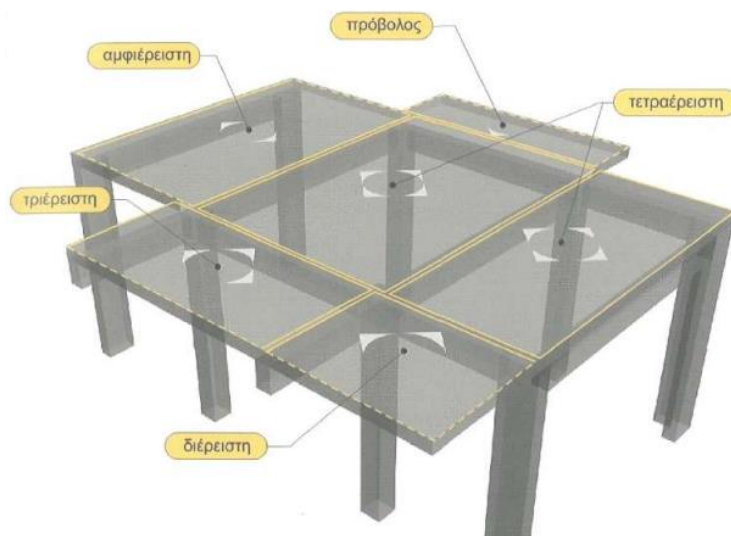


βλάβες σε μεσαίους κόμβους

Εικόνα 2-39:Βλάβες σε κόμβους πλαισίων [4]

2.5 Αστοχία σε πλάκες

Η πλάκες σκυροδέματος είναι κοινά δομικά στοιχεία των σύγχρονων κτηρίων και αποτελούνται από μια επίπεδη οριζόντια επιφάνεια με μικρό σχετικά πάχος τυπικά μεταξύ 100-500mm φτιαγμένη από έγχυτο σκυρόδεμα και χάλυβες οπλισμού [20]. Κατά τον ΕΚΟΣ, οι πλάκες είναι επιφανειακά, δομικά στοιχεία σχετικά μικρού πάχους, όπου το διάνυσμα ροπών κάμψης είναι στο μέσο επίπεδο τους [21]. Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης τους οι πλάκες κατηγοριοποιούνται σε διέρειστες, αμφιέρειστες, τριέρειστες, τετραέρειστες και προβόλους (Εικόνα 2-40). Πολλές φορές, πέρα από τις πλάκες των ορόφων σε κτήρια κατοικιών και βιομηχανικών κτηρίων, υπάρχουν πλάκες επί εδάφους που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί το επίπεδο του ισογείου ή του υπογείου (Εικόνα 2-41).



Εικόνα 2-40: Διαμόρφωση πλακών ανάλογα με τον τρόπο στήριξης [22]



Εικόνα 2-41: Βιομηχανικό μεταλλικό υπόστεγο με πλάκα σκυροδέματος επί εδάφους [23]

Η αστοχία στις πλάκες εμφανίζεται υπό μορφή ρωγμών και ρηγματώσεων. Οι πλάκες από Ο.Σ. ρηγματώνονται σχεδόν πάντα. Οι ρωγμές εμφανίζονται όταν η εφελκυστική τάση σε διατομές και σημεία του στοιχείου ξεπερνά την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος. Οι βλάβες στις πλάκες συνήθως είναι μικρής σημασίας αφού τυπικά δεν επηρεάζουν την στατικότητα του συνολικού φέροντα οργανισμού [4]. Επίσης και η ίδια η πλάκα αν δεν είναι πρόβλος, δεν κινδυνεύει άμεσα λόγω της υπερστατικότητας της.

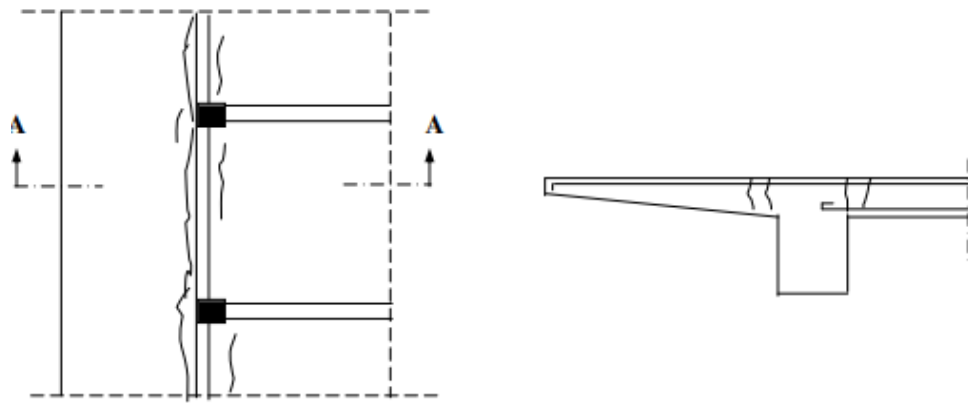
Οι ρωγμές στις πλάκες μπορεί να εμφανιστούν για πολλαπλούς λόγους όμως θα αναφερθούν οι δομικές βλάβες που οφείλονται στα φορτία της κατασκευής και σεισμικά, και όχι οι βλάβες λόγω συστολής ξήρανσης σκυροδέματος, θερμοκρασιακών μεταβολών και άλλες μη δομικές βλάβες. Ρωγμές μεταξύ άλλων μπορεί να εμφανιστούν στις πλάκες για τους εξής λόγους [24]:

- Σεισμικές δράσεις κυρίως κατακόρυφης συνιστώσας.
- Κατασκευαστικά λάθη (μη επαρκές στατικό ύψος, κακή διάταξη οπλισμών).
- Χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος.
- Ανεπάρκεια κυρίου οπλισμού να αναλάβει τις εφελκυστικές τάσεις από τα φορτία.
- Αστοχία διάτρησης (αφορά μυκητοειδείς πλάκες που στηρίζονται πάνω σε υποστυλώματα).
- Διαφορικές καθιζήσεις με αστοχία δοκών και υποστυλωμάτων.

Μετά από σεισμικά γεγονότα μπορεί να εμφανιστούν μεγάλες και βαθιές κάθετες ρωγμές στην παρειά στήριξης των πλακών στις δοκούς λόγω καμπτικών δράσεων ως αποτέλεσμα της συνεργασίας δοκών και πλακών. Συχνά ρωγμές μετά από σεισμούς εμφανίζονται σε διάφορα σημεία σε μια πλάκα, οι οποίες δεν θεωρούνται ως σοβαρές αφού συνήθως προϋπήρχαν ως τριχοειδείς ρηγματώσεις από άλλους λόγους και διευρύνθηκαν λόγω της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού καταλήγοντας να γίνουν ορατές.

Πιο σοβαρές είναι οι ρωγμές που οφείλονται σε μακροχρόνιες δράσεις φορτίων βαρύτητας, που μπορεί να οφείλονται σε μη επαρκείς οπλισμούς στην πλάκα ή σε αλλαγές χρήσης του κτηρίου και υπερφόρτιση της πλάκας. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίνεται στους προβόλους λόγω έλλειψης υπερστατικότητας ώστε να αποφευχθεί ενδεχόμενος μηχανισμός κατάρρευσης. Ρωγμές παράλληλες στους κύριους οπλισμούς δεν ανησυχούν τον μηχανικό. Εκεί που εντοπίζεται το πρόβλημα είναι στις κάθετες ως προς τους οπλισμούς ρωγμές (**Εικόνα 2-42**), που εμφανίζονται στην άνω ίνα κοντά στην περιοχή έδρασης πλάκας στις δοκούς [4]. Αν το βάθος αυτών των ρωγμών είναι τέτοιο που να ξεπερνά την επικάλυψη του οπλισμού και να φαίνονται οι οπλισμοί, η βλάβη αξιολογείται ως σοβαρή αφού μπορεί να υπάρχει διαρροή των οπλισμών και πρέπει να παρθούν άμεσα μέτρα επέμβασης.

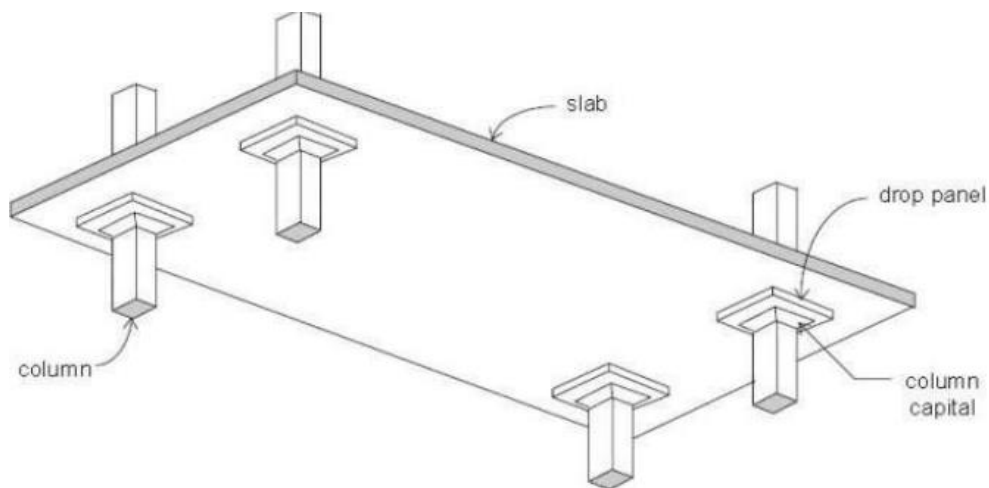
Ένα άλλο είδος σοβαρής βλάβης αφορά στις μυκητοειδείς πλάκες που είναι πλάκες που στηρίζονται απευθείας στα υποστυλώματα χωρίς την παρουσία δοκών (**Εικόνα 2-43**). Η βλάβη οφείλεται στα μεγάλα φορτία αντίδρασης από τα υποστυλώματα απευθείας στην πλάκα και ορίζεται ως αστοχία πλάκας από διάτρηση (**Εικόνα 2-44**).



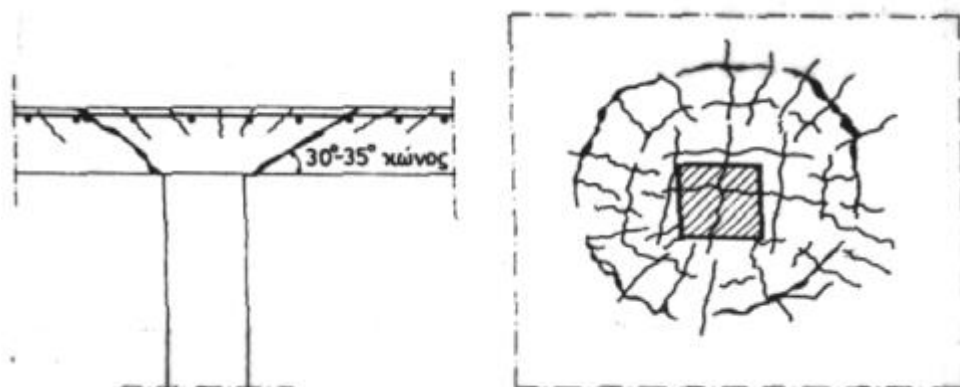
(α) κάτοψη

(β) τομή A-A

Εικόνα 2-42: Βλάβες σε πλάκες και προβόλους στην παρειά στηρίξεων με δοκούς

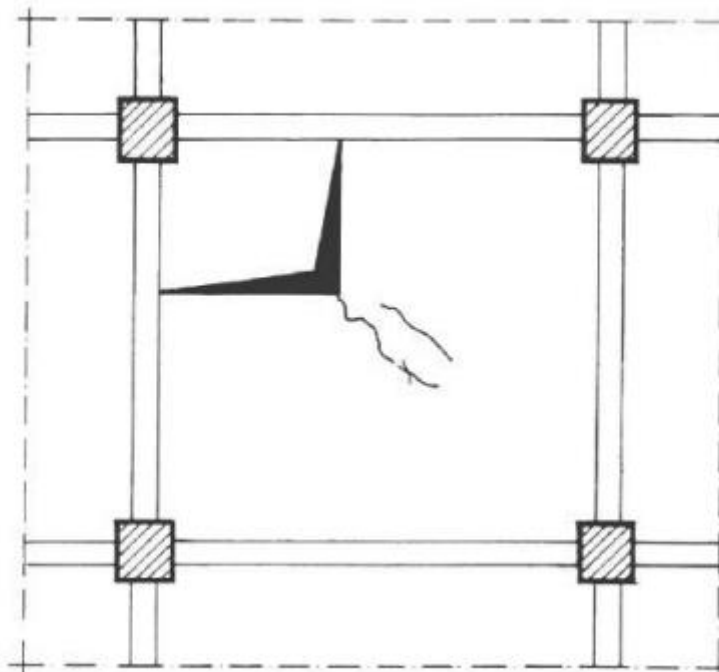


Εικόνα 2-43: Μυκητοειδής πλάκα [24]



Εικόνα 2-44: Βλάβη πλάκας από διάτρηση [4]

Επιπρόσθετα, ρωγμές μπορεί να εμφανιστούν σε περιοχές που η κάτοψη δεν είναι κανονική, παραδείγματος χάρη στις γωνίες μεγάλων οπών στις πλάκες που εντοπίζονται σε σκάλες, φωταγωγούς και φρεάτια ασανσέρ (Εικόνα 2-45).



Εικόνα 2-45 : Ρωγμές στην γωνία οπής της πλάκας [24]

Σε αντίθεση με τις τυπικές πλάκες ορόφων, οι πλάκες επί εδάφους είναι σχεδιασμένες να μην ρηγματώνονται για λειτουργικούς λόγους μόνωσης και προστασίας, εφόσον είναι σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και με ότι αυτό συνεπάγεται. Όταν εμφανιστούν ρωγμές επομένως, είναι σημάδι αστοχίας που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν. Δομικές ρωγμές στις πλάκες επί εδαφών μπορεί να οφείλονται στους εξής λόγους [20]:

- Φόρτιση με φορτία που ξεπερνούν τις τιμές σχεδιασμού .
- Ανεπαρκής σχεδιασμός.
- Κατασκευαστικά λάθη που μειώνουν το πάχος της πλάκας.
- Αστοχία του εδάφους έδρασης.

Συχνά βλάβες με εμφάνιση ρωγμών σε πλάκες επί εδάφους οφείλονται σε υπερφόρτιση της πλάκας κατά τη διάρκεια της κατασκευής, αφού οι πλάκες ενδέχεται να φορτιστούν με υλικά κατασκευαστικά μηχανήματα πριν ακόμα προλάβει το σκυρόδεμα να φτάσει την απαιτούμενη αντοχή μετά τη σκυροδέτηση. Άλλος ένας πιθανός λόγος είναι η αστοχία του εδάφους έδρασης εξαιτίας της μη επαρκούς συμπίκνωσης του ειδικά αν πρόκειται για χώματα εκσκαφής.



Εικόνα 2-46: Απεικόνιση ρωγμών σε πλάκα λόγω αστοχίας εδάφους

2.6 Βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης (τοιχοποιίες)

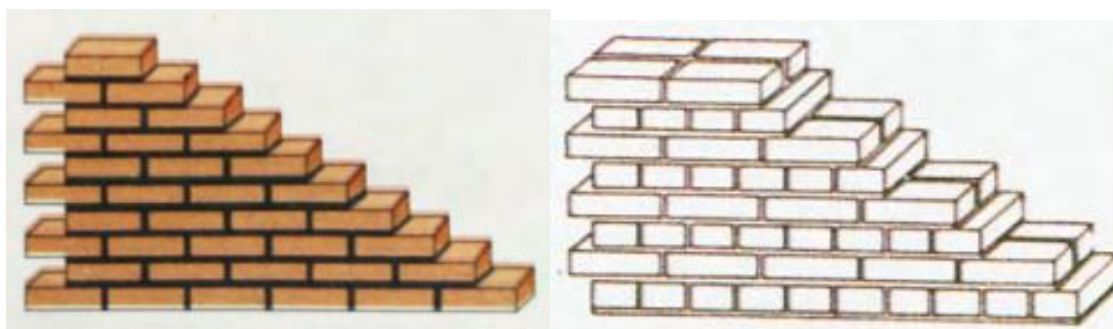
Οι τοιχοποιίες σε μια κατασκευή από Ο.Σ. χρησιμοποιούνται ως στοιχεία πλήρωσης των δομικών πλαισίων του φέροντα οργανισμού. Ιδίως στον Ελλαδικό χώρο, οι κατασκευές από σκυρόδεμα έχουν ως στοιχεία πλήρωσης τοιχοποιίες από οπτόπλινθους ή τσιμεντόλιθους στο σύνολο τους σχεδόν καθώς τα ελαφριά χωρίσματα χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια και κυρίως σε χώρους γραφείων.

Οι τυπικού διάτρητοι οπτόπλινθοι (τα κοινά τούβλα) στο εμπόριο έχουν στάνταρ διαστάσεις $6 \times 9 \times 19 \text{cm}$ (6-όπα τούβλα που είναι και τα πιο συνηθισμένα) (Εικόνα 2-47) ή $9 \times 9 \times 19$ ή $6 \times 12 \times 19$.



Εικόνα 2-47: Τυπικός οπτόπλινθος $6 \times 9 \times 19 \text{cm}$ [25]

Για εσωτερικές τοιχοποιίες χρησιμοποιείται ο δρομικός τρόπος δόμησης της τοιχοποιίας και το πάχος του τοίχου είναι ίσο με το πλάτος ενός τούβλου συν τα επιχρίσματα – παραδείγματος χάρη για τούβλο $6 \times 9 \times 19$ το πάχος του τοίχου είναι 9cm συν τον σοβά, περίπου $10\text{-}12 \text{cm}$ συνολικά. Για τις εξωτερικές τοιχοποιίες χρησιμοποιείται ο μπατικός τρόπος δόμησης και το πάχος του τοίχου είναι ίσο με το μήκος του τούβλου συν τα επιχρίσματα (19 συν το σοβά, περίπου $22\text{-}25 \text{cm}$) (Εικόνα 2-48).



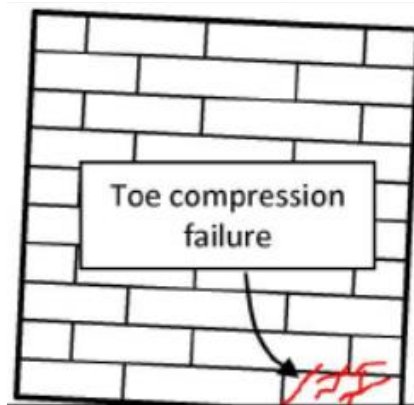
Εικόνα 2-48: Δρομική τοιχοποιία (αριστερά) & μπατική τοιχοποιία (δεξιά)

Τα πλαίσια ενός φέροντα οργανισμού από Ο.Σ. συμπεριφέρονται πολύ διαφορετικά αν έχουν πληρωθεί με τις τοιχοποιίες από ότι αν είναι κενά. Αυτό συμβαίνει γιατί οι τοιχοποιίες μαζί με τον σκελετό αποτελούν ένα σύστημα με πολύ μεγαλύτερη δυσκαμψία από ότι τα σκέτα πλαίσια. Άρα τα στοιχεία πλήρωσης επηρεάζουν σημαντικά τη σεισμική συμπεριφορά των πολυώροφων κυρίως κτηρίων σκυροδέματος [19]. Αυτή η συμπεριφορά δεν είναι ικανή να προβλεφθεί επαρκώς από τους κανονισμούς σχεδιασμού και να αναμένονται πάντα οι ίδιες μορφές αστοχίας, καθώς η απόκριση των πλαισίων από Ο.Σ. με τοιχοπλήρωση διαφοροποιείται από αρκετούς παράγοντες όπως:

- Η γεωμετρία του πλαισίου.
- Η επιρροή του τρόπου όπλισης του πλαισίου.
- Η δυσκαμψία του πλαισίου σε σχέση με την δυσκαμψία του τοίχου πλήρωσης.
- Οι μηχανικές ιδιότητες της τοιχοπλήρωσης (είδος πλίνθων και συνδετικής κονιάς κατασκευαστικές λεπτομέρειες).
- Ύπαρξη ανοιγμάτων στις τοιχοποιίες.

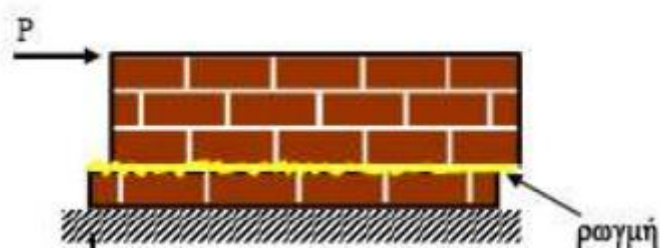
Οι μορφές αστοχίας των τοιχοπληρώσεων αυτών καθαυτών και του συστήματος πλαίσιο – τοιχοπλήρωση είναι δύσκολο να προβλεφθούν για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω, ωστόσο μπορούν να αναφερθούν οι πιο συνηθισμένες:

- Αποκόλληση τοιχοποιίας – πλαισίου, όπου γίνεται αποκόλληση κατά μήκος της περιμέτρου της τοιχοποιίας και σε επαφή μένουν οι γωνίες επιβολής του σεισμικού φορτίου και της αντιδιαμετρικής. Δημιουργείται έτσι μια διαγώνια θλιβόμενη ζώνη μεταξύ των γωνιών αυτών και μπορεί να υπάρξει σύνθλιψη του άκρου της τοιχοποιίας (**Εικόνα 2-49**).



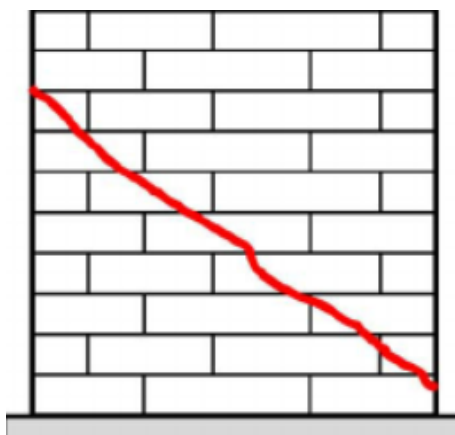
Εικόνα 2-49: Σύνθλιψη της γωνίας του τοίχου λόγω αποκόλλησης από το πλαίσιο και ανεξάρτητης παραμόρφωσης

- Οριζόντια ολίσθησή τμημάτων τοιχοποιίας κατά μήκος των αρμών, όπου στη μέση συνήθως της τοιχοποιίας εμφανίζονται οριζόντιες ρηγματώσεις που οφείλονται στην χαμηλή αντοχή του κονιάματος σε σχέση με τα τούβλα και δημιουργείται μια διατμητική ζώνη αστοχίας (**Εικόνα 2-50**).



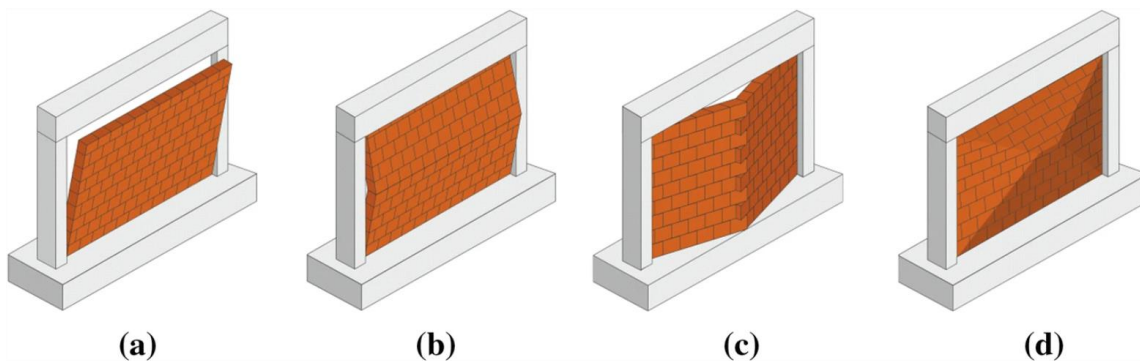
Εικόνα 2-50: Οριζόντια ολίσθηση κατά μήκος αρμού

- Διαγώνια ρηγμάτωση τοιχοποιίας, λόγω της εμφάνισης θλιβόμενης διαγώνιου που αρχίζει από τη γωνία φόρτισης (στο άνω μέρος του ορόφου σε επαφή με το πλαίσιο στον κόμβο δοκού υποστυλώματος) και καταλήγει στον πόδα του απέναντι υποστυλώματος. Όπως είναι φυσικό στην καθετή διεύθυνση από αυτή της θλίψης, εμφανίζεται εφελκυσμός και όταν υπερβεί την αντοχή της τοιχοποιίας αυτή ρηγματώνεται (Εικόνα 2-51).



Εικόνα 2-51 : Διαγώνια ρηγμάτωση τοιχοποιίας

- Αστοχία τοιχοποιίας εκτός του επιπέδου φόρτισης, η οποία μπορεί να συμβεί σε τοίχους μεγάλου ύψους και εμβαδού, με αδύναμο κονίαμα δρομικές ή όρθιες δρομικές και τυπικά είναι σπάνιες, αφού απαιτείται σημαντική σεισμική δόνηση εγκάρσια στον τοίχο και ειδικό συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων (Εικόνα 2-52).



Εικόνα 2-52: Μορφές αστοχίας τοιχοποιίας από σεισμική φόρτιση εκτός επιπέδου [26]

3 Υλικά και τεχνολογίες εφαρμογής στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών

Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα υλικά και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται ευρέως στην αγορά των επισκευών και ενισχύσεων υφιστάμενων κατασκευών. Ο τομέας αυτός είναι πολύ σημαντικός για την χώρα μας λόγω της έντονης σεισμικής δραστηριότητας όπου πάντα υπάρχει η ανάγκη για επισκευές μετά από σεισμούς, και αναπτύχθηκε αρκετά την τελευταία δεκαετία λόγω της κάμψης της οικοδομικής δραστηριότητας και της γήρανσης των κτηρίων που πλησιάζουν ή έχουν ξεπεράσει το χρόνο ζωής τους, καθώς χτίστηκαν σε περασμένες δεκαετίες με απαρχαιωμένους πλέον κανονισμούς.

Επομένως, όπως αναφέρεται και στο όνομα του, οι δραστηριότητες του τομέα έχουν διπλό ρόλο, αφενός την επισκευή των δομικών και μη στοιχείων μετά από βλάβες (στη χώρα μας κυρίως σεισμικής προέλευσης) ώστε να επιτευχθεί η αποκατάσταση της στατικότητας των κτηρίων, και αφετέρου την ενίσχυση των δομικών στοιχείων ώστε να είναι ικανά να παραλάβουν αυξημένα φορτία σε σχέση με αυτά για τα οποία σχεδιάστηκαν (λόγω απαρχαιωμένων κανονισμών που προέβλεπαν μικρότερα φορτία χρήσης με χαμηλότερης ποιότητας υλικά κατασκευής, είτε λόγω αλλαγής χρήσης του κτηρίου π.χ. κατοικία που μετατράπηκε σε κατάσταση καλείται να φέρει παραπάνω κινητά φορτία).

3.1 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι ένα κατασκευαστικό δομικό υλικό που αποτελείται από σκύρα, (συνήθως αμμώδη και χαλικώδη πετρώματα συγκεκριμένης κοκκομετρίας φυσικά ή θραυστά) που είναι σκληρά υλικά τα οποία χημικά δεν αντιδρούν με άλλα γι' αυτό ονομάζονται και αδρανή, και τα οποία δένονται μεταξύ τους μέσα σε ένα μείγμα από τσιμέντο και νερό. Για να επιτευχθούν συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες ανάλογα με την κατασκευαστική του εφαρμογή, στο μείγμα του σκυροδέματος προστίθενται τα κατάλληλα πρόσμεικτα.

Με βάση την τεχνολογία σκυροδέματος το μείγμα του είναι αρχικά ρευστής μορφής και ομογενοποιημένο με συγκεκριμένες αναλογίες σε σκόνη τσιμέντου, νερό και αδρανών (**Εικόνα 3-1**). Το μείγμα του νωπού σκυροδέματος μετά την εφαρμογή του στις κατασκευές σκληραίνεται μέσω εξωθερμικών αντιδράσεων (ενυδάτωση), και μεταβάλλεται σε στερεό σώμα με υψηλές αντοχές ή όπως χαρακτηρίστηκα αναφέρεται σε έναν τεχνητό λίθο. Το σκυρόδεμά είναι το σημαντικότερο και πιο ευρέως διαδεδομένο δομικό υλικό στην χώρα μας αλλά και στον κόσμο, και η παραγωγή και κατανάλωση σκυροδέματος σε μία χώρα αποτελεί δείκτη του βαθμού ανάπτυξης της χώρας [27].

Τα υλικά του σκυροδέματος, δηλαδή το τσιμέντο, τα αδρανή, το νερό και τα πρόσμεικτα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις ποιότητας που προδιαγράφονται από τους κανονισμούς (στην χώρα μας ο Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ 2016 [28]) για την εφαρμογή του σε ιδιωτικά και δημόσια έργα.



Εικόνα 3-1: Σκυροδέτηση πλάκας σε εργοτάξιο

3.1.1 Γενικά στοιχεία για το σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα και το τσιμέντο, ενώ είναι δύο διαφορετικά υλικά αφού από το πρώτο προκύπτει από την ανάμιξη του δεύτερου με νερό αδρανή και πρόσμεικτα, παρόλα αυτά στην συνείδηση της κοινής γνώμης το τελικό προϊόν αναφέρεται και ως σκυρόδεμα και ως τσιμέντο. Αυτό οφείλεται στην κοινή τους ιστορική εξέλιξη η αρχή της οποίας μπορεί να αναζητηθεί έως και 9000 χρόνια πριν. Μια συνοπτική ανασκόπηση της ιστορικής πορείας του σκυροδέματος ακολουθεί παρακάτω [29], [30], [31]:

- Το αρχαιότερο γνωστό σκυρόδεμα ανακαλύφθηκε το 1985 στο σημερινό Ισραήλ και χρονολογείται στα 7000 π.Χ. Πρόκειται για ένα δάπεδο από μίγμα ασβέστη και πετρών.
- Αμέσως επόμενο εύρημα σκυροδέματος χρονικά (5600 π.Χ.), είναι ξανά μια κατασκευή δαπέδου καλύβας στις όχθες του Δούναβη στην σημερινή Σερβία.
- Για την μεγάλη πυραμίδα της Γκίζας οι πέτρες είναι συγκολλημένες μεταξύ τους με ένα είδος κονιάματος από ασβέστη.
- Οι αρχαίοι Έλληνες κτίστες χρησιμοποίησαν διάφορα μίγματα ασβέστη με πολύ υψηλές αντοχές για την τεχνολογία της εποχής και σε σχέση με τα αντίστοιχα Ρωμαϊκά κονιάματα (από το 800 π.Χ.)
- Οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν ευρέως ποζολάνες (ηφαιστειακά υλικά από την πόλη Pozzuoli κοντά στον Βεζούβιο) σε μίγματα με ασβέστη και νερό (δημιουργώντας υδραυλικές κονίες συγγενικές με το σημερινό τσιμέντο αφού αυτά τα μίγματα σκλήρηναν με το νερό). Από πλευράς σύστασης αυτό το δομικό υλικό των Ρωμαίων είναι πολύ κοντά στο σημερινό σκυρόδεμα. Οι Ρωμαίοι πιθανόν να πήραν την συγκεκριμένη τεχνολογία από τους Έλληνες των αποικιών της Ν. Ιταλίας περί στα 300 π.Χ. και την ανέπτυξαν σε βαθμό τέτοιο που πολλά από τα γνωστά Ρωμαϊκά έργα

όπως το Κολοσσαίο, το Πάνθεον, λουτρά και υδραγωγεία που στέκουν μέχρι σήμερα είναι κατασκευασμένα από αυτού του είδους το πρόδρομο σκυροδέμα. Χρήση κονιαμάτων ενισχυμένων με διάφορα υλικά όπως τρίχες αλόγου (η χρήση των οποίων έγινε για την ενίσχυση του υλικού με νοοτροπία παρόμοια με τα σημερινά ινοπλισμένα σκυροδέματα) φαίνεται να έγινε και στα κατώτερα επίπεδα της Αγίας Σοφίας στην Κωνσταντινούπολη.

- Κατά τον μεσαίωνα η χρήση υδραυλικών υλικών υφίσταται κάμψη και ουσιαστικά δεν υπάρχει καμία τεχνολογική εξέλιξη.
- Από τον 18^ο αιώνα και μετά αρχίζει ξανά η ανάκαμψη της τεχνολογίας σκυροδέματος, όταν και αρκετοί μηχανικοί και επιστήμονες με επίκεντρο κυρίως την Αγγλία και την Γαλλία, αρχίζουν να χρησιμοποιούν σε κατασκευές ασβεστοκονιάματα που περιέχουν πυρίτιο και άργιλο και πήζουν στον αέρα αλλά κυρίως στο νερό, και να μελετούν τις ιδιότητες τους.
- Αποκορύφωμα αυτής της αναθέρμανσης της χρήσης τέτοιων υλικών οδηγεί στο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για το τσιμέντο Portland το 1824 από τον Σκωτσέζο μηχανικό Joseph Aspdin, ο οποίος έψησε σε κλίβανο τριμμένη κιμωλία αναμιγμένη με άργιλο μέχρι να εξαντληθεί το διοξείδιο του άνθρακα. Το μίγμα στη συνέχεια αλέστηκε και επειδή το χρώμα του ήταν παρόμοιο με το χρώμα της πέτρας στην περιοχή του Portland της νότιας Αγγλίας ονομάστηκε έτσι, ονομασία που παραμένει μέχρι και σήμερα.
- Το 1816 Άγγλος μηχανικός Ralph Dodd εισάγει την έννοια του οπλισμού στο σκυροδέμα με την προσθήκη ράβδων σιδήρου.
- Από αυτό το σημείο στις αρχές του 19^{ου} αιώνα και έπειτα η τεχνολογία του τσιμέντου και σκυροδέματος εξελίσσεται ραγδαία και το υλικό παγιώνεται σταδιακά σε ένα από τα πιο διαδεδομένα δομικά υλικά στον κόσμο. Η παραγωγή τσιμέντου αποτελεί βαριά βιομηχανία και είναι ένδειξη της αναπτυξιακής προόδου κρατών. Δισεκατομμύρια τόνοι τσιμέντου παράγονται πλέον ετησίως (4.4 δις. τόνοι το 2021), ωστόσο αυτό έρχεται με περιβαλλοντικό κόστος καθώς η βιομηχανία τσιμέντου είναι ενεργοβόρα και χρησιμοποιεί μη ανανεώσιμες πρώτες ύλες, παρόλα αυτά έχουν αρχίσει να λαμβάνονται μέτρα από τις τσιμεντοβιομηχανίες προς την βιώσιμη κατεύθυνση.



Εικόνα 3-2: Εργασίες σκυροδέτησης σε εργοτάξιο μεγάλης κλίμακας κατασκευής σκυροδέματος

Η εδραίωση του σκυροδέματος ως το νούμερο ένα σε κατανάλωση δομικό υλικό παγκοσμίως μπορεί να δικαιολογηθεί από τα συγκριτικά του πλεονεκτήματα από πλευράς κόστους-ιδιοτήτων σε σχέση με άλλα δομικά υλικά. Ορισμένες από αυτές είναι οι εξής:

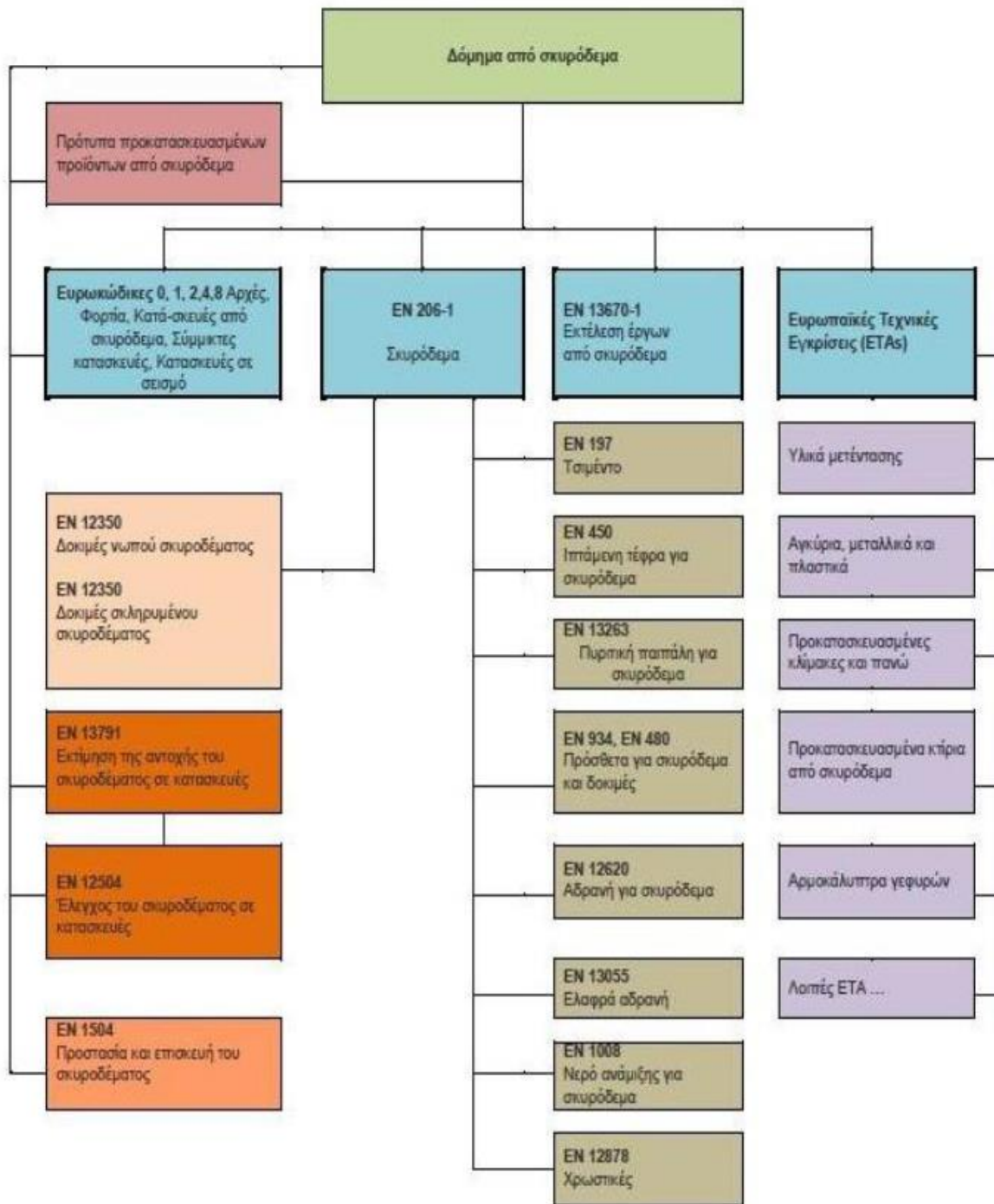
- Συνήθως είναι εφικτό να γίνει παραγωγή σκυροδέματος από τοπικές στο εργοτάξιο πρώτες ύλες και μονάδες παραγωγής. Αυτό οδηγεί σε μείωση του κόστους και του χρόνου μεταφοράς.
- Ο συνδυασμός πολλών επιθυμητών ιδιοτήτων του σκυροδέματος σε μία κατασκευή το κάνει πολύ ανταγωνιστικό σαν τεχνική λύση όταν υπάρχουν απαιτήσεις όπως, πυροπροστασίας, ηχομόνωσης λόγω του μεγάλου ειδικού του βάρους, μείωσης θερμικών απωλειών λόγω της μεγάλης θερμικής του αδράνειας, δομικής ασφάλειας έναντι περιβαλλοντικών στοιχείων (πλημύρες, ανέμους, σεισμούς, φωτιά).
- Οι κατασκευές από σκυρόδεμα έχουν συνήθως μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας και ζωής σε σχέση με άλλα δομικά υλικά (όπως χάλυβα και ξύλο), καθώς είναι ανθεκτικότερες στην περιβαλλοντική έκθεση και φθορά. Αυτό συνεπάγεται μειωμένα κόστη λειτουργίας και συντήρησης. Ειδικά για κατασκευές που εκτίθενται στο νερό (λιμενικά έργα, έργα στην ακτογραμμή, θαλάσσια-παραθαλάσσια, φράγματα κτλ.), η εξαιρετική του συμπεριφορά έναντι στο νερό το καθιστά συνηθέστερα την καταλληλότερη επιλογή.
- Το σκυρόδεμα επιτρέπει σημαντική σχεδιαστική και αρχιτεκτονική ευελιξία, λόγω της δυνατότητας της μόρφωσης του σε οποιοδήποτε επιθυμητό σχήμα, η οποία περιορίζεται μόνο από απαιτήσεις δομοστατικής αντοχής.
- Η προσθήκη πρόσμικτων υλικών στο μείγμα του σκυροδέματος επιτρέπει τη χρησιμοποίηση υποπροϊόντων άλλων βιομηχανικών διεργασιών (ιπτάμενη τέφρα, σκωρία υψικαμίνων, πυριτική παιπάλη), κάτι που έχει διπλό όφελος, αφενός την βελτίωση των ιδιοτήτων του σκυροδέματος και αφετέρου το οικολογικό κέρδος από την χρήση υλικών που σε διαφορετική περίπτωση θα αποτελούσαν απορρίμματα και θα έπρεπε να αποτεθούν.

3.1.2 Κανονισμοί σκυροδέματος

Οι τεχνικές προδιαγραφές που αναγνωρίζονται από την ευρωπαϊκή οδηγία όσον αφορά το κανονιστικό πλαίσιο του σκυροδέματος είναι:

- Τα εναρμονισμένα ευρωπαϊκά πρότυπα (εκδίδονται από το CEN).
- Οι ευρωπαϊκές τεχνικές εγκρίσεις, οι οποίες εγκρίνονται από την EOTA με βάση τις οδηγίες ευρωπαϊκών τεχνικών εγκρίσεων (ETAGs), μετά από εντολή της CEN.
- Οι ευρωπαϊκές τεχνικές εγκρίσεις χωρίς οδηγία (ETAG).

Με βάση όλα τα παραπάνω, το πλαίσιο μελέτης και εκτέλεσης Κατασκευών από σκυρόδεμα καθορίζεται από την παρακάτω (Εικόνα 3-3) δομή τεχνικών προδιαγραφών:



Εικόνα 3-3: Πλαίσιο CEN προτύπων και κανονισμών για τα έργα από σκυρόδεμα [32]

Στην Ελλάδα η παραγωγή και η εκτέλεση έργων από σκυρόδεμα διέπεται από τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ 2016) ΦΕΚ 1561Β' / 02-06-2016 [28], ο οποίος είναι η αναθεώρηση του προηγούμενου ΚΤΣ 97 σε εναρμόνιση με το πρότυπο EN206 και το εθνικό του προσάρτημα ΕΛΟΤ EN 206-1:2000+NA.

3.Υλικά και τεχνολογίες εφαρμογής στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών

Οι τεχνικές προδιαγραφές και το κανονιστικό πλαίσιο των υλικών παρασκευής του σκυροδέματος με βάση τον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ 2016 παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-1):

ΥΛΙΚΟ	ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ	ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ
Σκυρόδεμα	ΚΤΣ 2016 / ΕΛΟΤ EN 206	ΦΕΚ 1561Β/02-06-2016 / ΕΛΟΤ Σκυρόδεμα -Προδιαγραφή, επιδόσεις παραγωγή και συμμόρφωση
Τσιμέντο	ΕΛΟΤ 197-1	Τσιμέντο – Μέρος 1 Σύνθεση προδιάγραφες και κριτήρια συμμόρφωσης για τα κοινά τσιμέντα
Νερό	ΕΛΟΤ EN 1008	Νερό ανάμειξης σκυροδέματος – Προδιαγραφή για δειγματοληψία, έλεγχο και αξιολόγηση της καταλληλότητας του νερού, συμπεριλαμβανομένου του νερού που ανακτάται από διεργασίες στη βιομηχανία σκυροδέματος, για τη χρήση του ως νερό ανάμειξης σκυροδέματος
Αδρανή	ΕΛΟΤ EN 12620	Αδρανή για σκυρόδεμα
Πρόσθετα	ΕΛΟΤ EN 934-2	Πρόσθετα σκυροδέματος κονιαμάτων και ενεμάτων – Μέρος 2: Πρόσθετα σκυροδέματος – Ορισμοί απαιτήσεις συμμόρφωση, σήμανση και επισήμανση

Πίνακας 3-1: Πρότυπα και τεχνικές προδιαγραφές υλικών παρασκευής σκυροδέματος

3.1.3 Συστατικά σκυροδέματος

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το σκυρόδεμα στην συνήθη μορφή του είναι ένα μείγμα από τσιμέντο, νερό, αδρανή (σε διάφορες κοκκομετρίες) και πρόσθετα αν χρειάζονται. Το μείγμα νερού και τσιμέντου ονομάζεται τσιμεντοπολτός, ο οποίος καλύπτει την επιφάνεια των αδρανών και τα κενά μεταξύ τους, και μέσω μιας εξώθερμης χημικής αντίδρασης που ονομάζεται ενυδάτωση, σκληραίνει και δημιουργείται έτσι το τελικό δομικό υλικό. Τα πρόσθετα βελτιώνουν ορισμένες από τις ιδιότητες του που χρειάζονται ανάλογα με την τεχνική εφαρμογή του. Φυσικά μέσα στο μείγμα υπάρχει και εγκλωβισμένος αέρας σε ποσοστό 5-8% [33]. Το μείγμα σχεδιάζεται με βάση την τεχνολογία σκυροδέματος και τους κανονισμούς της και αναδεύεται στους αναδευτήρες σκυροδέματος για να ομογενοποιηθεί. Κατά τη διάρκεια της παρασκευής και της σκυροδέτησης το μείγμα έχει ρευστή μορφή και είναι εύπλαστο γι' αυτό είναι ικανό να πάρει την επιθυμητή μορφή για κάθε έργο (κατοικίες γραφεία, έργα υποδομής, υδραυλικά γέφυρες κτλ.), με μόνο περιορισμό την στατικότητα του (π.χ. ένας μεγάλος πρόβολος από σκυρόδεμα κρίνεται αντιοικονομικός συνήθως). Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται ένα προς ένα τα υλικά που συνιστούν το μείγμα του σκυροδέματος.

3.1.3.1 Τσιμέντο

Τα τεχνητά τσιμέντα είναι υδραυλικές κονίες σε μορφή σκόνης που συνδυάζουν υψηλή υδραυλικότητα και υψηλές αντοχές. Το τσιμέντο αποτελεί το συνδετικό – συγκολλητικό υλικό του μείγματος του σκυροδέματος λόγω των υδραυλικών ιδιοτήτων του. Αυτές οι ιδιότητες ουσιαστικά εκφράζονται από το γεγονός ότι όταν το τσιμέντο αναμειχθεί με νερό πήζει και σκληραίνει τόσο στον αέρα όσο και μέσα στο νερό εξαιτίας του μηχανισμού της ενυδάτωσης των κόκκων του. Έτσι σχηματίζεται ο τσιμεντοπολτός που δρα σαν συνδετική ουσία των αδρανών και γεμίζει τα κενά μεταξύ τους και σχηματίζεται έτσι το τσιμεντολίθωμα ή αλλιώς σκυρόδεμα. Μετά τη σκλήρυνση δεν διαλύεται στο νερό.

Οι πρώτες ύλες του πιο διαδεδομένου τεχνητού τσιμέντου, που είναι το τσιμέντο Portland, είναι ο ασβεστόλιθος, η άργιλος και η μάργα που είναι ίζημα, που περιέχει σε διάφορα ποσοστά ασβεστόλιθο και άργιλο καθώς και άλλα συστατικά. Οι πρώτες ύλες σε μορφή πετρωμάτων αλέθονται μαζί και ψήνονται σε υψηλές θερμοκρασίες (1450°) και σχηματίζουν το ενδιάμεσο προϊόν που ονομάζεται Κλίνκερ, το οποίο συναλέθεται με γύψο και άλλα συστατικά, όπως π.χ. ιπτάμενη τέφρα. Από αυτή την κατάλληλη επεξεργασία των πρώτων υλών προκύπτουν χημικές ενώσεις που περιέχουν οξείδια του ασβεστίου, του πυριτίου, του σιδήρου και του αργιλίου [34]. Αυτές οι ενώσεις που μετασχηματίζονται σε άλλες (φάσεις) και όταν αντιδράσουν με το νερό αντιδρούν εξώθερμα, πήζουν και σκληραίνουν. Ως προς την αντοχή σε θλίψη, τσιμέντο ονομάζεται κάθε υδραυλική κονία η οποία παρουσιάζει αντοχή σε ηλικία 28 ημερών από την ανάμειξη της με το νερό, τουλάχιστον 25MPa.



Εικόνα 3-4: Τσιμέντο Πόρτλαντ σε σκόνη

Γενικά τα κυριότερα είδη των τσιμέντων με βάση την σύνθεσή τους είναι τα ακόλουθα [34]:

- Τσιμέντα Πόρτλαντ (Portland Cement)
- Σκωριακά τσιμέντα
- Ποζολανικά τσιμέντα
- Θειομεταλλουργικά τσιμέντα
- Αργιλικά τσιμέντα

Αυτές οι κατηγορίες τσιμέντου θα αναλυθούν περαιτέρω και παρακάτω με βάση το κανονιστικό τους πλαίσιο.

3.1.3.1.1 ΠΡΟΤΥΠΙΑ-ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ-ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Σύμφωνα με τον κανονισμό 305/2011 καθώς και της ευρωπαϊκής οδηγίας 89/106 από 01/04/01, ισχύει ότι τα τσιμέντα που θα κυκλοφορούν και θα παραχθούν σε όλες τις χώρες που είναι κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να έχουν πιστοποίηση και να φέρουν σήμανση CE. Όλα τα παραπάνω πρέπει να είναι σύμφωνα με τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα που βρίσκονται σε ισχύ. Αυτά είναι:

- 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, ως κράτος μέλος της Ε.Ε. ισχύουν τα αντίστοιχα Ελληνικά Πρότυπα, τα οποία είναι ΕΛΟΤ EN 197 – 1 και ΕΛΟΤ EN 197 – 2.

3.1.3.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Το τσιμέντο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή του σκυροδέματος είναι μια τεχνητή λεπτόκοκκη κονία σε μορφή σκόνης, η οποία μετά την ανάμιξη της με το νερό και σε κατάλληλη αναλογία σχηματίζει τον τσιμεντοπολτό. Μετά από κάποια ώρα ο πολτός αυτός, λόγω των υδραυλικών ιδιοτήτων της κονίας γίνεται πηχτός, σκληραίνει, διατηρώντας το σχήμα στο οποίο έχει «καλουπωθεί», ενώ οι αντοχές του από τις πρώιμες αρχικά χαμηλές συνεχίζουν να αυξάνονται σε όλο το στάδιο της ωρίμανσης του.

Στην Ελλάδα το τσιμέντο που χρησιμοποιείται κυρίως είναι το τσιμέντο τύπου Portland. Το τσιμέντο αυτό είναι προϊόν παραγωγής του Κλίνκερ, που προκύπτει μετά την ανάμιξη και άλεση διαφόρων πετρωμάτων σε σωστή αναλογία και με την θέρμανση του σε κλίβανο. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1824 από τον Άγγλο Joseph Aspdin, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στην ενότητα για τα ιστορικά στοιχεία του τσιμέντου, ο οποίος ανακάλυψε ένα είδος τεχνητού τσιμέντου, με άλεση και ψήσιμο ασβεστολιθικών και αργιλοπυριτικών πετρωμάτων. Το τσιμέντο που προέκυψε το ονόμασε “Portland”, επειδή το χρώμα του έμοιαζε με χρώμα του εδάφους του νησιού του Portland, που βρίσκεται στην νότια Αγγλία και χαρακτηρίζεται και ως ασβεστολιθικό νησί.

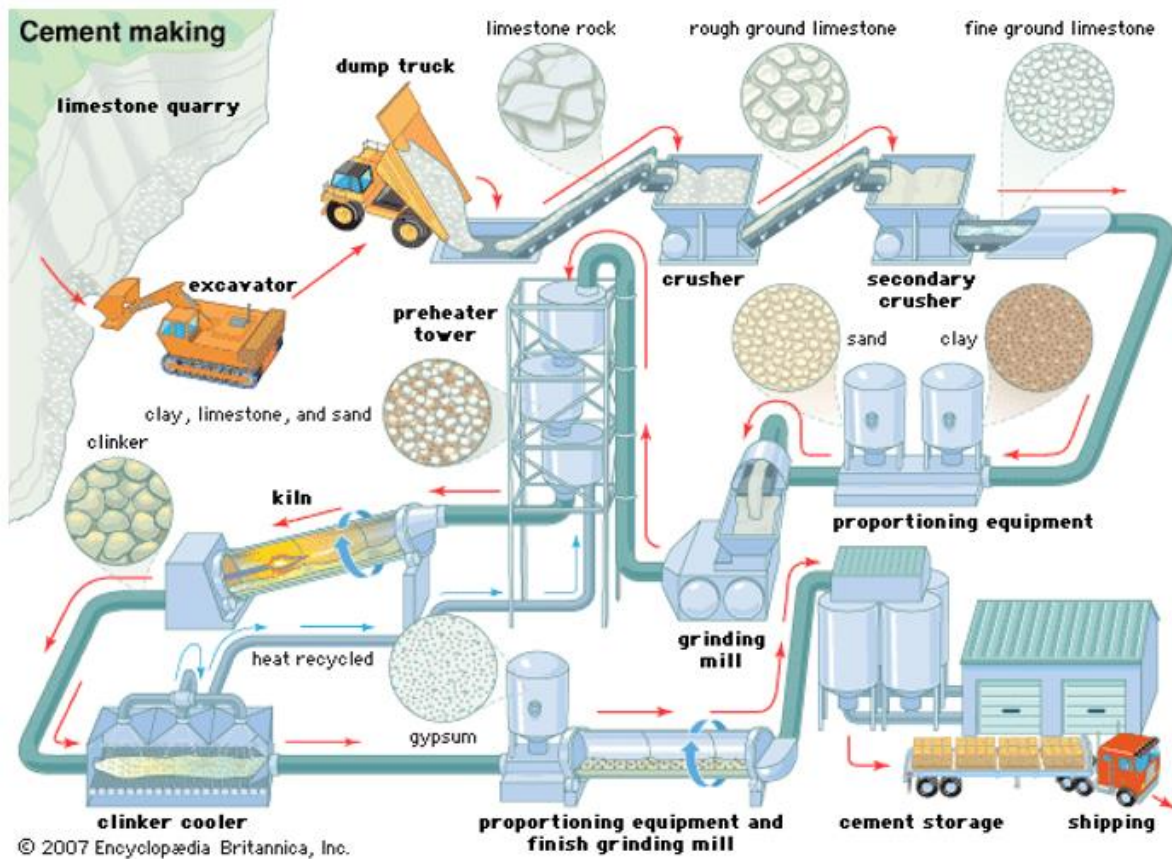
Στάδια Παρασκευής του τσιμέντου Portland

Η διαδικασία που ακολουθείται για να παρασκευασθεί το τσιμέντο Portland είναι η ακόλουθη (βλ. και **Εικόνα 3-5**):

1. Η εξόρυξη πρώτων υλών, δηλαδή όλη η διαδικασία που γίνεται για να συλλεχθούν τα διάφορα πετρώματα (ασβεστολιθικά και αργιλικά) και η μεταφορά τους σε θραυστήρες.
2. Η θραύση των πετρωμάτων στους θραυστήρες σε κόκκους που η διάμετρος τους να μην ξεπερνά τα 30mm και η αποθήκευση τους.
3. Η προ-ομογενοποίηση των αποθηκευμένων πετρωμάτων, δηλαδή η ανάμιξη των κόκκων.
4. Η ομογενοποίηση, δηλαδή το άλεσμα των τεμαχισμένων πετρωμάτων σε κατάλληλα τριβεία έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα λεπτόκοκκο μίγμα (φαρίνα), το οποίο θα αποθηκευτεί στη συνέχεια σε σιλό.
5. Η εισαγωγή του μίγματος που προέκυψε στο πάνω μέρος μιας ελαφρά κεκλιμένης κυλινδρικής καμίνου, η οποία περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της με αργό ρυθμό. Στο κάτω μέρος της καμίνου υπάρχουν είτε κάρβουνα είτε καυστήρας πετρελαίου, όπου η θερμοκρασία φτάνει μέχρι και 1500°C. Η διάρκεια παραμονής του υλικού μέσα στην περιστρεφόμενη υψικάμινο είναι 3-5 ώρες. Στη θερμοκρασία των 1450-1500°C (πλησίον της φλόγας του καυστήρα) το υλικό παραμένει για 10-20 λεπτά. Οι χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην υψικάμινο είναι αντιδράσεις στερεών σωμάτων μέχρι τη θερμοκρασία των 1280°C. Έτσι το μίγμα που υπάρχει μέσα στην κάμινο ψήνεται δημιουργώντας το Κλίνκερ. Η αρχική μορφή του ψημένου μίγματος είναι μαυρο-πράσινοι κόκκοι με διάμετρο 5 – 25mm.
6. Η άλεση του Κλίνκερ, το οποίο αρχικά υποβάλλεται σε διαδικασία ψύξης και στην συνέχεια αναμιγνύεται με γύψο, ο οποίος μπορεί να φτάσει σε ποσοστό μέχρι και 5%. Ο γύψος προστίθεται έτσι ώστε να ρυθμιστεί ο χρόνος πήξης του μείγματος και

τελικά να προκύψει το τελικό τσιμέντο Portland. Οι κόκκοι του καθαρού τσιμέντου Portland έχουν διάμετρο περίπου 75μm.

7. Το τσιμέντο Portland μετά από όλες τις παραπάνω διεργασίες είναι έτοιμο προς κατανάλωση.



Εικόνα 3-5: Διαδικασία παραγωγής τσιμέντου Πορτλαντ

3.1.3.1.3 ΤΥΠΟΙ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Συνολικά οι τύποι τσιμέντων είναι 27, σύμφωνα με τα συστατικά τους. Η κάθε χώρα παρασκευάζει διάφορα είδη τσιμέντων, ανάλογα με τις πρώτες ύλες που διαθέτει και χρησιμοποιεί αλλά και με το τι ζήτηση έχει κάθε τύπος τσιμέντου. Έτσι λοιπόν δεν υπάρχουν όλοι οι τύποι τσιμέντων σε όλες τις χώρες. Ο πιο διαδεδομένος τύπος τσιμέντου είναι το τσιμέντο Portland. Σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ – 197.1, τα τσιμέντα που υπάρχουν στην Ελλάδα χαρακτηρίζονται από τι τύπος είναι αλλά και τι αντοχή έχουν. Η αντοχή κάθε τύπου σκυροδέματος μπορεί να είναι είτε υψηλή πρώιμη αντοχή, είτε κανονική πρώιμη αντοχή. Έτσι λοιπόν το πρότυπο αυτό προδιαγράφει τους παρακάτω πέντε τύπους τσιμέντων:

- **Τύπος CEM I:** Κοινό τσιμέντο Portland. Αυτός ο τύπος τσιμέντου περιέχει αλεσμένο Κλίνκερ σε ποσοστό πάνω από 95%. Το υπόλοιπο μπορεί να αποτελείται από δευτερεύοντα συστατικά τα οποία προέρχονται από θραύση, όπως ιπτάμενη τέφρα, βασάλτης, ασβεστόλιθοι κτλ..
- **Τύπος CEM II:** Σύνθετο τσιμέντο Portland. Αυτός ο τύπος τσιμέντου περιέχει αλεσμένο Κλίνκερ – Portland σε ποσοστό από 65% μέχρι και 94%. Περιέχει και άλλα κύρια συστατικά, όπως γύψο και ποζολάνη αλλά και δευτερεύοντα σε ποσοστό από 0 – 5%. Προτιμάται αυτός ο τύπος τσιμέντου σε σχέση με το CEM I καθώς είναι οικονομικότερος.
- **Τύπος CEM III:** Σκωριοτσιμέντο. Αυτός ο τύπος τσιμέντου περιέχει αλεσμένο κλίνκερ σε ποσοστό 5% μέχρι και 64%, σκωρία καμίνου σε ποσοστό 36% έως 95% και δευτερεύοντα συστατικά σε ποσοστό από 0% έως 5%.
- **Τύπος CEM IV:** Ποζολανικό τσιμέντο. Αυτός ο τύπος τσιμέντου αποτελείται από Κλίνκερ σε ποσοστό από 45% έως 89%. Περιέχει επίσης φυσική ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα ή πυριτική παιπάλη ή και συνδυασμό αυτών σε ποσοστό από 11% μέχρι και 55%. Τα δευτερεύοντα συστατικά αποτελούν το 0% έως 5% του τσιμέντου. Ακόμη, επειδή η περιεκτικότητα του σε πυριτικό τρι – ασβέστιο και σε αργλικό τρι – ασβέστιο είναι μικρή σε αντίθεση με τις ποζολάνες που έχουν πιο μεγάλη περιεκτικότητα, αυτό δημιουργεί ένα τσιμέντο με μικρή θερμότητα ενυδάτωσης και μικρής αρχικής αντοχής.
- **Τύπος CEM V:** Σύνθετο τσιμέντο. Αυτός ο τύπος τσιμέντου περιέχει Κλίνκερ σε ποσοστό 20% μέχρι 64% , σκωρία καμίνου σε ποσοστό από 18% μέχρι 50%, ποζολάνη ή ιπτάμενη τέφρα σε ποσοστό 18% μέχρι 50% και δευτερεύοντα συστατικά σε ποσοστό από 0% μέχρι 5%.

Σε όλα τα παραπάνω ποσοστά δεν συμπεριλαμβάνεται ο γύψος, ο οποίος προστίθεται σε κάθε είδος τσιμέντου σε διαφορετική αναλογία που εξαρτάται από την παραγωγή και την επεξεργασία που θα δεχτεί για να παραχθεί. Όλα τα παραπάνω συνοψίζονται και στην ακόλουθη **Εικόνα 3-6**.

3.Υλικά και τεχνολογίες εφαρμογής στις επισκευές και ενισχύσεις κατασκευών

Κυριότεροι Τύποι Τσιμέντου	Σύνθεση (% μέρη κατά βάρος) ¹														
	-Ονομασία	Τύπος Τσιμέντου	Κύρια συστατικά										Δευτερεύοντα συστατικά		
			Κλίνκερ τσιμέντου Portland	Σκωρία	Πυριτική Παιπάλη	Ποζολάνη		Ιπτάμενη Τέφρα		Ψημένος σχιστόλιθος	Ασβεστόλιθος				
						Φυσική	Τεχνητή	Πυριτική	Ασβεστούχος						
K	S	D ²	P	Q	V	W	T	L ⁴	LL ⁵						
CEM I	Τσιμέντο Portland	CEM I	95-100	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM II	Τσιμέντο Portland με σκωρία υφικαμίνων	CEM II/A-S	80-94	6-20	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Τσιμέντο Portland με πυριτική παιπάλη	CEM II/A-D	90-94	–	6-10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Τσιμέντο Portland με ποζολάνη	CEM II/A-P	80-94	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-P	65-79	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	–	0-5
	Τσιμέντο Portland με ιπτάμενη τέφρα	CEM II/A-V	80-94	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-V	65-79	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/A-W	80-94	–	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-W	65-79	–	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	–	0-5
	Τσιμέντο Portland με ψημένο σχιστόλιθο	CEM II/A-T	80-94	–	–	–	–	–	–	6-20	–	–	–	–	0-5
		CEM II/B-T	65-79	–	–	–	–	–	–	21-35	–	–	–	–	0-5
	Τσιμέντο Portland με ασβεστόλιθο	CEM II/A-L	80-94	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	–	0-5
		CEM II/B-L	65-79	–	–	–	–	–	–	–	–	21-35	–	–	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6-20	–	0-5
CEM II/B-LL		65-79	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21-35	0-5	
Τσιμέντο Portland - σύνθετο ³	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5			
	CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5			
CEM III	Σκωριοτσιμέντο	CEM III/A	35-64	36-65	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0-5	
CEM IV	Ποζολανικό Τσιμέντο ³	CEM IV/A	65-89	–	11-35					–	–	–	0-5		
		CEM IV/B	45-64	–	36-55					–	–	–	0-5		
CEM V	Σύνθετο Τσιμέντο	CEM V/A	40-64	18-30	–	18-30		–	–	–	–	–	0-5		
		CEM V/B	20-39	31-50	–	31-50		–	–	–	–	–	0-5		

Εικόνα 3-6: Τύποι τσιμέντων και σύνθεση τους (EN 197 – 1)

Παρακάτω ακολουθούν οι τύποι τσιμέντου με βάση τον ΕΛΟΤ 197-1.

ΤΥΠΟΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
CEM I	Κοινό τσιμέντο Portland
CEM II	Σύνθετο τσιμέντο Portland
CEM III	Σκωριοτσιμέντο
CEM IV	Ποζολανικό τσιμέντο
CEM V	Σύνθετο τσιμέντο

Πίνακας 3-2: Τύποι τσιμέντων με βάση τον ΕΛΟΤ 197-1

3.1.3.1.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΣΙΜΕΝΤΟΥ

Ως προς την αντοχή των τσιμέντων, υπάρχουν 6 κατηγορίες αντοχών [35] στις οποίες εντάσσονται τα τσιμέντα με βάση την αντοχή του τσιμεντοκονιάματος σε θλίψη με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 196-1 – Προσδιορισμός αντοχών.

Σε κάθε κατηγορία προδιαγράφεται ένα ανώτερο και ένα κατώτερο όριο αντοχής με το κατώτερο όριο αντοχής στις 28 ημέρες να χαρακτηρίζει την συγκεκριμένη κατηγορία. Επίσης σε κάθε κατηγορία εντάσσονται δυο υποκατηγορίες με βάση τον χρόνο ανάπτυξης των αντοχών δηλαδή η κανονική (N) και η ταχεία (R). Τα παραπάνω συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί [35]:

Κατηγορία Αντοχής	Αντοχή σε Θλίψη (MPa)				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	
45.5 R	≥20.0	-				
52.5 N	≥20.0	-	≥52.5	-	≥45	
52.5 R	≥30.0	-				

Εικόνα 3-7: Απαιτήσεις μηχανικές και φυσικές οριζόμενες ως χαρακτηριστικές τιμές στα τσιμέντα

3.1.3.2 Αδρανή

Με βάση το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος [36], «αδρανή είναι τα διαβαθμισμένα, ορυκτής ή βιομηχανικής προέλευσης υλικά που χρησιμοποιούνται είτε με συγκολλητικό μέσο (για παρασκευή κονιαμάτων, σκυροδεμάτων, ασφαλτομιγμάτων κλπ.) είτε αυτούσια (έρμα σιδηροδρομικών γραμμών, στραγγιστηριών βράχων θωράκισης κλπ.) σε πάσης φύσεως τεχνητά έργα. Τα αδρανή δεν παρουσιάζουν χημικές συνδετικές ιδιότητες μεταξύ τους παρά μόνο φυσική συνοχή λόγω της γεωμετρικής ταξινόμησης των κόκκων τους και του βάρους τους. Επίσης σύμφωνα κλασσική αντίληψη, δεν αντιδρούν χημικά με το συγκολλητικό μέσο παρά μόνο συγκρατούνται από αυτό».

Σήμερα η αντίληψη ότι τα υλικά αυτά δεν συμμετέχουν στις χημικές αντιδράσεις σκλήρυνσης κατά την διάρκεια της ενυδάτωσης του τσιμέντου, δεν ευσταθεί απόλυτα καθώς έχει αποδειχθεί ότι τουλάχιστον η εξωτερική επιφάνεια των κόκκων συμμετέχει στις χημικές διεργασίες [34].



Εικόνα 3-8: Αδρανή διαφορετικής προέλευσης και κοκκομετρίας

Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σκυροδέματος αποτελούνται από αμμόδη ή χαλικώδη υλικά και αποτελούν ουσιαστικά τον δομικό σκελετό του σκυροδέματος. Όλα τα κενά μεταξύ των αδρανών του σκελετού πρέπει να πληρωθούν με τον τσιμεντοπολτό σε όσο γίνεται μεγαλύτερο βαθμό (γι' αυτό απαιτείται δόνηση μετά την σκυροδέτηση για την εξάλειψη των κενών αέρος). Τα αδρανή στο σκυρόδεμα αντιπροσωπεύουν το 80% και το 70% του βάρους και του όγκου του σκυροδέματος αντίστοιχα. Η βέλτιστη χρήση των αδρανών από πλευράς μεγέθους (κοκκομετρίας) και ποιότητας βελτιώνει την ποιότητα του τελικού προϊόντος.

Η προέλευση των αδρανών είναι είτε από φυσικά πετρώματα, είτε είναι τεχνητά υλικά βιομηχανικής παραγωγής, είτε ανακυκλωμένα, που έχουν υποστεί φυσικό ή τεχνητό τεμαχισμό.

Για παραγωγή σκυροδέματος υψηλής ποιότητας τα αδρανή πρέπει να είναι ξεπλυμένα και διαβαθμισμένα σε συγκεκριμένες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με τις απαραίτητες πιστοποιήσεις ποιότητας των διεργασιών τους που περιλαμβάνουν τεμαχισμό, ξέπλυμα,

διαλογή και ανάμιξη. Τα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν στο μείγμα του σκυροδέματος πρέπει να είναι ικανά να σχηματίσουν ισχυρούς δεσμούς με την τσιμεντόπαστα, να μην παρεμποδίζουν τη διαδικασία της ενυδάτωσης και σκλήρυνσης και να μην έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος.

Τα αδρανή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες ως προς την προέλευση που ήδη αναφέρθηκαν παραπάνω δηλαδή τα φυσικά και τα τεχνητά και δύο τρόπους τεμαχισμού που επίσης αναφέρθηκαν ήδη (φυσικό και τεχνητό) [34].

- Τα φυσικά αδρανή (αμμοχάλικα) συλλέγονται από ποταμιά, από την θάλασσα ακτογραμμή και από περιοχές παρελθοντικών αποθέσεων. Ο κόκκος τους έχει γενικά στρογγυλεμένο σχήμα εν αντιθέσει με τα τεχνητά αδρανή τα οποία είναιγωνιώδη ακανόνιστου σχήματος. Η ορυκτολογική σύσταση τους χαρακτηρίζεται ως ετερογενής και ο τρόπος τεμαχισμού τους είναι μόνο φυσικός.
- Τα τεχνητά αδρανή (θραυστά αδρανή) φυσικής προέλευσης, παράγονται με θραύση συμπαγών πετρωμάτων (ασβεστόλιθου στην Ελλάδα). Η θραύση των πετρωμάτων (τεχνητός τεμαχισμός) γίνεται σε σπαστήρες και κοσκινίζονται για να διαχωριστούν σε κατηγορίες με βάση την κοκκομετρία (όπως άλλωστε συμβαίνει και στα φυσικά αδρανή). Υπάρχουν και τα τεχνητά αδρανή τεχνητής προέλευσης που παρασκευάζονται για ειδικά μίγματα σκυροδέματος (π.χ. Κλίνκερ, σκουριές υψικαμίνων, σπογγοκέραμος).

Ως προς την πυκνότητα τους χωρίζονται σε 5 κατηγορίες οι οποίες φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί [37]:

Αδρανή	Πυκνότητα (kg/m ³)	Πηγή προέλευσης
Συνήθη	2.2-3	Από φυσικές αποθέσεις ή θραυστά υλικά
Βαρέα	>3	Όπως βαρύτες, σιδηρομεταλλεύματα, κόκκοι χάλυβα (για σκυροδέματα θωράκισης από ραδιενέργεια)
Ελαφριά	<2	Όπως διογκωμένη άργιλος, ελαφρόπετρα
Σκλήρα	>2.5	Όπως χαλαζίας ή καρβίδιο του πυριτίου (SiC)
Ανακυκλωμένα	Περίπου 2.4	Από παλιό κατεδαφισμένο σκυρόδεμα

Πίνακας 3-3: Κατηγορίες αδρανών με βάση την πυκνότητα

Ως προς την διαβάθμιση των κόκκων τους τα αδρανή χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (κλάσματα):

- Άμμος (0mm – 4.mm)
- Γαρμπίλι (4mm – 16mm)
- Σκύρα ή χαλίκι (16mm – 31mm)

3.1.3.3 Νερό ανάμιξης

Το νερό μαζί με το τσιμέντο αποτελούν τα δύο ενεργά συστατικά του μίγματος καθώς μέσα από μια σειρά αντιδράσεων το μίγμα σκληραίνει και αποκτά αντοχές. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο παίζει σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του τελικού προϊόντος. Το νερό που προστίθεται στο μίγμα παρασκευής σκυροδέματος στην Ελλάδα αλλά και αυτό που θα χρησιμοποιηθεί για τη συντήρηση του, πρέπει να πληροί τις απαιτήσεις του προτύπου ΕΛΟΤ 345 και του ΚΤΣ 2016. Στο νερό αυτό δεν πρέπει να περιέχονται επιβλαβή συστατικά σε ποσότητες τέτοιες που να επηρεάζουν αρνητικά την πήξη, την σκλήρυνση και την ανθεκτικότητα στο χρόνο του σκυροδέματος ή να συμβάλλουν στην διάβρωση του οπλισμού. Συγκεκριμένα δεν πρέπει να περιέχονται ελεύθερα οργανικά ή ανόργανα οξέα, οργανικές ουσίες, αιωρήσεις αργίλου, διαλυτά σάκχαρα με περιεκτικότητά μεγαλύτερη του 0.25%, χλωριούχα και θειικά άλατα [38]. Οι λόγοι για τους οποίους οι συγκεκριμένες ουσίες δεν πρέπει να περιέχονται στο νερό ανάμιξης ακολουθούν παρακάτω :

- Σάκχαρα: Εμποδίζουν την ομαλή διαδικασία της πήξης του σκυροδέματος.
- Οξέα: Δεσμεύουν το ασβέστιο που χρειάζεται για την πήξη.
- Λίπη και έλαια: Δρουν μηχανικά γύρω από τους κόκκους των αδρανών.
- Οι οργανικές ενώσεις: Καθυστερούν την πήξη.



Εικόνα 3-9: Προσθήκη νερού σε μπετονιέρα

Με βάση την προέλευση του το νερό είτε επιτρέπεται, είτε απαγορεύεται, ή επιτρέπεται να χρησιμοποιηθεί υπό προϋποθέσεις ελέγχου στο μίγμα του σκυροδέματος όπως γίνεται κατανοητό στον πίνακα που ακολουθεί (**Πίνακας 3-3**). Γενικά όπου επιβάλλεται έλεγχος του νερού αυτός πρέπει να γίνει με δαπάνη του εργολάβου και να επαναλαμβάνεται σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα και σε αναγνωρισμένα από το Δημόσιο εργαστήρια.

Είδος νερού – Πηγή προέλευσης	Χρήση ή μη σε μείγμα σκυροδέματος	Προϋποθέσεις
Πόσιμο νερό	Επιτρέπεται	Το αναγνωρισμένα πόσιμο νερό είναι κατάλληλο για Παρασκευή σκυροδέματος χωρίς ιδιαίτερο έλεγχο
Θαλασσινό νερό	Απαγορεύεται	Απαγορεύεται για την κατασκευή οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος. Επιτρέπεται υπό προϋποθέσεις για την κατασκευή άοπλου σκυροδέματος και με λήψη συγκεκριμένων μέτρων (πχ αύξηση αντοχής κατά 15%) και μετά από άδεια της ελεγκτικής Δημόσιας αρχής.
Νερό γεωτρήσεων	Επιτρέπεται υπό προϋποθέσεις	Επιτρέπεται ως νερό ανάμιξης αφού πρώτα ελεγχθεί
Νερό αποβλήτων	Απαγορεύεται	Θεωρείται ακατάλληλο και απαγορεύεται
Γλυκό νερό	Επιτρέπεται υπό προϋποθέσεις	Επιτρέπεται ως νερό ανάμιξης αφού πρώτα ελεγχθεί
Νερό που περισεύει από τις διαδικασίες της τσιμεντοβιομηχανίας	Επιτρέπεται υπό προϋποθέσεις	Γενικά θεωρείται κατάλληλο υπό προϋποθέσεις (όπως ότι το βάρος των στερεών που περιέχεται σε αυτό το νερό πρέπει να είναι λιγότερο από το 1% του συνολικού βάρους των αδρανών στο μείγμα)

Πίνακας 3-3: Καταλληλότητα νερού για προσθήκη στο μείγμα σκυροδέματος με βάση την προέλευση του

3.1.3.4 Πρόσμεικτα ή πρόσθετα

Τα πρόσθετα είναι ουσίες (υγρής ή στερεής μορφής) που προστίθενται στο μείγμα και χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων, τόσο του νωπού, όσο και του σκληρημένου σκυροδέματος (**Εικόνα 3-10**). Η χρήση τους γίνεται σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. 2016 και απαγορεύεται να ξεπερνούν το 1% του βάρους του τσιμέντου καθώς και να δρουν αρνητικά στην προστασία του χάλυβα οπλισμού από τη διάβρωση. Για τη χρήση τους στην Ελλάδα οι κανονισμοί επιβάλλουν επίσης ότι τα πρόσμεικτα θα είναι υλικά τα οποία θα έχουν πάρει έγκριση από την αρμόδια Δημόσια Υπηρεσία, αφού θα έχουν προσκομιστεί όλα τα πιστοποιητικά ελέγχου τους από ελληνικά εργαστήρια και θα έρχονται στο εργοτάξιο συσκευασμένα με εμφανές το όνομα του παραγωγού που θα πρέπει να είναι αναγνωρισμένος, το περιεχόμενο και τις οδηγίες εφαρμογής τους. Επίσης όλα τα πρόσμεικτα που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο θα είναι του ίδιου εργοστασίου και θα προστεθούν στο μείγμα ακριβώς στις αναλογίες που προβλέπει η μελέτη σύνθεσης του σκυροδέματος με ευθύνη του Εργολάβου.

Τα πρόσμεικτα επηρεάζουν τις ιδιότητες του σκυροδέματος με χημικό ή/και φυσικό τρόπο. Ορισμένα είναι υδρόφοβα (π.χ. αερακτικά) και άλλα υδρόφιλα (π.χ. πλαστικοποιητές). Τα κυριότερα πρόσμεικτα περιγράφονται παρακάτω:

- **Αερακτικά πρόσθετα**

Τα αερακτικά πρόσθετα χρησιμοποιούνται αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι μικρότερη από 0° κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης, αλλά και αν υπάρχει πρόγνωση παγετού στο χρονικό διάστημα μέχρι το σκυρόδεμα να φτάσει την θλιπτική αντοχή των 5MPa κατά την ωρίμανση του (περίπου στις 2 ημέρες). Επίσης αν το έργο βρίσκεται σε περιοχή κατηγορίας IV, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 515 (π.χ. Φλώρινα), τότε είναι υποχρεωτική η χρήση αερακτικού ανεξαρτήτως της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης [39]. Τα συγκεκριμένα πρόσμεικτα δρουν σχηματίζοντας στο σκυρόδεμα φυσαλίδες διαμέτρου 0.2mm ανά 0.25 mm απόστασης. Οι μικροφυσαλίδες αυτές παρεμβάλλονται στους τριχοειδείς πόρους του σκυροδέματος παρέχοντας προστασία έναντι του παγετού και των αλάτων που ρίχνονται στους δρόμους ως μέτρο ενάντια στον παγετό.

- **Πλαστικοποιητές ή ρευστοποιητές**

Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα αυξάνουν την ρευστότητα του μείγματος κάτι το οποίο έχει σαν συνέπεια τη βελτίωση της εργασιμότητας του σκυροδέματος και τη μείωση της ποσότητας του νερού αναμίξεως. Αυτό το πετυχαίνουν με την ελάττωση της επιφανειακής τάσης του νερού και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη διάβρεξη των κόκκων. Η μείωση του νερού, οδηγεί σε βελτιωμένο πορώδες στο τελικό σκυρόδεμα και καλύτερες αντοχές.

- **Στεγανοποιητικά μάζας**

Σύμφωνα με τον Κ.Τ.Σ. [28] (Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος), η προσθήκη στεγανωτικών πρόσθετων επιτρέπεται μόνο μέσα στη βαρέλα ή στον αναμκτήρα σκυροδέματος ενώ γίνεται η ανάμιξη. Απαγορεύεται η προσθήκη τους αφού το μείγμα φύγει από τον αναδευτήρα. Τα πρόσθετα αυτού του είδους έχουν, όπως φανερώνει και το όνομα τους, στόχο να μπλοκάρουν τη διείσδυση του νερού μέσα στη μάζα του ώριμου και σκληρημένου σκυροδέματος. Δρουν με τρεις τρόπους δηλαδή: α) τη μείωση της διαμέτρου των τριχοειδών πόρων, β) τη διακοπή των τριχοειδών πόρων, γ) εκμεταλλευόμενα τον υδρόφοβο χαρακτήρα τους [34]. Η χρήση τους όπως και των ρευστοποιητών, μειώνει και την ανάγκη σε νερό αναμίξεως. Ωστόσο η τεχνολογία σκυροδέματος επιτρέπει την παρασκευή στεγανών σκυροδεμάτων με κατάλληλη μελέτη σύνθεσης χωρίς πρόσθετα. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας του τσιμέντου, μείωση του λόγου Ν/Τ (νερό προς τσιμέντο), κατάλληλη κοκκομετρία, προσεκτική συμπίκνωση και συντήρηση.

- **Επιβραδυντικά πρόσθετα**

Χρησιμοποιούνται για να επιβραδύνουν την διαδικασία της ενυδάτωσης-πήξης του σκυροδέματος. Δρουν σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα πάνω στην επιφάνεια του κόκκου της σκόνης του τσιμέντου και έτσι οδηγούν σε επιβράδυνση της πήξης. Αυτή η επιβράδυνση είναι χρήσιμη όταν υπάρχει η ανάγκη της συμπίκνωσης του νωπού σκυροδέματος μετά από αρκετές ώρες, π.χ. όταν η διαδικασία της διάστρωσης γίνεται

σε παραπάνω χρόνο από ότι ο συνήθης, ή υπάρχει ανάγκη αποφυγής αρμών διακοπής εργασίας (π.χ. στα υδραυλικά έργα) [34].

- **Επιταχυντικά πρόσθετα**

Τα επιταχυντικά πρόσθετα επιταχύνουν το μηχανισμό ενυδάτωσης-πήξης του τσιμέντου. Αυτό επιτυγχάνεται με την μείωση του σημείου πήξης του νερού άρα συντόμευση του χρόνου έναρξης της πήξης, είτε με την επιτάχυνση του μηχανισμού σκλήρυνσης του τσιμεντοπολτού. Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν ευρέως το χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) ως επιταχυντικό, κάτι που σήμερα απαγορεύεται για το οπλισμένο σκυρόδεμα από όλους τους κανονισμούς τεχνολογίας σκυροδέματος, λόγω της διάβρωσης που ασκεί στον χαλύβδινο οπλισμό. Χρησιμοποιούνται αρκετά σε εποχές που επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες ή στην διαδικασία της προκατασκευής δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα.

Είναι δυνατή επίσης η προσθήκη και άλλων πρόσθετων τα οποία είναι κυρίως ανόργανα σε μορφή σκόνης όπως

- Ποζολάνες (ηφαιστειακά υλικά)
- Υδράσβεστος
- Ιπτάμενη τέφρα (παραπροϊόν καύσης γαιανθράκων)
- Πυριτική παιπάλη
- Χρώματα τσιμέντου
- Αναστολείς διάβρωσης



Εικόνα 3-10:Υλικά που αποτελούν το μείγμα ενός σκυροδέματος με τη χρήση πρόσθετων. Από αριστερά προς δεξιά: χοντρόκοκκα αδρανή, νερό, τσιμέντο, υπερευστοποιητής (πρόσμεικτο), λεπτόκοκκα αδρανή (άμμος)

3.2 Ειδικοί τύποι σκυροδέματος

Ειδικό σκυρόδεμα ορίζεται το σκυρόδεμα το οποίο πρέπει να εξυπηρετεί συγκεκριμένες απαιτήσεις οι οποίες δεν γίνεται να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας τα συμβατικά υλικά και τις πρακτικές ανάμιξης σκυροδέτησης και ωρίμανσης του συνήθους σκυροδέματος. Ειδικοί τύποι σκυροδέματος παρασκευάζονται για να είναι ικανή η κατασκευή να αντέξει σε ειδικές καταστάσεις και συνθήκες ανάλογα με την τεχνική εφαρμογή. Αυτό επιτυγχάνεται είτε αλλάζοντας τα βασικά συστατικά και αναλογίες μίξης, είτε προσθέτοντας και άλλα ή με έναν συνδυασμό αυτών των δύο. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένες κατηγορίες ειδικών σκυροδεμάτων, τα συν και τα πλην τους και οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.

3.2.1 Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής

Το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής είναι η αιχμή του δόρατος της τεχνολογίας σκυροδέματος με εκτεταμένη έρευνα πολλών χρόνων για την ανάπτυξη του και τη χρήση του πλέον σε πάρα πολλές εφαρμογές που γίνονται τεχνικά εφικτές χάρις σε αυτό. Τέτοιες είναι εφαρμογές που απαιτούν από το σκυρόδεμα υψηλές μηχανικές ιδιότητες, (αντοχή σε θλίψη, κάμψη ελαστικότητα, ολκιμότητα και ευστάθεια) εξαιτίας αναμενόμενων υψηλών τάσεων (π.χ. σεισμικές) ή εξαιτίας της γεωμετρικής λυγηρότητας στοιχείων (ψηλά κτήρια, γέφυρες κ.α.).

Σκυροδέματα με θλιπτική αντοχή 28 ημερών πάνω από 60MPa, κατατάσσονται στην κατηγορία υψηλής αντοχής, και χρησιμοποιούνται σε πολλές κατασκευές με υψηλές απαιτήσεις απόδοσης και αντοχής. Οι πιο συχνές εφαρμογές τους είναι σε ουρανοξύστες ιδίως σε σεισμογενείς περιοχές και σε υποστυλώματα που φέρουν μεγάλα φορτία (προκατασκευασμένα υποστυλώματα γεφυρών). Ακόμα χρησιμοποιούνται σε προεντεταμένα στοιχεία στην γεφυροποιία (**Εικόνα 3-11**), κάνοντας εφικτή την κατασκευή ακόμα μεγαλύτερων ανοιγμάτων. Τέλος μπορούν να βρεθούν σε κατασκευές που υφίστανται μηχανικές και χημικές καταπονήσεις, όπως βιομηχανικά δάπεδα, περιοχές με συσσώρευση αυτοκινήτων, επισκευή οδοστρωμάτων αεροδρομίων, που χρειάζονται υψηλές αντοχές όσο πιο γρήγορα, παράκτιες κατασκευές, μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων και πύργους ψύξης νερού εργοστασίων ενέργειας.



Εικόνα 3-11: Πυλώνες γέφυρας οι οποίοι τυπικά κατασκευάζονται με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής



Εικόνα 3-12: Οδοστρώματα αεροδρομίων όπου χρησιμοποιούνται σκυροδέματα υψηλών αντοχών

Γενικά τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος υψηλής αντοχής συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Θλιπτική αντοχή 28 ημερών μεταξύ 60 και 120 MPa.
- Αυξημένη εφελκυστική αντοχή και καμπτική αντοχή σε σχέση με το συμβατό σκυρόδεμα.
- Το τσιμεντοκονίαμα του σκυροδέματος υψηλής αντοχής έχει χαμηλή διαπερατότητα κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στο χρόνο σε σχέση με το συμβατό.
- Μειωμένο συντελεστή ερπυσμού και αυξημένη αντίσταση σε διαβρωτικές ουσίες.
- Εξαιτίας της χαμηλής διαπερατότητας του, το σκυρόδεμα υψηλών αντοχών είναι πολύ στεγανό καθιστώντας το κατάλληλο για κατασκευές σε υδάτινο περιβάλλον (πυλώνες γέφυρας, παράκτιες κατασκευές κ.α.).
- Εκτός από το τσιμέντο Portland χρησιμοποιούνται και μεγάλες ποσότητες και άλλων υδραυλικών και ποζολανικών υλικών που έχουν πολύ καλή μακροπρόθεσμη ανάπτυξη ισχυρών αντοχών.
- Εξαιτίας της αυξημένης δυσκαμψίας του το σκυρόδεμα υψηλών αντοχών είναι ψαθυρό.

Γενικά είναι λάθος η θεώρηση ότι μόνο ένα αυξημένο ποσοστό τσιμέντου στο μίγμα οδηγεί σε υψηλότερες αντοχές για το σκυρόδεμα, αφού ο λόγος νερό προς τσιμέντο είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για τις τελικές αντοχές. Η εργασιμότητα του φρέσκου σκυροδέματος καθορίζει το ελάχιστο ποσοστό τσιμέντου και το βέλτιστο μίγμα του τσιμεντοπολτού.

Επιπροσθέτως η ποιότητα των αδρανών παίζει καθοριστικό ρόλο στις τελικές αντοχές. Για τα σκυροδέματα υψηλών αντοχών επιβάλλεται η χρήση υψηλής ποιότητας αδρανών χωρίς εσωτερικές ρωγμές. Επίσης, η κοκκομετρική καμπύλη των αδρανών πρέπει να σχεδιαστεί κατάλληλα έτσι ώστε:

- Να είναι μειωμένο το συνολικό ποσοστό της άμμου.
- Να είναι μειωμένο το κλάσμα από 2 έως 4mm.
- Να είναι αυξημένο το κλάσμα 0.25 με 1mm.
- Τα λεπτόκοκκα αδρανή διατομής μικρότερης των 0.125mm πρέπει να είναι μειωμένα.

3.2.2 Ελαφροσκυρόδεμα

Το ελαφροσκυρόδεμα είναι ένα σκυρόδεμα που σε σχέση με το σύνηθες έχει χαμηλότερο φαινόμενο βάρος και χαμηλότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας και γι' αυτές ακριβώς τις ιδιότητες του αναπτύχθηκε. Οι ιδιότητες αυτές οφείλονται στους πόρους αέρα που υπάρχουν στη μάζα του, και στην μικρότερη πυκνότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών του. Ωστόσο, η αύξηση του πορώδους του σκυροδέματος (είτε σαν κενά μέσα στο τσιμεντόλιθωμα ή σαν κενά μέσα στα ίδια τα αδρανή) οδηγεί και σε μείωση της θλιπτικής αντοχής, και γι' αυτό το λόγο υπάρχουν περιορισμοί στη χρήση του ελαφροσκυροδέματος σαν φέρον σκυρόδεμα.

Διακρίνονται τέσσερις τρόποι παρασκευής του σκυροδέματος οι οποίοι είναι οι εξής [34]:

- Χρήση πορωδών αδρανών (ελαφρά αδρανή). Κατά τα άλλα ο τσιμεντόλιθος είναι ίδιος με το σύνηθες σκυρόδεμα και το πορώδες άρα και η μείωση του βάρους οφείλεται μόνο στα ελαφρά αδρανή όπως η διογκωμένη άργιλος, ο διογκωμένος σχιστόλιθος. Το φέρον ελαφροσκυρόδεμα παρασκευάζεται με αυτόν τον τρόπο.
- Χρήση ειδικών πρόσμεικτων που δημιουργούν πόρους στο τελικό προϊόν του σκυροδέματος σε συνδυασμό με την αποφυγή χρήσης χονδρόκοκκων αδρανών. Το συγκεκριμένο είδος σκυροδέματος ονομάζεται κυψελοσκυρόδεμα ή αφρώδες σκυρόδεμα και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν φέρον.
- Παράλειψη των λεπτόκοκκων αδρανών ($d < 4\text{mm}$), χρήση συγκεκριμένου λόγου νερού προς τσιμέντο και μείωση του τσιμεντοπολτού ώστε να περιβάλλονται μόνο οι κόκκοι με την τσιμεντόπαστα και να μένουν ελεύθερα τα κενά μεταξύ τους. Αυτό το είδος ελαφροσκυροδέματος παρασκευάζεται σπάνια καθώς η μείωση του φαινόμενου βάρους δεν είναι ικανοποιητική.
- Με έναν συνδυασμό του προηγούμενου τρόπου με ελαφρά αδρανή δίνει καλύτερο αποτέλεσμα στην μείωση του φαινόμενου βάρους



Εικόνα 3-13: Τσιμεντόλιθος από ελαφροσκυρόδεμα για κατασκευή τοίχου

Ως προς τη χρήση του, το ελαφροσκυρόδεμα χρησιμοποιείται για ελαφριές κατασκευές (οροφές τοίχοι πλάκες κτλ.), για μονώσεις εξαιτίας της χαμηλής θερμοαγωγιμότητας του (μονώσεις στέγης, υδατόπυργων κ.α.), σε σκυροδέματα διαβάθμισης επιπέδων και τοιχοπήρωσης (**Εικόνα 3-13**), (**Εικόνα 3-14**).

Για τη σωστή χρήση του ελαφροσκυροδέματος πρέπει να δίνεται προσοχή στα εξής σημεία [37]:

- Εξαιτίας του κινδύνου διαχωρισμού των υλικών του μείγματος πρέπει να δίνεται προσοχή, ώστε το μείγμα να μην είναι πολύ ρευστό με υψηλό λόγο νερού.
- Τα πορώδη ελαφρά αδρανή πρέπει να έχουν διαβραχεί από πριν ώστε να μην τραβήξουν πολύ νερό κατά τη μίξη.
- Πρέπει να γίνεται σωστή χρήση των δονητών (με γρήγορη βύθιση και αργό ρυθμό απόσυρσης τους από το σκυρόδεμα) για να αποφευχθεί η δημιουργία εξτρά κενών αέρος.
- Προσοχή στον ρυθμό συρρίκνωσης, γιατί τα ελαφροσκυροδέματα τείνουν να έχουν μεγαλύτερο ρυθμό συστολής ξήρανσης.

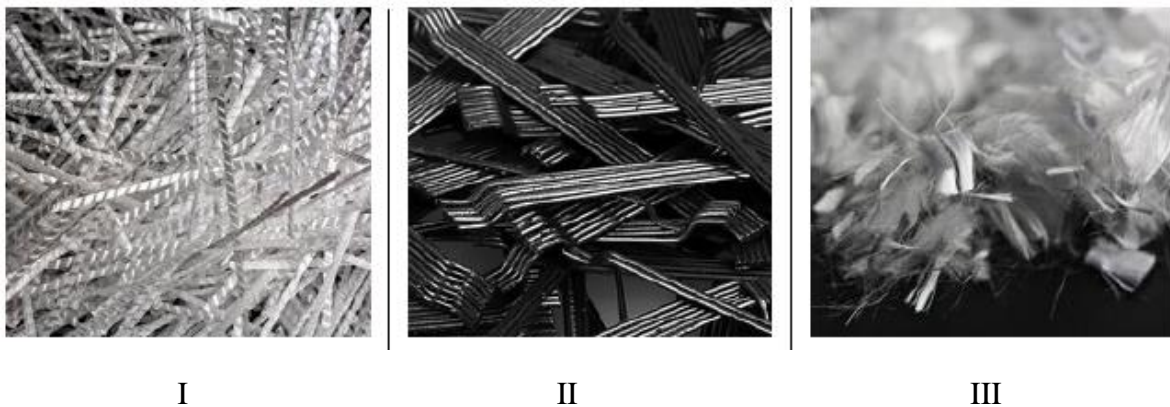


Εικόνα 3-14: Χρήση ελαφροσκυροδέματος σε επίπεδο στέγης για θερμομόνωση

3.2.3 Ινοπλισμένο σκυρόδεμα

Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα είναι σκυρόδεμα στο οποίο έχουν προστεθεί ίνες από συγκεκριμένα υλικά (σίδηρο, γυαλί, πλαστικό, υβριδικές) κατά τη διάρκεια της παραγωγής του για να βελτιώσουν την συμπεριφορά του όσον αφορά την δυναμική καταπόνηση, τον εφελκυσμό και την ρηγμάτωση. Το ινοπλισμένο σκυρόδεμα, μετά από αρκετά χρόνια ερευνών πλέον, είναι αναγνωρίσιμο και εισηγμένο στην αγορά [37]. Η προσθήκη των κατάλληλων ινών στο μίγμα, ανάλογα με την τεχνική πρόκληση, δίνει στο ινοπλισμένο σκυρόδεμα βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με το σύνηθες ορισμένες από τις οποίες ακολουθούν παρακάτω:

- Λιγότερες ρηγματώσεις λόγω της συρρίκνωσης ξήρανσης του σκυροδέματος σε πρώιμη ηλικία.
- Καλύτερη συνοχή του μίγματος του φρέσκου σκυροδέματος.
- Μεγαλύτερες εφελκυστικές και διατμητικές αντοχές.
- Βελτιωμένη αντοχή και πλαστιμότητα.
- Αυξημένη αντοχή σε απόξεση.
- Προστασία έναντι των αρνητικών αποτελεσμάτων του κύκλου ψύξη – απόψυξη.
- Αντοχή σε αποφλοιώση του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 3-15: Συνθετικές μακρο-ίνες (I), Χαλύβδινες ίνες (II), Συνθετικές μικρο-ίνες (III) [37]

Υπάρχουν στο εμπόριο διάφορες ίνες για διαφορετικά μείγματα σκυροδέματος ανάλογα με την τεχνική εφαρμογή και τις επιθυμητές ιδιότητες. Τα δύο κύρια είδη ινών είναι οι μικρο και οι μακρο ίνες, που διαφοροποιούνται με βάση τη διάμετρο τους. Οι μικρο συνθετικές ίνες χρησιμοποιούνται για την μείωση του κινδύνου της αποφλοιώσης του σκυροδέματος σε υψηλές θερμοκρασίες και την μείωση της ρηγμάτωσης. Οι πιο μεγάλης διαμέτρου συνθετικές ή χαλύβδινες μακρο – ίνες χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες του σκληρημένου σκυροδέματος.

Γενικά απαιτείται ένα ελάχιστο μήκος ινών σε σχέση με τη διάμετρο τους για λόγους συνάφειας ίνας και μίγματος. Το μήκος αυτό είναι μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη είναι και η διάμετρος των ινών.

3.2.4 Σκυρόδεμα με πολυμερή

Ένας πολύ σημαντικός ειδικός τύπος σκυροδέματος για την τεχνολογία επεμβάσεων λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του, είναι το σκυρόδεμα με πολυμερή, παρά το υψηλό κόστος κατασκευής του [4]. Αυτού του τύπου τα σκυροδέματα παράγονται με τους εξής τρόπους:

- Χρήση υδατοδιαλυτού πολυμερούς αντί για μέρος του συνολικού νερού του μείγματος.
- Χρήση πολυμερούς αντί για τσιμέντο (πολυεστερικές ή εποξειδικές ρητίνες).
- Εμβάπτιση του συνήθους σκληρημένου σκυροδέματος σε μονομερές που στη συνέχεια πολυμερίζεται.

Όταν ο μηχανικός θελήσει να χρησιμοποιήσει το σκυρόδεμα με πολυμερή σε εφαρμογές επισκευών και ενισχύσεων πρέπει να έχει υπόψη του τα παρακάτω στοιχεία (**Πίνακας 3-4**), για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πολύ αυξημένες θλιπτικές (έως 20 φορές παραπάνω) και εφελκυστικές (έως 4 φορές παραπάνω) αντοχές σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα	Μεγαλύτερος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας άρα μειωμένη θερμική μόνωση
Μικρός χρόνος ανάπτυξης αντοχών που γίνεται ακόμα μικρότερος με την αύξηση της θερμοκρασίας	Μικρότερη αντίσταση στον ρυθμό ενανθράκωσης του σκυροδέματος
Αυξημένο έως και 50% μέτρο ελαστικότητας όταν το τσιμέντο αντικατασταθεί από πολυμερές στο μείγμα	Υψηλότερος συντελεστής ερπυσμού
Πολύ καλή πρόσφυση με το παλιό σκυρόδεμα σε εφαρμογές επεμβάσεων) εξασφαλίζοντας ότι λειτουργούν μονολιθικά στο τελικό σύστημα	Μικρή αντοχή σε πυρκαγιά κάτι που αποτελεί πρόβλημα σε όλα τα πολυμερή
Υψηλή αντίσταση στην απόξεση, στον παγετό και στην προσβολή από χημικά.	
Σχετικά μειωμένο πορώδες και συστολή ξήρανσης	

Πίνακας 3-4: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα σκυροδέματος με πολυμερή σε σχέση με το συμβατικό

3.2.5 Διογκούμενο σκυρόδεμα

Το διογκούμενο σκυρόδεμα παρασκευάζεται με την χρήση διογκούμενου τσιμέντου που είναι συγγενικής χημικής σύστασης με το τσιμέντο Portland, αλλά περιέχει και συστατικά με τα οποία ο όγκος του μεγαλώνει όπως αυτό πήζει. Χρησιμοποιείται σε μείγματα σκυροδέματος όταν η συρρίκνωση του συμβατού σκυροδέματος είναι ανεπιθύμητη ή όταν το δομικό στοιχείο που παρασκευάζεται με αυτό πρέπει να ασκήσει πιέσεις σε άλλο κομμάτι της κατασκευής. Παραδείγματος χάρη χρησιμοποιείται σε μεγάλες συνεχείς πλάκες ορόφων χωρίς αρμούς, για την πλήρωση κενών στη θεμελίωση, στην κατασκευή γεφυρών, υδατοστεγών κατασκευών καθώς και για επισκευές σε σκυροδέματα που έχουν υποστεί φθορές ή για τσιμεντενώματα στις τρύπες κοχλιών αγκύρωσης, όπου το σκυρόδεμα πρέπει να μην μείνει κενό για την καλύτερη συνεργασία χάλυβα και σκυροδέματος (Εικόνα 3-16).



Εικόνα 3-16: Στις οπές κοχλιών αγκυρώσεις που διανοίχθηκαν μετά τη σκυροδέτηση γίνεται χρήση διογκούμενου σκυροδέματος για την πλήρωση τους

Το διογκούμενο τσιμέντο παρασκευάζεται όπως το τσιμέντο Portland από ψημένο και αλεσμένο ασβεστόλιθο, γύψο και άργιλο. Ο ασβεστόλιθος και η άργιλος ψήνονται σε θερμοκρασίες κοντά στους 1500°C. Τα υλικά αυτά αναμιγνύονται με Κλίνκερ από ασβεστόλιθο θειικό ασβέστιο και βωξίτη σε θερμοκρασία 1300°C και σχηματίζονται θεικές φάσεις του ασβεστίου. Όταν αυτές οι φάσεις εκτεθούν στο νερό μεγαθύνονται σε όγκο. Το διογκούμενο τσιμέντο εφευρέθηκε στην Γαλλία τη δεκαετία του 40. Από τότε μέχρι σήμερα τα συστατικά του είναι σχεδόν τα ίδια ωστόσο οι κατασκευαστές του έχουν βελτιώσει τις αντοχές, την επιτελεστικότητα και την εργασιμότητα του.

3.2.6 Σκυροδέμα για κατασκευές μεγάλου όγκου (mass concrete)

Δομικά στοιχεία μεγάλου όγκου θεωρούνται τα στοιχεία με πάχος μεγαλύτερο του 0.8 – 1m όπως για παράδειγμα τα φράγματα (Εικόνα 3-17), τα βάθρα των γεφυρών, οι τεχνητοί ογκόλιθοι στα λιμενικά έργα, ογκώδεις κατασκευές προστασίας από ραδιενέργεια σε πυρηνικούς σταθμούς. Αυτές οι κατασκευές εξαιτίας του μεγάλου όγκου τους απαιτούν τη σκυροδέτηση μεγάλων όγκων σκυροδέματος σε μικρό χρονικό διάστημα κατά την κατασκευή. Επομένως απαιτείται πολύ καλός σχεδιασμός και των μειγμάτων σκυροδέματος και των μεθόδων και βημάτων της κατασκευής.



Εικόνα 3-17: Τοξωτό φράγμα σκυροδέματος

Το βασικό πρόβλημα στις κατασκευές μεγάλου όγκου είναι αυτό της χρονικής διαφοράς ψύξης μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και πυρήνα του σκυροδέματος, αφού η επιφάνεια ψύχεται πολύ γρηγορότερα από τον πυρήνα. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας οδηγεί σε ρηγματώσεις.

Μια συνοπτική αναφορά των προβλημάτων της χρήσης σκυροδέματος σε ογκώδεις κατασκευές είναι η ακόλουθη:

- Υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές πυρήνα και εξωτερικής επιφάνειας κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης.
- Πολύ υψηλές θερμοκρασίες σκυροδέματος ιδιαίτερα κοντά στον πυρήνα λόγω των εξώθερμων αντιδράσεων σκλήρυνσης σε πολύ μεγάλο όγκο σκυροδέματος, σε σχέση με αυτό των συμβατικών σκυροδεμάτων.

- Δευτερογενής κάθιση και επομένως ρηγματώσεις των ανώτερων στρώσεων του σκυροδέματος και μετακίνηση σκυροδέματος κάτω από τις ράβδους οπλισμού.
- Εκτός από τις διαφορές θερμοκρασίας παρατηρούνται και μεγάλες διαφορές υγρασίας, αφού η ενυδάτωση γίνεται από έξω προς τα μέσα, επομένως δημιουργούνται ανομοιογενείς τάσεις λόγω της ξήρανσης.

Όλα αυτά τα προβλήματα με κύριο αυτό της διαφοράς θερμοκρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε ρωγμές και άλλες βλάβες του σκυροδέματος. Οι ρωγμές είναι επιφανειακής μορφής και αναμένονται όταν η εσωτερική με την εξωτερική θερμοκρασία του σκυροδέματος έχουν διαφορά μεγαλύτερη των 15°C. Οι επιφανειακές ρωγμές γενικά έχουν βάθος μερικών εκατοστών και μπορούν να επιδιορθωθούν με κατάλληλα μέτρα αργότερα [37].

Τα επιφανειακά αυτά ραγίσματα μπορούν να αποφευχθούν με τη λήψη μέτρων εξαρχής τόσο από πλευράς τεχνολογίας σκυροδέματος όσο και από πλευράς κατασκευαστικών μεθόδων. Ορισμένα τέτοια μέτρα είναι τα εξής:

- Μικρότερο ποσοστό τσιμέντου στο μείγμα (όσο δυνατόν μικρότερα τα κενά μεταξύ των αδρανών) και χρήση τσιμέντων με μικρότερη ανάπτυξη θερμότητας κατά την ενυδάτωση (π.χ. σκωριακά τσιμέντα).
- Χρήση όσο μεγαλύτερου μεγέθους των αδρανών γίνεται (γιατί μείγμα με μέγιστο κόκκο 63mm απαιτεί λιγότερο τσιμέντο από ότι αυτό με κόκκο 32mm) και ψύξη του νερού και των αδρανών αν είναι εφικτό πριν προστεθούν στο μείγμα.
- Διάστρωση του σκυροδέματος κατά τη σκυροδέτηση σε στρώσεις (αν γίνεται με πάχος στρώσης μικρότερο των 0.8m).
- Χρήση πλαστικοποιητών πρόσθετων που μειώνει την απαιτούμενη ποσότητα νερού.
- Πρόβλεψη αρμών διαστολής και κατανομής τους στην κατασκευή σε κατάλληλα σημεία για να διευκολύνουν την διοχέτευση και εκτόνωση των τάσεων λόγω αυτών των θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Χρήση μετρητών και αισθητήρων σε διάφορα σημεία του σκυροδέματος που καταγράφουν θερμοκρασίες, υγρασίες, φάσεις ενυδάτωσης, ώστε να γίνεται παρακολούθηση του φαινομένου και να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα για να αποφευχθούν οι ρωγμές.



Εικόνα 3-18: Ειδικοί αισθητήρες παρακολούθησης του σκυροδέματος [40]

3.3 Πολυμερικές κόλλες

Οι πολυμερικές κόλλες παρασκευάζονται από την ταυτόχρονη ανάμειξη δύο ουσιών (**Εικόνα 3-19**) του πολυμερούς από το οποίο προέρχεται και το όνομα τους, που είναι μια ουσία σε υγρή κατάσταση, και του καταλύτη ή σκληρυντή. Η επί τόπου ανάμειξη τους με κατάλληλη αναλογία, δημιουργεί ένα δυνατό συγκολλητικό υλικό, το οποίο λόγω των ιδιοτήτων και των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει, χρησιμοποιείται ευρέως στις επισκευές και στις ενισχύσεις κατασκευών. Ορισμένα από τα πλεονεκτήματα των πολυμερικών κολλών σε σχέση με άλλα συγκολλητικά υλικά είναι τα εξής [4]:

- Ισοκατανομή του φορτίου σε όλη την επιφάνεια τους. Αποφυγή τοπικών συγκεντρώσεων φορτίου.
- Δημιουργία φράγματος για την υγρασία.
- Πλήρη επαφή μέσω των πολυμερικών κολλών των δύο στοιχείων που συνδέονται.

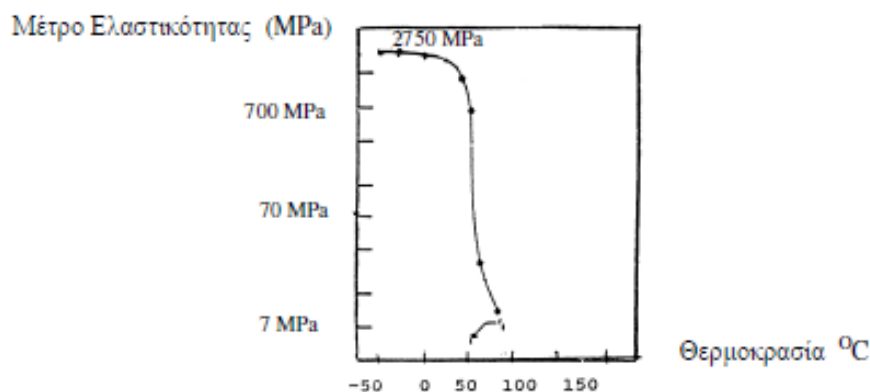


Εικόνα 3-19: Συστατικά πολυμερικής κόλλας. Σκληρυντής (πάνω) & πολυμερές (εποξική ρητίνη) (κάτω)

Στην αγορά των επεμβάσεων και επισκευών δύο είναι τα είδη των πολυμερικών κολλών που έχουν επικρατήσει. Είναι οι εποξειδικές ρητίνες κυρίως, και οι πολυμερικές ρητίνες δευτερευόντως. Σημειώνεται ότι στην πράξη ο όρος ρητίνη έχει επικρατήσει όταν γίνεται αναφορά σε πολυμερικές ρητινοειδείς κόλλες γενικότερα.

Τα βασικά ελαττώματα των ρητινών κατά την εφαρμογή τους στην πράξη, στις επεμβάσεις και τις επισκευές (τα πρώτα δύο) καθώς και λόγω των ιδιοτήτων τους (τα τελευταία δύο) έχει διαπιστωθεί ότι είναι τα ακόλουθα [4]:

- Από τη στιγμή της ανάμειξης των δύο συστατικών ξεκινάει ο χρόνος, στον οποίο είναι εφικτό να χρησιμοποιηθούν και, ο οποίος είναι μικρός. Αυτός ο χρόνος εργασιμότητας οφείλεται στο ότι αρχικά τα συστατικά και η αναμειγμένη κόλλα είναι ρευστή αλλά από την στιγμή της ανάμειξης και έπειτα το μείγμα αρχίζει να σκληραίνει επιτρέποντας την χρησιμοποίηση του μέσα σε στενά χρονικά περιθώρια (pot life).
- Δεν επιτρέπεται η χρήση των στοιχείων που συγκολλήθηκαν, τα οποία πρέπει να παραμείνουν αδιατάρακτα για όσο χρόνο χρειάζεται το μείγμα για να σκληρύνει (ώρες ή και μέρες).
- Οι μικρές αντοχές του υλικού στις υψηλές θερμοκρασίες, όπου έχει διαπιστωθεί πειραματικά ότι οι μηχανικές ιδιότητες των ρητινών αρχίζουν να φθίνουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 50°C (**Εικόνα 3-20**). Αυτό αναδεικνύει το ότι είναι ευάλωτες σε περιπτώσεις πυρκαγιάς, και πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα πυροπροστασίας των επισκευασμένων στοιχείων με τη χρήση ρητινών.
- Η τιμή του μέτρου ελαστικότητας τους είναι πολύ μικρότερη από αυτή του σκυροδέματος (περίπου το 1/10 και λιγότερο).



Εικόνα 3-20: Επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας στο Μέτρο Ελαστικότητας [4]

Κατά την χρήση των ρητινών πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος στην οποία πρόκειται να εφαρμοστούν. Επειδή η αντοχή της σύνδεσης επηρεάζεται κυρίως από την αντοχή του ασθενέστερου συγκολλημένου στοιχείου είναι σημαντικό να έχει αφαιρεθεί η επιδερμική επιφάνεια του σκυροδέματος και να έχουν αποκαλυφθεί τα χοντρόκοκκα αδρανή, καθώς σε αυτή τη στρώση η αντοχή είναι υψηλότερη. Επίσης η επιφάνεια εφαρμογής πρέπει να είναι καθαρή.

Οι πιο συνηθισμένες πρακτικές εφαρμογές με ρητίνες είναι εξής [4]:

- οι συγκολλήσεις άλλων υλικών στο σκυρόδεμα,
- οι αγκυρώσεις ράβδων στο σκληρυμένο σκυρόδεμα,
- η συγκόλληση νωπού ή σκληρυμένου σκυροδέματος σε σκληρυμένο σκυρόδεμα,
- η επισκευή ρωγμών στο σκυρόδεμα με την τεχνική των ρητινεδέσεων που είναι και η συντριπτικά πιο διαδεδομένη εφαρμογή σε σχέση με τις άλλες.

3.4 Επισκευαστικά κονιάματα

Η χρήση των επισκευαστικών κονιαμάτων είναι διαδεδομένη σε εφαρμογές αποκατάστασης και ενίσχυσης των κατασκευών, όταν το πάχος που πρέπει να επισκευαστεί είναι μικρό και απαιτείται πολύ καλή πρόσφυση παλιού σκυροδέματος και του επιδιορθωτικού κονιάματος [4]. Χρησιμοποιείται σε επισκευές ατελειών στην επιδερμική στρώση του σκυροδέματος (Εικόνα 3-21). Γενικά το κόστος τους θεωρείται πολύ υψηλό, όμως αυτό αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η ποσότητα που απαιτείται σε κάθε εφαρμογή τους είναι μικρή και τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν σημαντικά, αφού αποκαθιστούν μικρο-ατέλειες, βελτιώνοντας την εμφάνιση και ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και τελικά την καλή λειτουργικότητα του σκυροδέματος [41].

Στην αγορά μπορούν να βρεθούν δύο κατηγορίες κονιαμάτων με βάση την βασική πρώτη ύλη τους, τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο και τα κονιάματα με πολυμερή:

- **Κονιάματα με βάση το τσιμέντο**

Αποτελούνται από αναμιγμένα λεπτόκοκκα αδρανή με μεγαλύτερο κόκκο τα 2.5mm, τσιμέντο και νερό σε ποσότητα 10-20% του βάρους του μείγματος. Ως τσιμεντοκονιάματα εμφανίζουν συστολή ξήρανσης, κάτι που αντιμετωπίζεται με την προσθήκη στο μείγμα πρόσθετων, που παρεμποδίζουν την συστολή, και υπερευστοποιητών για καλύτερη εργασιμότητα. Συνήθως στην αγορά αυτά τα κονιάματα κυκλοφορούν έτοιμα συσκευασμένα σε σάκους και απαιτείται μόνο η προσθήκη του νερού και η ανάμειξη για να είναι έτοιμα για χρήση. Η χρήση τους ενδείκνυται όταν απαιτούνται επιδιορθώσεις σε μικρά πάχη υλικού (επιφανειακές επιδερμικές ρωγμές), αλλά και σε μεγαλύτερα πάχη από ότι αυτά για τα οποία χρησιμοποιούνται τα κονιάματα με βάση τα πολυμερή. Συχνές εφαρμογές τους είναι η πλήρωση σημείων σε στοιχεία από σκυρόδεμα που έχουν υποστεί κακή συμπίκνωση κατά τη σκυροδέτηση και σε επιδιόρθωση περιοχών αποδιοργανωμένου σκυροδέματος. Τα χαρακτηριστικά του είναι παρόμοια με του σκυροδέματος και με ακόμα υψηλότερες αντοχές. Τα πλεονεκτήματα των τσιμεντοκονιαμάτων είναι τα εξής [4]:

1. Υψηλές αντοχές λόγω της χαμηλής ποσότητας νερού στο μείγμα.
2. Υψηλός ρυθμός ανάπτυξης αντοχών, η οποία επέρχεται γρηγορότερα από των σκυροδεμάτων.
3. Η μεγάλη ρευστότητα, άρα και εργασιμότητα που γίνεται με τη χρήση πλαστικοποιητών πρόσμικτων χωρίς την μείωση της αντοχής.

- **Κονιάματα με πολυμερή**

Όπως και τα σκυροδέματα με πολυμερή, που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 3.2.4, έτσι και τα κονιάματα με πολυμερή παράγονται με τους εξής τρόπους [4]:

1. Αντικατάσταση τσιμέντου με πολυμερές.
2. Αντικατάσταση μέρους του νερού μίξεως με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex).

Στην αγορά συνήθως βρίσκονται με την ονομασία ρητινοκονιάματα, γιατί σαν πολυμερές χρησιμοποιείται ευρέως η ρητίνη. Όπως και τα τσιμεντοκονιάματα έτσι και τα κονιάματα με πολυμερή χρησιμοποιούνται για επιδιόρθωση επιδερμικών

βλαβών στο σκυρόδεμα (αποφλοιώση, επιφανειακές ρωγμές), αλλά για ακόμα μικρότερα πάχη από αυτά των εφαρμογών των τσιμεντοκονιαμάτων. Συγκριτικά με τα τσιμεντοκονιάματα εμφανίζουν μικρότερη συστολή ξήρανσης αλλά διαθέτουν πιο υψηλό συντελεστή θερμικής διαστολής



Εικόνα 3-21: Εφαρμογή επισκευαστικού κονιάματος

3.5 Επικολλητά φύλλα από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)

Είναι μια διαδεδομένη μέθοδος ενίσχυσης στοιχείων από Ο.Σ., λόγω της ταχύτητας και της εύκολης εφαρμογής της. Αρχικά ξεκίνησε με την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων, τα οποία εφαρμόζονταν εξωτερικά και βοηθούσαν το στοιχείο να παραλάβει τα φορτία ενισχύοντας την φέρουσα ικανότητα του. Πλέον όμως, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των ινοπλισμένων πολυμερών (FRP's), έχει επικρατήσει εξίσου και η χρήση αυτών των τεχνικών για την ενίσχυση δομικών στοιχείων. Η ανάγκη για ενίσχυση, όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, προκύπτει λόγω της παλαιότητας των κτηρίων και των ξεπερασμένων κανονισμών που σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν, αλλά και μετά από σεισμικά συμβάντα μαζί με εργασίες επισκευών. Παρακάτω οι δύο αυτές τεχνικές επεξηγούνται συνοπτικά:

- **Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα**

Ειδικά για δομικά στοιχεία με ανεπαρκή εφελκυστικό οπλισμό, η ενίσχυση τους με χαλύβδινα ελάσματα που στερεώνονται στην εξωτερική τους επιφάνεια και παίζουν το ρόλο εσωτερικού οπλισμού, είναι μια πολύ πρακτική και διαδεδομένη τεχνική (**Εικόνα 3-22**). Χρησιμοποιείται κυρίως σε δοκούς και πλάκες, όπου υπάρχει ανάγκη αύξησης της καμπτικής ή και διατμητικής αντοχής. Η μέθοδος λειτουργεί με την επικόλληση των χαλύβδινων ελασμάτων με κατάλληλη εποξειδική ρητίνη σε παράλληλο επίπεδο με αυτό του ήδη υπάρχοντος ανεπαρκή οπλισμού. Όταν η ενίσχυση της αντοχής σε κάμψη είναι το ζητούμενο, τοποθετούνται στο εφελκυστικό πέλμα των πλακών ή δοκών, ενώ όταν το ζητούμενο είναι η ενίσχυση της αντοχής σε διάτμηση τοποθετούνται στις παρειές των δοκών. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχηματίζοντας κλειστούς μανδύες, που εφαρμόζονται γύρω από υποστυλώματα για ενίσχυση της περίσφιξης και επομένως αύξηση της θλιπτικής αντοχής τους [4].

Βασικά πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι η ευκολία εφαρμογής, το χαμηλό κόστος και η ελάχιστη όχληση στους χρήστες της κατασκευής που εφαρμόζεται η μέθοδος, επιφέροντας αύξηση καμπτικής και διατμητικής αντοχής και ακαμψίας, μείωση των παραμορφώσεων και έλεγχο των ρηγματώσεων [42].

Μειονεκτήματα της τεχνικής μπορούν να εντοπιστούν στις περιοχές αγκύρωσης των άκρων των χαλύβδινων φύλων, που μπορεί να αστοχήσουν και να αποσχιστούν από το υπόλοιπο έλασμα, γι' αυτό απαιτείται και έλεγχος στην περιοχή. Επίσης εντοπίζεται ευκολία στη διάβρωση ειδικά στην επιφάνεια των ελασμάτων σε επαφή με το σκυρόδεμα, κάτι που οδηγεί σε εργασίες συντήρησης τους και αύξηση του κόστους. Πρακτικές δυσκολίες επίσης εντοπίζονται στην διαδικασία της τοποθέτησης των φύλλων εξαιτίας του βάρους του χάλυβα.



Εικόνα 3-22: Εργασίες επικόλλησης χαλύβδινων ελασμάτων σε δομικά στοιχεία σκυροδέματος [33]

- **Φύλλα από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP)**

Η συγκεκριμένη τεχνική είναι στην ουσία η εξέλιξη των χαλύβδινων ελασμάτων και αποτελεί την πλέον σύγχρονη τεχνική αποκατάστασης και ενίσχυσης αντοχής των δομικών στοιχείων από Ο.Σ.. Όπως αναφέρθηκε πριν, τα χαλύβδινα φύλλα λόγω του βάρους τους καθιστούν την εφαρμογή τους δύσκολη για τους τεχνικούς που τα εγκαθιστούν. Η εφεύρεση και εξέλιξη των συνθετικών υλικών όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), που είναι υλικά με καλύτερες αντοχές από το χάλυβα αλλά μικρότερο βάρος, έφερε την εξέλιξη και στον τομέα των ενισχύσεων. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από ίνες σε μια μήτρα από πολυμερές. Οι ίνες είναι το φέρον στοιχείο του υλικού και ανάλογα με τον προσανατολισμό τους προσδίδουν και τις αντίστοιχες αντοχές σε φορτία, και η μήτρα με το πολυμερές αποτελεί το συνδετικό υλικό μεταξύ τους. Στον τομέα των ενισχύσεων χρησιμοποιούνται φύλλα που επικολλώνται με εποξειδικές ρητίνες στις εξωτερικές επιφάνειες των στοιχείων από σκυρόδεμα με κατάλληλο προσανατολισμό ινών, ώστε να αναλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις. Η σύνδεση μεταξύ των φύλλων και του σκυροδέματος απαιτεί πολύ προσοχή ώστε να λειτουργήσει το στοιχείο σκυροδέματος και τα φύλλα ενίσχυσης σαν ένα ενιαίο σύστημα και οι τάσεις να κατανεμηθούν σωστά, γι' αυτό πρέπει να γίνεται και πολύ καλή προετοιμασία της περιοχής τοποθέτησης. Οι ίνες είναι συνήθως από άνθρακα, γυαλί και σπανιότερα από αραμίδιο.

Στα πλεονεκτήματα τους συγκαταλέγεται το μικρό βάρος τους (1/4 του βάρους του χάλυβα), η εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή τους με μέτρο ελαστικότητας 30-300 GPa, η καλή συμπεριφορά τους σε δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες ή σε ύπαρξη χημικών ουσιών, και η γραμμικά ελαστική συμπεριφορά τους μέχρι την αστοχία που βελτιώνουν την αντοχή και την πλαστιμότητα του στοιχείου που

εφαρμόζονται. Χρησιμοποιούνται, όπως και τα μεταλλικά φύλλα, και για βελτίωση αντοχής σε δοκούς και για περίσφιξη υποστυλωμάτων υπό μορφή μανδυών.

Στα μειονεκτήματα τους περιλαμβάνονται η έλλειψη κανονισμών, αλλά αυτό έχει αρχίσει να αλλάζει λόγω της ευρείας διάδοσης τους πλέον, η κακή συμπεριφορά τους σε συνθήκες πυρκαγιάς και υψηλών θερμοκρασιών, το υψηλό κόστος, και ανάγκη εξειδίκευσης του συνεργείου που τα τοποθετεί [4], [42], [43].



Εικόνα 3-23: Εργασίες τοποθέτησης φύλλων FRP σε πλάκα και δοκό για καμπτική ενίσχυση (προετοιμασία επάλειψη επιφάνειας με εποξική ρητίνη και τοποθέτηση στρώσεων πολυμερούς)

3.6 Διατμητικοί σύνδεσμοι – Αγκύρια

Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι ακυρώνονται σε στοιχεία από Ο.Σ. και με βάση το είδος του φορτίου που καταπονούνται διακρίνονται σε βλήτρα (όταν καταπονούνται σε διάτμηση) και σε αγκύρια (όταν παραλαμβάνουν αξονικά φορτία) (Εικόνα 3-24). Μπορούν να αγκυρώσουν στο υφιστάμενο σκυρόδεμα είτε με μηχανικό είτε με χημικό τρόπο. Στην πράξη χρησιμοποιούνται είτε βιομηχανοποιημένα αγκύρια και βλήτρα, είτε κομμάτια ράβδων οπλισμού ή διατομών δομικού χάλυβα που ακυρώνονται χημικά σε σπές που διανοίγονται στο σκυρόδεμα, ενώ η αγκύρωση τους γίνεται κατά κανόνα χημικά με εποξειδικές ρητίνες. Για την σωστή και αποτελεσματική πάκτωση τους στο υφιστάμενο σκυρόδεμα απαιτείται ο προσεκτικός καθαρισμός της τρύπας με πιο ενδεδειγμένη μέθοδο την αναρρόφηση σκόνης από το εσωτερικό. Επίσης προσοχή πρέπει να δίνεται στην πλήρωση της τρύπας με ρητίνη ώστε να μην μένει κενό μεταξύ του κορμού του συνδέσμου και των τοιχωμάτων της οπής, γι' αυτό απαιτείται η κατάλληλη ποσότητα ρητίνης [4]. Οι μορφές αστοχίας των αγκυρίων και των βλήτρων αναφέρονται συνοπτικά παρακάτω [33]:

Τα αγκύρια παρουσιάζουν τρεις μορφές αστοχίας:

1. Διαρροή του εφελκόμενου χάλυβα
2. Απόσχιση του σκυροδέματος
3. Ολίσθηση του αργυρίου

Τα βλήτρα αστοχούν ως εξής:

1. Αστοχία του χάλυβα του βλήτρου
2. Αστοχία σκυροδέματος με τη μορφή απόσχισης ενός κωνικού τμήματος
3. Αστοχία σκυροδέματος περιμετρικά του βλήτρου.



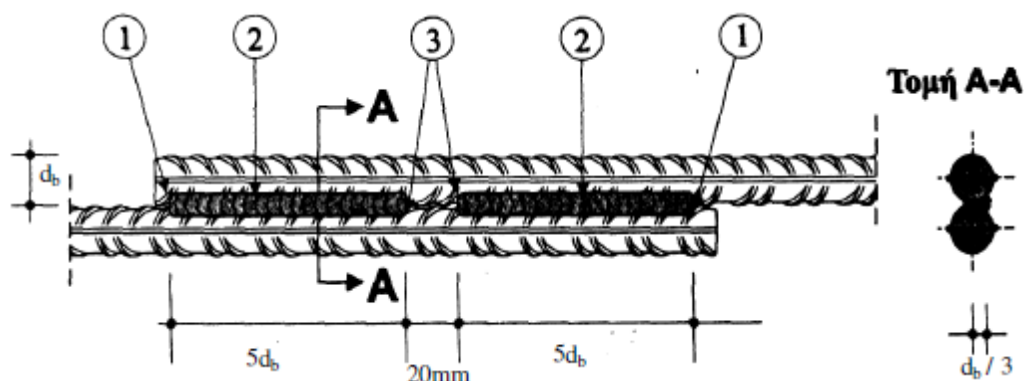
Εικόνα 3-24: Τοποθέτηση βλήτρων [33]

3.7 Αγκυρώσεις και συγκολλήσεις νέων ράβδων οπλισμού

Έχουν ήδη αναφερθεί στην παράγραφο 2.2.1.4 για την αστοχία υποστρωμάτων λόγω μη επαρκούς λεπτομέρειας μάτισης, τρόποι αγκύρωσης και συγκόλλησης σε υφιστάμενο οπλισμό. Αυτές οι ματίσεις, αγκυρώσεις και αλληλοκαλύψεις οπλισμού δεν χρησιμεύουν μόνο στην κατασκευή των στοιχείων από Ο.Σ., αλλά βρίσκουν συχνά εφαρμογή και σε πρακτικές ενισχύσεων στοιχείων σκυροδέματος. Αγκυρώσεις νέων οπλισμών και συνδέσεις παλαιών σε νέους πραγματοποιούνται συχνά σε εφαρμογές ενισχύσεων αντοχής δομικών στοιχείων.

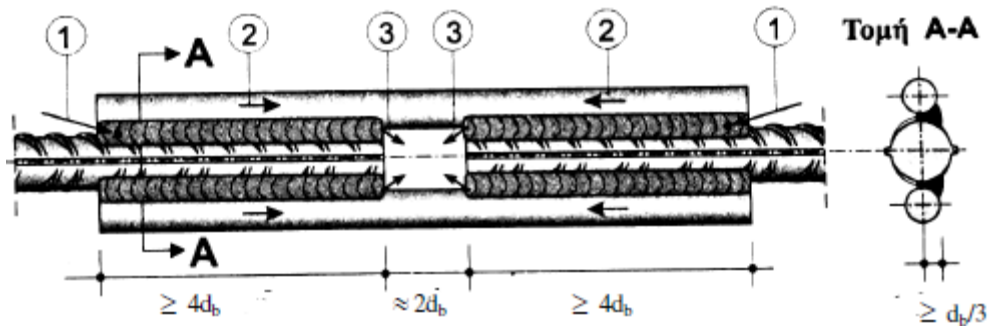
Οι αγκυρώσεις χαλύβδινων ράβδων οπλισμού σε υφιστάμενο σκυρόδεμα για σκοπούς ενισχύσεων πραγματοποιούνται με χημικό τρόπο χρησιμοποιώντας εποξειδικές ρητίνες. Οι εργασίες και τα σημεία προσοχής είναι τα ίδια όπως για τις τοποθετήσεις αγκυρίων και βλήτρων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Για τις συγκολλήσεις νέων οπλισμών σε παλιούς πρέπει να εφαρμόζονται οι οδηγίες του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού [4]. Για να μπορούν οι ράβδοι να συγκολληθούν μεταξύ τους πρέπει να είναι κατασκευασμένες από χάλυβα με δυνατότητα συγκολλησιμότητας, κάτι που εξαρτάται από το ποσοστό άνθρακα που δεν πρέπει να ξεπερνά ένα συγκεκριμένο όριο. Υπό την προϋπόθεση επομένως ότι οι ράβδοι μπορούν να συγκολληθούν, εφαρμόζεται ηλεκτροσυγκόλληση με δύο ραφές από τη μία τους πλευρά, με διάκενο μεταξύ τους 20mm και μήκος συγκόλλησης τουλάχιστον 5d, όπου d λαμβάνεται η μικρότερη διάμετρος μεταξύ των ράβδων που συγκολλούνται [4] (βλ. **Εικόνα 3-25**).



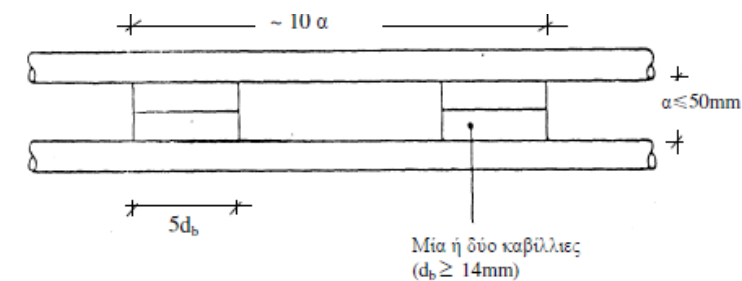
Εικόνα 3-25: Συνκόλληση ράβδων οπλισμού κατά παράθεση [4]

Ορισμένες φορές μπορεί να χρειαστεί οι οπλισμοί να μην εμφανίζουν εκκεντρότητα ο ένας με τον άλλο, ωστόσο από τον κανονισμό τεχνολογίας οπλισμών απαγορεύεται η μετωπική συγκόλληση, δηλαδή συγκόλληση μεταξύ ακραίας διατομής της μίας ράβδου στην αντίστοιχη της άλλης. Αυτό που επιτρέπεται για να επιτευχθεί η μηδενική εκκεντρότητα είναι η μέθοδος συγκολλήσεων σε λωρίδες, όπου δυο τμήματα ράβδων μήκους 10d συγκολλούνται συμμετρικά στην παλιά και νέα ράβδο των οποίων η συνέχεια πρέπει να αποκατασταθεί με μη έκκεντρο τρόπο με μήκος συγκόλλησης 4d τουλάχιστον [4] (βλ. **Εικόνα 3-26**).

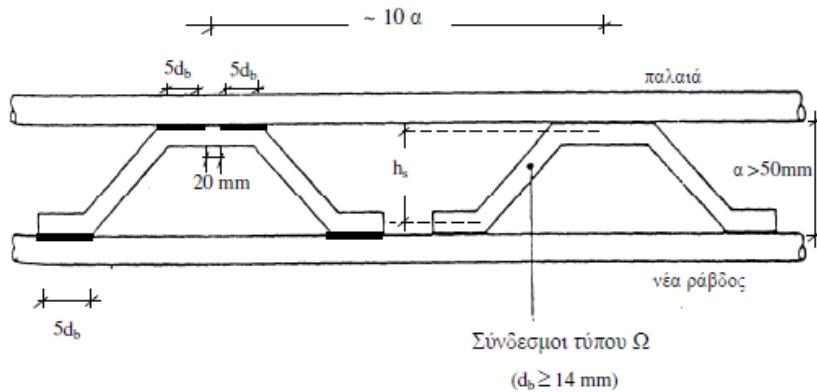


Εικόνα 3-26: Συγκόλληση ράβδων οπλισμού με λωρίδες [4]

Όταν οι ράβδοι που πρέπει να συγκολληθούν βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους και δεν υπάρχει η δυνατότητα να μετακινηθούν ώστε να έρθουν σε επαφή, χρησιμοποιούνται μεταλλικοί σύνδεσμοι που συγκολλούνται αυτοί και στις δυο ράβδους και έτσι μέσω αυτών των παρεμβλημάτων καλύπτεται η απόσταση. Όταν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος επιδιώκεται ο χάλυβας των παρεμβλημάτων να είναι ίδιας ποιότητας με τις ράβδους και εννοείται να είναι συγκολλησίμος. Τα παρεμβλήματα μπορεί να είναι είτε εύκαμπτα σε περίπτωση που η απόσταση μεταξύ των ράβδων είναι παραπάνω από 50mm, είτε δύσκαμπτα όταν η απόσταση μεταξύ των ράβδων είναι μικρότερη από 50mm, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3-27 που ακολουθεί [4].



(α) ΔΥΣΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ



(β) ΕΥΚΑΜΠΤΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

Εικόνα 3-27: Παρεμβλήματα ράβδων [4]

Γενικά για τις συγκολλήσεις ράβδων υπάρχουν ορισμένα σημεία που πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή από τον μηχανικό που αναλαμβάνει να περατώσει εφαρμογές επεμβάσεων [4]:

- Οι συγκολλήσεις παλιών σε νέες ράβδους πρέπει να γίνονται από εξειδικευμένους τεχνίτες που έχουν εμπειρία και ειδικευση σε συγκολλήσεις σε φέροντα στοιχεία και όχι μόνο σε εφαρμογές μικρών εργασιών όπως κάγκελα, πόρτες κτλ..
- Ο χάλυβας που συγκολλάται χάνει σε ολκιμότητα αφού παρουσιάζει μικρότερη παραμόρφωση αστοχίας από τον κανονικό.
- Σε περίπτωση που οι παλιές ράβδοι είναι σκουριασμένες, με κατάλληλα μέτρα (απομάκρυνση της σκουριάς, συγκόλληση πάνω στο υγιές τμήμα των ράβδων) μπορεί να συγκολληθούν με νέες).
- Τα ηλεκτρόδια που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκόλληση πρέπει να είναι συμβατά με τις διατάξεις του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού, να έχουν επένδυση ρουτιλίου και έχουν διάμετρο το 1/5 της διαμέτρου της ράβδου που θα συγκολληθεί.

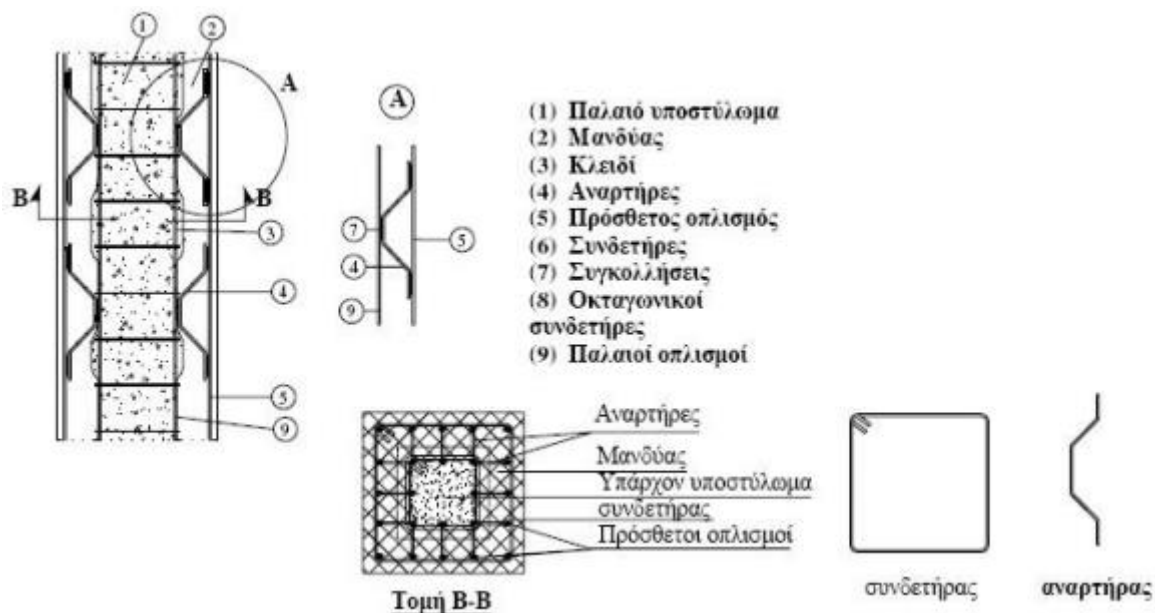
3.8 Μανδύες

Οι μανδύες χρησιμοποιούνται για τις ενισχύσεις μεμονωμένων δομικών στοιχείων σκυροδέματος με μεγαλύτερη εφαρμογή σε υποστυλώματα, τοιχώματα, κόμβους δοκών – υποστυλωμάτων και δοκούς. Ουσιαστικά με αυτή την τεχνική γίνεται αύξηση της διατομής του δομικού στοιχείου (σε αντίθεση με τις στρώσεις από χαλύβδινα ελάσματα και φύλλα FRP που επεξηγήθηκαν στην παράγραφο 3.5) με νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς, και νέα στρώση σκυροδέματος, δημιουργώντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο [44]. Κατά μεγάλη πλειοψηφία στις εφαρμογές ενισχύσεων εφαρμόζεται σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων που έχουν υποστεί σοβαρές βλάβες και απαιτείται αύξηση της δυσκαμψίας της αντοχής και της πλαστιμότητας, και για αυτό το δομικό στοιχείο θα γίνει ανάλυση των μανδύων στην συγκεκριμένη παράγραφο.

Υπάρχει η δυνατότητα για εφαρμογή μανδύα σε όλο το ύψος του υποστυλώματος οπότε και χαρακτηρίζεται ως ολικός μανδύας, είτε σε ένα συγκεκριμένο σημείο καθ' ύψος του υποστυλώματος οπότε και χαρακτηρίζεται ως τοπικός μανδύας. Επίσης μια άλλη κατηγοριοποίηση μπορεί να γίνει αν ο μανδύας περιβάλλει όλη τη διατομή του υποστυλώματος (κλειστός μανδύας) (Εικόνα 3-28), ή ένα κομμάτι της διατομής (ανοιχτός μανδύας), όπως συμβαίνει σε υποστυλώματα που βρίσκονται στα όρια του οικοπέδου με το διπλανό.

Τα είδη μανδύων που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές ενίσχυσης υποστυλωμάτων από Ο.Σ. είναι τα παρακάτω [44]:

- Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα (για πάχος μανδύα μεγαλύτερο από 8cm)
- Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (για πάχος που δεν υπερβαίνει τα 10cm)
- Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα (για εξαιρετικά μικρό πάχος)
- Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα (όταν υπάρχει πυκνός διαμήκεις οπλισμός)



Εικόνα 3-28: Χαρακτηριστικά κλειστού μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος

Τα βήματα που ακολουθούνται για την κατασκευή κλειστών μανδύων οπλισμένου σκυροδέματος σε υποστυλώματα είναι τα ακόλουθα:

1. Αποφόρτιση των δοκών και των πλακών που συντρέχουν στο υποστύλωμα, και συνεπώς αποφόρτιση του ίδιου του υποστυλώματος με τοποθέτηση προσωρινών υποστυλώσεων (σκαλωσιές - **Εικόνα 3-29**).
2. Απομάκρυνση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος και επισκευή τοπικών ζημιών (π.χ. λυγισμένοι οπλισμοί).
3. Αποκάλυψη παλιών οπλισμών σε θέσεις που προβλέπεται συγκόλληση με τους νέους (μόνο αν κάτι τέτοιο εμπεριέχεται στον σχεδιασμό).
4. Διάνοιξη και προετοιμασία οπών σε θέσεις κατάλληλες για την αγκύρωση των νέων ράβδων οπλισμού και για εισαγωγή βλήτρων.
5. Εκτράχυνση της επιφάνειας του σκυροδέματος με κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να απομακρυνθεί η επιδερμική στρώση και να φανούν τα αδρανή.
6. Καθαρισμός της επιφάνειας του σκυροδέματος με πεπιεσμένο αέρα.
7. Αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών του μανδύα στα άκρα τους με χημικό τρόπο (εποξειδικές κόλλες). Σε περίπτωση που τα υποστυλώματα είναι στο κατώτερο επίπεδο του κτηρίου γίνεται αγκύρωση πάνω στα πέδιλα (**Εικόνα 3-30**).
8. Αγκύρωση βλήτρων με χημικό η μηχανικό τρόπο.
9. Τοποθέτηση και συγκόλληση των παρεμβλημάτων για τη σύνδεση παλιών και νέων οπλισμών.
10. Τοποθέτηση συνδετήρων.
11. Καθαρισμός όλων των επιφανειών ξανά με αέρα ή νερό υπό πίεση.
12. Διαβροχή της επιφάνειας του παλιού σκυροδέματος τουλάχιστον 6 ώρες πριν τη σκυροδέτηση του νέου σκυροδέματος.
13. Σκυροδέτηση του μανδύα.



Εικόνα 3-29: Αποφόρτιση υποστυλώματος



Εικόνα 3-30: Αγκύρωση των διαμήκων οπλισμών μανδύα μέσα στο πέδιλο

Όταν η ενίσχυση του δομικού στοιχείου έχει στόχο την αύξηση της διατμητικής αντοχής ή της ολκιμότητας δίχως την αύξηση της καμπτικής αντοχής (π.χ. για να προηγηθεί η καμπτική της διατμητικής αστοχίας – ισχυρότερα υποστυλώματα από δοκούς) κατασκευάζεται ο μανδύας στο υποστύλωμα χωρίς σύνδεση με τις δοκούς που συντρέχουν σε αυτό, και ο μανδύας σταματά 5-8 cm χαμηλότερα από το επίπεδο της δοκού.

Ορισμένα σημεία που χρειάζονται προσοχή κατά την κατασκευή μανδύων είναι τα ακόλουθα [4]:

- Το ελάχιστο πάχος μανδύα είναι 50mm για εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, 80-120mm για έγχυτο σκυρόδεμα και μια νέα σειρά οπλισμών και τουλάχιστον 120 mm για έγχυτο σκυρόδεμα και δύο νέες σειρές οπλισμών.
- Οι ελάχιστοι νέοι διαμήκεις οπλισμοί και συνδετήρες ορίζονται από τις κατασκευαστικές διατάξεις υποστυλωμάτων στον Κανονισμό Τεχνολογίας Σκυροδέματος (τουλάχιστον $\varnothing 8/75$).
- Η αντοχή του νέου σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον μια κατηγορία μεγαλύτερη από αυτή του σκυροδέματος του παλιού υποστυλώματος.
- Το μέγιστο εμβαδό της διατομής του μανδύα δεν πρέπει να ξεπέρα το διπλάσιο του αρχικού εμβαδού του υποστυλώματος.
- Στην περίπτωση που χρειάζεται επισκευή και του κόμβου επεκτείνεται ο μανδύας και στον γειτονικό όροφο (**Εικόνα 3-31**).
- Ο μανδύας πρέπει να τερματίζει σε απόσταση τουλάχιστον μιάμιση φορά την μεγαλύτερη διάσταση του υποστυλώματος, μακριά από το σημείο της βλάβης.



Εικόνα 3-31: Επέκταση του μανδύα υποστυλώματος στον παραπάνω όροφο

4 Μέθοδοι αποτίμησης των Δομικών Στοιχείων – Ποιοτικός Έλεγχος Σκυροδέματος

Με βάση τον κύκλο εργασιών στον κατασκευαστικό τομέα στην Ελλάδα, τα κυριότερα δομικά υλικά είναι τα εξής [45]:

- Χάλυβα – Σιδήρου
- Αλουμινίου
- Τσιμέντου
- Σκυροδέματος
- Κεραμοποιίας
- Χρωμάτων
- Παραγωγή Άσβεστου, Κονιαμάτων, Πυρίμαχων και μη κεραμικών
- Υαλοπινάκων

Με τη σήμανση CE διασφαλίζεται ότι τα προϊόντα αυτά πληρούν συγκεκριμένες προδιαγραφές κατά την παραγωγή τους και επομένως έχουν ένα επίπεδο ποιότητας. Πέρα από την εξασφάλιση της ποιότητας μέσω του ποιοτικού ελέγχου των υλικών που προορίζεται να χρησιμοποιηθούν σε υπό ανέγερση κατασκευές, είναι συχνή η ανάγκη της εκτίμησης και προσδιορισμού των αντοχών των υλικών σε υπάρχουσες κατασκευές ιδίως για εφαρμογές ενισχύσεων και επεμβάσεων.

Για την εκτίμηση της αντοχής του σκληρημένου σκυροδέματος μπορούν να εφαρμοστούν δύο ευρύτεροι τύποι ελέγχων. Οι καταστροφικοί έλεγχοι, δηλαδή η πυρηνοληψία που είναι και ο πλέον αξιόπιστος ποιοτικός έλεγχος, ο οποίος βασίζεται στην διάτρηση, αποκοπή και εργαστηριακό έλεγχο κυλινδρικών δοκιμίων από το σκυρόδεμα. Ο δεύτερος τύπος αφορά τους μη καταστροφικούς – έμμεσους ελέγχους, όπως του κρουσίμετρου, των υπερήχων και της εξόλκευσης ήλων, όπου η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος εκτιμάται έμμεσα μέσω της συσχέτισης της με κάποια άλλη ιδιότητα του (επιφανειακή σκληρότητα, πυκνότητα κ.α.).

Οι μέθοδοι του μη καταστροφικού ελέγχου του σκυροδέματος έχουν εν γένη μικρότερη αξιοπιστία σε σχέση με την πυρηνοληψία, όμως παρέχουν την δυνατότητα γρήγορης, με μικρότερο κόστος και το κυριότερο χωρίς την δημιουργία τοπικών βλαβών, εκτίμηση της αντοχής του. Στον ποιοτικό έλεγχο μετάλλων, οι μέθοδοι των μη καταστροφικών ελέγχων είναι αποδεκτή και διαδεδομένη πρακτική (π.χ. ραδιογραφία για ανίχνευση φθορών σε μεταλλικούς σωλήνες, υπέρηχοι για ανίχνευση ελαττωματικών περιοχών σε συγκολλήσεις δομικών χαλύβων κ.α.) και ακολουθεί εθνικούς και διεθνείς κανονισμούς [45]. Αντίθετα στον έλεγχο του σκυροδέματος, η ανάπτυξη και εφαρμογή αυτών των μεθόδων είναι σχετικά νέα. Η αργή τους ανάπτυξη σε σχέση με τις αντίστοιχες μη καταστροφικές μεθόδους για τον χάλυβα, αποδίδεται στο γεγονός ότι το σκυρόδεμα σε αντίθεση με τον χάλυβα, είναι ανομοιογενές υλικό με διαφορετικές πρώτες ύλες ανά εφαρμογή και μεταβλητή σύνθεση. Επίσης, σε αντίθεση με τα χαλύβδινα στοιχεία που κατασκευάζονται σε βιομηχανικό περιβάλλον, το σκυρόδεμα παρασκευάζεται σε σχετικά μικρού μεγέθους εργοστάσια έτοιμου σκυροδέματος, τα οποία συχνά οργανώνονται για να παρέχουν σκυρόδεμα επί τόπου στα έργα. Η σκυροδέτηση των κατασκευών από Ο.Σ., εκτός από εφαρμογές προκατασκευασμένου σκυροδέματος, γίνεται στο έργο από εργατικό προσωπικό όχι

απαραίτητα εξειδικευμένο και το τελικό προϊόν είναι μεταβλητό λόγω και της φύσης του αλλά και της διαδικασίας παρασκευής και εφαρμογής του. Εξαιτίας όλων αυτών των παραγόντων, η ανάπτυξη των μη καταστροφικών μεθόδων ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος και η ένταξη τους σε κανονιστικά πλαίσια ήταν αργή, όμως οι ίδιοι αυτοί παράγοντες καθιστούν την εφαρμογή αυτών των μεθόδων πολλές φορές ως επιτακτική.

Στις μέρες μας παρά τα μειονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι μη καταστροφικές μέθοδοι έχουν εξελιχθεί και χρησιμοποιούνται, ειδικά όσες έχουν λάβει πιστοποιήσεις από διεθνής οργανισμούς (ISO, ASTM, DIN, BS, EC). Εν γένη είναι διαδεδομένες δύο κατηγορίες μη καταστροφικού ελέγχου για το σκυρόδεμα [45]. Η πρώτη αφορά μεθόδους προσδιορισμού της αντοχής του (επιφανειακή σκληρότητα – κρουσίμετρο, αντίσταση σε διείσδυση, αντίσταση σε εξόλκευση ήλου κ.α.), κάποιες από τις οποίες δεν είναι εντελώς μη καταστροφικής φύσης αφού προκαλούν μικρές επιφανειακές κυρίως βλάβες, οι οποίες όμως είναι πολύ πιο μικρές από αυτές της μεθόδου της πυρηνοληψίας. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τεχνικές με τις οποίες μετρούνται άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος όπως το ποσοστό υγρασίας, η πυκνότητα, το πάχος, την διαπερατότητα, και μέθοδοι που παρέχουν πληροφορίες για τους χάλυβες οπλισμού (θέση, αριθμός, μέγεθος ποσοστό διάβρωσης). Παρακάτω θα αναλυθούν εκτενέστερα οι μέθοδοι του Κρουσίμετρου (4.1), η μέθοδος της Εξόλκευσης Ήλου (4.2) και η μέθοδος των Υπερήχων (4.3). Η άμεση, καταστροφική μέθοδος της πυρηνοληψίας (διάτρηση και εξαγωγή «καρότων») αναλύεται στην παράγραφο 4.4.



Εικόνα 4-1: Μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος [46]. Από πάνω και ωρολογιακά : α) Πυρηνοληψία από πλάκα, β) Εφαρμογή κρουσίμετρου, γ) Μέθοδος εξόλκευσης ήλου, δ) Μέτρηση βάθους ρωγμής με υπερήχους, ε) Έλεγχος ενανθράκωσης σκυροδέματος με ψεκάσμο διαλύματος φαινολοφθαλείνης

4.1 Μέθοδος του κρουσίμετρου

Με τη μη καταστροφική μέθοδο του κρουσίμετρου, γίνεται εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με βάση την επιφανειακή σκληρότητα του. Η μέθοδος βασίζεται στην αναπήδηση μιας μεταλλικής σφαίρας στην επιφάνεια του σκυροδέματος, με το ύψος της αναπήδησης (συντελεστής αναπήδησης R) να σχετίζεται με την επιφανειακή σκληρότητα του υλικού και αυτή με τη σειρά της με την αντοχή του. Με αυτή τη μέθοδο γίνεται ποιοτικός έλεγχος της αντοχής του σκυροδέματος για βάθος έως 3cm, και για να εξαχθούν πλήρως αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει να συνδυαστεί με άλλες πειραματικές μεθόδους, όπως π.χ. την πυρηνοληψία και την μέθοδο των υπερήχων. Για την επίτευξη ακρίβειας κατά τον υπολογισμό του συντελεστή αναπήδησης R χρειάζονται 10-15 μετρήσεις από το ίδιο δοκίμιο για τον προσδιορισμό της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της και τα σημεία μέτρησης θα πρέπει να απέχουν τουλάχιστον 2.5cm και τουλάχιστον 3cm από ακμές, ενώ το στοιχείο σκυροδέματος στο οποίο γίνεται η κρουσιμέτρηση πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 10cm. Στο σημείο που θα παρθεί η μέτρηση με το ειδικό εργαλείο, πρέπει να έχει γίνει προεργασία καθαρισμού από τον σοβά και τις μιογιές και να έχει γίνει λείανση της επιφάνειας.

Το εργαλείο και η τεχνική του κρουσίμετρου αναπτύχθηκε από τον Ελβετό μηχανικό Ernst Schmidt το 1948. Ένα σύγχρονο κρουσίμετρο (Εικόνα 4-2) ζυγίζει περίπου 1.8kg και μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε εργαστήριο όσο και στο πεδίο. Τα κύρια μέρη του είναι το κυρίως σώμα του εργαλείου, το έμβολο, η μεταλλική μάζα και το ελατήριο. Πάνω στο κρουσίμετρο διατίθενται καμπύλες βαθμονόμησης από τον κατασκευαστή για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος με βάσει τις ενδείξεις του R. Αυτές οι καμπύλες έχουν δημιουργηθεί από χρήση του οργάνου σε στάνταρ κυβικά δοκίμια, όμως η χρήση τους δεν συνίσταται γιατί το υλικό των δοκιμίων και οι συνθήκες της μέτρησης μπορεί να μην είναι ίδιες με αυτές που συναντά κάποιος σε μια εφαρμογή κρουσιμέτρησης.



Εικόνα 4-2: Κρουσίμετρο

Οι μετρήσεις με κρουσίμετρο σε δοκίμια σκυροδέματος είναι αξιόπιστες αν έχουν περάσει 14 μέρες από τη σκυροδέτηση του, και έως τρεις μήνες μετά από αυτή. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την μέτρηση με κρουσίμετρο είναι οι ακόλουθοι [45] [1]:

1. Τύπος τσιμέντου

Τυπικά ο τύπος τσιμέντου δεν επιδρά σε μεγάλο ποσοστό στον συντελεστή αναπήδησης.

2. Υγρασία

Το υψηλό ποσοστό υγρασίας στο σκυρόδεμα από το οποίο λαμβάνονται οι μετρήσεις έχει ως αποτέλεσμα την μεγάλη μείωση του μετρούμενου συντελεστή αναπήδησης σε σχέση με τον αντίστοιχο που θα μετρούσαν σε ξηρές συνθήκες, γι' αυτό και οι μετρήσεις σε τέτοια δοκίμια πρέπει να αποφεύγονται.

3. Θερμοκρασία

Οι μετρήσεις από τα δοκίμια πρέπει να λαμβάνονται όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι στο εύρος 10-30°C. Για θερμοκρασίες κοντά στο 0°C οι ενδείξεις του κρουσίμετρου αναμένονται αυξημένες ενώ σε πιο θερμές μέρες αναμένεται μείωση του R.

4. Τύπος και γεωμετρία των δοκιμίων

Στην περίπτωση που το κρουσίμετρο χρησιμοποιείται στο εργαστήριο ο τύπος των δοκιμίων, δηλαδή αν είναι κυλινδρικά ή κυβικά, δεν επηρεάζει την μέτρηση του συντελεστή αναπήδησης. Αυτό που παίζει ρόλο είναι η επιφάνεια εφαρμογής της κεφαλής του οργάνου, η οποία πρέπει να είναι λεία και καθαρή. Εννοείται ότι οποιαδήποτε μετακίνηση του δοκιμίου θα επηρεάσει το αποτέλεσμα γι' αυτό το λόγο στο εργαστήριο τα δοκίμια πρέπει να συγκρατούνται σταθερά.

5. Ενανθράκωση

Σε περιπτώσεις που το σκυρόδεμα είναι μεγάλης ηλικίας και ιδιαίτερα όταν είναι εκτεθειμένο σε περιβάλλον με έντονη παρουσία CO₂ (βιομηχανικές περιοχές, κέντρα πόλεων με οδικές αρτηρίες), αναμένεται να είναι ενανθρακωμένο. Η διείσδυση του διοξειδίου του άνθρακα στο σκυρόδεμα μέσω των τριχοειδών πόρων και η αντίδραση του με το υδροξείδιο του ασβεστίου (Ca(OH)₂), το οποίο υπάρχει μέσα στον τσιμεντοπολτό ως παράγωγο της πήξης του, ισοδυναμεί με δημιουργία ανθρακικού ασβεστίου (CaCO₃) και την έναρξη της ενανθράκωσης. Μέσω της ενανθράκωσης το βασικό περιβάλλον του σκυροδέματος που προστατεύει τον οπλισμό, μεταβάλλεται σε όξινο και ξεκινά η διάβρωση του οπλισμού που αντιδρά με το νερό των πόρων παρουσία οξυγόνου. Σε εφαρμογές που το σκυρόδεμα παρουσιάζει μεγάλο βαθμό ενανθράκωσης, οι μετρήσεις του κρουσίμετρου δεν θεωρούνται αξιόπιστες, και για να γίνουν σωστές μετρήσεις σε τέτοια ενανθρακωμένα δοκίμια πρέπει να καθαριστούν από το ενανθρακωμένο τμήμα και έπειτα να εφαρμοστεί το κρουσίμετρο. Εξαιτίας της ενανθράκωσης οι μετρήσεις αναμένονται έως και 50% υψηλότερες και επομένως η αντοχή $f_c(R)$ που θα προσδιοριστεί από το κρουσίμετρο θα είναι πολύ διαφορετική σε σχέση με την συμβατική αντοχή f_c του δοκιμίου. Σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει άλλη επιλογή από τη μέτρηση σε ενανθρακωμένα στοιχεία σκυροδέματος, ο κανονισμός ASTM C805 1985 προτείνει την αφαίρεση μιας στρώσης 5mm από την εξωτερική επιφάνεια. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η εξίσωση του Τρέζου για την μεταβολή της αντοχής με βάση το βάθος της ενανθράκωσης:

$$f_c(R) / f_c(\text{act}) = 1 + 0.04 \cdot x$$

όπου :

x = βάθος ενανθράκωσης σε mm

$f_c(R)$ = η αντοχή του σκυροδέματος προσδιοριζόμενη από το κρουσίμετρο σε ενανθρακωμένα δοκίμια

$f_c(\text{act})$ = η πραγματική αντοχή

6. Διεύθυνση κρουσιμέτρησης

Ο συντελεστής αναπήδησης R επηρεάζεται σημαντικά από τη διεύθυνση της μέτρησης αν δηλαδή το όργανο τοποθετείται οριζόντια ή κάθετα προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Με βάση τη γωνία μέτρησης πρέπει να γίνονται οι κατάλληλες διορθώσεις των μετρήσεων με βάση τις οδηγίες που βρίσκονται στο εγχειρίδιο χρήσης του οργάνου (Πίνακας 4-1).

R	Διόρθωση για γωνίες κλίσεως (+ προς τα πάνω, - προς τα κάτω)			
	+ 90	+ 45	- 45	- 90
10			+ 2,4	+ 3,2
20	- 5,4	- 3,5	+ 2,5	+ 3,4
30	- 4,7	- 3,1	+ 2,3	+ 3,1
40	- 3,9	- 2,6	+ 2,0	+ 2,7
50	- 3,1	- 2,1	+ 1,6	+ 2,2
60	- 2,3	- 1,6	+ 1,3	+ 1,7

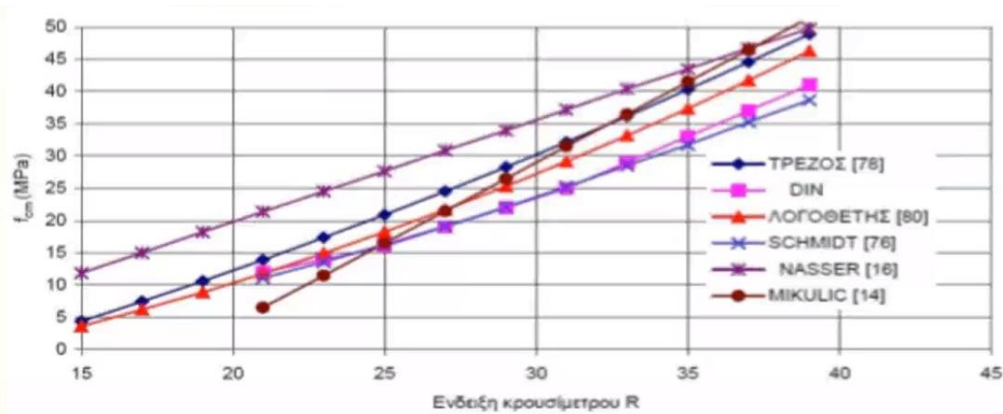
Πίνακας 4-1: Διορθώσεις των μετρήσεων με βάση τη γωνία μέτρησης

Ανάλογα με τις τιμές του συντελεστή αναπήδησης R μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα για την ποιότητα του σκυροδέματος με βάση τον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-2):

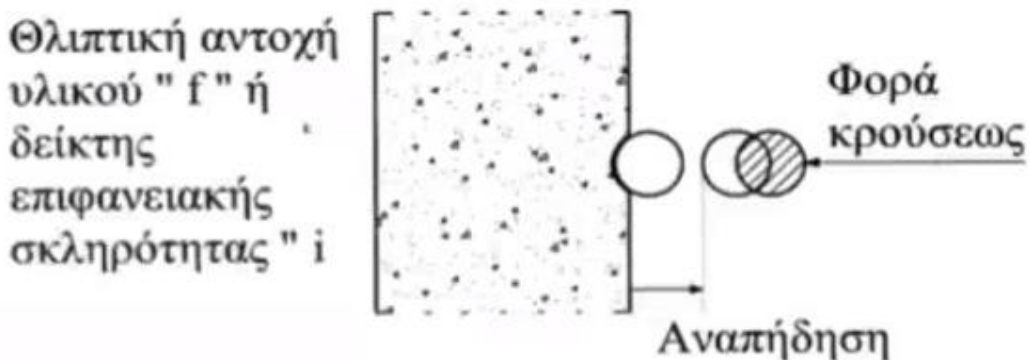
A/A	Δείκτης κρουσιμέτρησης R	Ποιότητα
1	> 45	Εξαιρετική
2	35 – 45	Καλή
3	25 – 35	Μέτρια
4	20 – 25	Κακή
5	< 20	Απόμειξη / Ρωγμές

Πίνακας 4-2: Συσχέτιση ποιότητας σκυροδέματος με τις τιμές του συντελεστή επιφανειακής σκληρότητας (αναπήδησης) R

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η εφαρμογή μόνο του κρουσίμετρου για την εύρεση της αντοχής του σκυροδέματος δεν είναι αξιόπιστη και όταν γίνεται μόνο με βάση τις μετρήσεις από το όργανο και της χρήσης των καμπύλων του κατασκευαστή, οι εξαγόμενες τιμές αποτελούν απλές ενδείξεις των αντοχών. Για αξιόπιστα αποτελέσματα πρέπει το κρουσίμετρο να συνδυάζεται και με άλλες μεθόδους άμεσες ή έμμεσες. Τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αναμένονται από τον συνδυασμό πυρηνοληψίας και κρουσίμετρου όπου με βάση τους κανονισμούς (ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΦΕΚ 42/Β/20-01-2012 & ΦΕΚ 2187/Β/5-09-2013)) πρέπει να λαμβάνεται συγκεκριμένος αριθμός πυρήνων από δομικά στοιχεία σκυροδέματος μιας περιοχής της κατασκευής (π.χ. ανά όροφο) και σε αυτά τα δοκίμια να λαμβάνονται 10-15 μετρήσεις κρουσίμετρου με τις οποίες αφού γίνει θραύση και εξαγωγή των αντοχών των δοκιμίων, θα γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου για τις συνθήκες και το σκυρόδεμα του υπόψιν έργου (Εικόνα 4-3). Στη συνέχεια μπορεί να εφαρμοστεί το κρουσίμετρο για τον προσδιορισμό της αντοχής και άλλων δομικών στοιχείων που όμως βρίσκονται στην ίδια περιοχή με εκείνη που πάρθηκαν τα δοκίμια με τη χρήση της βαθμονομημένης καμπύλης.



Εικόνα 4-3: Καμπύλες συσχέτισης μέσης θλιπτικής αντοχής και ενδείξεως του κρουσίμετρου [47]



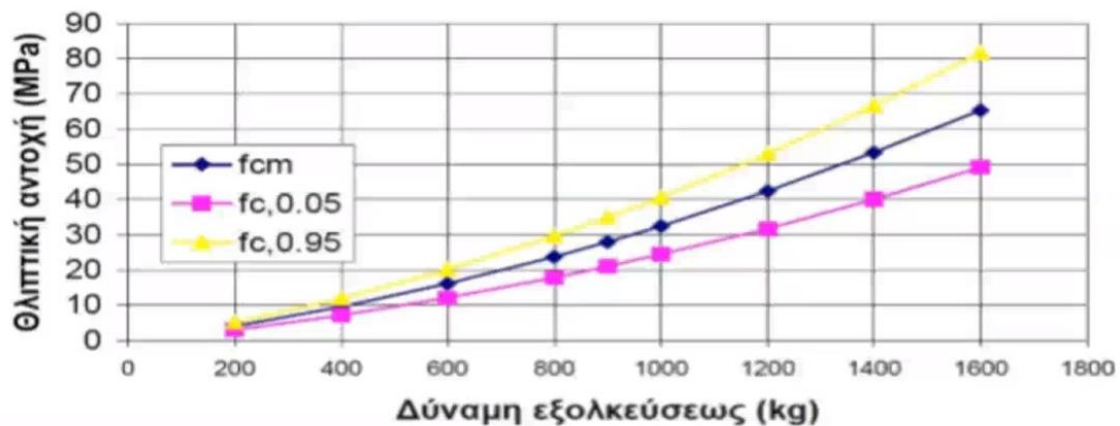
Εικόνα 4-4: Η αρχή της μεθόδου [47]

4.2 Μέθοδος εξόλκευσης ήλου

Πρόκειται για μια ημι – καταστροφική έμμεση μέθοδο εύρεσης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος σε καινούριες και υπό ανακαίνιση κατασκευές, μέσω της εξόλκευσης ενός ειδικού ήλου, η οποία αναπτύχθηκε από τον καθηγητή του ΕΜΠ Θ.Π.Τάσιο [47]. Η μέθοδος στηρίζεται σε έναν πυροδοτικό εκτοξευτή που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του σκυροδέματος, και από τον οποίο εκτοξεύεται ένας ειδικός πρότυπος ήλος με μήκος $l=4\text{cm}$ και διάμετρο $d=4\text{ cm}$. Ο ήλος κατά την εκτόξευση του εισάγεται μέσα στο σκυροδέμα και στη συνέχεια αφαιρείται από έναν ειδικό εξολκέα που έχει ενσωματωμένο δυναμόμετρο (Εικόνα 4-5). Από την ένδειξη του δυναμόμετρου μετρείται η δύναμη εξόλκευσης του ήλου από το σώμα του σκυροδέματος, και η δύναμη αυτή μεταφράζεται μέσω διαγραμμμάτων (καμπυλών συσχέτισης) σε θλιπτική αντοχή (Εικόνα 4-6). Για την εφαρμογή της μεθόδου στην επιφάνεια διείδυσης του ήλου πρέπει να έχει γίνει κατάλληλη προεργασία με την αφαίρεση του σοβά και άλλων πρόσθετων υλικών και την προσεκτική λείανση. Σε κάθε θέση πρέπει να γίνονται τουλάχιστον έξι επιτυχημένες δοκιμές σε απόσταση τουλάχιστον 100mm μεταξύ τους [47].



Εικόνα 4-5: Εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην τεχνική εξόλκευσης ήλου. Ειδικός εκτοξευτής με τους πρότυπους ήλους αριστερά και εξολκέας με δυναμόμετρο δεξιά



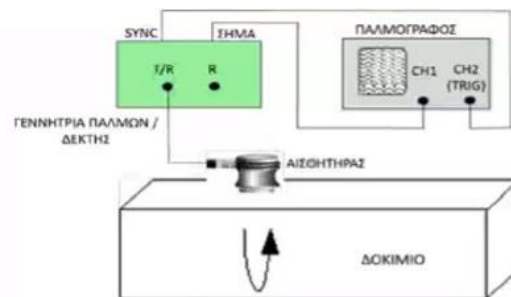
Εικόνα 4-6: Συσχέτιση δύναμης εξόλκευσης με την μέση θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος [47]

4.3 Μέθοδος των Υπερήχων

Η μέθοδος της μέτρησης της ταχύτητας υπερήχων διαμέσου των δομικών στοιχείων, χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ποιότητας του σκυροδέματος περίπου από τη δεκαετία του 1930. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να ανιχνευθούν εσωτερικές ρωγμές και άλλες βλάβες καθώς και εσωτερικές αλλαγές στο σκυρόδεμα όπως επιδείνωση των ιδιοτήτων του λόγω επιθετικού χημικού περιβάλλοντος ή ψύξης-απόψυξης. Επίσης μπορεί να γίνει εκτίμηση της αντοχής και του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος τόσο σε εργαστηριακά δοκίμια, όσο και στο πεδίο. Συνοπτικά η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των παρακάτω:

- Ομοιομορφία του σκυροδέματος
- Εντοπισμός ρωγμών και κοιλοτήτων
- Εκτίμηση μέτρου ελαστικότητας
- Υπολογισμός θλιπτικής αντοχής
- Αλλαγές στις ιδιότητες του σκυροδέματος με τον χρόνο
- Εκτίμηση του βάθους επιφανειακών ρωγμών

Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται ως μια πραγματικά μη καταστροφική μέθοδος, αφού χρησιμοποιούνται μηχανικά κύματα τα οποία δεν οδηγούν στην δημιουργία βλαβών στο στοιχείο το οποίο εξετάζεται. Ένα δοκίμιο μπορεί να εξεταστεί ξανά και ξανά στο ίδιο σημείο, κάτι που είναι χρήσιμο στην παρακολούθηση της συμπεριφοράς του σκυροδέματος μέσω των εσωτερικών δομικών αλλαγών που υφίσταται με την πάροδο του χρόνου.

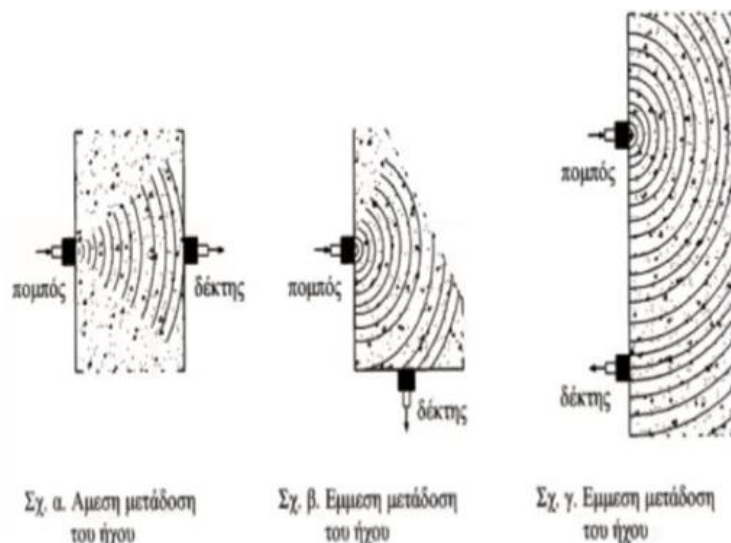


Εικόνα 4-7: Διάγραμμα συστήματος μέτρησης και καταγραφής της μεθόδου των υπερήχων (πάνω) & εφαρμογή της μεθόδου σε κυβικό δοκίμιο (κάτω)

Για την μέτρηση χρησιμοποιούνται δύο κρύσταλλοι που λειτουργούν ως ζεύγος μετατροπέων για τη μετάδοση (πομπός) και την λήψη (δέκτης) των κυμάτων (Εικόνα 4-7). Το όργανο επίσης περιλαμβάνει γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού παλμού, έναν ενισχυτή, μια ηλεκτρονική συσκευή χρονισμού για τη μέτρηση του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ της παραγωγής και της λήψης των παλμών, μια ράβδο βαθμονόμησης και μια λιπαντική ουσία. Η λιπαντική ουσία (π.χ. γράσο, βαζελίνη ή κάποιο άλλο παράγωγο πετρελαίου) εφαρμόζεται για την καλύτερη επαφή των κρυστάλλων πομπού και δέκτη στην εξωτερική επιφάνεια του στοιχείου, και επειδή η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων στο λιπαντικό είναι διαφορετική από την ταχύτητα διάδοσης στο σκυρόδεμα, πρέπει οι κρύσταλλοι να πιέζονται με μεγάλη δύναμη στην επιφάνεια [45]. Η συσκευή λειτουργεί με τον εξής τρόπο. Η γεννήτρια παράγει ηλεκτρικό ρεύμα που μεταβιβάζεται στον πομπό ο οποίος πάλλεται στη φυσική του συχνότητα και παράγει μηχανικά κύματα που διαδίδονται στο σκυρόδεμα ή την τοιχοποιία. Ένα ηλεκτρονικό χρονόμετρο ενεργοποιείται την ίδια στιγμή με την παραγωγή κυμάτων και τη στιγμή που τα κύματα φτάσουν στο δέκτη παύει να μετρά. Η μέτρηση του χρόνου διάδοσης (έστω T) εμφανίζεται στην οθόνη του οργάνου, και γνωρίζοντας το πάχος (έστω L) υπολογίζεται η ταχύτητα διάδοσης που ισούται με:

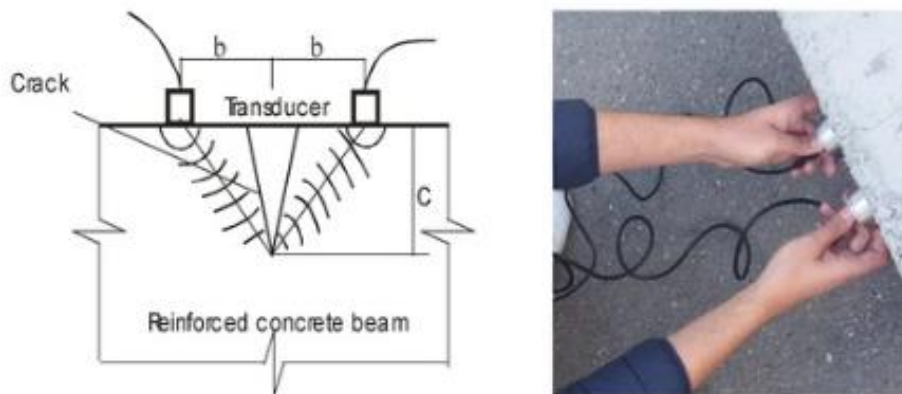
$$V=L/T$$

Ο πομπός παράγει κύματα σε συχνότητά 25-100 kHz, το οποίο είναι το προτεινόμενο εύρος συχνοτήτων για τον έλεγχο σκυροδέματος αν και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 150 kHz. Η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων έχει να κάνει με την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιείται το όργανο υπερήχων. Για δοκίμια μικρού μεγέθους με μικρή απόσταση διάδοσης κύματος ή για στοιχεία σκυροδέματος υψηλής αντοχής, χρησιμοποιούνται υψηλές συχνότητες (πάνω από 100 kHz), ενώ για μεγάλα δοκίμια με μεγάλη απόσταση διάδοσης κύματος και σκυροδέματα με μεγάλα αδρανή χρησιμοποιούνται χαμηλές συχνότητες (κάτω από 25 kHz). Η ταχύτητα μετάδοσης των κυμάτων στο σκυρόδεμα έχει τυπικά τιμές 3700-4200 m/s, επομένως για ένα στοιχείο πάχους 300mm, ο χρόνος μετάδοσης είναι 70-85 μs [47]. Άρα είναι εμφανές ότι το όργανο πρέπει να έχει υψηλή στάθμη ακρίβειας, να χρησιμοποιηθεί σωστά και να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν άλλες πηγές παραγωγής κυμάτων που τυχόν θα επηρεάσουν το στοιχείο που μετρείται (π.χ. κομπρεσέρ σε κάποιο άλλο σημείο της κατασκευής).



Εικόνα 4-8: Τρόποι εφαρμογής μεθόδου υπερήχων

Σημαντικό ρόλο στη μέτρηση είναι και ο σωστός προσδιορισμός της οδού διέλευσης των κυμάτων. Υπάρχουν τρεις τρόποι τοποθέτησης του πομπού και του δέκτη στο στοιχείο που δημιουργούν αντίστοιχα τρεις τρόπους μετάδοσης των κυμάτων, με βάση αυτή τη σχετική θέση πομπού και δέκτη. Αυτοί είναι η άμεση μετάδοση (α στην Εικόνα 4-8), η έμμεση μετάδοση (β στην Εικόνα 4-8), και η έμμεση – επιφανειακή μετάδοση (γ στην Εικόνα 4-8). Η τοποθέτηση των κρυστάλλων αντικριστά, που δημιουργεί την άμεση μετάδοση, είναι ο πλέον επιθυμητός τρόπος χρήσης του οργάνου γιατί έτσι μεταδίδεται το μέγιστο ποσοστό της παραγομένης ενέργειας. Ο δεύτερος τρόπος, όπου πομπός και δέκτης τοποθετούνται σε διαφορετικές επιφάνειες (σε περίπτωση που δεν υπάρχει πρόσβαση στο πίσω μέρος του στοιχείου), δεν παρέχει τόσο μεγάλη ακρίβεια, ωστόσο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αποδεκτά αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, προσοχή πρέπει να δίνεται έτσι ώστε οι δύο κρύσταλλοι να μην βρίσκονται πολύ μακριά μεταξύ τους αλλιώς ο παλμός μπορεί να εξασθενίσει μέσα στο σκυρόδεμα και να μην ανιχνευτεί από το δέκτη. Αυτός ο έμμεσος τρόπος καθίσταται χρήσιμος όταν το στοιχείο έχει μεγάλη συγκέντρωση οπλισμών, ο οποίος θα επηρεάσει τη μέτρηση αν γίνει με τον άμεσο τρόπο μετάδοσης. Ο τρίτος τρόπος χρησιμοποιείται όταν υπάρχει πρόσβαση μόνο στην μία πλευρά του στοιχείου, ή σε περίπτωση που χρειάζεται να προσδιοριστεί το βάθος μια επιφανειακής ρωγμής (Εικόνα 4-9). Με αυτό τον έμμεσο – επιφανειακό τρόπο, τα αποτελέσματα θεωρούνται το λιγότερο αξιόπιστα σε σχέση με τους άλλους δύο καθώς το εύρος των κυμάτων που φτάνουν στον δέκτη είναι το μικρότερο, και μια συγκεκριμένη διαδικασία πρέπει να τηρηθεί για τον προσδιορισμό της ταχύτητας στην οποία η τοποθεσία του πομπού κρατιέται σταθερή και ο δέκτης μετακινείται σε συγκεκριμένα διαστήματα όπου και λαμβάνονται μετρήσεις [47]. Όλες οι διαδικασίες ποιοτικού ελέγχου του σκυροδέματος με τη χρήση οργάνου υπερήχων περιγράφεται στους κανονισμούς ASTM C 597-83 και BS 1881:Part 203:1986.



Εικόνα 4-9: Τοποθέτηση πομπού και δέκτη της συσκευής υπερήχων για μέτρηση βάθους (c) επιφανειακών ρωγμών [48]

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων στο σκυρόδεμα είναι οι ακόλουθοι [45], [47],:

1. Υγρασία

Όταν το ποσοστό υγρασίας στο δοκίμιο είναι υψηλό, παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας υπερήχων επειδή η ταχύτητα διάδοσης είναι μεγαλύτερη στο νερό παρά στον αέρα.

2. Λόγος νερού προς τσιμέντο

Όταν αυξάνεται ο λόγος N/T, η θλιπτική και καμπτική αντοχή μειώνονται και αντίστοιχα μειώνεται και η ταχύτητα υπερήχων.

3. Θερμοκρασία δοκιμίου

Για εύρος θερμοκρασίας 5-30°C δεν παρατηρείται μεταβολή στην αναμενόμενη ταχύτητα των υπερήχων. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (<5°C), η ταχύτητα διάδοσης μέσα στο σκυρόδεμα αυξάνεται, λόγω του σχηματισμού πάγου από το νερό που υπάρχει στους πόρους. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30°C η ταχύτητα διάδοσης μειώνεται καθώς ο αέρας των πόρων γίνεται πιο αραιός γιατί δημιουργούνται μικρορηγματώσεις στη μάζα του σκυροδέματος. Στον παρακάτω Πίνακα 4-3 μπορούν να βρεθούν οι διορθωτικοί συντελεστές με τους οποίους διορθώνεται η μετρούμενη ταχύτητα υπερήχων όταν η θερμοκρασία είναι εκτός του εύρους 5-30°C.

Θερμοκρασία	Διόρθωση μετρούμενης ταχύτητας των υπερήχων	
	Ξηρές συνθήκες	Υγρές συνθήκες
°C	%	%
60	+ 5,0	+ 4,0
40	+ 2,0	+ 1,7
20	± 0,0	± 0,0
0	- 0,5	- 1,0
- 4	- 1,5	- 7,5

Πίνακας 4-3: Επίδραση της θερμοκρασίας στην ταχύτητα υπερήχων [1]

4. Ράβδοι οπλισμού

Σε περιοχές του στοιχείου σκυροδέματος που υπάρχουν οπλισμοί, η μετρούμενη ταχύτητα υπερήχων είναι μεγαλύτερη σε σχέση με περιοχές ελεύθερες από ράβδους οπλισμού, η οποία δικαιολογείται από την ταχύτητα διάδοσης στον χάλυβα που είναι 1.2-2 φορές μεγαλύτερη από ότι στο σκυρόδεμα. Η διαφοροποίηση στην ταχύτητα εξαρτάται από τον αριθμό των ράβδων, τη διάμετρο και την απόσταση πομπού και δέκτη από τον διαμήκη άξονα τους. Όταν οι διαμήκεις άξονες των οπλισμών είναι κάθετοι στην διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων, οι μετρήσεις πρέπει να διορθώνονται με βάση τον παρακάτω τύπο (βλ. και Εικόνα 4-10):

$$V_c = V * \{ [1 - (L_s/L)] / [1 - (L_s/L) * (V/V_s)] \}$$

Όπου:

V_c : Διορθωμένη ταχύτητα των υπερήχων

V : Η μετρούμενη ταχύτητα των υπερήχων στο σκυρόδεμα

V_s : Η ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων στο χάλυβα (5.2-6 km/s)

L : Το πάχος του δοκιμίου

L_s : Το συνολικό μήκος μέσα από τους χάλυβες (άθροισμα $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$ βλ. **Εικόνα 4-10**)

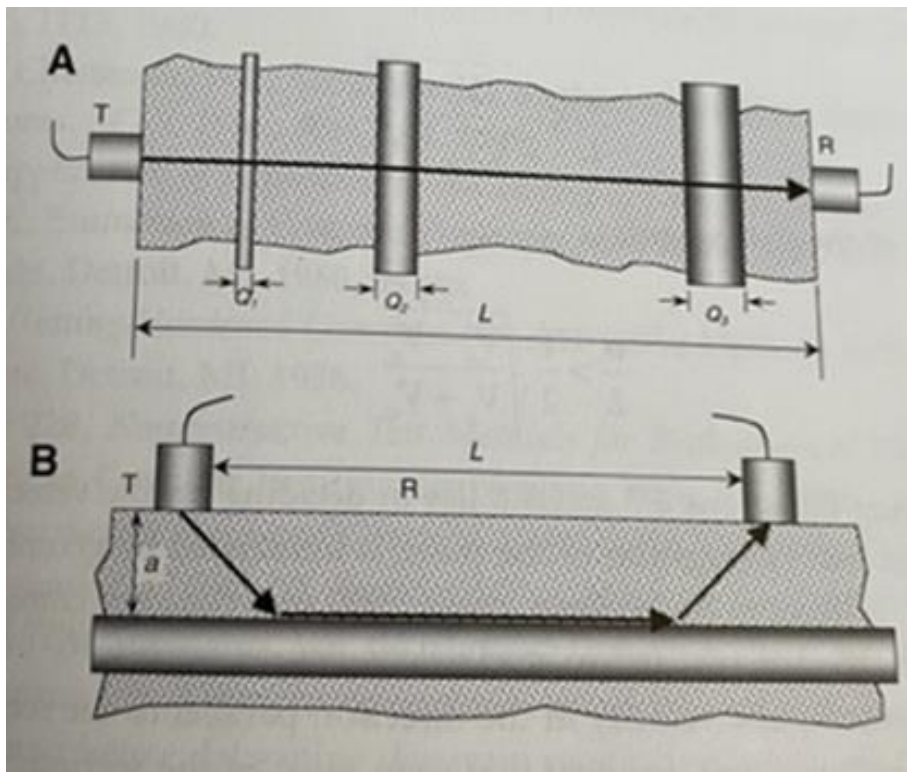
Όταν οι διαμήκεις άξονες των οπλισμών είναι παράλληλοι στην διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων οι μετρήσεις πρέπει να διορθώνονται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$V_c / V = (V_c / V_s) + (2a/L) * \sqrt{1 - (V_c / V_s)^2}$$

Όπου:

L : Το μήκος της διαδρομής

a : Η απόσταση μεταξύ της ράβδου οπλισμού και του πλησιέστερου κρυστάλλου



Εικόνα 4-10: Μετρήσεις ταχύτητας υπερήχων μέσα σε οπλισμένο σκυρόδεμα [48]

5. Μήκος διαδρομής κύματος

Με βάση το BS 1881:Part 203:1986, το ελάχιστο μήκος διαδρομής είναι ίσο με 100mm για σκυρόδεμα με μέγιστο κόκκο αδρανούς 20mm, και ίσο με 150mm για μέγιστο κόκκο αδρανούς 20-40mm. Με βάση το ASTM C 597-83 το μήκος διαδρομής μπορεί να κυμαίνεται από 50mm έως 15m. Το μέγιστο μήκος διαδρομής εξαρτάται από την κατάσταση που βρίσκεται η εξωτερική επιφάνεια του σκυροδέματος και από τον τύπο του. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι συχνότητες

των κυμάτων που πρέπει να χρησιμοποιούνται με βάση το μήκος της διαδρομής με βάση το RILEM NDTI (1972) (Πίνακας 4-4).

Μήκος διαδρομής (mm)	Συχνότητα (kHz)	Ελάχιστη εγκάρσια απόσταση (mm)
100 – 700	> 60	70
200 – 1500	> 40	150
> 1500	> 20	300

Πίνακας 4-4: Απαιτούμενη συχνότητα οργάνου συναρτήσει του μήκους διαδρομής [47]

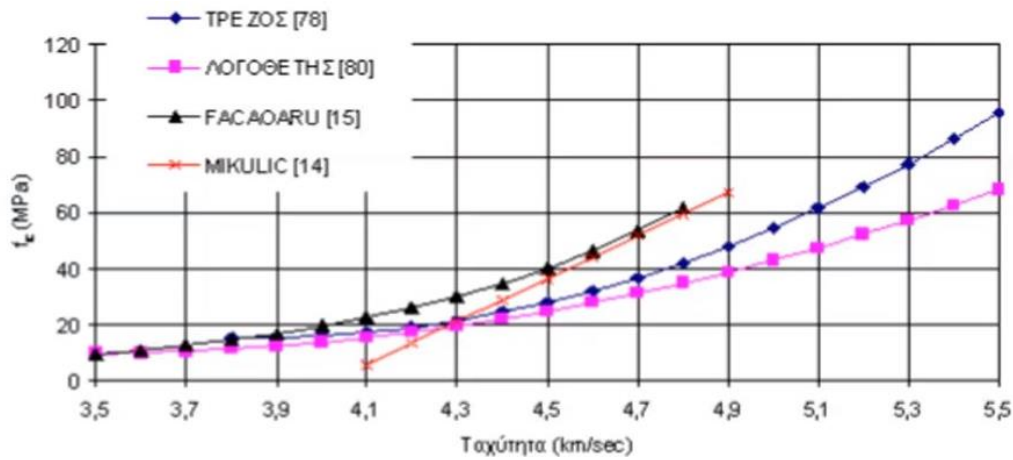
6. Σχήμα και διαστάσεις δοκιμίου

Το σχήμα και οι διαστάσεις των εξεταζόμενων στοιχείων, δεν παίζει ρόλο στην ταχύτητα διάδοσης των υπερήχων με εξαίρεση την περίπτωση που οι διαστάσεις είναι μικρότερες από τις επιτρεπόμενες. Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται μείωση στην ταχύτητα των υπερήχων. Η μείωση επηρεάζεται από το λόγο του μήκους κύματος προς την ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου. Με βάση το BS 1881:Part 203:1986, η ελάχιστη διάσταση του δοκιμίου συναρτήσει της συχνότητας και ταχύτητας των κυμάτων μπορεί να βρεθεί στον παρακάτω πίνακα.

Συχνότητα (kHz)	Ταχύτητα υπερήχων (km/s)		
	3.5	3.5	3.5
	Ελάχιστη επιτρεπόμενη διάσταση δοκιμίου (mm)		
24	146	167	188
54	65	74	83
82	43	49	55
150	23	27	30

Πίνακας 4-5: Ελάχιστη διάσταση δοκιμίου με βάση τη συχνότητα και την ταχύτητα των υπερήχων

Για την εκτίμηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος από τις μετρούμενες ταχύτητες υπερήχων υπάρχουν καμπύλες συσχέτισης από την διεθνή βιβλιογραφία, οι οποίες φαίνονται στην παρακάτω **Εικόνα 4-11**.



Εικόνα 4-11: Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος συναρτήσει της ταχύτητας υπερήχων [1]

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα σημεία με βάση τα οποία χαράσσονται οι καμπύλες παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διασπορά και γι' αυτό η εφαρμογή αυτών των καμπύλων χωρίς προηγούμενη βαθμονόμηση με παρασκευή ή λήψη ειδικών δοκιμίων κυλινδρικών ή κυβικών, δεν συνίσταται [1].

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται μια ποιοτική κατάταξη της ποιότητας του σκυροδέματος με βάση την ταχύτητα των υπερήχων (**Πίνακας 4-6**).

Α/Α	Ταχύτητα υπερήχων (km/s)	Ποιότητα
1	> 4.500	Εξαιρετική
2	3.500 – 4.500	Καλή
3	2.500 – 3.500	Μέτρια
4	< 2.500	Κακή
5	< 2.000	Απόμειξη / Ρωγμές

Πίνακας 4-6: Ποιοτική κατάταξη σκυροδεμάτων με βάση τη μετρούμενη ταχύτητα υπερήχων [1]

4.4 Πυρηνοληψία

Η πυρηνοληψία είναι μια άμεση καταστροφική μέθοδος προσδιορισμού της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Χαρακτηρίζεται ως άμεση γιατί σε αντίθεση με τις έμμεσες μεθόδους όπου η αντοχή του σκυροδέματος προσδιορίζεται έμμεσα μέσω της συσχέτισης με κάποια άλλη ιδιότητα του (πυκνότητα, ελαστικότητα επιφανειακή σκληρότητα κ.α.), στην πυρηνοληψία μετρείται απευθείας η θλιπτική αντοχή πειραματικά με φόρτιση και θραύση των δοκιμίων σε εργαστήριο. Επίσης χαρακτηρίζεται ως καταστροφική γιατί επιτυγχάνεται με διάτρηση και εξαγωγή δοκιμίων («καρότων»), που αφήνει ένα κενό στο δομικό στοιχείο ίσο με τις διαστάσεις του δοκιμίου που εξάγεται. Η αντοχή δεν είναι η μόνη ιδιότητα που μπορεί να προσδιοριστεί με την μέθοδο, καθώς συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν ακόμα και για [1]:

- Γενικότερα την ποιότητα του σκυροδέματος μιας κατασκευής
- Το μέγεθος και η θέση των οπλισμών
- Την ύπαρξη ρωγμών και άλλων ατελειών μέσα στη μάζα του σκυροδέματος
- Την αποτελεσματικότητα μεθόδων επισκευής (κόλλες κ.α.)

Η μέθοδος παρουσιάζει ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα [1]:

- Την σχετικά υψηλή δαπάνη τους.
- Το ότι είναι δύσκολο να ληφθούν από υποστυλώματα και πρακτικά εξάγονται κυρίως από στοιχεία πλακών, που όμως λόγω κατασκευής και συντήρησης παρουσιάζουν μειωμένες αντοχές.
- Την ευκολία λάθους στην αναγωγή των αποτελεσμάτων αν δεν παρθούν πολύ προσεκτικά μέτρα για την εφαρμογή του οργάνου αποκοπής (καροτιέρα) της προετοιμασίας των επιφανειών που θα λάβουν το θλιπτικό φορτίο της πρέσας, την σωστή συντήρηση των δοκιμίων.

Μεγάλο ρόλο για την σωστή χρήση της μεθόδου παίζει η γεωμετρία των πυρήνων, δηλαδή ο λόγος διαμέτρου προς μήκος (L/D). Συνίσταται με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία η διάμετρος των πυρήνων να είναι 10-15cm, όμως σε κάθε περίπτωση να είναι τριπλάσια του μέγιστου αδρανούς που χρησιμοποιήθηκε στο μείγμα του σκυροδέματος (ISO DIS7034, BS6089). Η τιμή του λόγου L/D πρέπει να κυμαίνεται στο εύρος 0.95-2. Για μεγαλύτερες τιμές του λόγου ο πυρήνας πλησιάζει τις διαστάσεις του πρότυπου κυλινδρικού δοκιμίου, που έχει διάμετρο 15cm και ύψος 30cm, όμως πρακτικά για μια διάμετρο πυρήνα κοντά στα προτεινόμενα 10-15cm το πάχος του θα έπρεπε να είναι πάνω από 20-25cm. Επειδή η πυρηνοληψία γίνεται συνήθως σε πλάκες, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, που στην πράξη δεν διαθέτουν τέτοια πάχη, γίνεται αποδεκτή μια τιμή του λόγου L/D κοντά στη μονάδα. Η απόσταση των σημείων πυρηνοληψίας από τις ακμές των στοιχείων πρέπει να είναι τουλάχιστον 8cm με βάση την διεθνή βιβλιογραφία [47] και η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 φορές τη διάμετρο του πυρήνα.



Εικόνα 4-12: Κυλινδρικοί πυρήνες ψεκασμένοι με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης για την εύρεση του πάχους ενανθράκωσης με το χρωματισμένο σημείο να αποτελεί το υγιές σκυρόδεμα

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την μειωμένη αντοχή των πυρήνων είναι οι ακόλουθοι [1]:

- Η ύπαρξη ράβδων οπλισμού μέσα στον πυρήνα. Όταν αυτό δεν μπορεί να αποφευχθεί, υπάρχουν κατάλληλοι τύποι που εφαρμόζουν μειωτικούς συντελεστές για τη διόρθωση της αντοχής.
- Η προετοιμασία των δοκιμών για την διαδικασία της θραύσης τους στο εργαστήριο, όπου οι επιφάνειες που εφαρμόζει η πρέσα πολλές φορές «καπελώνονται», δηλαδή επικαλύπτονται με διάφορα υλικά (τσιμεντοκονιάματα κ.α.) για να διορθωθούν οι ατέλειες που δημιουργήθηκαν κατά την εξαγωγή τους με την καροτιέρα. Οι διαφοροποιήσεις στην αντοχή εξαιτίας του υλικού του καπελώματος μπορεί να είναι σημαντικές και γι' αυτό συνίσταται η αποφυγή αυτής της διαδικασίας και η προετοιμασία των επιφανειών με εργαλεία λείανσης.
- Η θέση της λήψης του πυρήνα πάνω στο ίδιο το στοιχείο που ελέγχεται. Γενικά οι πυρήνες που αποκόβονται από το άνω μέρος ενός δομικού στοιχείου, έχουν υψηλότερες αντοχές από τους πυρήνες που λαμβάνονται από το κάτω μέρος με τη διαφορά αυτή να εξαρτάται κάθε φορά από το είδος του δομικού στοιχείου.

Η μέθοδος εφαρμόζεται πέρα από τις κατασκευές σκυροδέματος και στις κατασκευές τοιχοποιίας και υπάρχουν τα κατάλληλα κανονιστικά πλαίσια και γι' αυτές.

Με τον εργαστηριακό έλεγχο των δοκιμίων πυρηνοληψίας μπορούν να προσδιοριστούν οι παρακάτω ιδιότητες για το ελεγχόμενο σκυροδέμα:

- Θλιπτική αντοχή
- Εφελκυστική αντοχή
- Λόγος Poisson
- Μέτρο Ελαστικότητας
- Φαινόμενο βάρους
- Πορώδες
- Υγρασία και υδατοπερατότητα του δοκιμίου
- Βαθμός ενανθράκωσης
- Έλεγχος μάζας για κοιλότητες ρωγμές κτλ.
- Έλεγχος επεμβάσεων (πλήρωση ρωγμών με ρητίνες κονιάματα)
- Συνάφεια νέου και παλιού σκυροδέματος

Η αντοχή σε θλίψη του πυρήνα προσδιορίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma = \frac{P}{\frac{\pi * d^2}{4}}$$

Όπου:

- P: το μέγιστο θλιπτικό φορτίο
- d: η διάμετρος του δοκιμίου
- σ: η τάση κατά την θραύση

4.5 Συνδυασμός μεθόδων

Η διερεύνηση του σκυροδέματος με άμεσες ή και έμμεσες μεθόδους στοχεύει κυρίως, στον προσδιορισμό της θλιπτικής αντοχής, για κάθε περιοχή του φέροντος οργανισμού. Σε εφαρμογές αποτίμησης και ανασχεδιασμού υφιστάμενων κατασκευών, χρησιμοποιείται η επιτόπου αντοχή σκυροδέματος σε κάθε κρίσιμη περιοχή κάθε δομικού στοιχείου. Η ακρίβεια της εκτίμησης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος αυξάνει σημαντικά σε εφαρμογές όπου συνδυάζονται μια έμμεση μέθοδος με την πυρηνοληψία ή δύο ή περισσότερες έμμεσες μέθοδοι μεταξύ τους. Με βάση το κεφάλαιο 3.7.1.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ [49], πρέπει να γίνεται έλεγχος με συνδυασμό έμμεσων μεθόδων και πυρηνοληψίας σε περισσότερες από μία θέσεις για μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η αντοχή των πυρήνων μετατρέπεται στην πραγματική επί τόπου αντοχή μέσω διορθωτικών συντελεστών (ΕΛΟΤ 344), με τους οποίους λαμβάνονται υπόψη:

- Ο λόγος ύψους προς διάμετρο του πυρήνα H/D
- Η διάμετρος του πυρήνα
- Το πάχος του στοιχείου από το οποίο έγινε η πυρηνοληψία
- Η διαταραχή του στοιχείου από την πυρηνοληψία

Μπορεί να εφαρμοστεί σαν έμμεση μέθοδος μία από τις μεθόδους των υπερήχων ή του κρουσίμετρου (ή η εξόλκευση ήλου, όταν $f_c < 15\text{MPa}$). Συνιστάται ο συνδυασμός μεθόδων. Τα λυγηρά στοιχεία (υποστυλώματα ή δοκοί) ελέγχονται σε δύο τουλάχιστον θέσεις, στα άκρα τους. Τα τοιχώματα ελέγχονται σε μία τουλάχιστον θέση στη βάση τους, ανά όροφο, βλέπε σχετικά § 3.7.1.1.α. Με βάση τις μέσες τιμές των θλιπτικών αντοχών των δοκιμίων, και τις μέσες τιμές από τις μετρήσεις στα ίδια δοκίμια με έμμεσες μεθόδους, γίνεται βαθμονόμηση των έμμεσων μεθόδων. Η βαθμονόμηση γίνεται με προσδιορισμό νέας καμπύλης συσχέτισης από τα παραπάνω σημεία, η οποία χαράσσεται τοπικά παράλληλη με αυτές που διατίθενται στη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια μπορούν να ληφθούν έμμεσες μετρήσεις και από άλλα δομικά στοιχεία της ίδιας παρτίδας σκυροδέματος (για να είναι ίδιες οι τοπικές συνθήκες) και να εξαχθούν οι αντίστοιχες αντοχές τους από τις ήδη βαθμονομημένες καμπύλες. Σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ ο περιορισμός του πλήθους των πυρήνων περιορίζει τις βλάβες από την λήψη πυρήνων, ενώ η εφαρμογή των έμμεσων μεθόδων σε περισσότερες θέσεις ισοδυναμεί με μία με σχετικά μικρότερο κόστος. Επίσης ορίζεται ότι σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει ένδειξη τοπικών κακοτεχνιών, μπορούν να γίνονται μετρήσεις σε ένα επιλεγμένο ποσοστό θέσεων και όχι σε όλο το κτήριο. Αυτές οι μετρήσεις θα οδηγούν στον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος και θα χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για κάθε χαρακτηριστική θέση στο φορέα (πλάκα, δοκός, πέδιλο, υποστύλωμα κτλ.). Αυτό που ορίζει τον αριθμό των χαρακτηριστικών θέσεων που θα λαμβάνονται δεδομένα μετρήσεων ανά όροφο και ανά τύπο δομικού στοιχείου, είναι η ζητούμενη στάθμη αξιοπιστίας. Αυτή επηρεάζεται και κατά τη διάρκεια της αυτοψίας από τη διαφορά τιμών που θα παρατηρηθούν, ωστόσο το πλήθος των θέσεων και επομένως των μετρήσεων δεν μπορεί να είναι μικρότερο από κάποιες ελάχιστες απαιτήσεις που ορίζονται στην παράγραφο 3.7.1.3 του ΚΑΝ.ΕΠΕ [49]. Αυτή ορίζει τα ακόλουθα:

1. Για μικρά (μέχρι διώροφα) κτίρια, το απολύτως ελάχιστο απαιτούμενο πλήθος πυρήνων, είναι $n = 3$, από ομοειδή δομικά στοιχεία. Για μεγαλύτερα κτίρια,

απαιτούνται τουλάχιστον 3 πυρήνες ανά δύο ορόφους, οπωσδήποτε όμως 3 πυρήνες στον «κρίσιμο» όροφο.

2. Για να μπορεί η Σ.Α.Δ., για την αντοχή του σκυροδέματος, να θεωρείται «υψηλή» πρέπει οι θέσεις εφαρμογής των εμμέσων μεθόδων να καλύπτουν σε κάθε όροφο επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα:
 - Το 45% των κατακόρυφων στοιχείων
 - Το 25% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες).
3. Για να μπορεί η Σ.Α.Δ. να θεωρείται «ικανοποιητική», αρκεί οι θέσεις εφαρμογής των εμμέσων μεθόδων να καλύπτουν ένα μικρότερο αλλά επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα:
 - Το 30% των κατακόρυφων στοιχείων
 - Το 15% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες). Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση (τυπική απόκλιση $S \leq 0,20 X$), τότε η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται «υψηλή».
4. Με εφαρμογή της μεθόδου στο μισό των παραπάνω ποσοστών του εδαφίου (γ), η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται «ανεκτή», εκτός αν τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση (τυπική απόκλιση $S \leq 0,20 X$), οπότε η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται «ικανοποιητική».
5. Σε ειδικές περιπτώσεις κτιρίων για τα οποία διατίθενται υπεύθυνες και αξιόπιστες πληροφορίες για τον τρόπο κατασκευής τους, οι δοκιμές για την επαλήθευση των διατιθέμενων πληροφοριών μπορούν να περιορίζονται στην ελάχιστη πυρηνοληψία όπως προβλέπεται στο πιο πάνω εδάφιο (1), από ομοειδή δομικά στοιχεία κάθε ορόφου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επαρκής σύγκλιση των αποτελεσμάτων (η απόκλιση αντοχής κάθε πυρήνα να είναι μικρότερη από το 15% της μέσης τιμής). Στις περιπτώσεις αυτές η Σ.Α.Δ. θεωρείται «ικανοποιητική». Είναι όμως δυνατόν, εάν εκτελεστούν οι δοκιμές του εδαφίου (3), η Σ.Α.Δ. να θεωρείται «υψηλή». Εάν η σύγκλιση των αποτελεσμάτων της πυρηνοληψίας δεν είναι ικανοποιητική, τότε επιβάλλεται η εφαρμογή των πιο πάνω §§ 2, 3, 4.

5 Πρακτική Εφαρμογή Ποιοτικού Ελέγχου Σκυροδέματος

Για την εκπόνηση στατικής μελέτης στα πλαίσια ανασχεδιασμού υφιστάμενης κατασκευής απαιτείται ποιοτικός έλεγχος του οπλισμένου σκυροδέματος του φέροντος οργανισμού της, ώστε τα στοιχεία να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα στην ανάλυση σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ. (ΦΕΚ 42/Β/20-01-2012 & ΦΕΚ 2187/Β/5-09-2013), και τον EC8-3.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιούνται στοιχεία από εργαστηριακό έλεγχο δοκιμίων, καθώς και από μη καταστροφικό έλεγχο με τη μέθοδο του κρουσίμετρου από μια υφιστάμενη 4οροφη κατασκευή με υπόγειο από οπλισμένο σκυρόδεμα και χρήση κατοικίας. Τα αποτελέσματα καθώς και η ανάλυση για τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος της κατασκευής παρουσιάζονται στις επόμενες παραγράφους.

5.1 Δοκίμια Πυρηνοληψίας

Έγινε αποκοπή 7 πυρήνων σκυροδέματος (Π1-Π7), από διάφορα στοιχεία και στάθμες, όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Α/α	Στοιχείο και Τοποθεσία
Π ₁	Υποστώλωμα Ισογείου
Π ₂	Υποστώλωμα Α Ορόφου
Π ₃	Υποστώλωμα Ισογείου
Π ₄	Υποστώλωμα Ισογείου
Π ₅	Υποστώλωμα Ισογείου
Π ₆	Υποστώλωμα Ισογείου
Π ₇	Υποστώλωμα Ισογείου

Πίνακας 5-1: Ονομασία και τοποθεσία εξαγόμενων πυρήνων

Με βάση τον ΚΑΝ.ΕΠΕ [49] οι κατηγορίες της Στάθμης Αξιοπιστίας Δεδομένων (Σ.Α.Δ.) είναι οι εξής:

- **Υψηλή:** όπου δεν υπάρχουν αμφιβολίες για τις αριθμητικές τιμές
- **Ικανοποιητική:** όπου δεν απαιτούνται πρόσθετες ρυθμίσεις
- **Επαρκής:** όπου πιθανόν να απαιτηθούν παραμετρικές επιλύσεις
- **Ανεπαρκής:** Για δευτερεύοντα στοιχεία, ή κύρια όταν οι χρησιμοποιούμενες τιμές αιτιολογούνται επαρκώς από την πρότερη συμπεριφορά της κατασκευής

Τα κριτήρια καθορισμού της Σ.Α.Δ. για τις μηχανικές ιδιότητες του σκυροδέματος είναι τα ακόλουθα:

Ο ελάχιστος αριθμός πυρήνων για τα μικρά κτήρια είναι $n=3$, για τα μεγαλύτερα τουλάχιστον $n=3$ πυρήνες ανά 2 ορόφους και οπωσδήποτε 3 πυρήνες στον κρίσιμο όροφο.

- Για να θεωρηθεί ως **Υψηλή**: πρέπει οι θέσεις εφαρμογής των έμμεσων μεθόδων να καλύπτουν σε κάθε όροφο επαρκές ποσοστό για κάθε είδος δομικού στοιχείου και ειδικότερα: Το 45% των κατακόρυφων στοιχείων. Το 25% των οριζοντίων στοιχείων (δοκοί ή πλάκες).
- Για να θεωρηθεί ως **Ικανοποιητική**: Όταν χρησιμοποιούνται έμμεσες μέθοδοι για το 30% των κατακόρυφων και το 15% των οριζόντιων στοιχείων κάθε ορόφου και ελάχιστους πυρήνες. Αρκούν οι τελευταίοι αν για το κτήριο διατίθενται αξιόπιστες πληροφορίες. Στην περίπτωση που τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζουν ικανοποιητική σύγκλιση (τυπική απόκλιση $S < 0,20 X$), τότε η Σ.Α.Δ. μπορεί να θεωρείται «υψηλή».
- Για να θεωρηθεί ως **Επαρκής**: Όταν χρησιμοποιούνται έμμεσες μέθοδοι για το μισό ποσοστό των στοιχείων της Ικανοποιητικής κατηγορίας και ελάχιστους πυρήνες.
- Για να θεωρηθεί ως **Ανεπαρκής**: Δεν γίνεται δεκτή η συγκεκριμένη Σ.Α.Δ. από τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Όσον αφορά την Σ.Α.Δ. των μηχανικών χαρακτηριστικών των δομικών στοιχείων της κατασκευής, αυτή μπορεί να ληφθεί ως «Υψηλή» για το σκυρόδεμα με βάση το πλήθος των δοκιμών και τις τοποθεσίες τους στη συγκεκριμένη εφαρμογή σύμφωνα με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τους πυρήνες στις θέσεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως είναι η ακόλουθη. Τα δοκίμια μόλις λήφθηκαν καθαρίστηκαν και στη συνέχεια ψεκάστηκαν με διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης για να βρεθεί το βάθος ενανθράκωσης. Η επιφάνεια που απέκτησε βυσσινή χρώμα, είναι η υγιής, ενώ αυτή που δεν άλλαξε χρώμα είναι η ενανθρακωμένη και ακολούθως μετρήθηκε το βάθος ενανθράκωσης. Έπειτα αφαιρέθηκε μικρό τμήμα από τις παράλληλες επιφάνειες των δοκιμίων με αδιατάρακτη εγκάρσια κοπή με σκοπό να αποκτήσουν λείες επιφάνειες για το πείραμα της θλίψης, να απομακρυνθούν τμήματα ενανθρακωμένης επιφάνειας, καθώς και να αποκτήσουν τις επιθυμητές διαστάσεις. Εν συνεχεία, γίνεται η μεταφορά τους σε εξειδικευμένο εργαστήριο όπου και συντηρούνται σε ιδανικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας μέχρι την ώρα των δοκιμών τους, για τον προσδιορισμό της αντοχής τους. Ακολούθως τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά τα πειράματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (**Πίνακας 5-2, Πίνακας 5-3**).

Κωδικός Δοκιμίου	Χαρακτηριστικά Δοκιμίων		
	Ύψος (cm)	Βάρος (gr)	Διάμετρος (cm)
Π ₁	11.7	1860	9.45
Π ₂	11.5	1790	9.45
Π ₃	9.6	1550	9.45
Π ₄	10.7	1680	9.45
Π ₅	12.4	1980	9.45
Π ₆	10.8	1660	9.45
Π ₇	12.8	2110	9.45

Πίνακας 5-2: Χαρακτηριστικά των εξαγόμενων δοκιμίων

Κωδικός Δοκιμίου	PH (κοντά στον σπλισμό)	Βάθος ενανθράκωσης (cm)	Φορτίο Θραύσης F _{c,core} (kN)	Τάση Θραύσης f _{c,core} (MPa)
Π ₁	8.5	1-1.5	146.7	20.9
Π ₂	8.5	1.5-2	164.8	23.5
Π ₃	8.5	3-3.5	133.2	19
Π ₄	8	3-3.5	107.8	15.4
Π ₅	8	2.5-3	129.4	18.5
Π ₆	8.5	3-3.5	99.7	14.2
Π ₇	9	2-2.5	163.9	23.4

Πίνακας 5-3: Μετρήσεις από τον εργαστηριακό έλεγχο των δοκιμίων

Στη συνέχεια με βάση το τυπολόγιο της προδιαγραφής του ΕΛΟΤ 344 [50] γίνεται αναγωγή της μετρούμενης θλιπτικής αντοχής των δοκιμίων σε αντοχή πρότυπου κυβικού δοκιμίου με διαστάσεις 15x15x15 cm.

Σύμφωνα με το σχέδιο προτύπου ΕΛΟΤ 344, η αναγωγή της αντοχής πυρήνα σε συμβατική αντοχή γίνεται με την εξής σχέση:

$$f_c = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_\varphi * K_c * K_d} * f_{c,core}$$

όπου:

K_φ συντελεστής εξαρτώμενος απ' την διάμετρο του πυρήνα.

- 0.85 για πυρήνες διαμέτρου 100mm
- 0.95 για πυρήνες διαμέτρου 150mm

K_c συντελεστής εξαρτώμενος απ' την συντήρηση του έργου.

- 1.00 για υγρές συνθήκες συντήρησης
- 0.90 για καλές συνθήκες συντήρησης
- 0.80 για κακές συνθήκες συντήρησης

K_d συντελεστής εξαρτώμενος απ' το πάχος του στοιχείου απ' όπου ελήφθη ο πυρήνας.

- 1.00 για πάχη μεγαλύτερα των 25cm
- 0.95 για πάχη μικρότερα των 15cm

λ1 συντελεστής γεωμετρίας του πυρήνα, συναρτήσει του λόγου h/d (ύψους h προς διάμετρο d) βλ. **Εικόνα 5-1** (υπό την προϋπόθεση ότι πρόκειται περί σκυροδέματος κατηγορίας ίσης ή ανωτέρας του B160 (αντίστοιχο με C12/15)).

λ2 συντελεστής διαμέτρου (βλ. **Εικόνα 5-1**)

λ3 συντελεστής κατηγορίας σκυροδέματος (βλ. **Εικόνα 5-1**)

H : D	L ₁	H : D	L ₁	H : D	L ₁
0,90	0,820	1,09	0,872	1,27	0,913
0,91	0,823	1,10	0,874	1,28	0,915
0,92	0,826	1,11	0,876	1,29	0,916
0,93	0,829	1,12	0,879	1,30	0,918
0,94	0,832	1,13	0,881	1,31	0,920
0,95	0,835	1,14	0,884	1,32	0,921
0,96	0,838	1,15	0,886	1,33	0,923
0,97	0,841	1,16	0,888	1,34	0,924
0,98	0,844	1,17	0,891	1,35	0,926
0,99	0,847	1,18	0,893	1,36	0,928
1,00	0,850	1,19	0,896	1,37	0,929
1,01	0,852	1,20	0,898	1,38	0,931
1,02	0,855	1,21	0,900	1,39	0,932
1,03	0,857	1,22	0,903	1,40	0,934
1,04	0,860	1,23	0,905	1,41	0,936
1,05	0,862	1,24	0,918	1,42	0,937
1,06	0,864	1,25	0,910	1,43	0,939
1,07	0,867	1,26	0,912	1,44	0,940
1,08	0,869			1,45	0,942

D cm	L ₂	D cm	L ₂
9,5	0,956	10,1	0,961
9,6	0,957	10,2	0,962
9,7	0,958	10,3	0,962
9,8	0,958	10,4	0,963
9,9	0,959	10,5	0,964
10,0	0,960		

f _c (kg/cm ²)	120	160	225	300	450
λ ₃	1.30	1.25	1.22	1.18	1.14

Εικόνα 5-1: Τιμές των συντελεστών λ με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ 344 [50][53]

Με βάση τα παραπάνω οι αντίστοιχες τιμές των συντελεστών για τα δοκίμια της συγκεκριμένης εφαρμογής με τη χρήση της γραμμικής παρεμβολής είναι οι εξής:

- Π1:
 - $h/d = 11.7\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.23$ άρα $\lambda_1 = 0.91$,
 - $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda_2 = 0.95$,
 - $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $20.9\text{MPa} = 213.1207\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

$f_c(\text{kg/cm}^2)$	λ_3
$x_1=160$	$y_1=1.25$
$x_2=225$	$y_2=1.22$
$x=213.1207$	$y=?$

$$y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) + y_1$$

$$y = \left(\frac{(213.1207 - 160)(1.22 - 1.25)}{(225 - 160)} \right) + 1.25$$

$$y = 1.23$$

$\lambda_3=1.23,$

➤ $K_\phi = 0.85,$

➤ $K_c = 1.0,$

➤ $K_d = 1.0$

• Π2:

➤ $h/d = 11.5\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.21$ άρα $\lambda_1 = 0.90,$

➤ $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda_2 = 0.95,$

➤ $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $23.5\text{MPa} = 239.6333\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

$f_c(\text{kg/cm}^2)$	λ_3
$x_1=225$	$y_1=1.22$
$x_2=300$	$y_2=1.18$
$x=239.6333$	$y=?$

$$y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) + y_1$$

$$y = \left(\frac{(239.6333 - 225)(1.18 - 1.22)}{(300 - 225)} \right) + 1.22$$

$$y = 1.21$$

$\lambda_3 = 1.21,$

➤ $K_\phi = 0.85,$

➤ $K_c = 1.0,$

➤ $K_d = 1.0$

• Π3:

➤ $h/d = 9.6\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.01$ άρα $\lambda_1=0.85,$

➤ $d= 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda_2 = 0.95,$

➤ $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $19\text{MPa} = 193.746\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

$f_c(\text{kg/cm}^2)$	λ_3
$x_1=160$	$y_1=1.25$
$x_2=225$	$y_2=1.22$
$x=193.746$	$y=?$

$$y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) + y_1$$

$$y = \left(\frac{(193.746 - 160)(1.22 - 1.25)}{(225 - 160)} \right) + 1.25$$

$$y = 1.24$$

$\lambda_3 = 1.24,$

- $K_\phi = 0.85,$
- $K_c = 1.0,$
- $K_d = 1.0$

• Π4:

- $h/d = 10.7\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.13$ άρα $\lambda_1 = 0.88,$
- $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda_2 = 0.95,$
- $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $15.4\text{MPa} = 157.0363\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

$f_c(\text{kg/cm}^2)$	λ_3
$x_1=120$	$y_1=1.30$
$x_2=160$	$y_2=1.25$
$x=157.0363$	$y=?$

$$y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) + y_1$$

$$y = \left(\frac{(157.0363 - 120)(1.25 - 1.30)}{(160 - 120)} \right) + 1.30$$

$$y = 1.26$$

$\lambda_3 = 1.26,$

- $K_\phi = 0.85,$
- $K_c = 1.0,$
- $K_d = 1.0$

• Π5:

- $h/d = 12.4\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.31$ άρα $\lambda_1 = 0.92,$
- $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda_2 = 0.95,$
- $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $18.5\text{MPa} = 188.6475\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

$f_c(\text{kg/cm}^2)$	λ_3
$x_1=160$	$y_1=1.25$
$x_2=225$	$y_2=1.22$
$x=188.6475$	$y=?$

$$y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} \right) + y_1$$

$$y = \left(\frac{(188.6475 - 160)(1.22 - 1.25)}{(225 - 160)} \right) + 1.25$$

$$y = 1.24$$

$\lambda_3 = 1.24,$

- $K_\phi = 0.85,$

- **Kc = 1.0,**
- **Kd = 1.0**
- Π6:
 - $h/d = 10.8\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.14$ άρα $\lambda 1 = 0.88$,
 - $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda 2 = 0.95$,
 - $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $14.2\text{MPa} = 144.7997\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

fc(kg/cm²)	λ3
x1=120	y1=1.30
x2=160	y2=1.25
x=144.7997	y=?

$$y = \left(\frac{(x - x1)(y2 - y1)}{(x2 - x1)} \right) + y1$$

$$y = \left(\frac{(144.7997 - 120)(1.25 - 1.30)}{(160 - 120)} \right) + 1.30$$

$$y = 1.27$$

- λ3 = 1.27,**
- **Kφ = 0.85,**
- **Kc = 1.0,**
- **Kd = 1.0**
- Π7:
 - $h/d = 12.8\text{cm}/9.45\text{cm} = 1.35$ άρα $\lambda 1 = 0.93$,
 - $d = 9.45\text{cm}$ άρα $\lambda 2 = 0.95$,
 - $1\text{MPa} = 10.1972\text{kg/cm}^2$ άρα $23.4\text{MPa} = 238.6136\text{kg/cm}^2$

Με γραμμική παρεμβολή έχουμε:

fc(kg/cm²)	λ3
x1=225	y1=1.22
x2=300	y2=1.18
x=238.6136	y=?

$$y = \left(\frac{(x - x1)(y2 - y1)}{(x2 - x1)} \right) + y1$$

$$y = \left(\frac{(238.6136 - 225)(1.18 - 1.22)}{(300 - 225)} \right) + 1.22$$

$$y = 1.22$$

- λ3 = 1.22,**
- **Kφ = 0.85,**
- **Kc = 1.0,**
- **Kd = 1.0**

Με βάση την προτεινόμενη εξίσωση και τους συντελεστές για τα δοκίμια η αναγόμενη θλιπτική αντοχή των δοκιμίων υπολογίζεται και μπορεί να βρεθεί στον παρακάτω πίνακα.

❖ Δοκίμιο Π1:

$$f_{c,1} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_{\varphi} * K_c * K_d} * f_{c,core,1}$$

$$f_{c,1} = \frac{0,91 * 0,95 * 1,23}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 20,9MPa$$

$$\mathbf{f_{c,1} = 26MPa}$$

❖ Δοκίμιο Π2:

$$f_{c,2} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_{\varphi} * K_c * K_d} * f_{c,core,2}$$

$$f_{c,2} = \frac{0,90 * 0,95 * 1,21}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 23,5MPa$$

$$\mathbf{f_c = 28,8MPa}$$

❖ Δοκίμιο Π3:

$$f_{c,3} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_{\varphi} * K_c * K_d} * f_{c,core,3}$$

$$f_{c,3} = \frac{0,85 * 0,95 * 1,24}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 19MPa$$

$$\mathbf{f_{c,3} = 22,4MPa}$$

❖ Δοκίμιο Π4:

$$f_{c,4} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_{\varphi} * K_c * K_d} * f_{c,core,4}$$

$$f_{c,4} = \frac{0,88 * 0,95 * 1,26}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 15,4MPa$$

$$\mathbf{f_{c,4} = 19,1MPa}$$

❖ Δοκίμιο Π5:

$$f_{c,5} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K_{\varphi} * K_c * K_d} * f_{c,core,5}$$

$$f_{c,5} = \frac{0,92 * 0,95 * 1,24}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 18,5MPa$$

$$\mathbf{f_{c,5} = 23,5MPa}$$

❖ Δοκίμιο Π6:

$$f_{c,6} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K\phi * Kc * Kd} * f_{c,core,6}$$

$$f_{c,6} = \frac{0,88 * 0,95 * 1,27}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 14,2MPa$$

$$f_{c,6} = 17,9MPa$$

❖ Δοκίμιο Π7:

$$f_{c,7} = \frac{\lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3}{K\phi * Kc * Kd} * f_{c,core,7}$$

$$f_{c,7} = \frac{0,93 * 0,95 * 1,22}{0,85 * 1,0 * 1,0} * 23,4MPa$$

$$f_{c,7} = 29,4MPa$$

Κωδικός Δοκιμίου	Τάση Θραύσης $f_{c,core}$ (MPa)	Θλιπτική αντοχή με αναγωγή $f_{c,cube 15x15x15}$ (MPa)
Π ₁	20.9	26
Π ₂	23.5	28.8
Π ₃	19	22.4
Π ₄	15.4	19.1
Π ₅	18.5	23.5
Π ₆	14.2	17.9
Π ₇	23.4	29.4

Πίνακας 5-4: Θλιπτική αντοχή δοκιμίων

5.2 Βαθμονόμηση Έμμεσης Μεθόδου Κρουσίμετρου

Τα αποτελέσματα της πυρηνοληψίας, χρησιμοποιήθηκαν για την βαθμονόμηση που έγινε (επί τόπου του έργου), για την έμμεση μη καταστροφική μέθοδο του κρουσίμετρου που χρησιμοποιήθηκε.

Στο εγχειρίδιο του κρουσίμετρου Schmidt, τύπου N, τονίζεται ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων θα πρέπει να είναι από 5 έως 10 ανά θέση. Η διάμετρος της περιοχής στην οποία γίνεται ένα σύνολο μετρήσεων (θέση), είναι μεταξύ 150 και 300 mm (Facaoaru 1976, ISO DIS 8045 1982, RILEM NDT2, NDT3 1984, BSI 1881/203 1986). Ως τελική τιμή της μετρήσεως στην υπόψη θέση, θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των κρουσιμετρήσεων της θέσεως αυτής. Αν μια κρουσιμέτρηση διαφέρει περισσότερο από 5 μονάδες απ' την μέση τιμή της θέσεως θεωρείται απορριπτέα. Το ASTM: C 805-85 (1985) αναφέρει ότι δεν λαμβάνεται σαν σωστό το σύνολο των κρουσιμετρήσεων μιας θέσεως όταν δύο μετρήσεις διαφέρουν από το μέσο όρο κατά 7 μονάδες. Πάνω στο ίδιο θέμα αναφέρεται από το ISO/DIS 8045 (1982) ότι ο αριθμός των κρουσιμετρήσεων ανά θέση θα πρέπει να είναι 9. Αν το 20% των μετρήσεων μιας θέσεως διαφέρει από τον μέσο όρο περισσότερο από 6 μονάδες, η μέτρηση της θέσεως θεωρείται αναξιόπιστη και επαναλαμβάνεται.

Τα σημεία κρουσιμετρήσεων ήταν τουλάχιστον 30mm μακριά από τις ακμές ή τις απότομες ασυνέχειες του στοιχείου. Λεπτοί τοίχοι και πλάκες (με πάχος μικρότερο των 12cm) δίνουν μειωμένες ενδείξεις, λόγω της ταλαντώσεως που δημιουργείται απ' την κρουσιμέτρηση. Οι κανονισμοί δίνουν ότι το ελάχιστο πάχος, των δοκιμαζόμενων με την μέθοδο του κρουσίμετρου (R), μελών μιας κατασκευής πρέπει να είναι 100mm (ASTM C805 1985, ISO DIS 8045 1982).

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή τηρήθηκαν τα παραπάνω και για την βαθμονόμηση θα ληφθεί υπόψη η καμπύλη του Λογοθέτη (1979) που διέπεται από την εμπειρική σχέση

$$f_c = 0.023R^2 + 0.535R - 9.59 \text{ (MPa)}$$

Οι πυρήνες Π1-Π7 έδωσαν μέση τιμή, αντίστοιχα, για τον δείκτη αναπήδησης του κρουσίμετρου $R_m(\text{Rebound}) = 44.6, 47.6, 45.0, 43.7, 43.9, 42.5, 46.0$

Δηλαδή:

$$R_m = (44.6 + 47.6 + 45.0 + 43.7 + 43.9 + 42.5 + 46.0)/7$$

$$R_m = \frac{313.3}{7}$$

$$R_m = 44.7$$

που αντιστοιχούν σε αντίστοιχες τιμές της θλιπτικής αντοχής του πρότυπου κύβου (ακμής 15 cm): 26.0 MPa, 28.8 MPa, 22.4 MPa, 19.1 MPa, 23.5 MPa, 17.9 MPa, 29.4 MPa. Δηλαδή:

$$f_{cm} = \frac{(26.0 + 28.8 + 22.4 + 19.1 + 23.5 + 17.9 + 29.4) \text{ MPa}}{7}$$

$$f_{cm} = 23.9 \text{ MPa}$$

5. Πρακτική Εφαρμογή Ποιοτικού Ελέγχου Σκυροδέματος

Κωδικός Δοκιμίου	Θλιπτική αντοχή με αναγωγή $f_{c,cube\ 15x15x15}$ (MPa)	Δείκτης Αναπήδησης Rm
Π ₁	26	44.6
Π ₂	28.8	47.6
Π ₃	22.4	45
Π ₄	19.1	43.7
Π ₅	23.5	43.9
Π ₆	17.9	42.5
Π ₇	29.4	46

Η σχέση που διέπει τη νέα καμπύλη συσχέτισης, η οποία χαράσσεται τοπικώς παράλληλη με αυτή του Λογοθέτη για την υπόψη περιοχή τιμών αντοχής προέκυψε σύμφωνα με τη βοήθεια του Excel και μπορεί να βρεθεί στην ακόλουθη εικόνα (Εικόνα 5-2).

Κωδικός Δοκιμίου	Rm	fc
Π1	44,6	26
Π2	47,6	28,8
Π3	45	22,4
Π4	43,7	19,1
Π5	43,9	23,5
Π6	42,5	17,9
Π7	46	29,4

Λογοθετη	Rm	fc
	15	3,61
	17	6,152
	19	8,878
	21	11,788
	23	14,882
	25	18,16
	27	21,622
	29	25,268
	31	29,098
	33	33,112
	35	37,31
	37	41,692
	39	46,258
	44,6	60,02168
	47,6	67,98848
	45	61,06
	43,7	57,71237
	43,9	58,22233
	42,5	54,69125
	46	63,688



Εικόνα 5-2: Βαθμονόμηση κρουσίμετρου

Με βάση τα παραπάνω η βαθμονομημένη καμπύλη με βάση την οποία θα εξαχθούν τα αποτελέσματα με τη μέθοδο του κρουσίμετρου διέπεται από την εξίσωση:

$$f_c = 0.023R^2 + 0.535R - 46.1 \text{ (MPa)}$$

Πλέον με την βαθμονομημένη αυτή εξίσωση και τους περιορισμούς στις θέσεις και τον αριθμό των δοκιμών κρουσιμέτρησης, μπορούν να γίνουν οι μετρήσεις απευθείας στα δομικά στοιχεία της κατασκευής για τα οποία χρειάζονται τα δεδομένα για μελλοντική ανάλυση.

5.3 Αναλυτικοί υπολογισμοί ποιοτικού ελέγχου σκυροδέματος

Το κρουσίμετρο έδωσε τις κάτωθι τιμές αναπήδησεως (R) που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη τιμή της θλιπτικής αντοχής στον πρότυπο κύβο (ακμής 15 cm) και κατόπιν της βαθμονόμησης.

Στάθμη Υπογείου:

Δομικό στοιχείο	Δείκτης αναπήδησης R (rebound)										Rm	fc (MPa)
Υ1	45	42	41	46	46	49	48	46	46	43	45.2	25.1
Υ2	46	44	45	42	46	41	37	35	46	43	42.5	18.2
Υ3	43	44	44	45	46	43	43	41	49	42	44	22
Υ4	45	49	46	48	47	43	40	40	44	45	44.7	23.8
Υ5	41	39	45	44	43	48	46	43	39	49	43.7	21.2
Δ5	43	46	47	49	47	48	43	47	41	39	45	24.6
Δ6	44	38	41	42	43	51	48	46	48	40	44.1	22.2
Δ9	42	39	41	45	41	45	46	47	51	43	44	22
Δ10	48	44	46	48	49	45	50	41	46	49	46.6	28.8
Δ21	43	43	44	45	46	43	43	41	49	42	43.9	21.7

Στάθμη Ισογείου:

Δομικό στοιχείο	Δείκτης αναπήδησης R (rebound)										Rm	fc (MPa)
Υ5	45	49	46	48	47	43	40	40	44	45	44.7	23.8
Υ17	41	39	45	44	43	48	46	43	39	49	43.7	21.2
Υ18	43	46	47	49	47	48	43	47	41	39	45	24.6
Υ19	44	38	41	42	43	40	48	46	48	40	43	19.4
Υ20	42	39	41	45	41	45	46	47	51	43	44	22
Δ4	48	44	46	38	49	45	41	41	46	39	43.7	21.2
Δ6	46	44	45	42	46	43	47	48	46	43	45	24.6
Δ21	45	43	41	46	48	41	42	43	47	46	44.2	22.5

Στάθμη Α Ορόφου:

Δομικό στοιχείο	Δείκτης αναπήδησης R (rebound)										Rm	fc (MPa)
Υ2	47	46	51	47	56	38	41	47	47	47	46.8	29.3
Υ18	50	40	50	44	52	46	38	53	59	42	47.4	30.9
Υ19	36	44	50	49	42	40	45	41	44	43	43.4	20.4
Υ20	47	54	46	42	48	49	40	47	42	56	47.1	30.1
Δ4	45	42	41	46	46	49	48	46	44	43	45	24.6
Δ9	38	38	37	38	38	50	52	44	43	49	42.7	18.7
Δ10	44	44	43	41	40	40	44	38	41	47	42.2	17.4
Δ25	38	42	46	42	41	46	41	47	40	41	42.4	17.9
Δ26	42	49	44	42	45	48	40	43	40	41	43.4	20.4
Δ27	42	43	39	46	44	38	40	45	43	48	42.8	18.9

Στάθμη Β Ορόφου:

5. Πρακτική Εφαρμογή Ποιοτικού Ελέγχου Σκυροδέματος

Δομικό στοιχείο	Δείκτης αναπήδησης R (rebound)										Rm	fc (MPa)
Υ2	48	48	49	47	50	51	43	45	45	46	47.2	30.4
Δ4	48	51	44	45	46	47	48	46	50	51	47.6	31.5
Δ9	46	46	47	44	45	44	45	49	46	50	46.2	27.7
Δ10	47	46	46	46	49	48	46	47	44	40	45.9	26.9

Στάθμη Γ Ορόφου:

Δομικό στοιχείο	Δείκτης αναπήδησης R (rebound)										Rm	fc (MPa)
Υ6	42	45	46	47	46	43	40	45	42	42	42.8	21.5
Δ14	43	43	43	48	46	49	46	44	42	40	44.4	23

- Η μέση τιμή των δοκιμών ανηγμένη πρότυπα κυβικά δοκίμια είναι:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{f}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\begin{aligned} \bar{f}_c = & (f_{c,Y1} + f_{c,Y2} + f_{c,Y3} + f_{c,Y4} + f_{c,Y5} + f_{c,\Delta5} + f_{c,\Delta6} + f_{c,\Delta9} + f_{c,\Delta10} + f_{c,\Delta21} + f_{c,Y5} \\ & + f_{c,Y17} + f_{c,Y18} + f_{c,Y19} + f_{c,Y20} + f_{c,\Delta4} + f_{c,\Delta6} + f_{c,\Delta21} + f_{c,Y2} + f_{c,Y18} \\ & + f_{c,Y19} + f_{c,Y20} + f_{c,\Delta4} + f_{c,\Delta9} + f_{c,\Delta10} + f_{c,\Delta25} + f_{c,\Delta26} + f_{c,\Delta27} + f_{c,Y2} \\ & + f_{c,\Delta4} + f_{c,\Delta9} + f_{c,\Delta10} + f_{c,Y6} + f_{c,\Delta14})/n \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{f}_c = & (25.1 + 18.2 + 22 + 23.8 + 21.2 + 24.6 + 22.2 + 22 + 28.8 + 21.7 + 23.8 \\ & + 21.2 + 24.6 + 19.4 + 22 + 21.2 + 24.6 + 22.5 + 29.3 + 30.9 \\ & + 20.4 + 30.1 + 24.6 + 18.7 + 17.4 + 17.9 + 20.4 + 18.9 + 30.4 \\ & + 31.5 + 27.7 + 26.9 + 21.5 + 23)MPa/34 \end{aligned}$$

$$\bar{f}_c = \frac{798,5MPa}{34}$$

$$\bar{f}_c = 23,48MPa$$

$$\bar{f}_c \cong 23.5MPa$$

Άρα fcm,cube = 23.5 Mpa

- Η τυπική απόκλιση είναι:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (f_{c,i} - \bar{f}_c)^2}{n}}$$

$$\sigma = \{[(f_{c,Y1} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y2} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y3} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y4} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y5} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta5} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta6} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta9} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta10} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta21} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y5} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y17} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y18} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y19} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y20} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta4} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta6} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta21} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y2} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y18} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y19} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y20} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta4} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta9} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta10} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta25} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta26} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta27} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y2} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta4} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta9} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,\Delta10} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y6} - \bar{f}_c)^2 + (f_{c,Y14} - \bar{f}_c)^2] / N\}^{0.5}$$

$$\sigma = [(25.1 - 23.5)^2 + (18.2 - 23.5)^2 + (22 - 23.5)^2 + (23.8 - 23.5)^2 + (21.2 - 23.5)^2 + (24.6 - 23.5)^2 + (22.2 - 23.5)^2 + (22 - 23.5)^2 + (28.8 - 23.5)^2 + (21.7 - 23.5)^2 + (23.8 - 23.5)^2 + (21.2 - 23.5)^2 + (24.6 - 23.5)^2 + (19.4 - 23.5)^2 + (22 - 23.5)^2 + (21.2 - 23.5)^2 + (24.6 - 23.5)^2 + (22.5 - 23.5)^2 + (29.3 - 23.5)^2 + (30.9 - 23.5)^2 + (20.4 - 23.5)^2 + (30.1 - 23.5)^2 + (24.6 - 23.5)^2 + (18.7 - 23.5)^2 + (17.4 - 23.5)^2 + (17.9 - 23.5)^2 + (20.4 - 23.5)^2 + (18.9 - 23.5)^2 + (30.4 - 23.5)^2 + (31.5 - 23.5)^2 + (27.7 - 23.5)^2 + (26.9 - 23.5)^2 + (21.5 - 23.5)^2 + (23 - 23.5)^2]^{0.5} MPa / 34^{0.5}$$

$$\sigma = 3,9 MPa$$

$$\sigma \cong 4 MPa$$

- Η αντίστοιχη μέση τιμή για κυλινδρικά δοκίμια (τιμή κυβικού / 1.25) είναι:

$$f_{cm, cyl} = \frac{23.5 MPa}{1.25} \rightarrow$$

$$f_{cm, cyl} = 18.8 MPa$$

- Η τυπική απόκλιση είναι:

$$\sigma = \sqrt{f_{cm, cyl} / n} \rightarrow$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(18.8 MPa)^2}{34}} \rightarrow$$

$$\sigma = 3.2 MPa$$

Με βάση τον ΕΚΟΣ [21] η κατηγορία αντοχής είναι:

$$f_{c, cube} = f_{cm, cube} - 1.6 * s$$

$$f_{c, cube} = 23.5 - 1.6 * 4$$

$$f_{c, cube} = 17.1 MPa$$

Εφόσον $17.1 \leq 20 MPa$ άρα εντάσσεται στην κατηγορία **C12/15**

6 Βιβλιογραφία

- [1 Σ. Μ. ,. Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002.
- [2 [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/>.
- [3 M. W. Nadir, Design of Reinforced Structures I, AL-Qasim Green University Water Resources Engineering College.
- [4 Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
- [5 A. A. A. Z. W. A. Majid M. Kharnoob, «PERFORMANCE OF HIGH STRENGTH REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BEAMS UNDER PURE TORSION,» *Applied Research Journal*, Τόμ. %1 από %2Vol.2, Issue, 6, αρ. Issue, 6, pp. pp.283-292, June, 2016.
- [6 R. C. E. M. A. M. P. Bernardi, «3D model for the evaluation of multiaxial fracture behaviour of reinforced concrete members,» σε *Conference: 9th International Conference on Multiaxial Fatigue & Fracture (ICMFF9)At: Parma (Italy)*, Parma, Italy, 2010.
- [7 Σ. Αλέξης, «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ,» σε *11ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ-ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Ο/Σ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ*, Πάτρα, 2005.
- [8 M. H. A. G. Doğan, «FAILURE MODES OF RC COLUMNS UNDER LOADING,» *International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 12, December-2016* , pp. 1280-1300, 2016.
- [9 C. Balkaya, «Lessons Learned from Collapse of Zumrut Building under Gravity Loads,» *INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIES*, pp. 45-49, 2017.
- [1 Κ. Απόστολος, ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ 0] (ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ) - Η ΤΕΧΝΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ, 2008.
- [1 Ι. Α. Ινστιτούτο, Σχεδιασμός Σεισμικά Ανθεκτικών Κτηρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα 1] με βάση τη θεώρηση της Ανελαστικής Μετακίνησης, Τόκιο: Ιαπωνικό Αρχιτεκτονικό Ινστιτούτο .
- [1 Κ. Σπανός, «Αστοχία Κοντών Υποστυλωμάτων - Μέθοδοι Ενίσχυσης,» σε *14ο Φοιτητικό 2] Συνέδριο Κατασκευών*, Πάτρα, 2008.
- [1 «Short Column Effect in Multi-Storey Buildings <https://theconstructor.org/structural-engg/short-column-effect-multi-storey-buildings/25271/>,» [Ηλεκτρονικό].

- [1 «<https://www.crsi.org/index.cfm/steel/splices>,» [Ηλεκτρονικό].
4]
- [1 E. C. F. STANDARDIZATION, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1:
5] General, 2004.
- [1 E. C. F. STANDARDIZATION, Eurocode 8: Design of structures for earthquake
6] resistance, 2004.
- [1 E. C. F. STANDARDIZATION, Eurocode 8: Design of structures for earthquake
7] resistance, 2004.
- [1 Ο. Α. Σ. Κ. Π. ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΡΟΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΙ
8] ΜΕΤΑΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ, Αθήνα, 2001.
- [1 Χ. Γ. Καραγιαννής, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ
9] ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία.
- [2 G. Garber, Design and Construction of Concrete Floors, Amsterdam: Butterworth-
0] Heinemann, 2006.
- [2 Ο.Α.Σ.Π, ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 2000,
1] Αθήνα: Σ.Π.Μ.Ε, 2001.
- [2 Α. Κωνσταντινίδης, ντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α – Η Τέχνη
2] της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής, Αθήνα: π-SYSTEMS INTERNATIONAL
Α.Ε., 2008.
- [2 «www.viomikal.gr,» [Ηλεκτρονικό].
3]
- [2 Σ. ΜΑΡΙΑ, «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΛΥΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ
4] ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ
ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ,» ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, 2020.
- [2 Π. Κ. Θ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ, Αθήνα: ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
5] ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ».
- [2 Μ. Μ. & R. S. Christoph Butenweg, «Experimental results of reinforced concrete frames
6] with masonry infills under combined quasi-static in-plane and out-of-plane seismic
loading,» 2019.
- [2 [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/>.
7]
- [2 Υ. Υ. Μ. Κ. ΔΙΚΤΥΩΝ, ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ 2016.
8]
- [2 «Η ιστορία του Σκυροδέματος,» INTERBETON, [Ηλεκτρονικό]. Available:

- 9] <http://www.interbeton.gr/default.asp?siteID=1&pageid=38&langid=1>.
- [3 Lafarge (a member of HOLCIM), [Ηλεκτρονικό]. Available:
0] https://www.lafarge.gr/istoria_tsimentou.
- [3 Ένωση Τσιμεντοβιομηχανιών Ελλάδος, [Ηλεκτρονικό]. Available:
1] <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/history/>.
- [3 Ε. Τ. Ελλάδαος. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/>.
- [3 Κ. Δ. ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ, «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ
3] ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΕΚΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ,» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,
ΑΙΓΑΛΕΩ, 2021.
- [3 Κ. Κ. Σιδέρης, Τεχνολογία Δομικών Υλικών, Ξάνθη: ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
4] ΘΡΑΚΗΣ, 1984.
- [3 Ε. Τ. ΕΛΛΑΔΟΣ. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/cement/codes-standards/>.
- [3 Τ.Ε.Ε. [Ηλεκτρονικό]. Available:
6] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/P_AGGREGATES/ad1_1.htm.
- [3 Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika
7] Concrete Handbook, Zurich: Sika Services AG, 2020.
- [3 Τ. Ε. Ελλάδαος. [Ηλεκτρονικό]. Available:
8] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/CEMENT/sk5.htm#%CE%9D%CE%95%CE%A1%CE%9F.
- [3 Τ. Ε. Ελλάδαος. [Ηλεκτρονικό]. Available:
9] http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/CEMENT/sk5.htm#%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%A3%CE%98%CE%95%CE%A4%CE%91.
- [4 Η. USA. [Ηλεκτρονικό]. Available:
0] <https://www.hilti.com/content/hilti/W1/US/en/business/business/trends/concrete-sensors.html>.
- [4 S. H. ABEE. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://grc.sika.com/el/45787/46973/48330.html>.
1]
- [4 Γ. Χ. Δήμητρα Κροντήρη, «ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ
2] (ΧΑΛΥΒΑΣ – ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ),» σε *10ο Φοιτητικό Συνέδριο «Επισκευές Κατασκευών – 04»*, Πάτρα, Μάρτιος 2004 .
- [4 Μ. Α.-Ι. ΚΑΤΣΑΜΑΚΑΣ ΑΝΤΩΝΗΣ, «Ενίσχυση δικών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε

- 3] κάμψη με τη χρήση FRP,» Πάτρα, Φεβρουάριος 2017.
- [4 Χ. Α. Καίρης Στέφανος, «Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος,» σε *14ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών*, Πάτρα, Φεβρουάριος 2008.
- [4 Λ.-Π. Κακαβάς Π., *Τεχνολογία Δομικών Υλικών - Πειραματικές Μέθοδοι Αποτίμησης της Δομικής Ακεραιότητας Υλικών-Κατασκευών*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- [4 MEDICAL AT BUILDINGS NDT, [Ηλεκτρονικό]. Available:
- 6] <https://www.iatrikiktirion.gr/b-mi-katastrofikes-methodoi-ndt/poioitikos-elegchos-skurodematos/>.
- [4 C. N. MALHOTRA V.M, *HANDBOOK ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE*, ASTM INTERNATIONAL - CRC PRESS, 2004.
- [4 V. S. Ivan Ivanchev, «About the Possible Limitations in the Usage of the Non-Destructive Ultrasonic Pulse Velocity Method for Assessment of Cracks in Reinforced Concrete Structures, Subjected to Direct Environmental Exposure,» *MDPI journals*, 2019.
- [4 Ο.Α.Σ.Π, ΚΑΝ.ΕΠΕ, 2017.
- 9]
- [5 ΕΛΟΤ 344, ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ.
- 0]
- [5 Ε. Σ. Ε. ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ, ΟΔΗΓΟΣ Ελέγχου Ποιότητας Κατασκευής Δημοσίων Έργων - 1] ΤΟΜΟΣ Α Έλεγχος Υλικών, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ, Σεπτέμβριος 2004.
- [5 Μ. Α.-Ι. ΚΑΤΣΑΜΑΚΑΣ ΑΝΤΩΝΗΣ, «Ενίσχυση δοκών απο οπλισμένο σκυρόδεμα σε 2] κάμψη με τη χρήση FRP,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.episkeves2.civil.upatras.gr/wp-content/uploads/2017/01/10.-ΚΑΤΣΑΜΑΚΑΣ-ΚΑΙ-ΜΥΛΩΝΑΣ.pdf>.
- [5 <https://www.slideshare.net/itdevdamt/7-9518648>
- 3]

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Εικόνα 1-1	https://tsakonias.com.gr/strengthening.html
Εικόνα 2-1	https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/
Εικόνα 2-2	https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/
Εικόνα 2-3	https://civilengineeringbible.com/subtopics.php?i=32
Εικόνα 2-4	Nadir, MSC. Wissam, Design of Reinforced Structures I, AL-Qasim Green University Water Resources Engineering College
Εικόνα 2-5	https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/
Εικόνα 2-6	https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/
Εικόνα 2-7	https://theconstructor.org/structural-engg/failure-modes-concrete-beams-flexural-shear/37752/
Εικόνα 2-8	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-9	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-10	A. A. A. Z. W. A. Majid M. Kharnoob, «PERFORMANCE OF HIGH STRENGTH REINFORCED CONCRETE CONTINUOUS BEAMS UNDER PURE TORSION,» Applied Research Journal, Τόμ. %1 από %2Vol.2, Issue, 6, αρ. Issue, 6, pp. pp.283-292, June, 2016.
Εικόνα 2-11	https://slideplayer.com/slide/10534917/
Εικόνα 2-12	R. C. E. M. A. M. P. Bernardi, «3D model for the evaluation of multiaxial fracture behaviour of reinforced concrete members,» σε Conference: 9th International Conference on Multiaxial Fatigue & Fracture (ICMFF9)At: Parma (Italy), Parma, Italy, 2010.
Εικόνα 2-13	Σ. Αλέξης, «ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΔΟΚΟΥ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ ΜΕ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ,» σε 11ο ΦΟΙΤΗΤΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ-ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Ο/Σ ΚΑΙ ΑΝΑΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, Πάτρα, 2005
Εικόνα 2-14	https://www.news247.gr/koinonia/dikaiosi-gia-ta-thymata-tis-rikomex.6151753.html
Εικόνα 2-15	Balkaya Can, Lessons Learned from Collapse of Zumrut Buildingunder Gravity Loads, INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIE
Εικόνα 2-16	Κ. Απόστολος, ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΠΡΩΤΟΣ ΤΟΜΟΣ) - Η ΤΕΧΝΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ Η ΜΕΛΕΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ, 2008
Εικόνα 2-17	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-18	Balkaya Can, Lessons Learned from Collapse of Zumrut Buildingunder Gravity Loads, INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIE
Εικόνα 2-19	Κ. Σπανός, «Αστοχία Κοντών Υποστυλωμάτων - Μέθοδοι Ενίσχυσης,» σε 14ο Φοιτητικό Συνέδριο Κατασκευών, Πάτρα, 2008 - Short Column Effect in Multi-Storey Buildings https://theconstructor.org/structural-engg/short-column-effect-multi-storey-buildings/25271/
Εικόνα 2-20	M. H. A. G. Doğan, «FAILURE MODES OF RC COLUMNS UNDER LOADING,» International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 12, December-2016 , pp. 1280-1300, 2016.
Εικόνα 2-21	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-22	Balkaya Can, Lessons Learned from Collapse of Zumrut Buildingunder Gravity

	Loads, INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIE
Εικόνα 2-23	https://www.buildinghow.com/el-gr/ Προϊόντα/Βιβλία/Τόμος-Α/Οπλισμός-Ι/Τοιχεία/Ματίσεις
Εικόνα 2-24	https://www.crsi.org/index.cfm/steel/splices
Εικόνα 2-25	https://www.crsi.org/index.cfm/steel/splices
Εικόνα 2-26	https://www.crsi.org/index.cfm/steel/splices
Εικόνα 2-27	Balkaya Can, Lessons Learned from Collapse of Zumrut Building under Gravity Loads, INTERNATIONAL JOURNAL of ENGINEERING TECHNOLOGIE
Εικόνα 2-28	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-29	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-30	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-31	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-32	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141029617308544
Εικόνα 2-33	Χ. Γ. Καραγιαννης, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία
Εικόνα 2-34	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-35	Χ. Γ. Καραγιαννης, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία
Εικόνα 2-36	Χ. Γ. Καραγιαννης, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία
Εικόνα 2-37	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-38	Χ. Γ. Καραγιαννης, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΟΥ, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Σοφία
Εικόνα 2-39	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-40	Α. Κωνσταντινίδης, Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α – Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής, Αθήνα: π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., 2008
Εικόνα 2-41	www.viomekal.gr
Εικόνα 2-42	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-43	Σ. ΜΑΡΙΑ, «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΛΥΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ,» ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, 2020
Εικόνα 2-44	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 2-45	Σ. ΜΑΡΙΑ, «ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΟΛΥΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ, ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΥΤΟΥ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΟΣΤΟΥΣ,» ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΑΝΟΙΧΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ, 2020
Εικόνα 2-46	https://www.correctyourconcrete.com/blog/slab-on-grade-settlement
Εικόνα 2-47	Π. Κ. Θ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ, Αθήνα: ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Εικόνα 2-48	Π. Κ. Θ. ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ, ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ, Αθήνα: ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»
Εικόνα 2-49	https://www.researchgate.net/publication/235493968_Seismic_Evaluation_of_Masonry_Structures_Strengthened_with_Reinforced_Concrete_Layers/figures?lo=1
Εικόνα 2-50	Σημειώσεις Εργαστηριακής Άσκησης Κριτήρια Αστοχίας – Διάτμηση Τοιχοποιίας Δρ. Σωτήρης Δέμης Πολιτικός Μηχανικός
Εικόνα 2-51	https://www.researchgate.net/publication/235493968_Seismic_Evaluation_of_Masonry_Structures_Strengthened_with_Reinforced_Concrete_Layers/figures?lo=1
Εικόνα 2-52	https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-019-00602-7
Εικόνα 3-1	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Concrete Handbook, Zurich: Sika Services AG, 2020
Εικόνα 3-2	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Concrete Handbook, Zurich: Sika Services AG, 2020
Εικόνα 3-3	http://www.hcia.gr/el/cement-concrete/concrete/regulations/
Εικόνα 3-4	https://www.911metallurgist.com/portland-cement/
Εικόνα 3-5	Κ. Δ. ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ, «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ,» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΙΓΑΛΕΩ, 2021.
Εικόνα 3-6	ΕΛΟΤ EN 197-1-2000 «Τσιμέντο-Μέρος 1:Σύνθεση, προδιαγραφές και κριτήρια συμμόρφωσης για κοινά τσιμέντα»
Εικόνα 3-7	https://ikee.lib.auth.gr/record/300536/files/Sigouni.pdf
Εικόνα 3-8	https://theconstructor.org/building/aggregates-concrete-american-standards-astm/39552/
Εικόνα 3-9	https://theconstructor.org/concrete/excess-water-effect-concrete-mix/29135/
Εικόνα 3-10	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Concrete Handbook, Zurich: Sika Services AG, 2020
Εικόνα 3-11	https://www.kiancement.com/article/high-strength-concrete.html
Εικόνα 3-12	https://www.capital.gr/epikairota/3127157/pos-tha-anabathmisei-i-fraport-ta-aerodromia
Εικόνα 3-13	https://www.archiproducts.com/en/products/edil-leca-murature/lightened-concrete-block-for-external-walls-bc20-lightened-concrete-block-for-external-walls_318596
Εικόνα 3-14	https://www.andreoy.gr/en/services/flat-roof-insulations
Εικόνα 3-15	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, Sika Concrete Handbook, Zurich: Sika Services AG, 2020
Εικόνα 3-16	https://www.alamy.com/stock-photo/anchor-bolts.html
Εικόνα 3-17	https://theconstructor.org/water-resources/types-of-arch-dam-construction/20087/
Εικόνα 3-18	https://www.hilti.com/content/hilti/W1/US/en/business/business/trends/concrete-sensors.html
Εικόνα 3-19	https://prom.ua/p679458785-epoksidnyj-gelkout-rengel.html
Εικόνα 3-20	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 3-21	https://probuildermag.co.uk/products/the-multi-purpose-repair-mortar-from-ardex
Εικόνα 3-22	Κ. Δ. ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ, «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ,» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΙΓΑΛΕΩ, 2021.
Εικόνα 3-23	https://docplayer.gr/46196862-Enishysi-dokon-apo-oplismeno-skyrodema-se-kampsi-me-hrisi-frp.html
Εικόνα 3-24	Κ. Δ. ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ, «ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ,» ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΤΜΗΜΑ

	ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΑΙΓΑΛΕΩ, 2021.
Εικόνα 3-25	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 3-26	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 3-27	Σ. Η. Δρίτσος, ΕΠΙΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ απο οπλισμένο σκυρόδεμα, Πάτρα, 2005.
Εικόνα 3-28	Χ. Α. Καίρης Στέφανος, «Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος,» σε 14ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος 2008
Εικόνα 3-29	Χ. Α. Καίρης Στέφανος, «Ενίσχυση Υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος,» σε 14ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών, Πάτρα, Φεβρουάριος 2008
Εικόνα 3-30	ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΜΑΝΔΥΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ ΦΙΛΙΝΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ, “17ο Φοιτητικό Συνέδριο: Επισκευές Κατασκευών” Πάτρα, Φεβρουάριος 2011
Εικόνα 3-31	http://www.iqia.gr/1H_Enisxyseis.html
Εικόνα 4-1	https://www.iatrikiktirion.gr/b-mi-katastrofikes-methodoi-ndt/poiotikos-elegchos-skurodematos/
Εικόνα 4-2	http://www.totalstation.gr/index.php/construction-check/krousimetra-skyrodematos/krousimetro-skyrodematos-original-schmidt-detail
Εικόνα 4-3	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-4	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-5	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-6	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-7	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-8	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-9	V. S. Ivan Ivanchev, «About the Possible Limitations in the Usage of the Non-Destructive Ultrasonic Pulse Velocity Method for Assessment of Cracks in Reinforced Concrete Structures, Subjected to Direct Environmental Exposure,» MDPI journals, 2019.
Εικόνα 4-10	V. S. Ivan Ivanchev, «About the Possible Limitations in the Usage of the Non-Destructive Ultrasonic Pulse Velocity Method for Assessment of Cracks in Reinforced Concrete Structures, Subjected to Direct Environmental Exposure,» MDPI journals, 2019.
Εικόνα 4-11	Σ. Μ. , Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002
Εικόνα 4-12	https://public.haf.gr/procure/wp-content/uploads/2020/12/110%CE%A0%CE%9C-20-02_%CE%A4%CE%95%CE%A7%CE%9D%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%93%CE%A1%CE%91%CE%A6

	%CE%97-%CE%A0-11-110%CE%A0%CE%9C_%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%91%CE%A1%CE%A4%CE%97%CE%9C%CE%91-%CE%91_signed.pdf
Εικόνα 5-1	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Πυρηνοληψία, υπέρηχοι, κρουσίμετρο) 1Κων/νος Γ. Τρέζος Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ
Πίνακας 3-1	ΒΡΟΝΤΟΥ ΜΑΡΘΑ, ΚΟΥΡΝΕΤΑ ΔΑΝΑΗ <<ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΕΚΥΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ>> ΑΘΗΝΑ, 2021
Πίνακας 3-2	ΕΛΟΤ 197-1
Πίνακας 3-3	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, <<Sika Concrete Handbook>> Zurich, 2020, Sika Services AG
Πίνακας 3-4	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, <<Sika Concrete Handbook>> Zurich, 2020, Sika Services AG
Πίνακας 3-4	Dipl.-Ing. HTL Jürg Schlumpf, Dipl.-Ing. Bastian Bicher, Dipl.-Ing. Oliver Schwoon, <<Sika Concrete Handbook>> Zurich, 2020, Sika Services AG
Πίνακας 4-1	Σ. Μ. ., Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002.
Πίνακας 4-2	Σ. Μ. ., Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002.
Πίνακας 4-3	Σ. Μ. ., Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002.
Πίνακας 4-4	Σ. Μ. ., Τ. Κ. Σπανός Χρ., Μέθοδοι για την επι τόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, Αθήνα: ΤΕΧΝΙΚΟ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟ ΕΛΛΑΔΑΣ, 2002.