



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

Ενίσχυση Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Ευσταθία Δημητρίου

Λεμεσός, Μάιος 2018

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία
Ενίσχυση Κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Ευσταθία Δημητρίου

Επιβλέπων Καθηγητής
Δρ. Ανδρέας Κκολός

Λεμεσός, Μάιος 2018

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ευσταθία Δημητρίου, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή μου, Δρ. Ανδρέα Κκολό για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής εργασίας, για το αμείωτο ενδιαφέρον του και για την συμπαράστασή του. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την στήριξη και την κατανόηση που μου επέδειξαν όλο αυτό το διάστημα και που μου προσφέρουν σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στις μέρες μας, τόσο η ενίσχυση όσο και η επισκευή ή αποκατάσταση των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, αποτελούν ένα κύριο θέμα το οποίο ένας Πολιτικός Μηχανικός πρέπει να γνωρίζει, αφού το φαινόμενο της επισκευής και ενίσχυσης των υφιστάμενων κατασκευών όλο και αυξάνεται.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία, στο πρώτο μέρος της, αναφέρεται στην παθολογία των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα και πιο συγκεκριμένα, στα αίτια που προκαλούν τις διάφορες βλάβες (φθορές) στις κατασκευές. Αναφέρεται επίσης, στις μορφές αστοχίας οι οποίες υπάρχουν, καθώς και στους βαθμούς βλάβης που είναι πιθανόν να εμφανιστούν σε κάθε δομικό στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Επιπρόσθετα, αναφέρονται οι διάφορες διαδικασίες για τη διάγνωση των βλαβών στα δομικά στοιχεία, καθώς και στη διαδικασία ανασχεδιασμού των υφιστάμενων κατασκευών η οποία είναι απαραίτητη και ένας Πολιτικός Μηχανικός πρέπει να γνωρίζει καλά πριν να καταφύγει σε τυχόν επισκευή ή ενίσχυση μιας υφιστάμενης κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρονται οι διάφορες μέθοδοι ανάλυσης και οι στρατηγικές επεμβάσεων στην διαδικασία ανασχεδιασμού των υφιστάμενων κατασκευών. Ολοκληρώνοντας, δίνεται έμφαση στα υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή ή/και ενίσχυση των δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και στους τρόπους επισκευής και ενίσχυσης που μπορούν να εφαρμοσθούν σε κάθε δομικό στοιχείο ανάλογα με τον βαθμό βλάβης.

Στο δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, αναφέρεται η διαδικασία ελέγχου και ανάλυσης μιας υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, μέσω του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD και στη συνέχεια αναφέρονται οι τρόποι ενίσχυσής της.

Λέξεις κλειδιά: Βλάβες, Υλικά επισκευής, Τεχνικές ενίσχυσης, Επισκευή, Ενίσχυση.

ABSTRACT

Nowadays, both reinforcement and repair or restoration of reinforced concrete structures are a major issue that a Civil Engineer must know, since the phenomenon of repair and reinforcement of existing structures is growing.

This diploma thesis, in its first part, refers to the pathology of reinforced concrete structures and, more specifically, to the causes that cause the various damages to structures. It also mentions the types of failure that exist, as well as the degrees of damage likely to occur in each reinforced concrete structural element. In addition, the various procedures for diagnosing structural damage are referred, as well as the process of redesigning existing structures which it's required and a Civil Engineer must know well before resorting to any repair or reinforcement of an existing structure. More specifically, the various methods of analysis and intervention strategies in the process of redesigning existing structures are mentioned. In conclusion, emphasis is placed on materials that can be used to repair and / or reinforce the reinforced concrete structural elements, as well as on the repair and reinforcement methods that can be applied to each structural member depending on the degree of damage.

In the second part of this dissertation, the process of control and analysis of an existing reinforced concrete structure is reported, through the 3DR.STRAD static program and then the ways of its reinforcement are mentioned.

Keywords: Faults, Repairing materials, Techniques of repair, Repair, reinforcement.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	xiii
Μέρος Α.....	1
1 Εισαγωγή	1
2 Διάβρωση χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος.....	2
2.1 Ενανθράκωση.....	3
2.2 Επίδραση χλωριόντων.....	4
2.3 Ρωγμές.....	4
3 Παθολογία κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος.....	5
3.1 Βλάβες σε υποστυλώματα.....	5
3.1.1 Τυπικοί Βαθμοί Βλάβης.....	5
3.1.2 Χαρακτήρας βλαβών	8
3.2 Βλάβες σε Κόμβους Δοκών- Υποστυλωμάτων	10
3.2.1 Μορφές εκδήλωσης βλαβών σε κόμβους δοκών- υποστυλωμάτων.....	11
3.3 Βλάβες σε τοιχώματα	13
3.4 Βλάβες σε Δοκούς.....	16
3.5 Βλάβες σε Πλάκες.....	19
4 Τυπικοί βαθμοί βλάβης.....	22
4.1 Απλή ρηγμάτωση μικρού πλάτους (βλάβες βαθμού Α και Β).....	22
4.2 Τοπική αποδιοργάνωση σκυροδέματος από διάτμηση, θλίψη ή διόγκωση (Βλάβες βαθμού Γ)	23

4.3	Διακοπή συνεχείας από πλήρη θραύση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών (Βλάβες βαθμού Δ)	24
5	Διαδικασία διάγνωσης βλαβών.....	25
5.1	Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών	26
5.1.1	Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι.....	27
5.1.2	Ημι-Καταστρεπτικοί Έλεγχοι.....	34
5.1.3	Επιτόπου Χημικοί Έλεγχοι.....	37
5.1.4	Έλεγχοι καθολικής φόρτισης.....	38
6	Μέθοδοι ανάλυσης υφιστάμενων κατασκευών	40
6.1	Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης.....	40
6.2	Ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης.....	40
6.3	Βασικές έννοιες της ανελαστικής στατικής ανάλυσης	41
6.3.1	Ικανότητα.....	42
6.3.2	Απαίτηση σε Μετακίνηση	43
6.3.3	Συμπεριφορά.....	44
7	Διαδικασία Ανασχεδιασμού Υφιστάμενων Κατασκευών	45
7.1	Αποτίμηση.....	45
7.2	Λήψη της απόφασης.....	45
7.3	Σχεδιασμός της λύσης.....	47
7.4	Στρατηγικές Επεμβάσεων	47
8	Υλικά επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος ..	50
8.1	Σύνθετα υλικά-Ινοπλισμένα πολυμερή	50
8.1.1	Κατηγορίες σύνθετων υλικών.....	51
8.1.1.1	Ίνες	51
8.1.2	Μήτρα	55
8.1.2.1	Εποξειδικές ρητίνες	56

8.1.2.2	Πολυεστερικές ρητίνες	56
8.1.2.3	Βινυλεστερικές ρητίνες	57
8.1.2.4	Κόλλα	58
8.2	Σκυρόδεμα.....	58
8.2.1	Συμβατικό Σκυρόδεμα χυτό επί τόπου	58
8.2.2	Έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου	59
8.2.3	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	59
8.2.4	Σκυρόδεμα με πολυμερή.....	62
8.2.5	Σκυροτσιμεντόπηγμα.....	63
8.2.6	Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	64
8.3	Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα.....	65
8.4	Επισκευαστικά Κονιάματα.....	66
8.5	Ενέματα.....	68
8.6	Βλήτρα και αγκύρια	69
8.6.1	Είδη βλήτρων και αγκυρίων	69
8.6.1.1	Κατακόρυφα βλήτρα προς τα κάτω.....	69
8.6.1.2	Οριζόντια βλήτρα	70
8.6.1.3	Κατακόρυφα βλήτρα οροφής	70
9	Τεχνικές επεμβάσεως για επισκευή και ενίσχυση δομικών στοιχείων.....	71
9.1	Ρητινενέσεις	71
9.2	Ριζοπλισμοί	73
9.3	Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα	74
9.4	Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών.....	75
9.5	Μανδύες από Ο/Σ.....	76
10	Επισκευές και ενισχύσεις δομικών στοιχείων	79

10.1	Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης της διάβρωσης οπλισμένου σκυροδέματος	79
10.1.1	Ρητινενέσεις.....	79
10.1.2	Προστατευτικά επιστρώματα.....	79
10.1.3	Υδατοστεγείς μεμβράνες	80
10.1.4	Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή.....	80
10.1.5	Επαναλκαλοποίηση του σκυροδέματος.....	81
10.1.6	Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα	82
10.1.7	Αφαίρεση υγρασίας από το σκυρόδεμα.....	83
10.1.8	Καθοδική προστασία	83
10.2	Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης υποστρωμάτων	84
10.2.1	Επισκευή υποστρωμάτων	84
10.2.1.1	Επισκευή με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα.....	85
10.2.1.2	Αποκαταστάσεις ίσης διατομής.....	85
10.2.2	Ενίσχυση υποστρωμάτων	90
10.2.2.1	Ενίσχυση υποστρωμάτων με αύξηση της διατομής του υποστρώματος.....	90
10.2.2.2	Ενίσχυση υποστρωμάτων με περισφιγξη	95
10.3	Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης Κόμβων Δοκών-Υποστρωμάτων	100
10.3.1	Επισκευή Κόμβων Δοκών-Υποστρωμάτων.....	100
10.3.1.1	Επισκευή Κόμβων με ρητινενέσεις.....	101
10.3.1.2	Επισκευή κόμβων με αποκατάσταση ίσης διατομής.....	101
10.3.2	Ενίσχυση Κόμβων Δοκών-Υποστρωμάτων.....	102
10.3.2.1	Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος.....	102
10.3.2.2	Χρήση χιαστί κολλάρων.....	104
10.3.2.3	Τεχνική της «καμπούρας».....	105

10.3.2.4	Εφαρμογή επικολλητών φύλλων από χάλυβα.....	106
10.3.2.5	Συνθετικά υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)	107
10.4	Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης τοιχωμάτων	108
10.4.1	Επισκευή τοιχωμάτων.....	108
10.4.2	Ενίσχυση τοιχωμάτων.....	108
10.4.2.1	Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους (χρήση μανδύα ΟΣ)	108
10.4.2.2	Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιξη	111
10.5	Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης Δοκών/Πλακών	112
10.5.1	Επισκευή Δοκών/Πλακών	112
10.5.2	Ενίσχυση Δοκών/πλακών	116
10.5.2.1	Ενίσχυση Δοκών σε κάμψη.....	116
10.5.2.2	Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση	127
10.5.2.3	Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με σύνθετα υλικά	129
10.5.2.4	Ενίσχυση σε κάμψη και Διάτμηση	129
10.6	Ενίσχυση θεμελίωσης.....	130
10.6.1	Σύνδεση μανδύα υποστυλώματος με πέδιλο	131
10.6.2	Ενίσχυση πεδίλου	132
Μέρος Β.....		134
1	Στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό.....	138
2	Προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο, στατική ανάλυση νέου ορόφου και ενίσχυση υφιστάμενου.....	143
Συμπεράσματα		151
Βιβλιογραφία		153

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ενδεικτικές ιδιότητες ινών	54
Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες ρητινών	57
Πίνακας 3: Ιδιότητες και χαρακτηριστικά επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο	68

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διάβρωση χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (Επιδόμος χ.χ.)	2
Διάγραμμα 2: Διάβρωση χάλυβα από ενανθράκωση του σκυροδέματος (Grantham2011)	3
Διάγραμμα 3: Διάβρωση προκαλούμενη από χλωριόντα σε παραθαλάσσια κατασκευή (Grantham2011).....	4
Διάγραμμα 4: Βαθμός βλάβης A (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	5
Διάγραμμα 5: Βαθμός βλάβης B (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	6
Διάγραμμα 6: Βαθμός βλάβης C (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	6
Διάγραμμα 7: Βαθμός βλάβης D (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	7
Διάγραμμα 8: Καμπτικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	8
Διάγραμμα 9: Διατμητικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	9
Διάγραμμα 10: Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).....	10
Διάγραμμα 11: Βλάβες σε ακραίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999).....	12
Διάγραμμα 12: Βλάβες σε μεσαίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999).....	13
Διάγραμμα 13: Διατμητικού τύπου βλάβη τοιχώματος (Δρίτσος 2005).....	14
Διάγραμμα 14: Καμπτικού τύπου βλάβη τοιχώματος (Δρίτσος 2005).....	15
Διάγραμμα 15: Βλάβη τοιχώματος στον αρμό διακοπής εργασίας (Πενέλης & Κάππος 1999).....	15
Διάγραμμα 16: Καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλμα (Δρίτσος 2005).....	16
Διάγραμμα 17: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα και ολίσθηση οπλισμών στο κάτω πέλμα (Δρίτσος 2005).....	17
Διάγραμμα 18: Διατμητική αστοχία δοκού (Δρίτσος 2005).....	18

Διάγραμμα 19: Διατμητική αστοχία στη θέση έμμεσης στηρίξεως (Πενέλης & Κάππος 1999)	18
Διάγραμμα 20: Βλάβη πλάκας στην κρίσιμη περιοχή προβόλου (Πενέλης & Κάππος 1999)	20
Διάγραμμα 21: Βλάβη πλάκας στη γωνία μεγάλης οπής (κάτω επιφάνεια της πλάκας) (Πενέλης & Κάππος 1999)	21
Διάγραμμα 22: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης (Δρίτσος 2005)	21
Διάγραμμα 23: Βλάβη βαθμού Α (Κυριαζόπουλος 2015).....	22
Διάγραμμα 24: Βλάβη βαθμού Β (Κυριαζόπουλος 2015).....	22
Διάγραμμα 25: Βλάβη βαθμού Β (Κυριαζόπουλος 2015).....	22
Διάγραμμα 26: Βλάβες βαθμού Γ (Κυριαζόπουλος 2015).....	23
Διάγραμμα 27: Βλάβες βαθμού Δ (Κυριαζόπουλος 2015).....	24
Διάγραμμα 28: Οπτικός έλεγχος (Βότσης 2017)	27
Διάγραμμα 29: Οπτικός έλεγχος (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).....	27
Διάγραμμα 30: Μέθοδος κρουσιμέτρησης (Σπυράκος 2004)	28
Διάγραμμα 31: Κρουσιμέτρηση (Βότσης 2017).....	29
Διάγραμμα 32: Χρήση υπέρηχου (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013)	30
Διάγραμμα 33: Μέθοδος υπερήχων (Σπυράκος 2004)	30
Διάγραμμα 34: Εξοπλισμός μαγνητικής μεθόδου (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013)	31
Διάγραμμα 35: Μαγνητική μέθοδος (Σπυράκος 2004)	31
Διάγραμμα 36: Όργανο μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού για τον προσδιορισμό του κινδύνου διάβρωσης ράβδων οπλισμού (Σπυράκος 2004).....	32
Διάγραμμα 37:Εφαρμογή μεθόδου πυρηνοληψίας (Βότσης 2017)	35
Διάγραμμα 38: Όργανο που χρησιμοποιείται στη μέθοδο του εξολκέα (Σπυράκος 2004)	36

Διάγραμμα 39: Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013)	38
Διάγραμμα 40: Καμπύλη ικανότητας της κατασκευής (Σπυράκος 2004)	42
Διάγραμμα 41: Καθ' ύψος κατανομή πλευρικού φορτίου (Σπυράκος 2004)	43
Διάγραμμα 42: Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2007)	49
Διάγραμμα 43: Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους ινών και για τον κοινό χάλυβα (Χιώτης 2012)	55
Διάγραμμα 44: Μήτρα (Ταντελέ 2018)	55
Διάγραμμα 45: Τυπική εγκατάσταση για ξηρά διαδικασία (ΟΑΣΠ 2001)	61
Διάγραμμα 46: Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Δρίτσος 2015-2016)	62
Διάγραμμα 47: Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη (ΟΑΣΠ 2001)	64
Διάγραμμα 48: Εφαρμογή μεταλλικών ελασμάτων (cited in Αγγελή και Σταματοπούλου 2011)	65
Διάγραμμα 49: Εφαρμογή ενεμάτων (Sintecno 1978)	69
Διάγραμμα 50: Εφαρμογή βλήτρων (Σιδέρης χ.χ.)	70
Διάγραμμα 51: α) Σφράγιση ρωγμής, (β) Τοποθέτηση ακροφυσίων, (γ) Είσοδος πεπιεσμένου αέρα, (δ) Διοχέτευση εποξειδικής ρητίνης (cited in Καλλιανιώτης & Σταθάς 2009)	72
Διάγραμμα 52: Τοποθέτηση ριζοπλισμών (Σιδέρης χ.χ.)	73
Διάγραμμα 53: Ενίσχυση δοκού με επικόλληση ελασμάτων (Πενέλης & Κάππος 1999)	74
Διάγραμμα 54: Συγκόλληση νέας ράβδου οπλισμού (Πενέλης & Κάππος 1999)	75
Διάγραμμα 55: Ενίσχυση υποστρώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)	78
Διάγραμμα 56: Εφαρμογή προστατευτικών επιστρωμάτων στο σκυρόδεμα (Τσίκας & Παπασπυριδάκος χ.χ.)	80
Διάγραμμα 57: Επαναλκοποίηση του σκυροδέματος (Δημάδη & Κατσεινίου 2007)	82

Διάγραμμα 58: Εφαρμογή καθοδικής προστασίας (Τσίκας & Παπασπυριδάκος χ.χ) ...	84
Διάγραμμα 59: Επισκευή υποστρώματος με ρητινενέσεις (Δρίτσος 2014)	85
Διάγραμμα 60: Επισκευή υποστρώματος με μανδύα από έγχυτο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004).....	86
Διάγραμμα 61: Επισκευή υποστρώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005).....	87
Διάγραμμα 62: Αποκατάσταση υποστρώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαμμένης περιοχής (Σπυράκος 2004)	88
Διάγραμμα 63: Αποκατάσταση υποστρώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005)	89
Διάγραμμα 64: Μερική και πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.....	89
Διάγραμμα 65: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005).....	90
Διάγραμμα 66: Ενίσχυση υποστρώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014).....	91
Διάγραμμα 67: Ενίσχυση υποστρώματος με μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Δρίτσος 2014).....	91
Διάγραμμα 68: Μανδύες υποστρωμάτων: α) Μανδύας στο ύψος ενός ορόφου β) Μανδύας επεκτεινόμενος στον επάνω και τον κάτω όροφο (Πενέλης & Κάππος 1999)	92
Διάγραμμα 69: Σύνδεση παλιών με νέους οπλισμούς σε μανδύα υποστρώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)	93
Διάγραμμα 70: Παράδειγμα ανοιχτού τύπου μανδύα (Σπυράκος 2004)	94
Διάγραμμα 71: Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστρώματος (Δρίτσος 2005)...	94
Διάγραμμα 72: Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό (Δρίτσος 2005)	96
Διάγραμμα 73: Περίσφιξη υποστρώματος με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP's) (Κκολός 2018).....	97
Διάγραμμα 74: Περίσφιξη με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα: α)ορθογωνική διατομή, β)ελλειψοειδής διατομή (Δρίτσος 2005)	98

Διάγραμμα 75: Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό μανδύα (Σιδέρης χ.χ)	98
Διάγραμμα 76: Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό: α) μεταλλικά ελάσματα, β) πλήρη χαλυβδόφυλλα (Δρίτσος 2005).....	99
Διάγραμμα 77: Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό (Δρίτσος 2014)	100
Διάγραμμα 78: Επισκευή κόμβου με ρητινενέσεις (Καραγιάννης 2006).....	101
Διάγραμμα 79: Επισκευή κόμβου Δοκού-Υποστυλώματος (Δρίτσος 2014)	102
Διάγραμμα 80: Ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΑΣΠ 2001)	103
Διάγραμμα 81: Ενίσχυση με χιαστί κολλάρα: α) Γενική διάταξη β) Λεπτομέρεια εφαρμογής (ΟΑΣΠ 2001)	104
Διάγραμμα 82: Εφαρμογή χιαστί κολλάρων σε εξωτερικούς κόμβους.....	105
Διάγραμμα 83: Ενίσχυση κόμβου με χιαστί κολλάρα (Δρίτσος 2014)	106
Διάγραμμα 84: Ενίσχυση κόμβου με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (ΟΑΣΠ 2001)	106
Διάγραμμα 85: Ενίσχυση κόμβου με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2014)	107
Διάγραμμα 86: Ενίσχυση κόμβου με ινοπλισμένα πολυμερή (Δρίτσος 2014).....	107
Διάγραμμα 87: Διατμητική ενίσχυση τοιχώματος (Σπυράκος 2004)	109
Διάγραμμα 88: Διατμητική και καμπτική ενίσχυση τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Σπυράκος 2004).....	109
Διάγραμμα 89: Καμπτική ενίσχυση τοιχώματος (Σπυράκος 2004)	109
Διάγραμμα 90: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Δρίτσος 2005)	110
Διάγραμμα 91: Ενίσχυση τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)	110
Διάγραμμα 92: Ενίσχυση τοιχώματος με μεταλλικό κλωβό	111
Διάγραμμα 93: Ρητινενέσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό (Σπυράκος 2004)	113

Διάγραμμα 94: Επισκευή δοκού με ελαφρύ δομικό πλέγμα (Σπυράκος 2004).....	113
Διάγραμμα 95: Επισκευή δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Σπυράκος 2004)	114
Διάγραμμα 96: Μανδύας για επισκευή δοκού σε κάμψη (Σπυράκος 2004)	114
Διάγραμμα 97: Επισκευή δοκού με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής: (α) Ρηγματωμένη διατομή (β) Προσθήκη νέου οπλισμού (Σπυράκος 2004)	115
Διάγραμμα 98: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος (Σπυράκος 2004).....	116
Διάγραμμα 99: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού (Δρίτσος 2005).....	117
Διάγραμμα 100: Ενίσχυση με την προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας (Σπυράκος 2004)	118
Διάγραμμα 101: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού (α) Δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές (Σπυράκος 2004)	119
Διάγραμμα 102: Μείωση του ανοίγματος δοκού με χρήση μεταλλικού υποστυλώματος (Σπυράκος 2004).....	121
Διάγραμμα 103: Κοχλιωτή σύνδεση συγκολλητής μεταλλικής διατομής για αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενης δοκού από σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004)	122
Διάγραμμα 104: Ενίσχυση καμπτικής αντοχής δοκού με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα (Σπυράκος 2004).....	123
Διάγραμμα 105: Ενίσχυση δοκού με μεταλλικές λάμες (Κκολός 2018).....	124
Διάγραμμα 106: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκού με μεταλλικές λάμες (Κκολός 2018).....	124
Διάγραμμα 107: Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων ελάσματος (Σπυράκος 2004)	125
Διάγραμμα 108: Ενίσχυση δοκού με χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2014).....	126
Διάγραμμα 109: Προσθήκη πλευρικών μεταλλικών ελασμάτων για αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού (Σπυράκος 2004)	127
Διάγραμμα 110: Διατμητική ενίσχυση δοκού με διαγώνιους εξωτερικούς συνδετήρες (Σπυράκος 2004).....	128

Διάγραμμα 111: Αύξηση διατμητικής αντοχής δοκού με σοβαρές διατμητικές βλάβες μέσω συσφιγμένων κοχλιών (Σπυράκος 2004)	128
Διάγραμμα 112: Διατμητική ενίσχυση δοκού με ινοπλισμένα πολυμερή (Παναγόπουλος χ.χ).....	129
Διάγραμμα 113: Ενίσχυση δοκού και υποστυλώματος με κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014).....	130
Διάγραμμα 114: Πέρασ μανδύα στο πέδιλο (Πενέλης & Κάππος 1999).....	131
Διάγραμμα 115: Αγκύρωση οπλισμών μανδύα υποστυλώματος στο πέδιλο (Πενέλης & Κάππος 1999)	131
Διάγραμμα 116: Ενίσχυση πεδύλου – υποστυλώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)	132
Διάγραμμα 117: Ενίσχυση πεδύλου χωρίς ενίσχυση του υποστυλώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)	133
Διάγραμμα 118: Οπλισμοί πλακών ισόγειου και Α' ορόφου	135
Διάγραμμα 119: Κατάλογος οπλισμών δοκών	135
Διάγραμμα 120: Κατάλογος οπλισμών υποστυλωμάτων	135
Διάγραμμα 121: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστυλωμάτων στάθμης 3 με μανδύες.....	139
Διάγραμμα 122: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστυλωμάτων στάθμης 2 με μανδύες.....	140
Διάγραμμα 123: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 3	141
Διάγραμμα 124: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 2	142
Διάγραμμα 125: Σχέδιο οπλισμών πλακών νέου ορόφου.....	143
Διάγραμμα 126: Σχέδιο οπλισμών δοκών νέου ορόφου.....	144
Διάγραμμα 127: Λεπτομέρεια υποστυλωμάτων νέου ορόφου	145
Διάγραμμα 128: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστυλωμάτων στάθμης 3	147
Διάγραμμα 129: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστυλωμάτων στάθμης 2	148
Διάγραμμα 130: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 3	149
Διάγραμμα 131: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 2	150

Μέρος Α

1 Εισαγωγή

Παρατηρείται ότι με το πέρασμα του χρόνου, οι κατασκευές παρουσιάζουν διάφορες βλάβες, είτε φυσικές, είτε λόγω εξωτερικών παραγόντων. Αυτές οι βλάβες μειώνουν την αντοχή των κατασκευών και γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαία η επέμβαση σ' αυτές για την επισκευή/αποκατάσταση ή ενίσχυσή τους.

Είναι εμφανές ότι η επισκευή/αποκατάσταση και ενίσχυση μιας υφιστάμενης κατασκευής είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα που πρέπει να έχει εις γνώση του ένας Πολιτικός Μηχανικός, ιδιαίτερα στις μέρες μας όπου ο πλείστος πληθυσμός καταφεύγει σε επισκευή ή ενίσχυση των υφιστάμενων κατασκευών αντί σε ανέγερση νέων. Ο ανασχεδιασμός των υφιστάμενων κατασκευών, καθώς και οι στρατηγικές επέμβασης για επισκευή ή/και ενίσχυσή τους είναι ένα σύνθετο και δύσκολο ζήτημα το οποίο χρήζει ιδιαίτερης σημασίας.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, το βασικό θέμα είναι η ενίσχυση των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζεται η παθολογία των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς και οι στρατηγικές επεμβάσεων που πρέπει να γνωρίζουμε για την επισκευή ή/και ενίσχυσή τους. Επιπλέον, γίνεται έμφαση στα υλικά τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επισκευή ή ενίσχυση, καθώς και στους τρόπους/μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης όλων των δομικών στοιχείων.

Συνοψίζοντας, στο δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας, πραγματοποιείται έλεγχος και ανάλυση μιας υφιστάμενης κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα, μέσω του στατικού προγράμματος 3DR.STRAD και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τρόποι ενίσχυσής της.

2 Διάβρωση χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος

Γενικά, τα κτίρια ταλαιπωρούνται από το φαινόμενο της διάβρωσης. Το φαινόμενο της σταδιακής αποσύνθεσης του σκυροδέματος λόγω εναλλαγών πήξεως και τήξεως του νερού των πόρων, ή λόγω προσβολής αδρανών από την αλκαλικότητα του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού είναι σπάνιο ενδεχόμενο, επομένως, το κύριο πρόβλημα από άποψη ανθεκτικότητας του οπλισμένου σκυροδέματος είναι η διάβρωση του οπλισμού. Οι ράβδοι οπλισμού προστατεύονται από τη διάβρωση μέσω ενός πολύ λεπτού επιφανειακού στρώματος ένυδρου οξειδίου του σιδήρου, που δημιουργείται λόγω της υψηλής αλκαλικότητας του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Το σκληρυμένο σκυρόδεμα περιέχει μεγάλο ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, στο νερό των πόρων έτσι ώστε να δημιουργείται αλκαλικό περιβάλλον με τιμή pH γύρω στο 12.5. Με αυτόν τον τρόπο προστατεύεται ο χάλυβας από τη διάβρωση εφόσον το οξύδιο παραμένει ανέπαφο. Αυτό το φαινόμενο είναι γνωστό ως παθητικοποίηση του χάλυβα (Σπανός, Σπιθάκης & Τρέζος 2001).



Διάγραμμα 1: Διάβρωση χάλυβα οπλισμένου σκυροδέματος (Επιδόμος χ.χ.)

Η διάβρωση του χάλυβα προκαλείται από τρεις παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα, από την ενανθράκωση του σκυροδέματος, την επίδραση των χλωριόντων, καθώς και από τις ρωγμές.

2.1 Ενανθράκωση

Κατά την πήξη του τσιμέντου παράγεται υδροξείδιο του ασβεστίου (CaOH_2). Το 25% περίπου του βάρους του τσιμέντου υπάρχει υπό μορφή υδροξείδιου του ασβεστίου μετά την κρυστάλλωση και ως αποτέλεσμα το σκυρόδεμα έχει υψηλό αλκαλικό pH, γύρω στο 12.5. Όσο ο οπλισμός βρίσκεται μέσα στο αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, είναι προστατευμένος από την οξείδωση. Όμως η επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 είναι μέγιστης σημασίας διότι η απορρόφησή του από το σκυρόδεμα, εξουδετερώνει την αλκαλικότητα του σκυροδέματος. Έτσι, το φαινόμενο της ενανθράκωσης παίρνει το όνομά του από το ανθρακικό ασβέστιο που δημιουργείται. Η ενανθράκωση επιταχύνεται δραστικά από πόρους, φωλιές, κακοτεχνίες, ανομοιογενή κακή δόνηση κ.λ.π. Αξιοσημείωτο είναι ότι η ενανθράκωση μένει απαρατήρητη για πολλά χρόνια. Μόνον όταν οξειδωθεί ο οπλισμός παρατηρούνται, αρχικά τριχοειδείς ρωγμές λόγω της αύξησης του όγκου του (cited in Δημάδη & Κατσενίου 2007).



Διάγραμμα 2: Διάβρωση χάλυβα από ενανθράκωση του σκυροδέματος
(Grantham2011)

2.2 Επίδραση χλωριόντων

Τα χλωριόντα μπορούν να διατρήσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίου όταν φτάσουν μέσω του νερού των πόρων μέχρι τον οπλισμό. Τα χλωριόντα μπορούν να διαπεράσουν το προστατευτικό στρώμα οξειδίων, μέσα από τους πόρους του στρώματος με μεγαλύτερη ευκολία από άλλα ιόντα, με αποτέλεσμα την τοπική ή γενική καταστροφή του επιφανειακού προστατευτικού οξειδίου και την έναρξη της οξειδωσής του. Τα χλωριόντα προέρχονται είτε από το σκυρόδεμα, εφόσον έχουν χρησιμοποιηθεί αδρανή από παραλίες ή θαλασσινό νερό, είτε από πρόσμικτα που χρησιμοποιούνται στο σκυρόδεμα και μπορεί να περιέχουν χλωριούχα άλατα. Επίσης, τα χλωριόντα μπορεί να προέρχονται και από το φυσικό περιβάλλον (cited in Δημάδη & Κατσεινίου 2007).



Διάγραμμα 3: Διάβρωση προκαλούμενη από χλωριόντα σε παραθαλάσσια κατασκευή (Grantham2011)

2.3 Ρωγμές

Οι ρωγμές στο σκυρόδεμα αποτελούν το μέσο για την εισχώρηση τόσο του διοξειδίου του άνθρακα, όσο και των χλωριόντων στον οπλισμό με αποτέλεσμα να επιταχύνεται η διαδικασία της διάβρωσης του οπλισμού. Οι ρωγμές αυτές είναι πιθανό να προέρχονται από συστολή ξήρανσης, από υψηλές εντάσεις ή από διάφορες συγκρούσεις (cited in Δημάδη & Κατσεινίου 2007).

3 Παθολογία κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος

3.1 Βλάβες σε υποστυλώματα

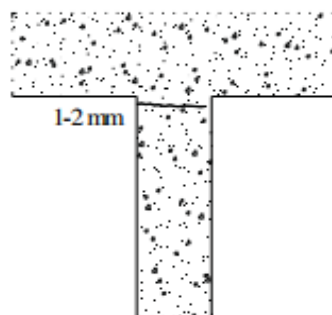
Οι βλάβες στα υποστυλώματα είναι από τις πιο συχνές και παράλληλα οι πιο σοβαρές αφού μπορεί να οδηγήσουν σε τμηματική ή ακόμα και σε ολική κατάρρευση της κατασκευής. Τα υποστυλώματα, ως κατακόρυφα στοιχεία, είναι τα μέλη που συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών λόγω σεισμού, εξαιτίας κυρίως των μεγάλων επιβαλλόμενων παραμορφώσεων και των αυξημένων απαιτήσεων πλαστιμότητας (Σπυράκος 2004).

Οι βλάβες στα υποστυλώματα κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον τυπικό βαθμό βλάβης και με τον χαρακτήρα των βλαβών (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).

3.1.1 Τυπικοί Βαθμοί Βλάβης

Βαθμός βλάβης A:

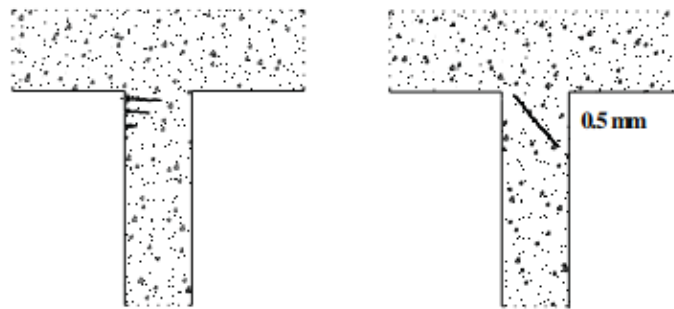
Πρόκειται για μεμονωμένες οριζόντιες ρωγμές με πλάτος λιγότερο από 1-2 mm, με την προϋπόθεση ότι ένας απλός υπολογισμός έχει αποδείξει ότι αυτές οι ρωγμές δεν οφείλονται σε ανεπάρκεια της διατομής σε κάμψη, αλλά μάλλον σε τοπικές αδυναμίες όπως για παράδειγμα αρμοί διακοπής εργασίας, επίδραση της εν επαφή τοιχοπλήρωσης, ανεπαρκής αγκύρωση οπλισμών, κ.τ.λ (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)



Διάγραμμα 4: Βαθμός βλάβης A (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Βαθμός βλάβης Β:

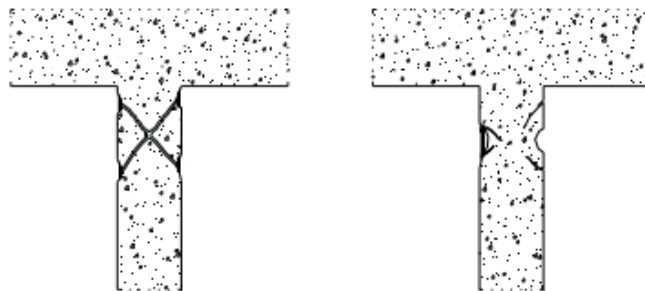
Πρόκειται για αρκετές πλατιές καμπτικές ρωγμές ή μεμονωμένες λοξές διατμητικές ρωγμές με πλάτος μικρότερο από 0.5 mm, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται εναπομένουσες μετακινήσεις (cited in Καϊρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 5: Βαθμός βλάβης Β (cited in Καϊρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Βαθμός βλάβης C:

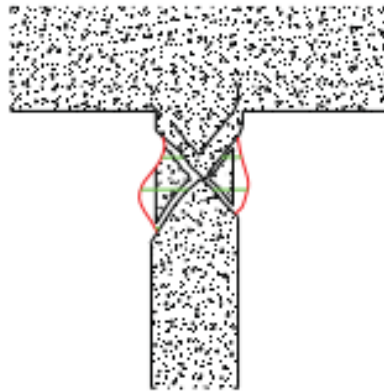
Πρόκειται για χιαστί λοξές διατμητικές ρωγμές ή έντονη τοπική σύνθλιψη και αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, υπό τον όρο ότι δεν παρατηρούνται άξιες λόγου εναπομένουσες μετακινήσεις. Οι ρηγματώσεις στους κόμβους θεωρούνται ως βαθμός βλάβης C (cited in Καϊρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 6: Βαθμός βλάβης C (cited in Καϊρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Βαθμός βλάβης D:

Πρόκειται για πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος στην περιοχή της βλάβης, λυγισμός των διαμήκων ράβδων, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής, ασυνέχεια στην περιοχή χωρίς κατάρρευση του υποστυλώματος. Προϋποτίθεται επίσης ότι οι εναπομένουσες μετακινήσεις που παρατηρούνται (οριζόντιες και κατακόρυφες) και ιδιαίτερα οι κατακόρυφες είναι σχετικά μικρές. Σοβαρή αποδιοργάνωση στους κόμβους θεωρείται ως βαθμός βλάβης D (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 7: Βαθμός βλάβης D (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Βαθμός βλάβης E:

Πρόκειται για πλήρη κατάρρευση του υποστυλώματος. Ως μία γενικότερη παρατήρηση σημειώνεται ότι εάν η γενική εικόνα βλάβης συμφωνεί με μία από τις εικόνες βλάβης των παραπάνω σχημάτων χωρίς όμως να τηρούνται οι προβλεπόμενες συνθήκες για τις εναπομένουσες μετακινήσεις, τότε ως βαθμός βλάβης θεωρείται ένα επίπεδο παραπάνω απ' ότι δηλώνεται στο σχήμα. Έτσι, για παράδειγμα μία βλάβη με εικόνα τύπου D, όπου όμως υπάρχουν μεγάλες κατακόρυφες μετακινήσεις, πρέπει να θεωρηθεί βαθμός βλάβης E (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).

3.1.2 Χαρακτήρας βλαβών

Τα υποστυλώματα υπόκεινται σε τρεις χαρακτηριστικές κατηγορίες βλαβών, δηλαδή, στις καμπτικού χαρακτήρα βλάβες, στις διατμητικού χαρακτήρα βλάβες καθώς και στο συνδυασμό και των δύο, καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες.

Καμπτικού χαρακτήρα βλάβες:

Οι καμπτικού χαρακτήρα βλάβες παρουσιάζονται συνήθως στην κορυφή και στη βάση των υποστυλωμάτων, αφού σε αυτές τις περιοχές παρατηρούνται οι μεγαλύτερες καμπτικές εντάσεις. Στην περίπτωση ύπαρξης μικρών αξονικών φορτίων η βλάβη εμφανίζεται ως οριζόντια καμπτική ρωγμή λόγω της υπέρβασης του ορίου διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό, ενώ το εύρος της ρωγμής είναι αποκαλυπτικό και του βαθμού της αστοχίας. Ίδιου χαρακτήρα βλάβη μπορεί να εκδηλωθεί και με αποφλοιώση του σκυροδέματος στην περιοχή επικάλυψης των ράβδων οπλισμού από υπέρβαση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος εντός και εκτός του πυρήνα της διατομής (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 8: Καμπτικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Διατμητικού χαρακτήρα βλάβες:

Οι διατμητικού χαρακτήρα βλάβες παρατηρούνται στις περιοχές με τη μεγαλύτερη διατμητική αδυναμία, συνήθως στη μέση του υποστυλώματος. Επίσης, αυτού του είδους βλάβες παρατηρούνται σε υποστυλώματα με μικρό λόγο διάτμησης. Αυτές οι βλάβες είναι ψαθυρής μορφής και συνεπώς εξ' ορισμού σοβαρές. Οι συγκεκριμένες βλάβες εκδηλώνονται με λοξές ρωγμές οι οποίες λόγω της αντιστροφής της φοράς της σεισμικής δράσης έχουν χιαστί μορφή. Οι διατμητικού χαρακτήρα βλάβες είναι συνήθως αποτέλεσμα της χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος, καθώς και της έλλειψης επαρκούς διατμητικού οπλισμού (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 9: Διατμητικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες:

Οι καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες παρατηρούνται σε περιπτώσεις μεγάλων αξονικών θλιπτικών φορτίων με ταυτόχρονη δράση κάμψης και διάτμησης. Αυτού του είδους βλάβη εκδηλώνεται με εγκάρσια διόγκωση του σκυροδέματος, διαρροή ή θραύση των συνδετήρων της περιοχής και τις πλείστες φορές με λυγισμό των διαμήκων ράβδων. Οι καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβες είναι αποτέλεσμα της ανεπάρκειας των διαστάσεων της διατομής, της χαμηλής ποιότητας σκυροδέματος, της έλλειψης

περίσφιξης ή του συνδυασμού των πιο πάνω λόγων. Στον συγκεκριμένο χαρακτήρα βλάβης εκτός από την ψαθυρότητα της αστοχίας και τη σημαντική μείωση της ακαμψίας του υποστυλώματος, συνεπάγεται και αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων. Η αδυναμία αυτή σε συνδυασμό με τη συμπεριφορά γειτονικών κατακόρυφων στοιχείων, μπορεί να οδηγήσει την κατασκευή σε κατάρρευση (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008).



Διάγραμμα 10: Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα βλάβη σε υποστύλωμα (cited in Καΐρης & Χατζηβασιλειάδης 2008)

3.2 Βλάβες σε Κόμβους Δοκών- Υποστυλωμάτων

Οι κόμβοι, δηλαδή οι περιοχές ένωσης δοκών –υποστυλωμάτων, αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα τμήματα του φέροντος οργανισμού των κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση των κόμβων δοκών- υποστυλωμάτων θα πρέπει να είναι τέτοια ούτως ώστε (cited in Μπάρος & Μπαρούνη 2007):

- Να προλαμβάνεται η ψαθυρή διατμητική τους αστοχία.
- Να διατηρείται η ακεραιότητά τους ούτως ώστε τα μέλη τα οποία συνδέουν να είναι ικανά να αναπτύσσουν τις αντοχές τους.

- Να συγκρατείται η μείωση της δυσκαμψίας τους ελαχιστοποιώντας τις ρηγματώσεις στο σκυρόδεμα και εμποδίζοντας την απώλεια δεσμού μεταξύ του σκυροδέματος και του οπλισμού.

Οι βλάβες στους κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων είναι από τις πλέον κρίσιμες για την ασφάλεια της ακεραιότητας του φορέα και έστω και στην πρώτη φάση εκδηλώσεώς τους (πρώτες ρηγματώσεις), θα πρέπει να θεωρούνται ιδιαίτερα ανησυχητικές για την κατασκευή και να αντιμετωπίζονται ανάλογα (Πενέλης & Κάππος 1999).

Η εκδήλωση βλάβης αυτού του τύπου υποβαθμίζει την ακαμψία του φέροντος στοιχείου και οδηγεί σε μη ελεγχόμενες ανακατανομές εντάσεως. Όπως είναι φανερό από αποτελέσματα καταστρεπτικών σεισμών, οι κόμβοι δοκών-υποστυλωμάτων, ιδιαίτερα οι εξωτερικοί, αποτελούν ένα από τα πλέον ευπαθή στοιχεία των υφιστάμενων κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα (Δρίτσος 2005; Πενέλης & Κάππος 1999).

Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι (Δρίτσος 2005):

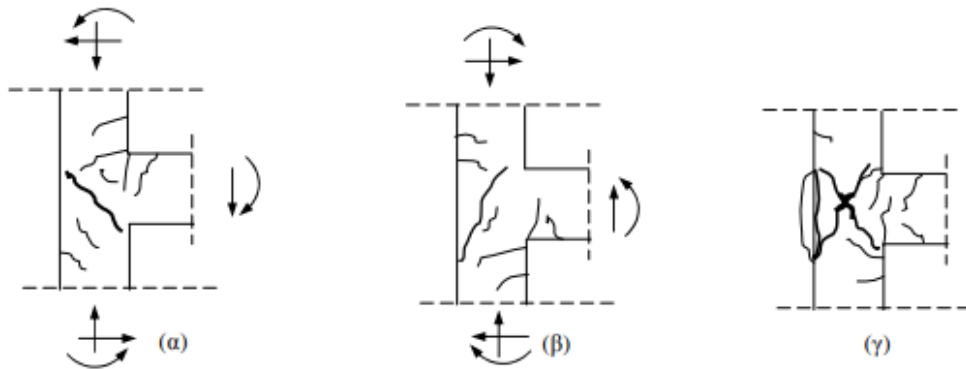
- Η διατμητική ένταση στους κόμβους είναι ιδιαίτερα υψηλή.
- Ο σχεδιασμός των κόμβων δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της τοπικής έντασης.
- Οι κόμβοι είναι συχνά σημεία κακής σκυροδέτησης λόγω της μεγάλης πυκνότητας οπλισμών.

Κάθε ρηγμάτωση κόμβου, έστω και εάν είναι μικρού ανοίγματος ρωγμών, πρέπει να εξετάζεται ως επικίνδυνη και να αντιμετωπίζεται ως σοβαρότερη βλάβη σε σύγκριση με άλλα δομικά στοιχεία τα οποία έχουν την ίδια εικόνα ρηγμάτωσης (Δρίτσος 2005).

3.2.1 Μορφές εκδήλωσης βλαβών σε κόμβους δοκών- υποστυλωμάτων

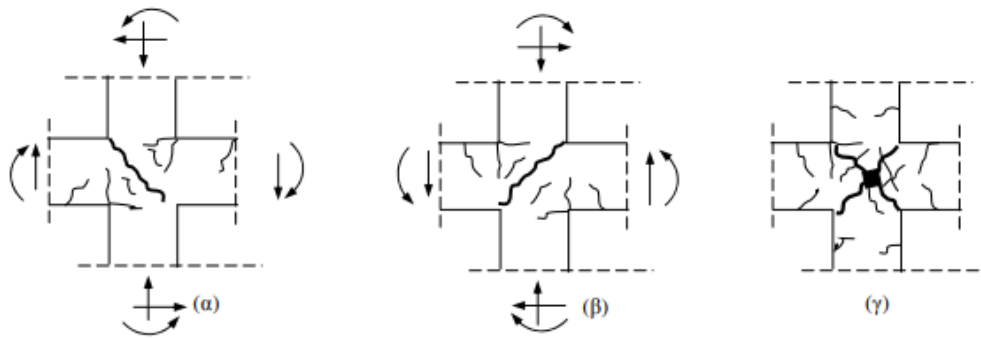
Οι αστοχίες που είναι πιθανόν να εμφανιστούν στην περιοχή κόμβου σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση είναι οι πιο κάτω (cited in Μπάρος & Μπαρούνη 2007):

1. Απώλεια επικάλυψης οπλισμού. Η συγκεκριμένη μορφή βλάβης οδηγεί σε μείωση της ικανότητας παραλαβής του αξονικού φορτίου.
2. Απώλεια πρόσφυσης των διαμήκων οπλισμών των δοκών. Αυτή η μορφή αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία απώλειας δυσκαμψίας.
3. Ολίσθηση των διαμήκων οπλισμών των υποστυλωμάτων. Όταν αυτή η μορφή αστοχίας συνδυάζεται με την εμφάνιση πλαστικών αρθρώσεων στα υποστυλώματα, τότε η ακεραιότητα του συνολικού φορέα είναι πολύ επισφαλής.
4. Λυγισμός των διαμήκων ράβδων των υποστυλωμάτων. Αυτή η μορφή βλάβης παρατηρείται κυρίως μετά την απώλεια της επικάλυψης του οπλισμού και τη διαρροή των συνδετήρων.
5. Αστοχία από τέμνουσα. Μπορεί να συνδυαστεί με μία ή περισσότερες μορφές αστοχιών από τις παραπάνω και παρουσιάζεται με την εμφάνιση έντονων χιαστί ρωγμών.



Διάγραμμα 11: Βλάβες σε ακραίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999)

- α) σύνθλιψη κάτω παρειάς δοκού, β) σύνθλιψη άνω παρειάς δοκού, γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση



Διάγραμμα 12: Βλάβες σε μεσαίους κόμβους (Πενέλης & Κάππος 1999)

α) σύνθλιψη κάτω παρειάς δοκού, β) σύνθλιψη άνω παρειάς δοκού, γ) αποδιοργάνωση κόμβου από ανακυκλιζόμενη φόρτιση

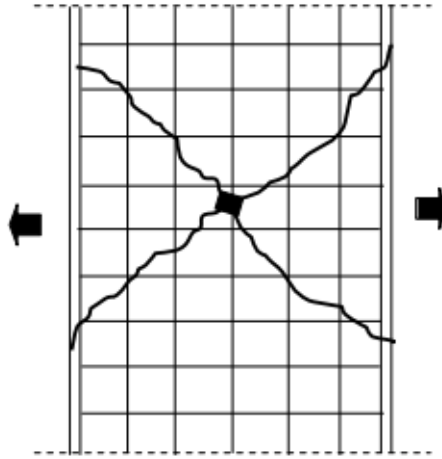
3.3 Βλάβες σε τοιχώματα

Τα τοιχώματα σε μία κατασκευή, είναι τα δομικά στοιχεία τα οποία παραλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της σεισμικής έντασης. Οι βλάβες σε τοιχώματα μετά από ένα ισχυρό σεισμό είναι εξίσου συχνές όπως και οι βλάβες σε υποστυλώματα (Δρίτσος 2005).

Οι βλάβες που εμφανίζονται στα τοιχώματα είναι των εξής τύπων (Πενέλης & Κάππος 1999):

- Διατμητικού τύπου βλάβες
- Καμπτικού τύπου βλάβες
- Βλάβες από ολίσθηση στον αρμό διακοπής εργασίας

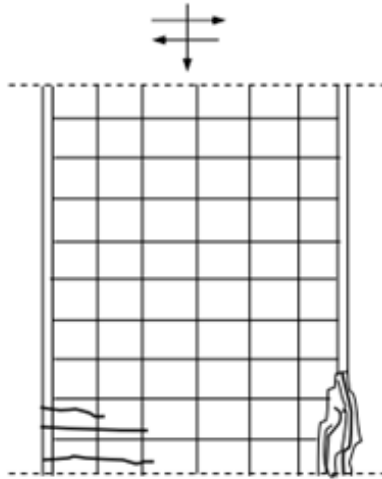
Οι διατμητικού τύπου βλάβες είναι περισσότερο συχνές και πιο σοβαρές. Οι συγκεκριμένες βλάβες εμφανίζονται με λοξά ρήγματα που λόγω της αντιστροφής της σεισμικής δράσης εμφανίζουν τελικά χιαστί μορφή (Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 13: Διαμητικού τύπου βλάβη τοιχώματος (Δρίτσος 2005)

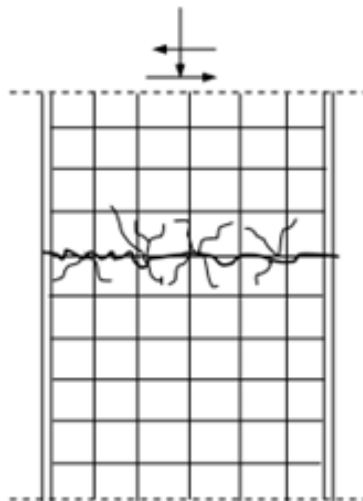
Η συγκεκριμένη μορφή βλάβης είναι σημαντική λόγω της ψαθυρότητας της αστοχίας αλλά και λόγω του γεγονότος πως είναι πολύ πιθανόν να προκληθούν εκατέρωθεν μετακινήσεις των τριγωνικών τμημάτων του τοιχώματος, όπως φαίνεται στο πιο πάνω σχήμα, που συνεπάγονται βράχυνση του συνολικού στοιχείου και πιθανή αδυναμία μεταφοράς των κατακόρυφων φορτίων. Έτσι, συνεπάγεται ο κίνδυνος τμηματικής ή ολικής κατάρρευσης του δομήματος μέσα από μια αλυσιδωτή σειρά αστοχιών. Συνήθως τα αίτια μιας τέτοιας αστοχίας συνδυάζονται με ανεπαρκή οπλισμό και χαμηλή ποιότητα σκυροδέματος (Δρίτσος 2005).

Οι καμπτικού τύπου βλάβες είναι λιγότερο συχνές. Οι συγκεκριμένες βλάβες παρουσιάζονται στη βάση του τοιχώματος κοντά στη θεμελίωση. Αυτές οι βλάβες είναι εμφανείς στον ισόγειο όροφο των κτιρίων, όταν έχουν κατασκευαστεί με ισχυρή θεμελίωση ή όταν διαθέτουν υπόγειο όροφο τα περιμετρικά τοιχώματα του οποίου δημιουργούν συνθήκες πάκτωσης του τοιχώματος (Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 14: Καμπτικού τύπου βλάβη τοιχώματος (Δρίτσος 2005)

Η ολίσθηση στον αρμό διακοπής εργασίας είναι μια άλλη περίπτωση βλάβης που παρουσιάζεται πολύ συχνά στα τοιχώματα και εμφανίζεται με ρηγματώση των αρμών διακοπής εργασίας. Η βλάβη αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στη μη καλότεχνη σύνδεση του παλαιού με το νέο σκυρόδεμα. Η συγκεκριμένη βλάβη δεν εγκυμονεί άμεσο κίνδυνο για την ευστάθεια της κατασκευής, γιατί λόγω της οριζόντιας διατάξεως της ρηγματώσεως, το τοίχωμα εξακολουθεί να μπορεί να φέρει τα κατακόρυφα φορτία. Επιπλέον, από πλευράς ακαμψίας το όλο φέρον σύστημα ελάχιστα επηρεάζεται από βλάβες αυτού του τύπου (Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 15: Βλάβη τοιχώματος στον αρμό διακοπής εργασίας (Πενέλης & Κάππος 1999)

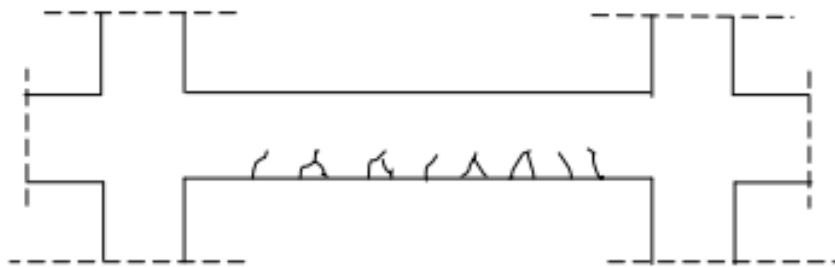
3.4 Βλάβες σε Δοκούς

Οι βλάβες στις δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα προέρχονται είτε από σεισμό είτε από τα επιβαλλόμενα κατακόρυφα φορτία που καλείται μια δοκός να παραλάβει. Οι βλάβες στις δοκούς είναι συχνότερες και από τις βλάβες στα υποστυλώματα, ακόμη και στην περίπτωση σεισμού. Είναι όμως λιγότερο επικίνδυνες όσον αφορά την ευστάθεια του φορέα ως σύνολο.

Οι βλάβες που επισυμβαίνουν στις δοκούς είναι δύο ειδών:

- Καμπτικές βλάβες
- Διατμητικές βλάβες

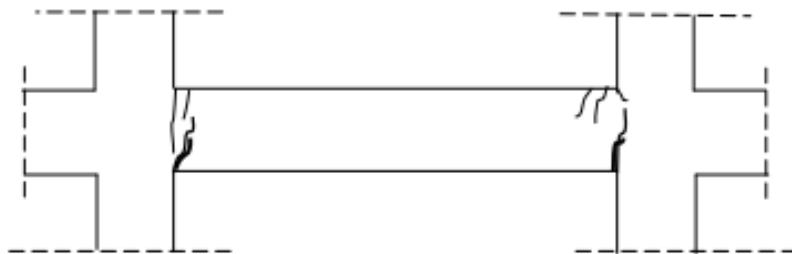
Οι καμπτικές βλάβες σε μία δοκό παρουσιάζονται ως εγκάρσιες ρωγμές στο κάτω πέλμα της δοκού και οφείλονται εν μέρει στη σεισμική ένταση. Ωστόσο, τέτοιου είδους βλάβες, πιθανότατα δεν είναι βλάβες αλλά η αποκάλυψη τριχοειδών ρωγμών που προϋπήρχαν και έγιναν ορατές αφού διευρύνθηκαν λόγω της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού. Ωστόσο, οι βλάβες αυτού του τύπου στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων δεν εγκυμονούν κινδύνους για την κατασκευή (Δρίτσος 2005; Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 16: Καμπτικές ρωγμές στο κάτω πέλμα (Δρίτσος 2005)

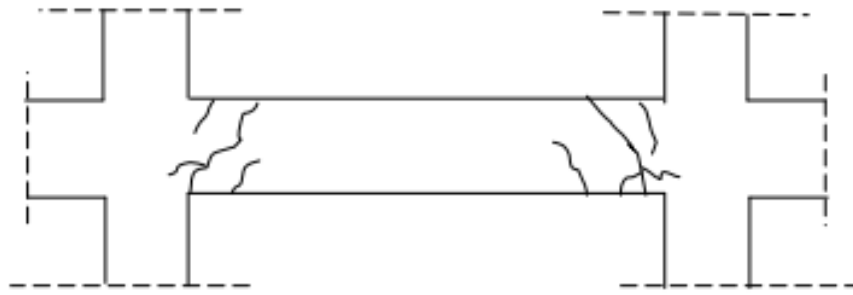
Αν όμως οι βλάβες στη δοκό οφείλονται από τη δράση κατακόρυφων φορτίων, τότε σε αυτή την περίπτωση παρατηρούνται συνήθως αρκετές μεγάλου πλάτους ρωγμές συγκεντρωμένες σε μία περιοχή της δοκού. Αυτού του είδους οι ρωγμές είναι πιθανώς ένδειξη καμπτικής ανεπάρκειας και διαρροής του εφελκόμενου χάλυβα (Δρίτσος 2005).

Επιπρόσθετα, καμπτικές βλάβες στο πάνω πέλμα των δοκών μπορούν να εμφανιστούν κοντά στις στηρίξεις λόγω σεισμού ή μακροχρόνιων δράσεων. Στο κάτω πέλμα εμφανίζονται επίσης κοντά στις στηρίξεις αλλά τώρα οφείλονται σε δύο διαφορετικούς λόγους. Η πρώτος λόγος είναι η καμπτική αστοχία της διατομής από διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού και ο δεύτερος λόγος, που είναι και ο συνηθέστερος, η ανεπαρκής αγκύρωση και η ολίσθηση του οπλισμού του κάτω πέλματος, που συνήθως εμφανίζεται με ένα ρήγμα μεγάλου πλάτους στην παρειά της στήριξης (Δρίτσος 2005).



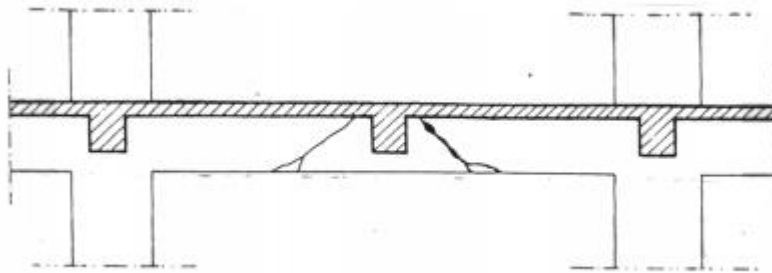
Διάγραμμα 17: Καμπτική αστοχία στο άνω πέλμα και ολίσθηση οπλισμών στο κάτω πέλμα (Δρίτσος 2005)

Οι διατμητικές βλάβες παρουσιάζονται στις περιοχές στήριξης των δοκών μετά από ένα ισχυρό σεισμό. Αυτές οι βλάβες είναι οι σοβαρότερες που μπορούν να παρουσιαστούν σε δοκούς και αυτό τις καθιστά ανεπιθύμητες λόγω της ψαθυρής μορφής αστοχίας.



Διάγραμμα 18: Διατμητική αστοχία δοκού (Δρίτσος 2005)

Ένας άλλος τύπος βλάβης είναι η διατμητική ή καμπτική αστοχία στις θέσεις εδράσεως δευτερευουσών δοκών ή φυτευτών υποστυλωμάτων. Η βλάβη αυτού του τύπου εμφανίζεται αρκετά συχνά και οφείλεται στην κατακόρυφη εναλλασσόμενη συνιστώσα της σεισμικής δράσης επί του μοναχικού φορτίου (Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 19: Διατμητική αστοχία στη θέση έμμεσης στηρίξεως (Πενέλης & Κάππος 1999)

3.5 Βλάβες σε Πλάκες

Οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς και πολλές φορές υπερστατικοί, οι οποίοι μπορούν να ανακατανέμουν τις δυνάμεις που εξασκούνται επάνω τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουν υψηλή αντοχή σε κάμψη και διάτμηση, σε αντίθεση με τις πλάκες προβόλους οι οποίοι είναι ισοστατικοί φορείς και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή στην κατασκευή.

Οι βλάβες στις πλάκες είναι δευτερεύουσας σημασίας αφού σπάνια επηρεάζουν την ευστάθεια του συνολικού φορέα, λόγω της μεγάλης υπερστατικότητάς τους. Επιπλέον, οι πλάκες δεν επηρεάζονται από τις σεισμικές δράσεις, όμως κάποιες φορές μετά από ένα ισχυρό σεισμό μπορεί να υπάρξουν διαμπερείς εγκάρσιες ρωγμές δηλαδή καμπτικές ρηγματώσεις στην παρεία της στήριξης των δοκών, λόγω της συνεργασίας πλάκας-δοκού (Δρίτσος 2005).

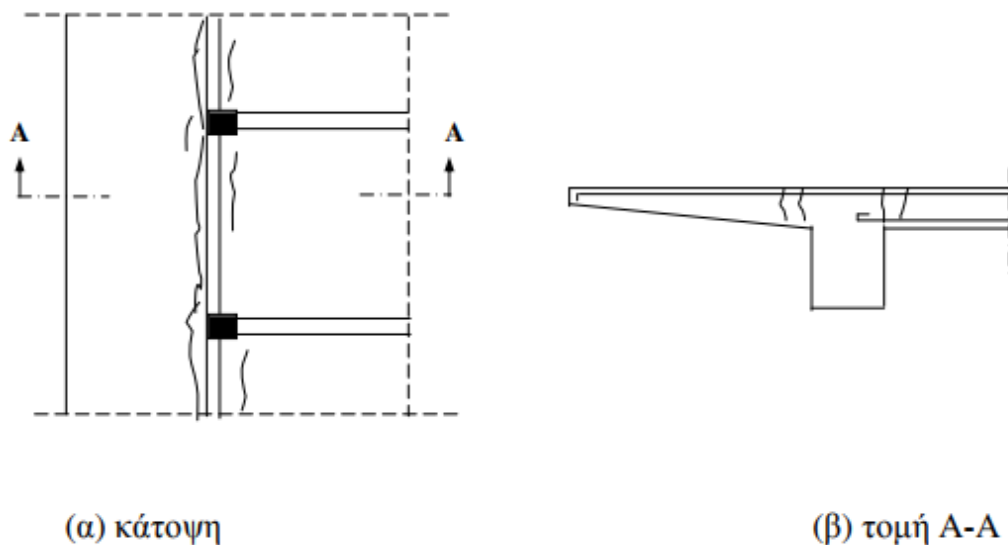
Οι βλάβες στις πλάκες συχνά εμφανίζονται ως (Πενέλης & Κάππος 1999):

- Ρηγματώσεις παράλληλες ή κάθετες προς τους οπλισμούς σε τυχαίες θέσεις.
- Ρηγματώσεις κάθετα προς τους κύριους οπλισμούς σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων.
- Ρηγματώσεις σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεως, όπως στις γωνίες μεγάλων οπών (π.χ. φωταγωγοί, ανοίγματα εσωτερικών κλιμακοστασίων κ.λ.π.).
- Ρηγματώσεις σε σημεία συγκεντρώσεως μεγάλων σεισμικών δυνάμεων στις ζώνες συνδέσεως των πλακών με τοιχώματα ή με υποστυλώματα χωρίς δοκούς.

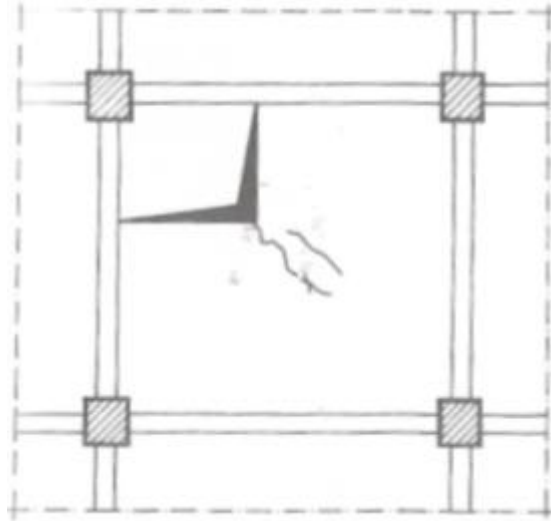
Οι παράλληλες ή κάθετες ρηγματώσεις προς τους οπλισμούς σε τυχαίες θέσεις είναι ο συχνότερος τύπος βλάβης. Αυτός ο τύπος βλάβης οφείλεται τις περισσότερες φορές στη διεύρυνση των τριχοειδών ρηγμάτων που προϋπήρχαν στο σκυρόδεμα από καμπτική λειτουργία, είτε από θερμοκρασιακές μεταβολές ή συρρίκνωση και έγιναν εμφανή λόγω της δυναμικής διεγέρσεως από το σεισμό (Πενέλης & Κάππος 1999).

Οι κάθετες ρηγματώσεις προς τους κύριους οπλισμούς σε κρίσιμες διατομές μεγάλων ανοιγμάτων ή μεγάλων προβόλων, συνήθως οφείλονται στο μειωμένο στατικό ύψος που δημιουργείται αθέλητα πριν τη σκυροδέτηση και μετά από την τοποθέτηση του οπλισμού. Μερικές φορές οι ρηγματώσεις αυτές επεκτείνονται μόνο στην επικάλυψη του σκυροδέματος που λόγω του μειωμένου στατικού ύψους είναι σημαντικού πάχους και έτσι είναι ορατές (Δρίτσος 2005).

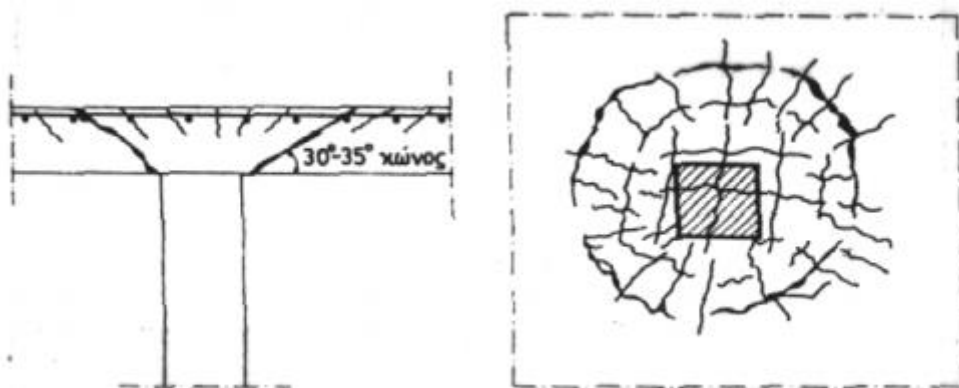
Οι ρηγματώσεις σε περιοχές ανωμαλιών κατόψεως, όπως στις γωνίες μεγάλων οπών είναι απόρροια της αστοχίας διατρήσεως, σε πλάκες εδραζόμενες απ'ευθείας σε υποστυλώματα χωρίς την παρεμβολή δοκών, που επιτείνεται από την καμπτική καταπόνηση λόγω σεισμού.



Διάγραμμα 20: Βλάβη πλάκας στην κρίσιμη περιοχή προβόλου (Πενέλης & Κάππος 1999)



Διάγραμμα 21: Βλάβη πλάκας στη γωνία μεγάλης οπής (κάτω επιφάνεια της πλάκας) (Πενέλης & Κάππος 1999)



Διάγραμμα 22: Βλάβη πλάκας λόγω διάτρησης (Δρίτσος 2005)

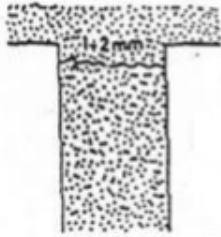
4 Τυπικοί βαθμοί βλάβης

Η βλάβη φερόντων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα μπορεί να καταταχθεί σε τρεις τυπικούς βαθμούς (Τάσιος 1999):

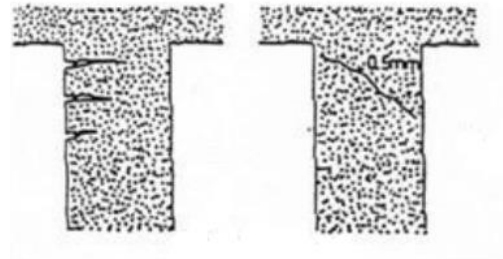
- Απλή ρηγμάτωση μικρού πλάτους (βλάβες βαθμού A και B)
- Τοπική αποδιοργάνωση σκυροδέματος από διάτμηση, θλίψη ή διόγκωση (Βλάβες βαθμού Γ)
- Διακοπή συνεχείας από πλήρη θραύση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών (Βλάβες βαθμού Δ)

4.1 Απλή ρηγμάτωση μικρού πλάτους (βλάβες βαθμού A και B)

Οι συγκεκριμένες βλάβες είναι ελαφρές και το πάχος της ρωγμής κυμαίνεται μεταξύ 0.5 και 3 mm. Η επισκευή τους γίνεται μέσω ενέσεων με εποξειδικές κόλλες (ρητίνες), μανδύα σκυροδέματος ή σύνθετου υλικού (cited in Αγγέλη & Σταματοπούλου 2011).



Διάγραμμα 23: Βλάβη βαθμού A
(Κυριαζόπουλος 2015)



Διάγραμμα 24: Βλάβη βαθμού B (Κυριαζόπουλος
2015)



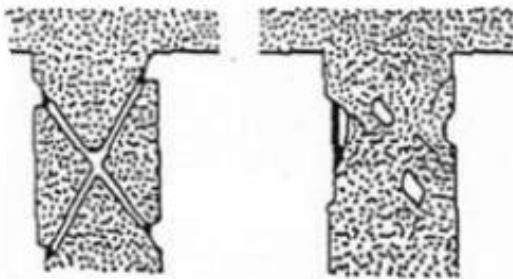
Διάγραμμα 25: Βλάβη βαθμού B (Κυριαζόπουλος 2015)

4.2 Τοπική αποδιοργάνωση σκυροδέματος από διάτμηση, θλίψη ή δίογκωση (Βλάβες βαθμού Γ)

Η συγκεκριμένη βλάβη μπορεί να επισκευαστεί μετά από κατάλληλη υποστήλωση που θα μπορεί να αναλάβει και οριζόντια φορτία μέσω κατάλληλων συνδέσμων, καθαίρεση βλαμμένου σκυροδέματος, προετοιμασία διεπιφάνειας, προσθήκη εξωτερικού μανδύα με νέους οπλισμούς και δομικό πλέγμα, αντικατάσταση βλαμμένου σκυροδέματος με έγχυτο ή εκτοξευόμενο και, ενδεχομένως, προσθήκη μανδυνών ή ελασμάτων ή σύνθετου υλικού (cited in Αγγέλη & Σταματοπούλου 2011; Τάσιος 1999).

Για την καθαίρεση και αντικατάσταση του βλαμμένου σκυροδέματος πρέπει να τηρούνται τα εξής (Τάσιος 1999):

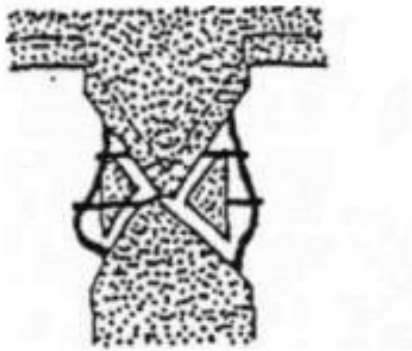
1. Σταδιακή καθαίρεση και αντικατάσταση σκυροδέματος.
2. Η διεπιφάνεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος να είναι κάθετη στη διεύθυνση των κύριων θλιπτικών τάσεων (αν είναι δυνατόν), ή να γίνει διαμόρφωση βαθμίδων έτσι ώστε η μία πλευρά να είναι κάθετη στη διεύθυνση των κύριων θλιπτικών τάσεων, για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των δύο επιφανειών.
3. Πολύ καλή συντήρηση νέου σκυροδέματος.



Διάγραμμα 26: Βλάβες βαθμού Γ (Κυριαζόπουλος 2015)

4.3 Διακοπή συνεχείας από πλήρη θραύση σκυροδέματος ή βλάβη οπλισμών (Βλάβες βαθμού Δ)

Οι συγκεκριμένες βλάβες χαρακτηρίζονται ως βαριές βλάβες και πρόκειται για τη σοβαρότερη κατηγορία επισκευάσιμων βλαβών. Στις συγκεκριμένες βλάβες παρατηρείται θραύση του σκυροδέματος του στοιχείου, βλάβη των κυρίων οπλισμών (π.χ. λυγισμός των διαμήκων ράβδων και θραύση ή διαρροή των συνδετήρων) και διακοπή της συνέχειας. Οι συγκεκριμένες βλάβες αποκαθίστανται με πλήρη επισκευή ή αντικατάσταση ολόκληρου του στοιχείου μετά από κατάλληλη υποστήλωση (Κυριαζόπουλος 2015; Τάσιος 1999).



Διάγραμμα 27: Βλάβες βαθμού Δ (Κυριαζόπουλος 2015)

5 Διαδικασία διάγνωσης βλαβών

Η διαδικασία διάγνωσης βλαβών αποτελείται από το συνδυασμό της οπτικής αξιολόγησης της κατασκευής με τα κατάλληλα όργανα και μεθόδους διάγνωσης βλαβών, που έχουν ως στόχο την απόκτηση επαρκών στοιχείων για την κατάσταση της υφιστάμενης κατασκευής. Για την επιλογή της σωστής στρατηγικής επεμβάσεων, και την μετέπειτα επισκευή ή ενίσχυση μιας κατασκευής, ο αριθμός των ελέγχων πρέπει να επαρκεί.

Αρχικά, μία εξειδικευμένη διάγνωση βλαβών αρχίζει πάντα με έναν οπτικό έλεγχο ο οποίος έχει ως σκοπό την απόκτηση μιας εποπτικής εικόνας της κατασκευής και των βλαβών που έχει υποστεί. Έπειτα, οι οπτικές παρατηρήσεις καταγράφονται σε πρόχειρα σχέδια τα οποία περιλαμβάνουν την ταυτότητα και τον προσανατολισμό των ελεγχόμενων στοιχείων. Στη συνέχεια, αφού ο οπτικός έλεγχος ολοκληρωθεί, πραγματοποιείται μια 'υπόθεση εργασίας' σχετικά με τα αίτια των βλαβών.

Με βάση την συγκεκριμένη υπόθεση, γίνεται επιλογή των μεθόδων διάγνωσης των βλαβών που θα εφαρμοσθούν καθώς και οι θέσεις των προς εξέταση περιοχών. Αφότου προσδιορισθούν οι θέσεις, μετρούνται οι κατακόρυφες αποστάσεις από το επίπεδο του εδάφους. Όταν όλοι οι προγραμματισμένοι έλεγχοι ολοκληρωθούν, οι οπτικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα των ελέγχων συνεκτιμώνται ούτως ώστε να καθορισθεί επακριβώς η αιτία, η έκταση, καθώς και η πιθανή περαιτέρω ανάπτυξη των βλαβών.

Σε περίπτωση που ο επακριβής καθορισμός δεν είναι εφικτός, μπορούν να εκτελεστούν συμπληρωματικοί έλεγχοι. Στο τέλος, αν τα αποτελέσματα των ελέγχων δεν επαληθεύουν την αρχική υπόθεση για τα πιθανά αίτια των βλαβών, τότε αυτή πρέπει να αναθεωρηθεί, και ενδεχομένως να απαιτηθεί η εκτέλεση συμπληρωματικών ελέγχων έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί η αναθεωρημένη υπόθεση (Σπυράκος 2004).

5.1 Μέθοδοι και όργανα διάγνωσης βλαβών

Υπάρχουν ποικίλοι έλεγχοι διάγνωσης βλαβών οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση τόσο των μηχανικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος όσο και της διαβρωτικής δράσης ουσιών στο σκυρόδεμα και στο χάλυβα του οπλισμού. Οι έλεγχοι αποσκοπούν κυρίως στην εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος, καθώς και στον προσδιορισμό περιοχών που χαρακτηρίζονται από μεγάλη διαπερατότητα, ρηγματώσεις, αποφλοιώσεις, μειωμένη πυκνότητα, κλπ. (Σπυράκος 2004).

Διακρίνονται τέσσερις κύριες κατηγορίες ελέγχων (Ταντελέ 2018; Σπυράκος 2004):

- Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι
- Ημι-Καταστρεπτικοί έλεγχοι
- Επιτόπου χημικοί έλεγχοι
- Έλεγχοι Καθολικής φόρτισης

Πέρα από τις πιο πάνω κύριες κατηγορίες ελέγχων για τη διάγνωση βλαβών, μπορούν να εφαρμοσθούν και άλλοι συμπληρωματικοί έλεγχοι σε μία κατασκευή για την εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την εμφάνιση βλαβών, όπως (Σπυράκος 2004):

α) Έλεγχοι της γεωμετρίας των δομικών στοιχείων του φορέα:

- Μετρήσεις των διαστάσεων των διατομών και του μήκους των μελών και των τελειωμάτων, όπως κατασκευάστηκαν.
- Μετρήσεις του εύρους των ρωγμών στο σκυρόδεμα ή στη φέρουσα τοιχοποιία.
- Μετρήσεις των παραμενουσών παραμορφώσεων (συνιστάται χρήση τοπογραφικών οργάνων).

β) Έλεγχοι της θεμελίωσης και του εδάφους έδρασης:

- Μέτρηση των διαστάσεων των θεμελιώσεων και αξιολόγηση με την εκσκαφή τάφρων ελέγχου.
- Λήψη και εξέταση δειγμάτων υπεδάφους.

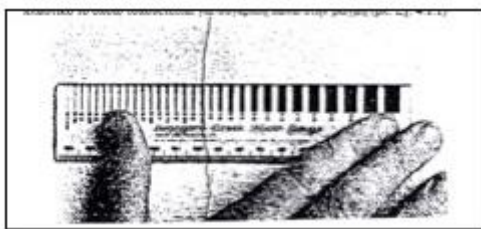
5.1.1 Μη καταστρεπτικοί έλεγχοι

Οι βασικότεροι μη καταστρεπτικοί έλεγχοι είναι οι εξής:

1. Οπτικός έλεγχος
2. Κρουσιμέτρηση
3. Χρήση υπερήχων
4. Μαγνητικές μέθοδοι
5. Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού
6. Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”
7. Θερμογράφιση με υπέρυθη ακτινοβολία
8. Μέτρηση του ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων

1. Οπτικός έλεγχος

Ο οπτικός έλεγχος αποτελεί αναγκαίο προαπαιτούμενο για οποιονδήποτε μη καταστροφικό έλεγχο. Χρησιμοποιείται κατά κανόνα για τον προσδιορισμό ρηγματώσεων, αποφλοιώσεων και άλλων επιφανειακών ατελειών. Πολλές φορές αυτός που διενεργεί τον έλεγχο χρησιμοποιεί μεγεθυντικό φακό, ηλεκτρικό φακό, κανόνα ή ρωγμοσκόπιο. Το ρωγμοσκόπιο είναι ένα μικροσκόπιο με εσωτερική κλίμακα που δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ποσοτικοποιεί το εύρος ορατών επιφανειακών ρωγμών. Ο οπτικός έλεγχος είναι απλός στην εφαρμογή, έχει χαμηλό κόστος και είναι σχετικά γρήγορος έλεγχος και πολύ αποδοτικός δεδομένου ότι έχει γίνει σωστά (Σπυράκος 2004; Αναστασιάδης 2016).



Διάγραμμα 29: Οπτικός έλεγχος
(Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου
2013)



Διάγραμμα 28: Οπτικός έλεγχος
(Βότσης 2017)

Έτσι, με τον οπτικό έλεγχο, ένας έμπειρος πολιτικός μηχανικός μπορεί να είναι σε θέση να αποδείξει την πιθανή αιτία (εξ) των ζημιών σε μια συγκεκριμένη δομή από ΟΣ και ως εκ τούτου να προσδιορίσει ποιες από τις διάφορες διαθέσιμες μεθόδους ΜΚΕ θα μπορούσε να είναι πιο χρήσιμη για περαιτέρω διερεύνηση του προβλήματος. Το μειονέκτημα του οπτικού ελέγχου είναι ότι δεν μπορεί να ανιχνεύσει προβλήματα κάτω από την επιφάνεια του σκυροδέματος, δίνει υποκειμενικά αποτελέσματα και απαιτεί εξαιρετικά πεπειραμένο συνεργείο (Σπυράκος 2004; Βότσης 2017).

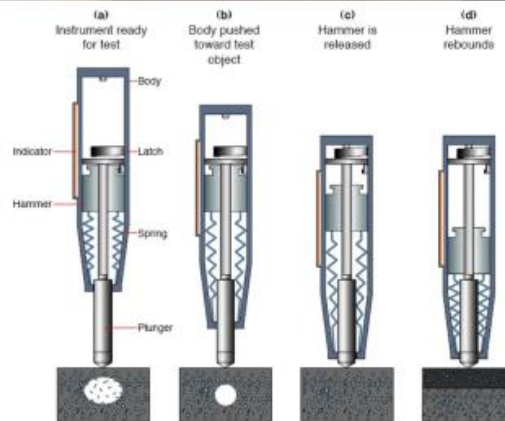
2. Κρουσιμέτρηση

Ο συνηθέστερος μη καταστροφικός έλεγχος είναι η κρουσιμέτρηση. Η κρουσιμέτρηση είναι μια έμμεση μέθοδος η οποία βασίζεται στην μέτρηση της επιφανειακής σκληρότητας του σκυροδέματος. Με την κρουσιμέτρηση προσδιορίζεται έμμεσα η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, καθώς η σκληρότητα της επιφάνειας του σκυροδέματος ανάλογα με το ύψος αναπήδησης του κρουσίμετρου. Τα κρουσίμετρα είναι εύκολα στη χρήση και η μέθοδος είναι σχετικά απλή και αξιόπιστη. Το μειονέκτημα της μεθόδου της κρουσιμέτρησης είναι ότι συχνά είναι αναγκαίες οι βαθμονομήσεις του οργάνου ανάλογα με τον τύπο τσιμέντου που θα χρησιμοποιηθεί, καθώς και με την ποιότητα των αδρανών (σκληρά, μαλακά, κτλ.). Επίσης, τα αποτελέσματα μπορούν να επηρεαστούν από τις επιφανειακές συνθήκες και τις διαστάσεις του σκυροδέματος. Συνήθως η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι επαρκής μέχρι βάθος 30 mm (Κυριαζόπουλος 2016; Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος του κρουσίμετρου μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα για την αντοχή ενός δομικού στοιχείου μόνο όταν συνδυαστεί και με άλλες μεθόδους, όπως για παράδειγμα την ημικαταστροφική μέθοδο των πυρήνων (πυρηνοληψία) η οποία θα αναφερθεί πιο κάτω (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).



Διάγραμμα 30: Μέθοδος κρουσιμέτρησης (Σπυράκος 2004)



Διάγραμμα 31: Κρουσιμέτρηση (Βότσης 2017)

3. Χρήση υπερήχων

Με την μέθοδο αυτή γίνεται μέτρηση του χρόνου διαδόσεως των υπερήχων δια μέσου τμήματος σκυροδέματος ή τοιχοποιίας γνωστού μήκους. Με βάση την ταχύτητα διαδόσεως γίνεται μέτρηση της σχετικής καταστάσεως του σκυροδέματος ή τοιχοποιίας και επιπλέον επιτυγχάνεται (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας, Χατζόγλου 2013) :

- Ο προσδιορισμός της θλιπτικής αντοχής του δομικού στοιχείου.
- Εντοπισμός κοιλοτήτων στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων.
- Εκτίμηση βάθους επιφανειακών ρωγμών.
- Προσδιορισμός ομοιομορφίας
- Αποτίμηση βάθους στρώματος δομικού στοιχείου που έχει υποστεί φθορά.

Η συσκευή των υπερήχων γενικά, αποτελείται από μία γεννήτρια παραγωγής υπερηχητικών κυμάτων, από δύο κρυστάλλους που παίζουν το ρόλο του πομπού και του δέκτη και από ένα μετρητή του χρόνου που χρειάζεται ο υπέρηχος για να διανύσει το υπό εξέταση δοκίμιο σκυροδέματος. Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι τα

υπερηχητικά κύματα περνούν στο σύνολό τους μέσα από τη μάζα του σκυροδέματος, συνιστάται να τοποθετείται μεταξύ των κρυστάλλων και του σκυροδέματος μία λιπαντική ουσία, η οποία καλύπτει τις ατέλειες της εξωτερικής επιφάνειας του στοιχείου (Σπυράκος 2004; Κυριαζόπουλος 2016).

Η μέθοδος των υπερήχων, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί είναι απλή, χρησιμοποιεί συσκευές φορητές και όχι υψηλού κόστους και βάρους, είναι ευαίσθητη, δεν επηρεάζει τις ιδιότητες των ελεγχόμενων υλικών και το σημαντικότερο είναι μια πειραματική μέθοδος εντελώς ακίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, όπως σκυρόδεμα, τοιχοποιία, ξύλο και άλλα. Σε μέταλλα χρησιμοποιείται μόνο για την ανίχνευση τυχόν εσωτερικών ατελειών (ρωγμές, πόροι). Σε περίπτωση που υπάρχει εσωτερική ατέλεια, αυτή δρα σαν επιφάνεια ανακλάσεως για τον κυματικό παλμό. Έτσι, ο παλμός ανακλά πάνω της και επιστρέφει πίσω. Μετρώντας τον χρόνο και γνωρίζοντας την ταχύτητα του υπερηχητικού παλμού εντός του υλικού, είναι δυνατός ο υπολογισμός της θέσης της ατέλειας (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).



Διάγραμμα 33: Μέθοδος υπερήχων
(Σπυράκος 2004)



Διάγραμμα 32: Χρήση υπέρηχου
(Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου
2013)

4. Μαγνητικές μέθοδοι

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, με τη δημιουργία μαγνητικού πεδίου από κατάλληλα βαθμονομημένες συσκευές, μπορεί να προσδιορισθεί η θέση και η διάμετρος του οπλισμού με σημείο αναφοράς την επιφάνεια του σκυροδέματος, καθώς επίσης και το πάχος της επικάλυψης του σκυροδέματος. Αυτή η μέθοδος είναι ταχύτερη και αξιόπιστη. Η λειτουργία της βασίζεται στην επαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος σε αγώγιμα υλικά υπό την επίδραση εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Τυχούσες διακοπές στη ροή του ηλεκτρικού φορτίου που προέρχονται από "αλλαγές" στο υλικό επιδρούν στο μαγνητικό πεδίο. Αυτές οι "αλλαγές" υποδεικνύουν την ύπαρξη κάποιας άλλης ιδιότητας ή μορφολογίας (υγρασία, διάβρωση κ.λπ.) Κυρίως όμως χρησιμεύουν για τον εντοπισμό του οπλισμού (Σπυράκος 2004; Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).



Διάγραμμα 35: Μαγνητική μέθοδος
(Σπυράκος 2004)



Διάγραμμα 34: Εξοπλισμός μαγνητικής μεθόδου
(Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013)

5. Μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού σιδηροπλισμού

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται προκειμένου να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα διάβρωσης και ως εκ τούτου να "ποσοτικοποιηθεί" η υφιστάμενη διάβρωση που εντοπίζεται στο υπό εξέταση δοκίμιο (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013).

Η πλέον συνήθης πρακτική είναι η μέτρηση του δυναμικού με χρήση ηλεκτροδίου χαλκού / χαλκού – θειικού οξέος, το ένα άκρο του οποίου συνδέεται με βολτόμετρο και το άλλο με τη ράβδο του οπλισμού. Μία σειρά μετρήσεων μπορεί να εκτελεστεί σε κομβικά σημεία του φορέα έτσι ώστε να χαρτογραφηθεί η πιθανότητα διάβρωσης του οπλισμού (Μοσχοβού 2017; Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 36: Όργανο μέτρησης ηλεκτρικού δυναμικού για τον προσδιορισμό του κινδύνου διάβρωσης ράβδων οπλισμού (Σπυράκος 2004)

Παρόλο που η συγκεκριμένη μέθοδος είναι σχετικά απλή και οι μετρήσεις πραγματοποιούνται εύκολα στο πεδίο, το μειονέκτημά της είναι ότι δεν μπορεί να δώσει πληροφορίες για το βαθμό της διάβρωσης, ενώ ταυτόχρονα παρέχει ενδείξεις και όχι αποδείξεις διαβρωτικής δράσης (Σπυράκος 2004).

6. Ακτινογράφιση με ακτίνες “Χ” και “Γ”

Οι ακτίνες “Χ” χρησιμοποιούνται στην εύρεση της θέσης των ράβδων οπλισμού και στην εξέταση της πυκνότητας και της σύστασης του σκυροδέματος. Οι ακτίνες “Γ” χρησιμοποιούνται για να εντοπιστούν πιθανά κενά και για να υπολογιστεί η διάμετρος των ράβδων. Η συγκεκριμένη μέθοδος παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα για μία στρώση οπλισμού και η μεταφορά του εξοπλισμού της είναι εύκολη. Τα μειονεκτήματα της όμως είναι το υψηλό της κόστος και η χαμηλή ακρίβεια για πάχη σκυροδέματος >30 cm. Επίσης, η αξιοπιστία των μετρήσεων της συγκεκριμένης μεθόδου μειώνεται για περισσότερες από μια στρώσεις οπλισμού (Μοσχοβού 2017).

7. Θερμογράφιση με υπέρυθρη ακτινοβολία

Μία πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας τοποθετείται στη μία πλευρά του υπό έλεγχο στοιχείου και η ροή υπέρυθρης ενέργειας καταγράφεται και αναλύεται. Τυχόν κενά ή ασυνέχειες στο σώμα του σκυροδέματος διαταράσσουν τη ροή της ακτινοβολίας και έτσι μπορούν να εντοπιστούν. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση διάβρωσης, εσωτερικών ρωγμών, κενών, αυξημένου πορώδους και αλλαγών στη σύσταση του σκυροδέματος. Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ακρίβεια των αποτελεσμάτων που δίνει, αλλά το μειονέκτημά της είναι το σχετικά υψηλό κόστος του ειδικού εξοπλισμού που απαιτείται για τη διενέργειά της (Σπυράκος 2004).

8. Μέτρηση ποσοστού υγρασίας με εκπομπή νετρονίων

Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται ένα φορητό όργανο το οποίο εκπέμπει ροή νετρονίων στο σώμα του υπό εξέταση στοιχείου και, καθώς η ταχύτητα της ακτινοβολίας μειώνεται με την υγρασία, το ποσοστό υγρασίας υπολογίζεται με μέτρηση της ταχύτητας των νετρονίων. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί την πιο αξιόπιστη μέθοδο μέτρησης του ποσοστού υγρασίας του σκυροδέματος με μόνο αρνητικό το υψηλό κόστος (Σπυράκος 2004; Μοσχοβού 2017).

5.1.2 Ημι-Καταστρεπτικοί Έλεγχοι

Οι κυριότεροι ημι-καταστρεπτικοί έλεγχοι είναι οι εξής:

1. Πυρηνοληψία
2. Χρήση εξολκέα
3. Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό
4. Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης

1. Πυρηνοληψία

Πρόκειται για μια ημι-καταστρεπτική μέθοδο η οποία βασίζεται στην διάτρηση και αποκοπή κυλινδρικού δοκιμίου. Μέσω της μεθόδου λήψης δοκιμίου δομικού στοιχείου προσδιορίζονται η αντοχή σε θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό από διάρρηξη και κάμψη, και το μέτρο ελαστικότητας. Επιπλέον, με την πυρηνοληψία μπορούμε να ελέγξουμε τη γενική κατάσταση του σκυροδέματος της κατασκευής, τη θέση και το μέγεθος των ράβδων οπλισμού, την ύπαρξη ρωγμών ή άλλων αστοχιών στο σκυρόδεμα, την αποτελεσματικότητα προγενέστερων επεμβάσεων, κ.α. Επιπρόσθετα, μέσω της πυρηνοληψίας μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες για το είδος των αδρανών, την ύπαρξη χλωριόντων, καθώς και για πιθανή διάβρωση του οπλισμού (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013; Σπυράκος 2004).

Η μέθοδος της πυρηνοληψίας είναι η πλέον αξιόπιστη και διαδεδομένη για τον έλεγχο των ιδιοτήτων του σκυροδέματος υπαρχουσών κατασκευών. Τα κυριότερα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το σχετικά υψηλό κόστος του εξοπλισμού και η δυσκολία λήψης δοκιμίων από κατακόρυφα στοιχεία, π.χ. υποστυλώματα και τοιχώματα. Ειδική προσοχή συνιστάται κατά τη λήψη των πυρήνων έτσι ώστε να μη βλαφτεί η κατασκευή σε τέτοιο βαθμό που να επηρεαστεί η φέρουσα ικανότητά της (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 37:Εφαρμογή μεθόδου πυρηνοληψίας (Βότσης 2017)

2. Χρήση εξολκέα

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την επιτόπου μέτρηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος. Βασίζεται στο συσχετισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος με τη δύναμη που απαιτείται για την εξαγωγή ενός ειδικού μπουλονιού από την επιφάνειά του. Αντί για μπουλόνι μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυκλική μεταλλική πλάκα, η οποία συγκολλάται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και στη συνέχεια εφελκύεται από ειδικό όργανο έως ότου προκληθεί θραύση του σκυροδέματος. Εκτός από τον υπολογισμό της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, η οποία προκύπτει με χρήση ειδικών διαγραμμάτων, η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται επίσης και για τον προσδιορισμό της αντοχής της συγκόλλησης διαφόρων επικαλύψεων στο σκυρόδεμα. Το πλεονέκτημα της μεθόδου του εξολκέα σε σχέση με πυρηνοληψία είναι ότι εκτελείται πολύ πιο γρήγορα δίνοντας στις περισσότερες περιπτώσεις ικανοποιητικής ακρίβειας αποτελέσματα (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 38: Όργανο που χρησιμοποιείται στη μέθοδο του εξολκέα (Σπυράκος 2004)

3. Έλεγχος ράβδων οπλισμού σε εφελκυσμό

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής των ράβδων του οπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, αφού απομακρυνθεί το υπάρχον σκυρόδεμα, αποκόπτεται τμήμα ράβδου μήκους 30 cm. Το δοκίμιο υποβάλλεται σε έλεγχο αξονικού εφελκυσμού και προσδιορίζονται η αντοχή, η επιμήκυνση, κτλ. Αυτή η μέθοδος αποτελεί την πλέον αξιόπιστη μέθοδο προσδιορισμού των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα. Τα μειονεκτήματά της όμως είναι το μεγάλο σχετικά κόστος και ο σημαντικός χρόνος που απαιτείται για την εκτέλεση του ελέγχου (Σπυράκος 2004).

4. Μέθοδος της πετρογραφικής ανάλυσης

Με τη μέθοδο αυτή εντοπίζονται χημικά ενεργά αδρανή και βλαβερές προσμίξεις στο σκυρόδεμα. Ακόμα, μπορεί να υπολογιστεί το βάθος ενανθράκωσης και το εύρος των ρωγμών του σκυροδέματος.

Σε αυτή τη μέθοδο, αφού ληφθούν πυρήνες σκυροδέματος, τμήματά τους αποκόπτονται, καθαρίζονται και εξετάζονται κάτω από μικροσκόπιο μεγάλης ανάλυσης για τον προσδιορισμό των χημικών και φυσικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Η

μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά αξιόπιστη αλλά απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εκπαιδευμένο συνεργείο (Σπυράκος 2004).

5.1.3 Επιτόπου Χημικοί Έλεγχοι

Οι επιτόπου χημικοί έλεγχοι έχουν σχέση κυρίως με τη διάρκεια ζωής του σκυροδέματος και είναι οι εξής:

1. Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης
2. Έλεγχος χλωριόντων

1. Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης

Η επιφανειακή ενανθράκωση του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια της αλκαλικής προστασίας της επικάλυψης σε διάβρωση. Το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας αντιδρά με τα ενυδατωμένα συστατικά του τσιμέντου προκαλώντας μείωση του pH και της αλκαλικότητας του σκυροδέματος. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως ενανθράκωση (Σπυράκος 2004).

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στην μεταβολή του PH του σκυροδέματος δομικού στοιχείου από την παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται με ψεκασμό διαλείμματος φαινολοφθαλεΐνης σε φρεσκοθραυσμένες ή φρεσκοκομμένες επιφάνειες σκυροδέματος. Το χρώμα του σκυροδέματος μεταβάλλεται σε βιολετί όταν η τιμή του pH είναι μεγαλύτερη από 9.5. Έπειτα, το χρώμα της επιφάνειας του σκυροδέματος μετά τον ψεκασμό συγκρίνεται με κατηγοριοποιημένα αποτελέσματα ελέγχων σε περιοχές σοβαρής ενανθράκωσης. Στις περιοχές αυξημένης οξύτητας, το pH μειώνεται κάτω από εννέα και το σκυρόδεμα δεν αλλάζει χρώμα (Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013; Κυριαζόπουλος 2016).



Διάγραμμα 39: Έλεγχος βάθους ενανθράκωσης
(Αντωνιάδης, Γκλαβίνας & Χατζόγλου 2013)

2. Έλεγχος χλωριόντων

Ο συγκεκριμένος έλεγχος περιλαμβάνει ανάλυση δείγματος σκυροδέματος έτσι ώστε να προσδιοριστεί η ποσότητα των χλωριόντων. Η παρουσία υδατοδιαλυτών χλωριόντων πέρα από ένα συγκεκριμένο όριο στο σκυρόδεμα (0.20% ανά μονάδα βάρους χλωριόντος σε μείγμα σκυροδέματος) θεωρείται σοβαρή ένδειξη διάβρωσης για κατασκευές από σκυρόδεμα. Το πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι είναι γρήγορη και χαμηλού κόστους, όμως η εφαρμογή της σε κατασκευές είναι σχετικά πρόσφατη. (Κυριαζόπουλος 2016; Σπυράκος 2004).

5.1.4 Έλεγχοι καθολικής φόρτισης

Οι έλεγχοι καθολικής φόρτισης πραγματοποιούνται σε περίπτωση που υπάρχει έλλειψη των αρχικών σχεδίων των προς εξέταση κατασκευών και των οποίων η φέρουσα ικανότητα είναι ασαφής. Οι κατασκευές που κατά κανόνα υποβάλλονται σε καθολική φόρτιση είναι αυτές από οπλισμένο σκυρόδεμα, καθώς οι ιδιότητες των δομικών στοιχείων από δομικό χάλυβα και ξύλο μπορούν ευκολότερα να μετρηθούν επιτόπου, ενώ αντίθετα ο προσδιορισμός της σύστασης και της ποιότητας του σκυροδέματος δεν

είναι τόσο απλός. Η μέθοδος της καθολικής φόρτισης βρίσκει εφαρμογή συνήθως σε πλαισιακούς φορείς με εμφανή ίχνη φθοράς και σε κατασκευές που υπερβαίνουν τις επιτρεπόμενες τάσεις υπό δεδομένη φόρτιση. Σε αυτή τη μέθοδο, η φόρτιση της κατασκευής πραγματοποιείται με μικροδονήσεις ή άλλες αποδεκτές μεθόδους διέγερσης, καθώς επίσης και με αρμονικές δονήσεις. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά της κατασκευής όπως, θεμελιώδης ιδιοπερίοδος και απόσβεση ή κάποιου επιμέρους τμήματός της, τα οποία μπορούν να δώσουν σημαντικές πληροφορίες για το επίπεδο των βλαβών. Επίσης, μπορεί να εφαρμοσθεί κατακόρυφη στατική φόρτιση σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως για τη μέτρηση μετακινήσεων και παραμορφώσεων των μελών της κατασκευής (Σπυράκος 2004).

6 Μέθοδοι ανάλυσης υφιστάμενων κατασκευών

Οι μέθοδοι ανάλυσης που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι οι εξής (Κάππος 2009):

- Ελαστική (ισοδύναμη) στατική ανάλυση.
- Ελαστική δυναμική ανάλυση.
- Ανελαστική (ελαστοπλαστική) στατική ανάλυση.
- Ανελαστική δυναμική ανάλυση.

6.1 Ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης στηρίζονται στη σχέση έντασης-παραμόρφωσης για τα δομικά στοιχεία της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη τη πιθανή μη γραμμική συμπεριφορά της κατασκευής έναντι στο σεισμό σχεδιασμού. Η ελαστική στατική ανάλυση και η ελαστική δυναμική ανάλυση αντιστοιχούν στην απλοποιημένη φασματική μέθοδο και στη δυναμική φασματική μέθοδο σύγχρονων αντισεισμικών κανονισμών (Χαραλάμπους 2016; Σπυράκος 2004).

Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης γενικά, μπορούν να δώσουν μία καλή ένδειξη της ελαστικής συμπεριφοράς της κατασκευής μέχρι το σημείο της πρώτης διαρροής, αλλά δεν μπορούν να προβλέψουν την ανακατανομή των εντάσεων που θα προκύψει κατά τη διάρκεια της περεταίρω διαρροής των δομικών στοιχείων του φορέα (Σπυράκος 2004).

6.2 Ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης

Η ανελαστική στατική ανάλυση, που συχνά καλείται και μέθοδος ελέγχου των μετακινήσεων, χρησιμοποιεί απλοποιημένες τεχνικές προσέγγισης της μη γραμμικής συμπεριφοράς του φορέα για την εκτίμηση των ανελαστικών παραμορφώσεων που θα αναπτυχθούν στα δομικά στοιχεία όταν η κατασκευή υπόκειται στη σεισμική δράση σχεδιασμού (Σπυράκος 2004).

Η ανελαστική δυναμική ανάλυση, γνωστή και ως ανάλυση χρονοϊστορίας, αποτελεί μεν την πιο πλήρη και ρεαλιστική μέθοδο ανάλυσης, αλλά ταυτόχρονα απαιτεί σημαντική

κριτική ικανότητα και εμπειρία του μηχανικού που διενεργεί τον έλεγχο αποτίμησης και ανασχεδιασμού της υφιστάμενης κατασκευής, καθώς και αξιόπιστη γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών. Για τους λόγους αυτούς, σε συνδυασμό με την αυξημένη της πολυπλοκότητα, δεν κρίνεται πρακτική για γενική χρήση (Σπυράκος 2004).

Οι ανελαστικές μέθοδοι ανάλυσης γενικά, βοηθούν στην κατανόηση της πραγματικής συμπεριφοράς των κατασκευών καταδεικνύοντας τόσο τους μηχανισμούς αστοχίας όσο και το ενδεχόμενο προοδευτικής κατάρρευσης. Η εφαρμογή ανελαστικών μεθόδων ανάλυσης για την αποτίμηση και τον ανασχεδιασμό υφιστάμενων κατασκευών επιτρέπει καλύτερη εποπτεία και κατανόηση της συμπεριφοράς μιας κατασκευής όταν υποβληθεί σε ισχυρούς σεισμούς, για τους οποίους είναι δεδομένο ότι θα συμπεριφερθεί ανελαστικά. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίζονται πολλές από τις αβεβαιότητες που σχετίζονται με τις ελαστικές μεθόδους ανάλυσης που υιοθετούνται από τους σύγχρονους αντισεισμικούς κανονισμούς (Σπυράκος 2004).

6.3 Βασικές έννοιες της ανελαστικής στατικής ανάλυσης

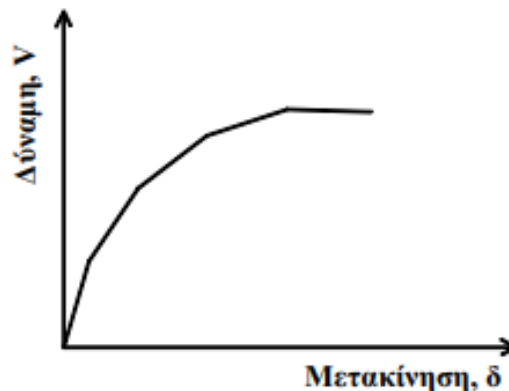
Υπάρχουν δύο σημαντικές έννοιες οι οποίες σχετίζονται με την εφαρμογή της ανελαστικής στατικής ανάλυσης, δηλαδή η απαίτηση και η ικανότητα. Γενικά, η συμπεριφορά μιας κατασκευής εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο η ικανότητα μπορεί να ανταποκρίνεται στην απαίτηση. Πιο συγκεκριμένα, η κατασκευή πρέπει να έχει την ικανότητα να αντιστέκεται στην απαίτηση που επιβάλλεται από τη σεισμική δράση, ούτως ώστε η συμπεριφορά της να είναι συμβατή με τους στόχους του ανασχεδιασμού (Σπυράκος 2004).

Οι απλοποιημένες ανελαστικές αναλυτικές μέθοδοι που βασίζονται στη μέθοδο ελέγχου των μετακινήσεων απαιτούν τον προσδιορισμό τριών πρωταρχικών παραμέτρων:

- Της ικανότητας
- Της απαίτησης σε μετακίνηση
- Της συμπεριφοράς

6.3.1 Ικανότητα

Η συνολική ικανότητα της κατασκευής προκύπτει από την ικανότητα των επιμέρους δομικών στοιχείων που την αποτελούν. Ο προσδιορισμός της ικανότητας της κατασκευής σε συνθήκες στις οποίες διάφορες περιοχές των δομικών στοιχείων της έχουν εισέλθει στην ανελαστική περιοχή συμπεριφοράς, απαιτεί την γνώση της συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων πέρα από το όριο διαρροής. Για να προσδιοριστεί η ικανότητα πέρα από το όριο διαρροής, απαιτείται κάποιας μορφής ανελαστική ανάλυση, όπως η μέθοδος σταδιακού ελέγχου των μετακινήσεων (pushover analysis). Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιεί μία σειρά από διαδοχικές ελαστικές αναλύσεις για να προσεγγίσει την ελαστοπλαστική συμπεριφορά της κατασκευής. Καθεμιά από αυτές τις αναλύσεις αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό βήμα. Τα αποτελέσματα κάθε ανάλυσης προστίθενται στα αποτελέσματα της προηγούμενης ούτως ώστε να προσεγγιστεί το συνολικό διάγραμμα τέμνουσας βάσης, V , – μετακίνησης στην κορυφή της κατασκευής, δ , η οποία ονομάζεται καμπύλη ικανότητας (ΤΟΛ 2001; Σπυράκος 2004).



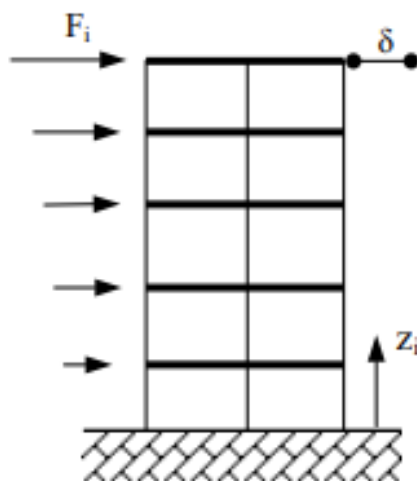
Διάγραμμα 40: Καμπύλη ικανότητας της κατασκευής (Σπυράκος 2004)

Έπειτα από κάθε ελαστική ανάλυση, το αναλυτικό προσομοίωμα της κατασκευής τροποποιείται κατάλληλα, ούτως ώστε να ληφθεί υπόψη η πραγματική εντατική κατάσταση και η μείωση της δυσκαμψίας των στοιχείων τα οποία έχουν διαρρεύσει.

Στη συνέχεια, εφαρμόζονται μονοτονικά αυξημένα πλευρικά φορτία και η ελαστική ανάλυση επαναλαμβάνεται έως ότου διαρρεύσει μία νέα ομάδα δομικών στοιχείων. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι που η κατασκευή γίνει ασταθής ή η συνολική μετακίνηση της κατασκευής γίνει ίση με μία προκαθορισμένη οριακή τιμή (Σπυράκος 2004).

6.3.2 Απαίτηση σε Μετακίνηση

Η κίνηση του εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού προκαλεί στις κατασκευές σύνθετες οριζόντιες μετακινήσεις οι οποίες μεταβάλλονται με το χρόνο. Η παρακολούθηση αυτών των μετακινήσεων σε κάθε χρονικό βήμα ούτως ώστε να καθοριστούν οι απαιτήσεις σχεδιασμού, είναι πολύ δύσκολη. Οι ελαστικές μέθοδοι ανάλυσης χρησιμοποιούν πλευρικά κατανεμημένα φορτία για να αναπαραστήσουν τη σεισμική δράση. Στις ανελαστικές μεθόδους όμως, χρησιμοποιείται ως συνθήκη σχεδιασμού ένα σύνολο πλευρικών μετακινήσεων. Για μία δεδομένη κατασκευή και εδαφική κίνηση, η απαίτηση σε μετακίνηση αποτελεί εκτίμηση της μέγιστης αναμενόμενης σεισμικής απόκρισης της κατασκευής (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 41: Καθ' ύψος κατανομή πλευρικού φορτίου (Σπυράκος 2004)

6.3.3 Συμπεριφορά

Αφότου έχουν καθοριστεί η καμπύλη ικανότητας και η απαίτηση σε μετακίνηση, μπορεί να γίνει ο έλεγχος συμπεριφοράς της κατασκευής. Με τον έλεγχο συμπεριφοράς επιχειρείται η εξασφάλιση ότι τα φέροντα, αλλά και τα μη φέροντα στοιχεία (π.χ. τοίχοι πλήρωσης), δεδομένου ότι έχουν συμπεριληφθεί στο προσομοίωμα της κατασκευής, δεν έχουν υποστεί βλάβες πέρα από τα επιτρεπτά όρια για το δεδομένο επίπεδο συμπεριφοράς (στάθμη επιτελεστικότητας) για το οποίο έγινε η αποτίμηση της κατασκευής, θεωρώντας πάντα ότι η κατασκευή υποβάλλεται σε μετακινήσεις που αντιστοιχούν στην απαίτηση που τέθηκε για την μετακίνηση (ΤΟΛ 2001; Σπυράκος 2004).

7 Διαδικασία Ανασχεδιασμού Υφιστάμενων Κατασκευών

Γενικά, διακρίνονται τρία κύρια στάδια στη συνολική διαδικασία που απαιτείται για τον ανασχεδιασμό μιας υφιστάμενης κατασκευής, όπως:

- Η αποτίμηση
- Λήψη της απόφασης
- Σχεδιασμός της λύσης

7.1 Αποτίμηση

Με τον όρο αποτίμηση εννοείται η εξέταση της υπάρχουσας κατάστασης, η τεκμηρίωση του υφιστάμενου φορέα και τελικά η αποτίμηση της σεισμικής ικανότητας της κατασκευής. Σε αυτό το στάδιο, αποτυπώνεται ο φέροντας οργανισμός, καταγράφονται οι βλάβες, και εκτιμώνται οι συνοριακές συνθήκες, τα κατακόρυφα φορτία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των υλικών της κατασκευής. Η αξιολόγηση των βλαβών και των ατελειών σε μεμονωμένα στοιχεία, δεν ωφελεί αν δεν γίνει εκτίμηση της πιθανότερης παθολογικής εικόνας του συνόλου της κατασκευής, η οποία πρέπει να επιβεβαιωθεί από τα αποτελέσματα μιας ανάλυσης η οποία θα αποτιμά τη σεισμική ικανότητα της κατασκευής (Δρίτσος 2007).

7.2 Λήψη της απόφασης

Σε αυτό το στάδιο εξετάζονται πιθανά σχήματα επέμβασης και επιλέγεται μία λύση, συμπεριλαμβανομένης και της κατεδάφισης. Κατά τη διαδικασία λήψης της απόφασης, πρέπει αρχικά να αξιολογηθούν όλες οι παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την απόφαση προς κάθε μία από τις παρακάτω τρεις κρίσιμες δυνατές επιλογές:

- επισκευή της κατασκευής (αν υπάρχουν βλάβες) ή καμία επέμβαση
- ενίσχυση της κατασκευής
- κατεδάφιση της κατασκευής και ανέγερση νέας

Επισκευή της κατασκευής

Με τον όρο επισκευή της κατασκευής εννοούμε τη διαδικασία επέμβασης στην κατασκευή με βλάβες, η οποία αποκαθιστά τα προ της βλάβης χαρακτηριστικά των στοιχείων της και επαναφέρει την κατασκευή στην αρχική της κατάσταση.

Ενίσχυση της κατασκευής

Με τον όρο ενίσχυση της κατασκευής εννοούμε τη διαδικασία επέμβασης σε μία κατασκευή, με ή χωρίς βλάβες, η οποία επαυξάνει τη φέρουσα ικανότητα του φορέα σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό του αρχικού του σχεδιασμού.

Η απόφαση που θα επιλεγεί για επισκευή, ενίσχυση και για κατεδάφιση/ανασκευή, είναι αποτέλεσμα μιας επαναληπτικής διαδικασίας εξέτασης εναλλακτικών σχημάτων επέμβασης η οποία αποσκοπεί στην αποδεκτή σεισμική συμπεριφορά της κατασκευής ως σύνολο.

Σε περίπτωση που επιλεγεί ως λύση η ενίσχυση της κατασκευής, η αναζήτηση του σχήματος επέμβασης μπορεί να γίνει σε δύο κατευθύνσεις. Στην πρώτη κατεύθυνση αναζητείται η λύση με την οποία η υφιστάμενη κατασκευή μπορεί να ενισχυθεί ως σύνολο, ούτως ώστε να μειωθεί η ένταση που υπόκεινται τα αδύναμα στοιχεία της κατασκευής σε επίπεδα χαμηλότερα από τα ανεκτά όρια της ικανότητάς τους. Στη δεύτερη κατεύθυνση, αναζητείται η λύση με την οποία μπορούν να ενισχυθούν τα αδύναμα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής, με αύξηση της ικανότητάς τους, (αύξηση αντοχής και πλαστιμότητας) ή προσδίδοντας άλλα ελλείποντα χαρακτηριστικά σε μεμονωμένα στοιχεία. Συνήθως η πρώτη κατεύθυνση επιλέγεται σε περίπτωση που υπάρχουν πολλά αδύναμα στοιχεία στην υφιστάμενη κατασκευή και επομένως χρειάζεται μια συνολική αντιμετώπιση του θέματος, ενώ η δεύτερη κατεύθυνση επιλέγεται σε περίπτωση που πρέπει να εξαιρεθούν μόνο ορισμένες τοπικές αδυναμίες της υφιστάμενης κατασκευής (Δρίτσος 2007).

Επιπλέον, σε κατασκευές με εκτεταμένες και βαριές βλάβες οι οποίες οφείλονται σε έναν ισχυρό σεισμό, η επέμβαση πρέπει να στοχεύει στην ενίσχυση της κατασκευής.

7.3 Σχεδιασμός της λύσης

Σε αυτό το στάδιο, διαστασιολογούνται τα μέλη του επισκευασμένου ή ενισχυμένου φορέα, περιγράφονται τεχνικά οι προβλεπόμενες εργασίες και αναφέρεται το κόστος της λύσης. Η χρήση νέων στοιχείων σε συνεργασία με τα παλιά δημιουργεί νέα πολυφασικά, σύνθετα στοιχεία, των οποίων η διαστασιολόγηση συνήθως ξεφεύγει από τις συνήθεις διαδικασίες διαστασιολόγησης μονολιθικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η χρήση νέων υλικών, όπως υφάσματα ή ελάσματα από ινοπλισμένα πολυμερή, για την ενίσχυση των υφιστάμενων στοιχείων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την εφαρμογή τους λόγω της έλλειψης εμπειρίας και του συχνά υπερβολικού ενθουσιασμού που πηγάζει από την ευκολία της εφαρμογής στην πράξη. Στο τέλος, η αναδιαστασιολόγηση του φορέα καταλήγει στα σχέδια λεπτομερειών της οριστικής μελέτης, καθώς και στην κοστολόγηση των εργασιών. Η επιλογή στο τέλος πρέπει να κριθεί οικονομικά ωφέλιμη (Δρίτσος 2007).

7.4 Στρατηγικές Επεμβάσεων

Η στρατηγική των επεμβάσεων είναι η βασική προσέγγιση που υιοθετείται για τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς μίας κατασκευής ή διαφορετικά για τη μείωση της διακινδύνευσης σε αποδεκτά όρια. Οι στρατηγικές που μπορούν να ακολουθηθούν μπορεί να είναι καθαρά τεχνικής φύσεως ή και διαχειριστικής. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται επιλογές όπως η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής, η αύξηση της ικανότητας παραμόρφωσης, καθώς και η μείωση της σεισμικής απαίτησης. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκει η πιθανή αλλαγή χρήσης, η προοδευτική εφαρμογή των επεμβάσεων και η λήψη προσωρινών μέτρων ενίσχυσης (cited in Αποστολοπούλου 2008; Σπυράκος 2004).

Οι τεχνικές και διαχειριστικές στρατηγικές μπορούν να συνδυαστούν για το βέλτιστο αποτέλεσμα. Οι τεχνικές στρατηγικές αποτελούν προσεγγίσεις οι οποίες αποσκοπούν στη μεταβολή των βασικών παραμέτρων της σεισμικής απαίτησης και της συμπεριφοράς της κατασκευής. Τέτοιου είδους στρατηγικές περιλαμβάνουν επεμβάσεις στο φέροντα οργανισμό για την διόρθωση τυχόν ατελειών και κακοτεχνιών, για την

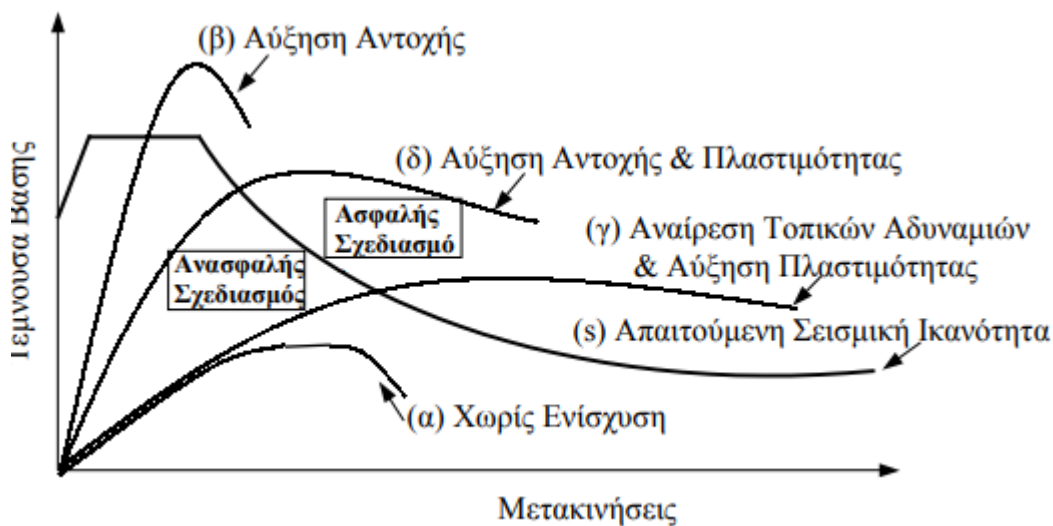
αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής, στην αύξηση της απορρόφησης σεισμικής ενέργειας (cited in Αποστολοπούλου 2008).

Πέρα από τις τεχνικές στρατηγικές, υπάρχει και ένας μεγάλος αριθμός εναλλακτικών διαχειριστικών στρατηγικών που πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό των επεμβάσεων. Οι διαχειριστικές στρατηγικές περιλαμβάνουν θέματα όπως (Σπυράκος 2004):

- Αν θα πραγματοποιηθούν οι επεμβάσεις ενώ η κατασκευή παραμένει σε χρήση, ή αν θα γίνει εκκένωση της κατασκευής μέχρι να πραγματοποιηθούν οι εργασίες ενίσχυσης.
- Να μην γίνουν οποιεσδήποτε επεμβάσεις στην κατασκευή και να θεωρηθεί αποδεκτή η υπάρχουσα σεισμική διακινδύνευσή της, ή να γίνει αλλαγή στη χρήση της κατασκευής, ούτως ώστε να είναι αποδεκτή η διακινδύνευσή της.
- Να γίνει κατεδάφιση της υφιστάμενης κατασκευής και να γίνει ανέγερση νέας.
- Να πραγματοποιηθούν προοδευτικά σε μεγάλο χρονικό περιθώριο οι προτεινόμενες επεμβάσεις στην κατασκευή ή να ληφθούν προσωρινά μέτρα ενίσχυσης μέχρι να γίνει ανέγερση νέας κατασκευής.
- Αν οι επεμβάσεις θα πραγματοποιηθούν στο εξωτερικό της κατασκευής ούτως ώστε να μειωθεί η όχληση και οι επιπτώσεις στους ενοίκους, ή αν οι επεμβάσεις θα πραγματοποιηθούν στο εσωτερικό της κατασκευής έτσι ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση στα χαρακτηριστικά της εξωτερικής όψης της κατασκευής.

Οι διαχειριστικές στρατηγικές ενδέχεται να έχουν μεγάλη επίδραση στην εφαρμοσιμότητα και στο κόστος του συνολικού εγχειρήματος. Αποδεικνύεται ότι η βέλτιστη λύση για ένα κτίριο στη φάση ανασχεδιασμού σχετίζεται με τη συνδυασμένη λήψη αποφάσεων τεχνικής και διαχειριστικής φύσεως. Για αυτό το λόγο, θα πρέπει να συνεκτιμώνται από το Μηχανικό και να επισημαίνονται στον Κύριο του έργου, ούτως ώστε να επιλεγεί η καταλληλότερη στρατηγική επεμβάσεων (Σπυράκος 2004; Αποστολοπούλου 2008).

Η απαιτούμενη σεισμική ικανότητα μιας κατασκευής, θεωρούμενης ως μονοβάθμιου ταλαντωτή, μπορεί να αναπαρασταθεί σε ένα διάγραμμα τέμνουσας βάσης-μετακινήσεων από μια καμπύλη ίδιας μορφής με αυτήν των φασμάτων όπως είναι η καμπύλη (s). Η συγκεκριμένη καμπύλη υποδηλώνει το όριο μεταξύ της ασφαλούς και της ανασφαλούς επιλογής της λύσης ενίσχυσης. Δηλαδή μία κατασκευή θεωρείται ασφαλής εφόσον η καμπύλη που αναπαριστά τη συμπεριφορά της επεκτείνεται στην περιοχή πάνω από την καμπύλη (s) που απεικονίζει τον ασφαλή σχεδιασμό. Διαφορετικά απαιτείται ενίσχυση της κατασκευής (Δρίτσος 2007).



Διάγραμμα 42: Στρατηγικές ενίσχυσης (Δρίτσος 2007)

Στο πιο πάνω σχήμα απεικονίζονται διάφορα ποιοτικά διαγράμματα Τέμνουσας Βάσης-Μετακινήσεων, για τις τρεις βασικές στρατηγικές αντισεισμικής ενίσχυσης. Η καμπύλη (α) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής πριν την ενίσχυση. Η καμπύλη (β) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυσή της, όταν επιτυγχάνεται η αύξηση της δυσκαμψίας και της αντοχής του φορέα. Η καμπύλη (γ) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν αναιρούνται πρώιμοι τρόποι αστοχίας και αυξάνεται η πλαστιμότητα του φορέα. Η καμπύλη (δ) αναπαριστά τη συμπεριφορά της κατασκευής μετά την ενίσχυση της, όταν συγχρόνως επιτυγχάνεται η αύξηση της αντοχής, της δυσκαμψίας και της πλαστιμότητας του φορέα (Δρίτσος 2007).

8 Υλικά επισκευής και ενίσχυσης δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος

8.1 Σύνθετα υλικά-Ινοπλισμένα πολυμερή

Τα σύνθετα υλικά είναι ο συνδυασμός δύο ή περισσότερων υλικών. Τα σύνθετα υλικά που είναι και γνωστά ως ινοπλισμένα πολυμερή έχουν ως συστατικά τους στοιχεία ίνες υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας σε παχύρρευστη σκληρυμένη μήτρα. Σε αυτή τη μορφή, τόσο οι ίνες όσο και η μήτρα διατηρούν τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες ενώ ταυτόχρονα παράγουν ένα συνδυασμό ιδιοτήτων που δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί με κανένα από τα συστατικά στοιχεία όταν δρα μόνο του. Η συγκόλληση των προσανατολισμένων ινών πάνω στο μαλακότερο υλικό της μήτρας έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνθετο υλικό ινοπλισμένου πολυμερούς (FRP) με σαφώς καλύτερες ιδιότητες στη διεύθυνση των ινών (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Τα σύνθετα υλικά, ανάλογα με το συνδυασμό των υλικών, διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Σπυράκος 2004):

- Σύνθετα υλικά ινών αποτελούμενα από ίνες εμποτισμένες σε ρητίνη ή όχι.
- Σύνθετα υλικά στρωμάτων αποτελούμενα από επίπεδα διαφόρων υλικών.
- Σύνθετα υλικά σωματιδίων αποτελούμενα από σωματίδια διαφόρων υλικών σε ένα σώμα.

Ιδιότητες σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως (Σπυράκος 2004; Χιώτης 2012; Shehata 1999):

- Χαμηλό ειδικό βάρος.
- Υψηλό λόγο αντοχής προς βάρος σε σχέση με άλλα υλικά
- Υψηλό λόγο μέτρου ελαστικότητας προς βάρος

- Υψηλή εφελκυστική αντοχή
- Έχουν υψηλές ηλεκτρικές μονωτικές ιδιότητες.
- Διαθεσιμότητα υλικού σε πολλά, διαφορετικά και μεγάλα μήκη.
- Απλή και γρήγορη εφαρμογή, εύκολη εγκατάσταση, ακόμα και σε περιπτώσεις όπου ο χώρος εργασίας είναι περιορισμένος και γρήγορη επαναχρησιμοποίηση των κτιρίων.
- Αυξημένη ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- Μικρός χρόνος εκτέλεσης εργασίας
- Συμβατότητα με το υπόστρωμα
- Αναστρεψιμότητα της επέμβασης

Από την άλλη, τα βασικότερα μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών είναι (Ταντελέ 2018):

- Υψηλό αρχικό κόστος (χάλυβας/σκυρόδεμα 2-4% Α.Κ.- FRP τουλάχιστον 10% Α.Κ.)
- Ερπυσμός και Συρρίκνωση
- Χαμηλό όριο ελαστικότητας
- Πιθανή περιβαλλοντική υποβάθμιση
- Προβληματική συμπεριφορά σε δυναμικά φορτία λόγω μειωμένου βάρους
- Απαιτείται άρτια εκπαιδευμένο προσωπικό
- Έλλειψη κωδίκων
- Αντοχή στο χρόνο-δεν υπάρχουν ακόμα στοιχεία
- Δύσκολη η επιθεώρηση της κατάστασης των δομών από FRP

8.1.1 Κατηγορίες σύνθετων υλικών

8.1.1.1 Ίνες

Οι ίνες έχουν διάμετρο 5-25 μm και έχουν ως κύριο χαρακτηριστικό την εξαιρετικά υψηλή εφελκυστική αντοχή και τη γραμμική ελαστική συμπεριφορά μέχρι τη θραύση τους. Υπάρχουν τρεις τύποι ινών οι οποίοι χρησιμοποιούνται σε σύνθετα υλικά, οι

οποίοι είναι οι ίνες υάλου (υαλονήματα), οι ίνες άνθρακα (ανθρακονήματα) και οι ίνες πολυαμιίδης (Σταυρόπουλος 2007; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

8.1.1.1.1 Ίνες Υάλου

Οι ίνες υάλου ή αλλιώς υαλονήματα, παράγονται από λειωμένο γυαλί του οποίου το κύριο χαρακτηριστικό είναι ότι δεν παρουσιάζει ούτε πλήρως κρυσταλλική δομή αλλά ούτε και ιδιότητες ρευστού. Τα υαλονήματα έχουν πυκνότητα $2300-2500\text{kg/m}^3$, το μέτρο ελαστικότητας τους είναι $70-90\text{GPa}$ και η οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας τους είναι $3-5.5\%$ (Σπυράκος 2004; Χιώτης 2012).

Οι ίνες υάλου χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: στις ίνες τύπου E, τύπου Z και τύπου S. Οι ίνες τύπου E αποτελούν τον κοινό και πιο συνηθισμένο τύπο γυαλιού. Το κυριότερο μειονέκτημά τους είναι η μείωση της αντοχής σε αλκαλικό περιβάλλον, όπως είναι αυτό του σκυροδέματος. Οι ίνες τύπου Z παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε αλκαλικό περιβάλλον ενώ οι τύπου S έχουν υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας. Για τις επισκευές και ενισχύσεις χρησιμοποιούνται συνήθως οι ίνες τύπου S και E. Επιπλέον, το γυαλί S έχει μεγαλύτερη εφελκυστική αντοχή και μέτρο ελαστικότητας από το γυαλί E, αλλά λόγω του υψηλού του κόστους έχει περιορισμένη εφαρμογή σε σχέση με το δεύτερο (Χιώτης 2012; Σπυράκος 2004; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

8.1.1.1.2 Ίνες Άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα παρασκευάζονται είτε από θερμική κατεργασία του πολυακρυλονιτριλίου είτε μέσω απόσταξης κάρβουνου, και η πυκνότητά τους κυμαίνεται από 1800 έως 1900Kg/m^3 . Οι ίνες άνθρακα έχουν τη δυνατότητα να αποκτήσουν μηχανικές ιδιότητες έως και 100GPa εφελκυστικής αντοχής και 1000GPa μέτρο ελαστικότητας. Οι ίνες άνθρακα έχουν υψηλό μέτρο ελαστικότητας ($200-700\text{GPa}$) και οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας $0.2-2.5\%$. Επιπλέον, οι ίνες άνθρακα δεν απορροφούν νερό και είναι χημικά αδρανείς στους περισσότερους διαλύτες και επιπρόσθετα, παρουσιάζουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε κόπωση, ερπυσμό και διάβρωση και έχουν μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες (Χιώτης 2012; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).



Διάγραμμα 39: Εφαρμογή ανθρακονήματος
(Σιδέρης χ.χ)



Διάγραμμα 40: Εφαρμογή ανθρακονήματος
(Κκολός 2018)

8.1.1.1.3 Ίνες Πολυαραμίδης

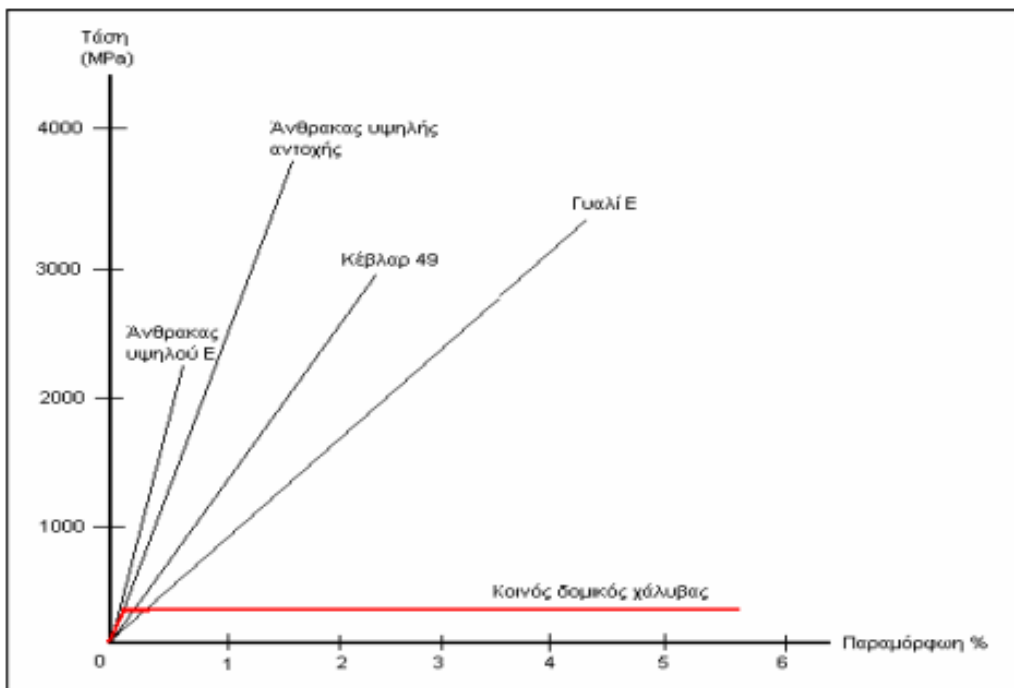
Οι ίνες πολυαραμίδης διακρίνονται σε αυτές που προέρχονται από αρωματικό πολυαμίδιο (Kevlar, Twaron) και σε αυτές που προέρχονται από αρωματικό πολυαιθεραμίδιο (Technora). Οι ίνες πολυαραμίδης έχουν πυκνότητα 1450kg/m^3 , το μέτρο ελαστικότητας τους είναι 70-13GPa και η οριακή παραμόρφωση της εφελκυστικής αστοχίας τους είναι 2.5-5% (Χιώτης 2012; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η υψηλή αντοχή τους σε κρουστικά φορτία. Επιπλέον, παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε κόπωση και τριβή και είναι ανθεκτικές στους διαλύτες, με εξαίρεση τα ισχυρά οξέα και τις βάσεις. Επιπρόσθετα, λόγω της υδροφιλίας τους καθίστανται πολύ ευαίσθητες σε θερμό περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας, και παρουσιάζουν ερπυστικές παραμορφώσεις υπό δεδομένη τάση. Οι συγκεκριμένες ίνες χρησιμοποιούνται λιγότερο συχνά από τον άνθρακα ή το γυαλί, στο χώρο των επισκευών και ενισχύσεων (Χιώτης 2012; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Πίνακας 1: Ενδεικτικές ιδιότητες ινών

	Μέτρο ελαστικότητας(KN/mm ²)	Εφελκυστική αντοχή(N/mm ²)	Οριακή παραμόρφωση εφελκυστικής αστοχίας (%)
Άνθρακας			
Υψηλής αντοχής	215-235	3500-4800	1.4-2.0
Υπερ-υψηλής αντοχής	215-235	3500-6000	1.5-2.3
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας	350-500	2500-3100	0.5-0.9
Υπερ-υψηλού μέτρου ελασ/τας	500-700	2100-2400	0.2-0.4
Γυαλί			
E	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	85-90	3500-4800	4.5-5.5
Αραμίδιο			
Χαμηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 29)	70-80	3500-4100	4.3-5.0
Υψηλού μέτρου ελαστικότητας(Κέβλαρ 49, Twaron)	115-130	3500-4000	2.5-3.5

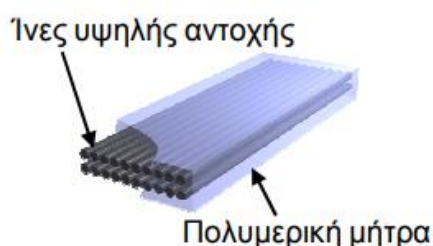
Πηγή: cited in Ζωσιμά Ελένη – Στρατήγη Βασιλική (2007)



Διάγραμμα 43: Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους ινών και για τον κοινό χάλυβα (Χιώτης 2012)

8.1.2 Μήτρα

Η μήτρα στα σύνθετα υλικά αποτελεί τη συγκολλητική ύλη μεταξύ των ινών. Πιο συγκεκριμένα, η μήτρα είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, το οποίο εκτός από το ότι συνδέει τις ίνες μεταξύ τους, τις προστατεύει από περιβαλλοντική υποβάθμιση, μεταφέρει τα φορτία μεταξύ των ινών, αλλά και καθορίζει αρκετές μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών όπως η αντοχή κάθετα στη διεύθυνση των ινών, η διατμητική και η θλιπτική αντοχή (Χιώτης 2012; Ταντελέ 2018; Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).



Διάγραμμα 44: Μήτρα (Ταντελέ 2018)

Ο πιο συνηθισμένος τύπος μήτρας είναι οι ρητίνες. Προκειμένου να αναπτυχθεί χημική και μηχανική σύνδεση μεταξύ των ινών και της ρητίνης, είναι αναγκαία η συνάφεια μεταξύ αυτών των δύο υλικών. Οι ρητίνες είναι περισσότερο ευπαθείς στη θερμότητα και την πυρκαγιά και γενικά εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στους χημικούς διαλύτες, τα οξέα, τις βάσεις και το νερό σε σχέση με τις ίνες. Όλα τα είδη των ρητινών παρουσιάζουν επίσης σημαντικές ερπυστικές παραμορφώσεις σε σχέση με τα παραδοσιακά δομικά υλικά. Ένα εξαιρετικό πλεονέκτημα που έχουν οι ρητίνες είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, στην οποία συμβάλλει σημαντικά η προένταση των σύνθετων υλικών. Οι φυσικές ιδιότητες των μήτρων πολυμερών αλλάζουν με το πέρασμα του χρόνου και την αλλαγή της φόρτισης (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006; Χιώτης 2012; Σταθόπουλος χ.χ).

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή σύνθετων υλικών για την επισκευή και ενίσχυση κατασκευών, είναι οι εποξειδικές, οι πολυεστερικές και οι βινυλεστερικές.

8.1.2.1 Εποξειδικές ρητίνες

Οι εποξειδικές ρητίνες παρουσιάζουν εξαιρετικά μηχανικά χαρακτηριστικά όπως, μεγάλη αντοχή και μεγάλη συγκολλητική ικανότητα, ανθεκτικότητα σε κόπωση και χημική διάβρωση όπως επίσης και χαμηλή συστολή ξηράνσεως. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες εξαρτώνται σημαντικά από τη ρητινή βάση και τις χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή τους. Θεωρούνται οι καλύτερες μήτρες για χρήση σε ινοπλισμένα πολυμερή συγκριτικά με τα άλλα δύο είδη ρητινών, αν και το κόστος τους είναι υψηλότερο (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006; Σταθόπουλος χ.χ.; Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006; Χιώτης 2012).

8.1.2.2 Πολυεστερικές ρητίνες

Οι συγκεκριμένες ρητίνες αποτελούν τον κύριο όγκο των πολυμερών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία παραγωγής σύνθετων υλικών. Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών τους στοιχείων, οι ιδιότητες των πολυεστερικών ρητινών μπορούν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Οι πολυεστέρες είναι ευπαθείς στο νερό

μεγάλης θερμοκρασίας και στις βάσεις και παρουσιάζουν μέτρια ανθεκτικότητα στους διαλύτες και τα οξέα. Είναι λιγότερο ανθεκτικοί στην κόπωση συγκριτικά με τα άλλα δύο είδη ρητινών, αλλά το μεγαλύτερο μειονέκτημα για χρήση σε κατασκευές που δεν έχουν εκκενωθεί είναι η δυσάρεστη οσμή λόγω της χημικής τους σύστασης (Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006; Χιώτης 2012).

8.1.2.3 Βινυλεστερικές ρητίνες

Πρόκειται για υβριδικές ρητίνες που παράγονται με αλυσιδωτές αντιδράσεις ενός εποξικού πολυμερούς με ακρυλικές ή μεθακρυλικές ενώσεις. Λόγω της παρουσίας του εποξειδικού πολυμερούς, οι βινυλεστερικές ρητίνες είναι περισσότερο εύκαμπτες, σκληρότερες, πιο ανθεκτικές σε κόπωση και λιγότερο χημικά ενεργές σε σχέση με τις πολυεστερικές (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006; Σταθόπουλος χ.χ.; Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006).

Οι υδροξυλικές ενώσεις που περιέχονται στο εποξειδικό πολυμερές σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με αντίστοιχες ενώσεις στην επιφάνεια των ινών ύαλου και έτσι ως αποτέλεσμα βελτιώνεται σημαντικά η σύνδεση της ρητίνης με τις ίνες. Οι συγκεκριμένες ρητίνες έχουν χαμηλότερη αντοχή και ανθεκτικότητα σε κόπωση από τις εποξειδικές. Όπως και οι πολυεστερικές έτσι και οι βινυλεστερικές ρητίνες έχουν δυσάρεστη οσμή λόγω της χημικής τους σύστασης. Το κόστος τους κυμαίνεται μεταξύ του κόστους των δύο άλλων τύπων ρητινών (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006; Καλαντζής & Χριστόπουλος 2006).

Πίνακας 2: Μηχανικές ιδιότητες ρητινών

<i>Είδος ρητίνης</i>	Εφελκυστική αντοχή (MPa)	Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	Επιμήκυνση θραύσης (%)	Πυκνότητα (gr/cm³)
Εποξειδική	55-130	1.0-4.5	4.0-14.0	1.20-1.30
Πολυεστερική	35 - 104	2.1-4.1	<5.0	1.10-1.46
Βινυλεστερική	73-81	3.0-3.6	3.5-5.5	1.12-1.32

Πηγή: Καλαντζής & Χριστόπουλος (2006)

8.1.2.4 Κόλλα

Είναι συνήθως η εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών και εφαρμόζεται μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετου υλικού εξασφαλίζοντας έτσι τη συνεργασία τους και τη μεταφορά τάσεων από το πρώτο στο δεύτερο. Η χρήση εποξειδικών ρητινών στις κατασκευές προϋποθέτει την κατανόηση τριών βασικών εννοιών όπως ο χρόνος εργασιμότητας, ο χρόνος εφαρμογής και η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006; Cited in Ζωσιμά & Στρατήγη 2007).

Ο χρόνος εργασιμότητας, είναι ο χρόνος τον οποίο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για να κάνουμε εύκολη χρήση της κόλλας πριν αυτή αρχίσει να σκληραίνει στο δοχείο όπου έγινε η ανάμιξη. Εξαρτάται από το τύπο της κόλλας, τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και την ποσότητα κόλλας που προκύπτει με την ανάμιξη των δύο συστατικών (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Ο χρόνος εφαρμογής, είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η κόλλα διατηρεί τις συγκολλητικές της ιδιότητες σε ικανοποιητικό βαθμό. Κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρόνου πρέπει να γίνει η επικόλληση του οπλισμού ενίσχυσης στην επιφάνεια του σκυροδέματος (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, είναι η θερμοκρασία στην οποία η κόλλα υφίσταται ταχεία μείωση του μέτρου ελαστικότητας οπότε και έχει περιορισμένη ικανότητα μεταφοράς δυνάμεων (Καϊάφας & Τσαμόπουλος 2006).

8.2 Σκυρόδεμα

8.2.1 Συμβατικό Σκυρόδεμα χυτό επί τόπου

Το συμβατικό σκυρόδεμα χρησιμοποιείται πολύ συχνά για επισκευές ως υλικό χυτό επί τόπου. Σε πολλές περιπτώσεις τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά λόγω συστολής ξηράνσεως του συμβατικού τσιμέντου, πράγμα που προκαλεί μειωμένη συνάφεια μεταξύ παλαιού και νέου σκυροδέματος. Προς βελτίωση της συνάφειας συνίσταται η χρησιμοποίηση σκυροδέματος επισκευής με αντοχή υψηλότερη από αυτήν

του επισκευαζόμενου στοιχείου και μικρό υδρομετρικό συντελεστή (λόγος Νερού/Τσιμέντο) (Πενέλης & Κάππος 1999).

8.2.2 Έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου

Το έγχυτο σκυρόδεμα σταθερού όγκου παράγεται με χρήση είτε διογκούμενου τσιμέντου είτε συνηθέστερα με προσθήκη ειδικών πρόσθετων τα οποία προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του σκυροδέματος εξουδετερώνοντας έτσι την συστολή ξήρανσης. Ο λόγος νερού προς τσιμέντο N/T κυμαίνεται συνήθως από 0,50 έως 0,60 και οι αντοχές που επιτυγχάνονται είναι σχετικώς υψηλότερες από αυτές του συμβατικού έγχυτου σκυροδέματος για τον ίδιο λόγο N/T (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Τα κύρια πλεονεκτήματα του έγχυτου σκυροδέματος σταθερού όγκου είναι (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

- Η παρεμπόδιση της ρηγμάτωσης τόσο στην επιφάνεια του όσο και στις θέσεις επαφής με τα υφιστάμενα στοιχεία σκυροδέματος.
- Εξασφαλίζει καλύτερη πρόσφυση σε παλαιό σκυρόδεμα σε σχέση με το συμβατικό σκυρόδεμα.
- Παρουσιάζει αυξημένη αντοχή σε επιφανειακή φθορά και σε δράση χημικών.

8.2.3 Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι σκυρόδεμα λεπτής διαβάθμισης αδρανών το οποίο σκυροδετείται με εκτόξευση. Είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό το οποίο έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα είναι ένα υλικό που προσφέρει υψηλή θλιπτική αντοχή, έχει καλή αντίσταση στη διάβρωση και τις χημικές ουσίες, καλή πρόσφυση με το υπάρχον σκυρόδεμα και με το χάλυβα. Επιπλέον, το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αυτοστηρίζεται, δηλαδή δεν απαιτείται ξυλότυπος και μπορεί να

χρησιμοποιηθεί ακόμα και στο κάτω μέρος οριζοντίων στοιχείων σε στρώσεις πάχους μέχρι και 50 mm. Επιπρόσθετα, η εγκατάσταση είναι κινητή και σε συνδυασμό με το είδος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται, επιτρέπει την σκυροδέτηση σε δύσκολες και δυσπρόσιτες θέσεις (Κκολός 2018; ΟΑΣΠ 2001).

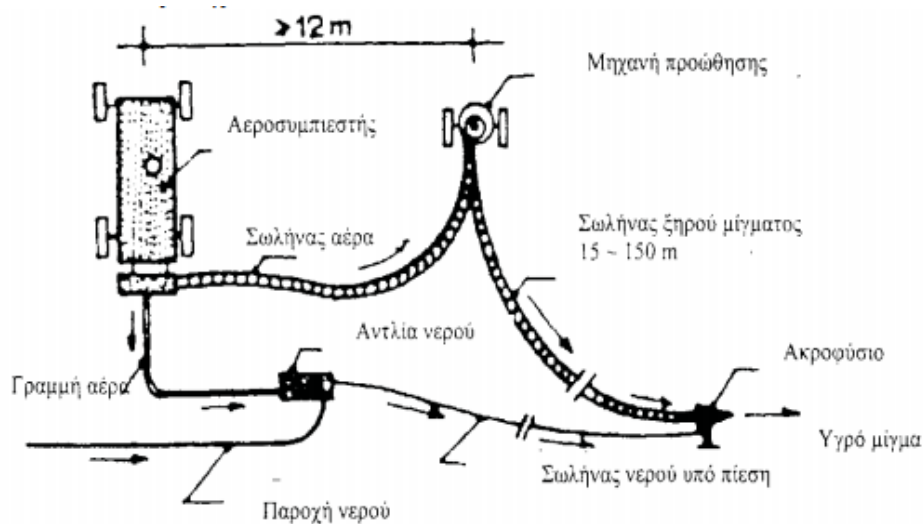
Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εφαρμόζεται κυρίως για επισκευές κτιρίων, στους μανδύες δομικών στατικών στοιχείων όπως, υποστυλωμάτων, δοκών, πλακών καθώς και στην ενίσχυση φερουσών τοιχοποιιών και λιθοδομών (Κκολός 2018).

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα έχει μια θεμελιώδη διαφοροποίηση σε σχέση με το κοινό σκυρόδεμα σε ότι αφορά τη σύνθεση. Το αρχικό μίγμα που εκτοξεύεται έχει διαφορετική αναλογία υλικών από το τελικά εγκατεστημένο υλικό. Αυτό οφείλεται στην αναπήδηση των υλικών. Έτσι η μελέτη σύνθεσης για να έχει τα σωστά αποτελέσματα πρέπει να λαμβάνει υπόψη και το ποσοστό των ανακλούμενων υλικών (Κκολός 2018).

Η σωστή εφαρμογή του για καλής ποιότητας κατασκευές απαιτεί εξειδικευμένους τεχνίτες. Για την κατασκευή και την εκτόξευση του χρειάζονται ειδικές συσκευές οι οποίες είναι μικρές και ευκίνητες. Σήμερα στην πράξη χρησιμοποιούνται δύο διαδικασίες ανάμιξης, η ξηρά και η υγρά ανάμιξη (Κκολός 2018).

Ξηρά ανάμιξη

Στην διαδικασία της ξηράς ανάμιξης ο εξοπλισμός αποτελείται από έναν αεροσυμπιεστή, μια δεξαμενή νερού, την μηχανή προώθησης, το ακροφύσιο και τους σωλήνες παροχής αέρα, νερού και υλικού (ΟΑΣΠ 2001).



Διάγραμμα 45: Τυπική εγκατάσταση για ξηρά διαδικασία (ΟΑΣΠ 2001)

Το τσιμέντο και τα αδρανή αναμιγνύονται χωρίς την πρόσθεση νερού και με την βοήθεια πεπιεσμένου αέρα διοχετεύονται από την μηχανή προώθησης μέσω σωλήνα προς το ακροφύσιο. Στο ακροφύσιο υπάρχει ξεχωριστή παροχή νερού η οποία διοχετεύει νερό υπό πίεση στο μίγμα των υλικών. Η παροχή νερού μπορεί να ελέγχεται από το χειριστή με βαλβίδα. Στο ακροφύσιο γίνεται η ανάμιξη του νερού και των ξηρών υλικών και το μίγμα εκτοξεύεται προς την επιφάνεια εφαρμογής (Κκολός 2018; ΟΑΣΠ 2001).

Υγρά ανάμιξη

Στην διαδικασία της υγράς ανάμιξης το τσιμέντο, τα αδρανή και το νερό αναμιγνύονται όπως και στο συμβατικό σκυρόδεμα. Το μίγμα εισάγεται στην μηχανή προώθησης και με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα προχωρεί μέσω σωλήνα προς το ακροφύσιο. Από το ακροφύσιο εκτοξεύεται με τη βοήθεια πρόσθετου πεπιεσμένου αέρα προς την επιφάνεια εφαρμογής (Κκολός 2018).



Διάγραμμα 46: Χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος (Δρίτσος 2015-2016)

8.2.4 Σκυρόδεμα με πολυμερή

Τα σκυροδέματα με πολυμερή παράγονται είτε με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές (χρησιμοποιώντας πολυεστερικές ή κόλλες), είτε με μερική αντικατάσταση του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex), είτε εμποτίζοντας σκληρυμένο συμβατικό σκυρόδεμα με μονομερές που στη συνέχεια πολυμερίζεται (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του σκυροδέματος με πολυμερή, που είναι ιδιαίτερα σημαντικά στην τεχνολογία των επεμβάσεων, είναι:

- Η αντοχή του σε θλίψη η οποία μπορεί να φθάσει μέχρι και το τετραπλάσιο της αντοχής του αντίστοιχου συμβατικού σκυροδέματος, ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό μπορεί να φθάσει μέχρι και το εικοσαπλάσιο.
- Η σκλήρυνση του σκυροδέματος γίνεται πολύ γρήγορα και επιταχύνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα μπορεί να επιτευχθούν ιδιαίτερα υψηλές αντοχές.

- Επιτυγχάνεται εξαιρετικά καλή πρόσφυση με το παλαιό σκυρόδεμα.
- Το μέτρο ελαστικότητας προκύπτει μέχρι 50% υψηλότερο του αντίστοιχου για συμβατικό σκυρόδεμα στην περίπτωση που το τσιμέντο έχει αντικατασταθεί με πολυμερές.
- Αυξάνεται η αντίσταση στην επιφανειακή φθορά, στον παγετό, καθώς και στην προσβολή από χημικά, και επιπλέον, μειώνεται σχετικά το πορώδες και η συστολή ξήρανσης.

Ωστόσο, το σκυρόδεμα με πολυμερή παρουσιάζει και κάποια βασικά μειονεκτήματα, όπως:

- Ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
- Η μειωμένη αντίσταση στην ενανθράκωση του σκυροδέματος.
- Η μικρή αντοχή σε πυρκαγιά
- Ο σχετικά υψηλός ερπυστικός συντελεστής.
- Το υψηλό κόστος κατασκευής του.

8.2.5 Σκυροτσιμεντόπηγμα

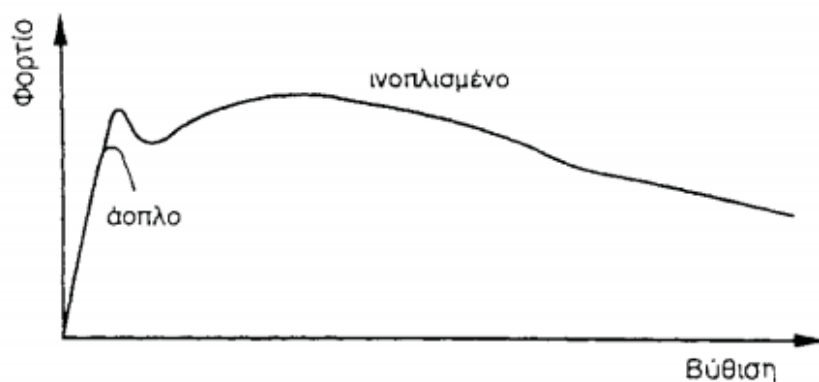
Το σκυροτσιμεντόπηγμα δημιουργείται με την αρχική διάστρωση αδρανών μεγάλης διαμέτρου στα καλούπια του προς σκυροδέτηση στοιχείου και έπειτα, πλήρωση των κενών των αδρανών με τσιμεντοκονία η οποία εισάγεται υπό πίεση. Τα αδρανή που χρησιμοποιούνται έχουν ελάχιστο μέγεθος κόκκων 10-15 mm. Το σκυροτσιμεντόπηγμα έχει αρχικά μικρότερη αντοχή από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Όμως, με την πάροδο του χρόνου η διαφορά μειώνεται συνεχώς μέχρι που παύει να υπάρχει. Το σκυροτσιμεντόπηγμα χρησιμοποιείται κυρίως σε επισκευές και ενισχύσεις εκτεταμένων έργων υπαίθρου υπό δυσμενείς συνθήκες (π.χ. σήραγγες κ.λ.π.) (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Τα κύρια πλεονεκτήματα του ως προς το συμβατικό σκυρόδεμα είναι:

- Η μικρότερη συστολή ξήρανσης
- Η μεγαλύτερη αντοχή στο χρόνο
- Η μεγαλύτερη στεγανότητα
- Η ικανοποιητική πρόσφυση που παρουσιάζει στο παλαιό σκυρόδεμα.

8.2.6 Ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

Η προσθήκη ινών στο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα γίνεται κυρίως για περιορισμό της ρηγμάτωσης λόγω της υψηλής συστολής ξήρανσης. Οι ίνες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι από χάλυβα, προπυλένιο ή γυαλί. Το μήκος τους είναι της τάξης μερικών εκατοστών, και η διάμετρός τους, η οποία εξαρτάται από το υλικό, συνήθως δεν ξεπερνά το χιλιοστό. Το ποσοστό των ινών που προστίθενται, κυμαίνεται μεταξύ 1% και 3%. Για ίνες χάλυβα το μέγιστο ποσοστό είναι 2% και ο λόγος του μήκους τους προς την διάμετρό τους, δεν πρέπει να ξεπερνάει το 100. Εκτός από τον περιορισμό της ρηγμάτωσης, οι ίνες που προστίθενται συμβάλλουν στο να αυξηθεί η παραμόρφωση του υλικού κατά την αστοχία, καθώς και στο να αυξηθεί ελάχιστα η εφελκυστική αντοχή (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 47: Επίδραση ινών στη συμπεριφορά σε κάμψη (ΟΑΣΠ 2001)

8.3 Χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα

Τα χαλύβδινα επικολλητά ελάσματα επικολλώνται στην εξωτερική επιφάνεια δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, έχοντας ως στόχο τη συμπλήρωση του ελλείμματος του προϋπάρχοντος οπλισμού, με νέους οπλισμούς. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για την αύξηση της καμπτικής αντοχής δοκών και πλακών ή της διατμητικής αντοχής δοκών.

Τα χαλύβδινα ελάσματα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι λεπτά με πάχος 1-1.5 mm και επικολλώνται χρησιμοποιώντας κάποια κατάλληλη εποξειδική ρητίνη σε επίπεδο παράλληλο προς αυτό του προϋπάρχοντος ανεπαρκούς οπλισμού. Έτσι, τοποθετούνται είτε στο εφελκυστικό πέλμα των στοιχείων για ενίσχυση σε κάμψη, είτε τοποθετούνται στις παρειές των δοκών για ενίσχυση σε διάτμηση. (Δρίτσος 2005; ΟΑΣΠ 2001).

Μία μέθοδος μεταλλικών ελασμάτων θεωρούνται τα κατακόρυφα γωνιακά ελάσματα με λάμες. Σε αυτή τη μέθοδο τοποθετούνται τέσσερα γωνιακά στις γωνίες του βλαμμένου υποστυλώματος σε όλο του το ύψος. Έξω από τα γωνιακά αυτά, ανά συγκεκριμένες αποστάσεις, τοποθετούνται ζευγάρια από εγκάρσιες λάμες περιμετρικά του υποστυλώματος (cited in Αγγέλη και Σταματοπούλου 2011).



Διάγραμμα 48: Εφαρμογή μεταλλικών ελασμάτων (cited in Αγγέλη και Σταματοπούλου 2011)

8.4 Επισκευαστικά Κονιάματα

Τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές αποκατάστασης και ενίσχυσης των κατασκευών όταν το απαιτούμενο πάχος του υλικού είναι μικρό και απαιτείται πολύ καλή πρόσφυση. Το βασικότερο μειονέκτημα τους είναι το υψηλό τους κόστος, το οποίο όμως συχνά εξουδετερώνεται από το γεγονός ότι η ποσότητα που απαιτείται είναι μικρή και το μέγεθος της προστασίας που προσφέρεται είναι υψηλό (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Υπάρχουν δύο τύποι κονιαμάτων που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας, όπως:

- Τα κονιάματα με πολυμερή
- Τα κονιάματα με βάση το τσιμέντο

Κονιάματα με πολυμερή

Τα κονιάματα με πολυμερή παράγονται με δύο τρόπους:

1. Με αντικατάσταση του τσιμέντου με πολυμερές
2. Με αντικατάσταση μέρους του νερού με υδατοδιαλυτό πολυμερές (latex).

Συνήθως ως πολυμερές χρησιμοποιείται η ρητίνη, και γι' αυτό το λόγο έχει επικρατήσει η ονομασία ρητινοκονιάματα.

Τα συγκεκριμένα κονιάματα χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση μικρού βαθμού βλαβών σε δομικά στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπως για παράδειγμα αποφλοιώσεις σκυροδέματος ή σε περιπτώσεις όπου το απαιτούμενο πάχος του επισκευαστικού υλικού είναι ιδιαίτερα μικρό. (π.χ. στην περίπτωση οπλισμών χωρίς επικάλυψη λόγω κακής σκυροδέτησης) (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Κονιάματα με βάση το τσιμέντο

Τα συγκεκριμένα κονιάματα δημιουργούνται από ειδικές κονίες με προσθήκη μικρής ποσότητας νερού, που κυμαίνεται μεταξύ 10-20% του βάρους του κονιάματος. Οι κονίες είναι μίγματα τσιμέντου με λεπτόκοκκα αδρανή των οποίων η διάμετρο συνήθως δεν ξεπερνά τα 2.5 mm, σε συνδυασμό με υπερευστοποιητικά υλικά, και πρόσμικτα τα οποία παρεμποδίζουν την συστολή ξήρανσης. Η διάμετρος των αδρανών σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 10 mm (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Τα κονιάματα αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται όταν απαιτούνται μικρά μεν πάχη υλικού, αλλά όμως μεγαλύτερα απ' ό,τι στις περιπτώσεις που περιγράφηκαν πιο πάνω για εφαρμογές με κονιάματα πολυμερών. Εφαρμόζονται συνήθως για την αποκατάσταση περιοχών αποδιοργανωμένου σκυροδέματος, καθώς και για την πλήρωση φωλεών σε στοιχεία σκυροδέματος με κακή συμπύκνωση (ΟΑΣΠ 2001; Δρίτσος 2005).

Τα κύρια πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων κονιαμάτων είναι:

- Παρουσιάζουν υψηλές αντοχές και αυτό οφείλεται στο χαμηλό υδατοτσιμεντοσυντελεστή.
- Αναπτύσσουν γρήγορα αντοχή.
- Μπορούν, με την παρουσία υπερευστοποιητών, να παρουσιάσουν μεγάλη ρευστότητα χωρίς να μειωθεί η αντοχή τους.
- Εξουδετερώνεται η συστολή ξήρανσης με τη βοήθεια ειδικών πρόσθετων τα οποία προκαλούν σταδιακή αύξηση του όγκου του κονιάματος.
- Έχουν πολύ καλή πρόσφυση στο υλικό βάσης το οποίο μπορεί να είναι είτε σκυρόδεμα είτε τοιχοποιία
- Δεν παρουσιάζουν ρηγματώσεις ή κενά κακής χύτευσης

Πίνακας 3: Ιδιότητες και χαρακτηριστικά επισκευαστικών κονιαμάτων με βάση το τσιμέντο

Ιδιότητες-Χαρακτηριστικά	Συμβατική Ονομασία Υλικού						Κατηγορία Σκυροδέματος	
	MA	MB	MC	MD	ME	MF	C16/20	C25/30
Θλιπτική Αντοχή (MPa)	74	70	75	63	68	42	24	33
Μέτρο Ελαστικ. σε Θλίψη (MPa)	25000	25000	30000	*	*	27500	30500	*
Παραμόρφωση Αστοχίας (ϵ'_{∞})	6	6	6	*	*	*	3,7	3,5
Εφελκ. Αντοχή σε Κάμψη (MPa)	8,8	8	8,5	8	11,3	6,3	2,1	2,8
Συνάφεια με παλαιό Σκυρ. (MPa)	6	6	6,5	*	*	*	1,5	1,5
Συνάφεια με Χάλυβα (MPa)								
Για Λείους Ράβδους	3	3	4	*	*	*	*	*
Για ράβδους με ραβδώσεις	20	20	30					

* δεν διατίθενται στοιχεία

Πηγή: Δρίτσος (2005)

8.5 Ενέματα

Τα ενέματα, ή αλλιώς τσιμεντενέματα, είναι μεγάλης ρευστότητας αναμίγματα τα οποία συντίθενται από συνδετική κονία (τσιμέντο), νερό (λόγος νερού/τσιμέντο ≥ 1), άμμο, κάποιο υπερπλαστικοποιητή και ένα διογκωτικό προς διασφάλιση υψηλής αντοχής και χαμηλής συρρικνώσεως κατά τη σκλήρυνση. Τα ενέματα εφαρμόζονται κυρίως για την πλήρωση και αποκατάσταση της συνέχειας του ρηγματωμένου σκυροδέματος ή τοιχοποιίας με ρωγμές σχετικά μεγάλου βάθους (όχι επιφανειακές) (Δημοσθένους 2009; Costonline 2010).

Για την επιτυχή εφαρμογή του το ένεμα πρέπει να είναι σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας και να αποφεύγεται η απόμιξη. Πολλές φορές πραγματοποιούνται δοκιμαστικές ενέσεις και η τελική σύνθεση του ενέματος αποφασίζεται βάσει των αποτελεσμάτων των δοκιμαστικών εφαρμογών. Επιπρόσθετα, τα ενέματα εφαρμόζονται

και για τη σφράγιση ρωγμών ή ανοιγμάτων κατά την εφαρμογή ριζοπλισμών, ελκυστήρων και μικροπασσάλων (Δημοσθένους 2009).



Διάγραμμα 49: Εφαρμογή ενεμάτων (Sintecno 1978)

8.6 Βλήτρα και αγκύρια

Τα βλήτρα και τα αγκύρια είναι μεταλλικοί σύνδεσμοι οι οποίοι διακρίνονται με βάση το είδος των δυνάμεων που καλούνται να αναλάβουν. Έτσι, ως βλήτρα χαρακτηρίζονται οι μεταλλικοί σύνδεσμοι, όταν αυτοί καταπονούνται με διατμητικό φορτίο, ενώ ως αγκύρια όταν η εξωτερική φόρτιση είναι αξονική. Προφανώς όταν ένας μεταλλικός σύνδεσμος καταπονείται αξονικά και διατμητικά τότε δρα ως αγκύριο και βλήτρο ταυτόχρονα (Σπυράκος 2004; Σιδέρης χ.χ).

8.6.1 Είδη βλήτρων και αγκυρίων

8.6.1.1 Κατακόρυφα βλήτρα προς τα κάτω

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε πέδιλα ή για συγκόλληση αναμονής σε υποστυλώματα. Για την πλήρωση του κενού χρησιμοποιείται λεπτόρρευστη ρητίνη χαμηλού ιξώδους. Σε πέδιλα κυρίως παλαιών οικοδομών μπορεί να υπάρχει λόγω κακής συμπίκνωσης διαρροή στα κενά. Επαναλαμβάνεται η εργασία με μεγαλύτερο ιξώδες αν χρειαστεί, μέχρι να γεμίσει πλήρως η οπή (ΤΕΕ 2007; Σιδέρης χ.χ.).

8.6.1.2 Οριζόντια βλήτρα

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε υποστυλώματα, δοκούς και τοιχεία. Πριν τοποθετηθεί το βλήτρο, χρησιμοποιείται ρητίνη με αρκετά μεγάλο ιξώδες και γεμίζεται η οπή με πιστόλι χειρός. Έπειτα, σε ορισμένες περιπτώσεις, ακολουθεί επάλειψη του τμήματος του βλήτρου που θα εισέλθει στο σκυρόδεμα και η τοποθέτησή του. Σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να σφραγιστεί με ρητινόστοκο και να πρεσαριστεί ενέσιμη ρητίνη με δύο στόμια κάτω και πάνω, ώστε να επιτευχθεί 100% πλήρωση του κενού βλήτρου και της οπής. Αυτή η περίπτωση αν και αποτελεί πρόταση με μεγάλο κόστος, τα αποτελέσματά της είναι σίγουρα (ΤΕΕ 2007; Σιδέρης χ.χ.).

8.6.1.3 Κατακόρυφα βλήτρα οροφής

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε ενίσχυση πλακών. Επειδή εκεί συνήθως γίνεται διαμπερής διάτρηση, σφραγίζεται από κάτω με ρητινόστοκο και ρίχνεται από το πάνω μέρος της πλάκας ρητίνη μικρού ιξώδους.

Σε άλλες περιπτώσεις, που δεν μπορούμε να διαπεράσουμε από κάτω, όπως π.χ. σε δοκούς, χρησιμοποιείται ρητίνη μεγάλου ιξώδους και εφαρμόζεται η μέθοδος των οριζόντιων βλήτρων. Είναι πάντα απαραίτητο να γίνεται σχολαστικός καθαρισμός των οπών με αέρα υπό πίεση και μεταλλικό βουρτσάκι ανάλογης διαμέτρου ώστε να απομακρυνθεί η σκόνη που δημιουργήθηκε κατά τη διάτρηση. Επίσης προσπάθεια πρέπει να καταβληθεί ώστε να πληρωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα το κενό οπής και βλήτρου (ΤΕΕ 2007; Σιδέρης χ.χ.).



Διάγραμμα 50: Εφαρμογή βλήτρων (Σιδέρης χ.χ)

9 Τεχνικές επεμβάσεως για επισκευή και ενίσχυση δομικών στοιχείων

9.1 Ρητινενέσεις

Η ρητινένεση είναι η διαδικασία έγχυσης μιας ρητινοειδούς κόλλας (ρητίνη) στις ρωγμές του στοιχείου, με ενέσεις, η οποία καλύπτει ένα εύρος ρωγμών, που κυμαίνεται μεταξύ 0,1 - 3,0 mm σε άοπλο και οπλισμένο σκυρόδεμα. Πιο συγκεκριμένα, οι ρητίνες μπορούν να γεμίσουν το κενό μιας ρωγμής κατορθώνοντας τελικά την πλήρη συνέχεια του υλικού. Επίσης, λόγω της σύστασής τους, παρεμποδίζεται η ελεύθερη διείσδυση οξυγόνου και υγρασίας, των κύριων δηλαδή συστατικών της οξειδωτικής διαδικασίας. Με τη διαδικασία αυτή οι οπλισμοί εγκιβωτίζονται, με αποτέλεσμα την προστασία τους από τη διάβρωση. Ακόμη, εμποδίζεται η διεύρυνση των ρωγμών λόγω των υψηλών αντοχών των ρητινών σε εφελκυσμό και συνάφεια. Με αυτή τη μέθοδο επιτυγχάνεται πλήρης επισκευή των ρωγμών και επαναφορά της στατικής ακεραιότητας του στοιχείου ή της κατασκευής (cited in Καλλιανιώτης & Σταθάς 2009; Δρίτσος 2005).

Η μέθοδος των ρητινενέσεων ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία (cited in Καλλιανιώτης & Σταθάς 2009; Κκολός 2018):

- Καθαρίζονται οι ρωγμές καθώς και οι γειτονικές περιοχές με χρήση κενού ή πεπιεσμένου αέρα.
- Σφραγίζονται οι ρωγμές με μικρά κομμάτια ταινίας έτσι ώστε να εμποδιστεί η διαρροή της ρητίνης από τη σχισμή
- Διανοίγονται οπές διαμέτρου 5,0 – 10,0 mm σε ορισμένες θέσεις κατά μήκος της ρωγμής. Οι επιλεγμένες θέσεις των οπών αποτελούν ένα από τα πιο κρίσιμα σημεία της τεχνικής των ρητινενέσεων.
- Τοποθετούνται ακροφύσια (ανοιχτοί πόροι) στις επιλεγμένες θέσεις των οπών, μέσω των οποίων θα γίνει η ρητινένεση.
- Με πεπιεσμένο αέρα που διοχετεύεται μέσω των ακροφυσίων γίνεται καθαρισμός της ρωγμής σε βάθος.

- Πραγματοποιείται η εκτέλεση ένεσης με εποξειδική ρητίνη ρευστής συνθέσεως η οποία είναι αναμεμιγμένη με σκληρυντή. Η εποξειδική ρητίνη διοχετεύεται από τα κατώτερα ακροφύσια στα ανώτερα έτσι ώστε να μην αφήσει κενά, γεμίζοντας την ρωγμή.
- Μετά από ορισμένο χρόνο, από 6 έως 48 ώρες, ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η εποξειδική ρητίνη σκληρύνεται αποκτώντας αντοχές πολύ ψηλότερες από αυτές του σκυροδέματος ενώ συγχρόνως επανασυγκολλεί το ρηγματωμένο τμήμα.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

Διάγραμμα 51: α) Σφράγιση ρωγμής, (β) Τοποθέτηση ακροφυσίων, (γ) Είσοδος πεπιεσμένου αέρα, (δ) Διοχέτευση εποξειδικής ρητίνης (cited in Καλλιανιώτης & Σταθάς 2009)

9.2 Ριζοπλισμοί

Η τεχνική των ριζοπλισμών έγκειται στην κατασκευή ενός δικτύου οπών στο σώμα της τοιχοποιίας στις οποίες τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού. Στη συνέχεια οι οπές πληρώνονται με ένεμα. Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται σε περιπτώσεις παλαιών λιθοδομών μεγάλου πάχους για επεμβάσεις τοπικού ή καθολικού χαρακτήρα. Το αποτέλεσμα αυτής της τεχνικής είναι η αύξηση της θλιπτικής και διατμητικής αντοχής της τοιχοποιίας ανάλογα με την πυκνότητα τοποθέτησης και τη διάμετρο των ριζοπλισμών. Το βασικό όμως μειονέκτημα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι η αλλοίωση της δομής της τοιχοποιίας κατά τρόπο μη αναστρέψιμο, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις εφαρμογής σε μνημεία (Σιδέρης χ.χ.).



Διάγραμμα 52: Τοποθέτηση ριζοπλισμών (Σιδέρης χ.χ.)

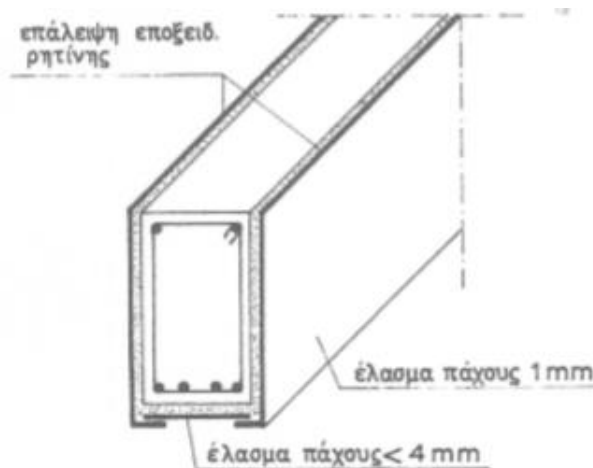
Η τεχνική των ριζοπλισμών εφαρμόζεται σε πληθώρα κατασκευών από φέρουσα τοιχοποιία. Οι συνηθέστερες εφαρμογές της τεχνικής είναι (Σιδέρης χ.χ.):

- Ενίσχυση πεσσών σε γέφυρες που έχουν ρηγματωθεί λόγω διαφορικών καθιζήσεων.
- Ενίσχυση πεσσών σε παλαιές γέφυρες επειδή έχουν αυξηθεί τα κινητά φορτία για τα οποία έχουν μελετηθεί και κατασκευασθεί.
- Σταθεροποίηση ασφίδων, που έχουν υποστεί παραμορφώσεις.

- Ενίσχυση υπογείων στοών, όπου το έδαφος έχει υποστεί καθίζηση ή μετακίνηση.
- Ενίσχυση ασθενούς τοιχοποιίας σε περιοχές που εφαρμόζονται πλάκες αγκύρωσης τενόντων (προεντεταμένη τοιχοποιία ή ενίσχυση με ελκυστήρες).
- Σύνδεση τμημάτων κατασκευών όπως αψίδες με τα ανώτερα τμήματα του τοίχου.
- Ενδυνάμωση του σώματος του φέροντα οργανισμού και σύνδεση των σαθρών με τα δυνατά τμήματα της τοιχοποιίας.
- Δημιουργία υψίκορμων δοκών.

9.3 Επικόλληση ελασμάτων σε σκυρόδεμα

Σε αυτή τη μέθοδο επεμβάσεως, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η επικόλληση των ελασμάτων γίνεται με εποξειδική ρητίνη στο εφελκόμενο πέγμα των δοκών, στις κατακόρυφες παρειές δοκών ή στους κόμβους. Το έλασμα είναι από ανοξείδωτο και λεπτό φύλλο χάλυβα (συνήθως 1.00 έως 1.50 mm) ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί καλά στην προς ενίσχυση επιφάνεια και να κολλήσει (Πενέλης & Κάππος 1999).



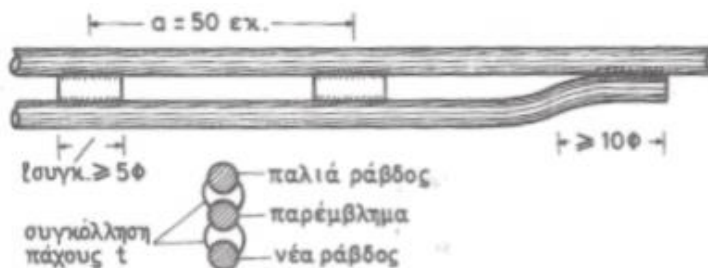
Διάγραμμα 53: Ενίσχυση δοκού με επικόλληση ελασμάτων (Πενέλης & Κάππος 1999)

Η διαδικασία επεμβάσεως περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Πενέλης & Κάππος 1999):

- Επιμελημένη λείανση της επιφάνειας του σκυροδέματος με σβουράκι και γυαλόχαρτο.
- Πλύσιμο της επιφάνειας και καλό στέγνωμα.
- Εκτράχυνση της επιφάνειας προς επικόλληση της επιφάνειας του μεταλλικού φύλλου με αμμοβολή.
- Εμποτισμός και επάλειψη του σκυροδέματος με εποξειδική ρητίνη υψηλού ιξώδους.
- Επικόλληση του ελάσματος και συμπίεσή του με βίδες συσφίξεως επί εικοσιτέσσερις ώρες ώστε να κολλήσει.
- Επανάληψη της διαδικασίας, σε περίπτωση που απαιτηθεί και δεύτερο έλασμα.

9.4 Ηλεκτροσυγκόλληση νέων οπλισμών

Ο συνηθέστερος τρόπος ενισχύσεως εφελκυσμένων περιοχών είναι με οπλισμούς, η συνεργασία των οποίων με τους παλιούς επιτυγχάνεται τις πιο πολλές φορές με ηλεκτροσυγκόλληση. Ο μαλακός χάλυβας προτιμάται από το νευροχάλυβα ως νέος οπλισμός για λόγους εύκολης συγκολλησεως. Οι νέες ράβδοι συγκολλούνται πάνω στις παλιές με τη βοήθεια κοινών παρεμβλημάτων (καβίλιες) της ίδιας διαμέτρου, όμως όχι μικρότερης των $\Phi 16$ και μήκους τουλάχιστον 5Φ ανά αποστάσεις 50 cm περίπου (Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 54: Συγκόλληση νέας ράβδου οπλισμού (Πενέλης & Κάππος 1999)

9.5 Μανδύες από Ο/Σ

Η τεχνική της κατασκευής μανδυνών σε δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος είναι η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αύξησης της αντοχής, της δυσκαμψίας, καθώς και της πλαστιμότητάς τους. Οι μανδύες από Ο/Σ εφαρμόζονται πιο συχνά σε υποστυλώματα τα οποία υπόκεινται σε βαριά βλάβη (Δρίτσος 2005).

Αναλυτικότερα, στη μέθοδο αυτή αυξάνεται η διατομή του δομικού στοιχείου με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό στοιχείο. Έτσι, ο μανδύας περικλείει το υφιστάμενο στοιχείο και συμβάλλει στη μείωση της λυγηρότητας και στην αύξηση της δυσκαμψίας (Δρίτσος 2005).

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες μανδυνών οπλισμένου σκυροδέματος όπως:

1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα
2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα
3. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα
4. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα

1. Μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα:

Σε περίπτωση που ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει πάχος που υπερβαίνει τα 8cm, τότε χρησιμοποιείται έγχυτο σκυρόδεμα. Για τη σκυροδέτηση του συγκεκριμένου μανδύα απαιτείται η χρήση ξυλότυπου. Επιπλέον, στους μανδύες από έγχυτο σκυρόδεμα το μέγεθος των αδρανών δεν πρέπει να είναι μεγάλο και η χύτευση πρέπει να γίνεται με όσο το δυνατόν μικρότερη πίεση και λόγω της επίδρασης της συστολής ξήρανσης συνίσταται η χρήση ρευστοποιητών και πρόσμικτων με σκοπό την παρεμπόδισή της. Το βασικό μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η διαδικασία τοποθέτησης ειδικά στην περιοχή των κόμβων δοκού- υποστυλώματος.

2. Μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα:

Σε περίπτωση που ο μανδύας που θα κατασκευαστεί έχει πάχος που δεν υπερβαίνει τα 10 cm, τότε χρησιμοποιείται η πρακτική του εκτοξευόμενου σκυροδέματος, η οποία αποτελεί και την συνηθέστερη πρακτική για ενισχύσεις πάχους μικρότερου των 10cm. Σε αυτή τη μέθοδο δεν απαιτείται η χρήση ξυλότυπου, αλλά η χρήση οδηγών ούτως ώστε να εξασφαλιστεί η κατακόρυφη επιφάνεια του μανδύα. Το βασικότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η επίδραση της συστολής ξήρανσης η οποία είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους γι' αυτό πρέπει να γίνεται σωστή συντήρηση του μανδύα.

3. Μανδύες από σκυροτσιμεντόπηγμα:

Η κατασκευή μανδύα από σκυροτσιμεντόπηγμα επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση των αδρανών (ελάχιστη διάσταση κόκκων 10-15mm) σε καλούπια και έπειτα την πλήρωση των μεταξύ τους κενών με υγροποιημένο τσιμέντο υπό πίεση. Το βασικότερο πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η εύκολη σκυροδέτηση ακόμη και στην περίπτωση ύπαρξης πυκνού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού. Επιπλέον, με αυτή τη μέθοδο ελαχιστοποιείται η συστολή ξήρανσης.

4. Μανδύες από ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα:

Σε περίπτωση που ο μανδύας που πρόκειται να κατασκευαστεί έχει πολύ μικρό πάχος, τότε χρησιμοποιούνται ειδικά σκυροδέματα ή τσιμεντοκονιάματα. Το βασικό πλεονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι η απόκτηση πολύ υψηλής αντοχής από το απλό σκυρόδεμα και σε πολύ μικρότερο χρόνο, ενώ, το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος παρασκευής.



Διάγραμμα 55: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος
(Δρίτσος 2014)

10 Επισκευές και ενισχύσεις δομικών στοιχείων

10.1 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης της διάβρωσης οπλισμένου σκυροδέματος

Η διάβρωση του οπλισμού σε μία κατασκευή μπορεί να βρίσκεται είτε σε αρχικό στάδιο είτε σε προχωρημένο. Ανάλογα με το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η διάβρωση, δηλαδή αν έχει φτάσει στον οπλισμό ή ακόμη, εφαρμόζονται διάφοροι τρόποι επισκευής και ενίσχυσης της διάβρωσης.

Όταν δεν έχει ξεκινήσει η διάβρωση του οπλισμού και η διάβρωση περιορίζεται μόνο στο σκυρόδεμα, μπορούν να εφαρμοσθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- Ρητινενέσεις
- Προστατευτικά Επιστρώματα στο σκυρόδεμα
- Υδατοστεγείς μεμβράνες
- Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

10.1.1 Ρητινενέσεις

Η τεχνική των ρητινενέσεων αναλύθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Γενικά, όπως ήδη προαναφέρθηκε, οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται για την πλήρωση και συγκόλληση ρωγμών εύρους μεγαλύτερου από 0.2 mm (0.1-3.0 mm).

10.1.2 Προστατευτικά επιστρώματα

Τα επιστρώματα γίνονται από ειδικά σκυροδέματα υψηλής ποιότητας και αντοχής. Αυτά είναι Portland ή σκυρόδεμα με πρόσθετα πολυμερή. Στόχος τους είναι να μειώσουν την διαπερατότητα που έχει το ήδη υπάρχον. Πριν την κατασκευή τους απαιτείται προετοιμασία του υποστρώματος ώστε να επιτευχθεί η συνεργασία μεταξύ παλιού και νέου υλικού. Η παρασκευή τους γίνεται επί τόπου ενώ πριν την τοποθέτησή τους απαιτείται διαβροχή του υποστρώματος. Το πάχος τους είναι συνήθως 40-50 mm.

Είναι απαραίτητη η συντήρησή τους για 72 ώρες γιατί οι υψηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος προκαλούν πρόωρη ξήρανση του υποστρώματος και συστολή ξήρανσης η οποία αποτελεί τον σοβαρότερο κίνδυνο (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993).



Διάγραμμα 56: Εφαρμογή προστατευτικών επιστρωμάτων στο σκυροδέμα (Τσίκας & Παπασπυριδάκος χ.χ.)

10.1.3 Υδατοστεγείς μεμβράνες

Οι υδατοστεγείς μεμβράνες διατίθενται συνήθως σε έτοιμα βιομηχανοποιημένα φύλλα αλλά και σε υγρά υλικά. Οι υδατοστεγείς μεμβράνες ικανοποιούν αρκετές απαιτήσεις όπως εύκολη τοποθέτηση, καλή πρόσφυση με το υπόστρωμα, δεν αντιδρούν με τα συστατικά του σκυροδέματος, και εμποδίζουν την διείσδυση των χλωριόντων και της υγρασίας υπό διάφορες συνθήκες (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993).

10.1.4 Εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή

Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται έτσι ώστε να μειωθεί η διαπερατότητα του σκυροδέματος, όταν το περιβάλλον είναι πολύ διαβρωτικό. Πιο συγκεκριμένα, σε αυτή τη μέθοδο γίνεται πλήρωση των κενών με πολυμερή σε βάθος 35-50 mm. Η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993):

- Καθαρίζεται η επιφάνεια του σκυροδέματος από τυχόν ξένες ουσίες.
- Απλώνεται άμμος στο σκυρόδεμα έτσι ώστε να προετοιμαστεί για τις υψηλές θερμοκρασίες που θα αναπτυχθούν.
- Διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών για αρκετό χρονικό διάστημα (120 C° για 8 ώρες) έτσι ώστε να ξηρανθεί το σκυρόδεμα.
- Σταδιακή απόψυξη του σκυροδέματος με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μην απορροφηθεί υγρασία από το περιβάλλον (38 C° για 12-36 ώρες).
- Εφαρμόζεται κενό για αφαίρεση του αέρα από το σκυρόδεμα.
- Προστίθεται το μονομερές.
- Προστίθενται αδιάβροχες μεμβράνες στην επιφάνεια, έτσι ώστε να εμποδιστεί η εξάτμιση του μονομερούς.
- Πραγματοποιείται θερμικός καταλυτικός πολυμερισμός του μονομερούς στους 74 C° για 5 ώρες.

Όταν η διάβρωση έχει προχωρήσει στον οπλισμό, μπορούν να εφαρμοσθούν οι παρακάτω μέθοδοι:

- Επανακαλοποίηση του σκυροδέματος
- Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα
- Αφαίρεση υγρασίας από το σκυρόδεμα
- Καθοδική προστασία

10.1.5 Επανακαλοποίηση του σκυροδέματος

Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται το pH του σκυροδέματος, άρα και η αλκαλικότητά του.. Αυτή η διαδικασία βασίζεται στην λειτουργία ανόδου και καθόδου. Ξεκινώντας τη διαδικασία επαλείφουμε την επιφάνεια του σκυροδέματος με ένα αλκαλικό υγρό που περιέχει ανθρακικό ασβέστιο. Ένα ηλεκτρόδιο λειτουργεί ως άνοδος και ο χάλυβας του σκυροδέματος χρησιμοποιείται ως κάθοδος. Στη συνέχεια εφαρμόζοντας εξωτερικό ηλεκτρικό δυναμικό, το αλκαλικό υγρό θα διεισδύσει στους πόρους του σκυροδέματος

και έτσι θα αυξηθεί άμεσα το ΡΗ του. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται για δεκατέσσερις μέρες περίπου, είναι απλή και μπορεί να ελεγχθεί η επιτυχία της. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορεί να μείνουν περιοχές όπου δεν υπάρχει αύξηση του pH (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993; Δημάδη & Κατσεινίου 2007).



Διάγραμμα 57: Επαναλκοποίηση του σκυροδέματος
(Δημάδη & Κατσεινίου 2007)

10.1.6 Αφαίρεση χλωριόντων από το σκυρόδεμα

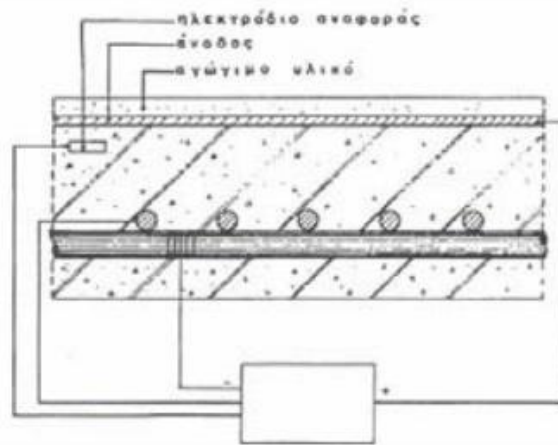
Η αφαίρεση των χλωριόντων από το σκυρόδεμα μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρολύτη, ένα μεταλλικό πλέγμα και μία ρητίνη ανταλλαγής ιόντων. Το μεταλλικό πλέγμα απλώνεται στην επιφάνεια του σκυροδέματος και λειτουργεί ως άνοδος, ενώ ο χάλυβας λειτουργεί ως κάθοδος. Με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος, τα αρνητικά φορτισμένα χλωριόντα κινούνται προς τη θετικά φορτισμένη άνοδο, δεσμεύονται από την ρητίνη, και έτσι, απομακρύνονται από το σκυρόδεμα. Τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι έχει υψηλό κόστος και κατά την εφαρμογή της απαιτείται εφαρμογή υψηλού δυναμικού, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες στο σκυρόδεμα και να υπάρχει ο κίνδυνος της ρηγματώσής του. Επιπρόσθετα, αυξάνεται η διαπερατότητα του σκυροδέματος κατά πέντε φορές και θα πρέπει να γίνει και εμποτισμός του σκυροδέματος με πολυμερή (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993; Δημάδη & Κατσεινίου 2007).

10.1.7 Αφαίρεση υγρασίας από το σκυρόδεμα

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται «ηλεκτρική» και χρησιμοποιείται κυρίως για την αφαίρεση της υγρασίας από κονιάματα. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, είναι απαραίτητο το κονίαμα να περιέχει 2%-5% περιεκτικότητα σε άλατα και το pH του υλικού να είναι αρκετά υψηλό (μεγαλύτερο του 8). Η διαδικασία αυτής της μεθόδου είναι όμοια με αυτήν της αφαίρεσης χλωριόντων. Έτσι λοιπόν η διαφορά δυναμικού αναγκάζει τα ιόντα των αλάτων να κινηθούν προς τα ηλεκτρόδια, μεταφέροντας μαζί τους και το νερό. Το μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι είναι πολύ αργή (Τάσιος & Αλιγιζάκη 1993; Δημάδη & Κατσεινίου 2007).

10.1.8 Καθοδική προστασία

Η μέθοδος της καθοδικής προστασίας, είναι η μόνη μέθοδος η οποία μπορεί να αναστείλει την διάβρωση και να μηδενίσει θεωρητικά την ταχύτητά της. Σε αυτή τη μέθοδο εφαρμόζεται δυναμικό αντίθετο από αυτό της διάβρωσης ούτως ώστε η μεταλλική κατασκευή να γίνει κάθοδος ενός ηλεκτρολυτικού κελιού. Με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η διεξαγωγή αντιδράσεων οξειδωσης των μετάλλων, όμως είναι δυνατή η πραγματοποίηση αντιδράσεων αναγωγής. Η συγκεκριμένη μέθοδος εφαρμόζεται στο οπλισμένο σκυρόδεμα, επιβάλλοντας τάσεις από μια πηγή συνεχούς ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα, ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με τον οπλισμό, ενώ ο θετικός με την κατάλληλη άνοδο. Το εξωτερικά εφαρμοζόμενο δυναμικό μηδενίζει την επίδραση των τοπικών γαλβανικών στοιχείων αλλά και την επίδραση των μακροστοιχείων. Έτσι, στην επιφάνεια του χάλυβα δεν είναι πλέον δυνατή η διεξαγωγή οξειδωτικών δράσεων παρά μόνο αναγωγικών (Τσίκας & Παπασπυριδάκος χ.χ).



Διάγραμμα 58: Εφαρμογή καθοδικής προστασίας
(Τσίκας & Παπασπυριδάκος χ.χ)

10.2 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης υποστυλωμάτων

Τα υποστύλωματα, λόγω της ιδιαίτερης σημασίας που έχουν για τον αντισεισμικό σχεδιασμό μίας υφιστάμενης κατασκευής, αποτελούν τα στοιχεία στα οποία κατά κανόνα επικεντρώνονται οι επεμβάσεις σε μία μελέτη αποτίμησης και ανασχεδιασμού (Σπυράκος 2004).

Ένα υποστύλωμα μπορεί είτε μόνο να επισκευαστεί σε περίπτωση που έχει υποστεί βλάβες, είτε επιπλέον να ενισχυθεί, έτσι ώστε να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητά του και γενικότερα να βελτιωθεί η συμπεριφορά του (Σπυράκος 2004).

10.2.1 Επισκευή υποστυλωμάτων

Η επισκευή ενός υποστύλωματος αφορά τη διαδικασία επέμβασης με την οποία αποκαθίστανται τα αρχικά χαρακτηριστικά της διατομής ενός δομικού στοιχείου το οποίο έχει υποστεί βλάβη. Η επισκευή ενός υποστύλωματος είναι ανάλογη του βαθμού βλάβης που έχει υποστεί το υποστύλωμα.

10.2.1.1 Επισκευή με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα

Όταν οι βλάβες σε ένα υποστυλώμα είναι ελαφρές, δηλαδή όταν εμφανίζονται ρηγματώσεις ή αποφλοιώσεις του σκυροδέματος χωρίς όμως αποδιοργάνωση του περισιγμένου πυρήνα της διατομής του υποστυλώματος και λυγισμός των κατακόρυφων ράβδων του διαμήκου οπλισμού, οι επισκευές πραγματοποιούνται με ρητινενέσεις ή επισκευαστικά κονιάματα. Πιο συγκεκριμένα, οι ρητινενέσεις χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των απλών ρηγματώσεων, ενώ τα επισκευαστικά κονιάματα χρησιμοποιούνται στην περίπτωση των επιφανειακών αποφλοιώσεων του σκυροδέματος (Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 59: Επισκευή υποστυλώματος με ρητινενέσεις (Δρίτσος 2014)

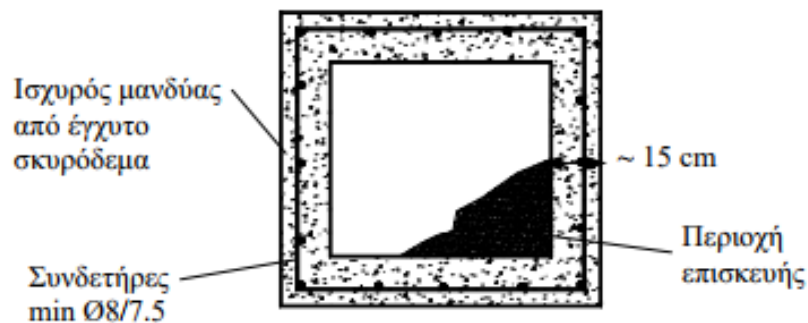
10.2.1.2 Αποκαταστάσεις ίσης διατομής

Οι αποκαταστάσεις ίσης διατομής πραγματοποιούνται όταν σε ένα υποστυλώμα υπάρχει τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή όταν υπάρχει σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος.

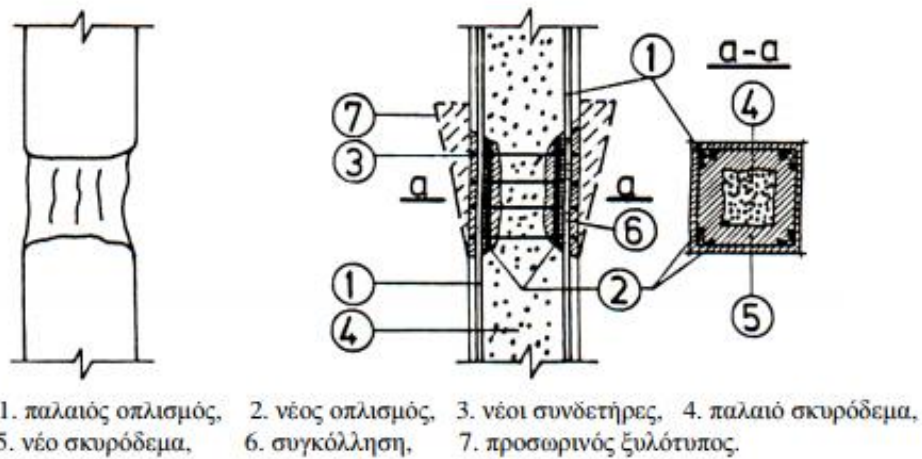
Τοπική βλάβη με μερική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

Η διαδικασία επισκευής περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Τάσιος 1999; Σπυράκος 2004):

- Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο βλαμμένο στοιχείο.
- Καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
- Αποκάλυψη οπλισμών.
- Συγκόλληση νέου οπλισμού (1 Φ14 ανά 150 mm), και πυκνών κλειστών συνδετήρων (min Φ8/10)
- Διάστρωση έγχυτου (≥ 100 mm) ή εκτοξευομένου σκυροδέματος (≥ 30 mm) για τη δημιουργία μανδύα. Αντί για σκυρόδεμα, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ειδικό έτοιμο κονίαμα.



Διάγραμμα 60: Επισκευή υποστυλώματος με μανδύα από έγχυτο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004)



Διάγραμμα 61: Επισκευή υποστυλώματος με μερική αποδιοργάνωση της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005)

Το μήκος του μανδύα πρέπει να είναι τουλάχιστον κατά $1,5 b$ (όπου b η μεγαλύτερη διάσταση του υποστυλώματος) μεγαλύτερο (πάνω και κάτω) από το μήκος στο οποίο το υποστυλώμα είναι βλαμμένο. Μέσα στα πρόσθετα αυτά μήκη γίνεται πυκνή συγκόλληση των νέων οπλισμών πάνω στους παλιούς, η οποία συνεχίζεται, κανονικά στο βλαμμένο μήκος (Τάσιος 1999).

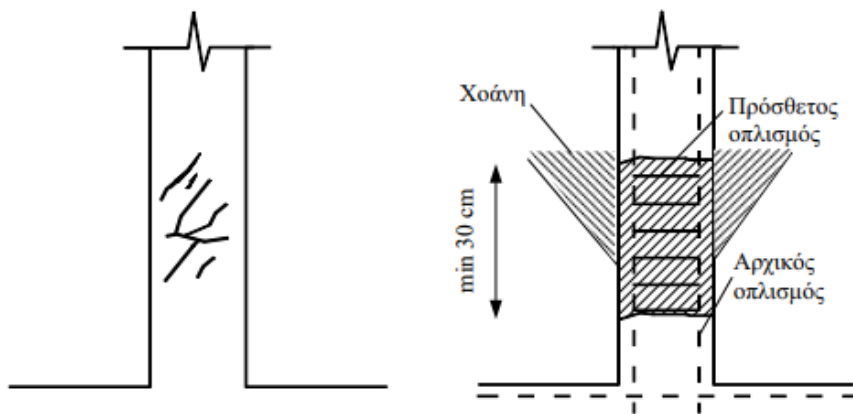
Ωστόσο, σε αυτή την περίπτωση επισκευής είναι ιδιαίτερα σοβαρή η ανάγκη διασφάλισης υψηλής συνάφειας παλιού και νέου σκυροδέματος (Πενέλης & Κάππος 1999).

Σοβαρή βλάβη με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος

Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος ή διάρρηξη που μπορεί να ακολουθείται από άνοιγμα ή διάρρηξη των συνδετήρων και λυγισμό των διαμήκων ράβδων (Δρίτσος 2005).

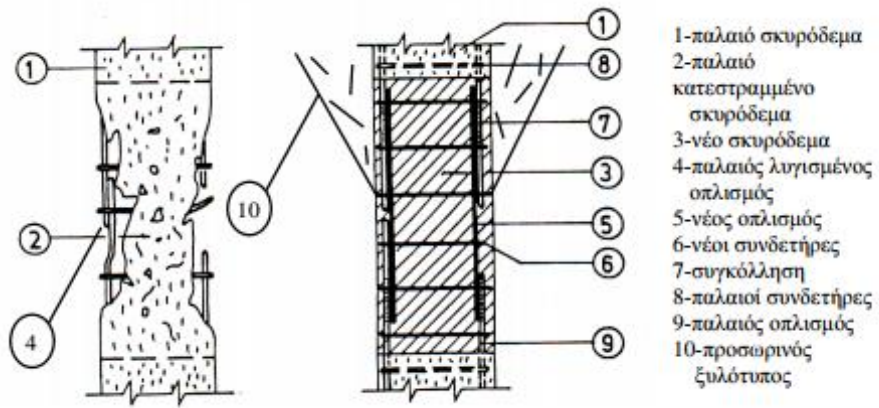
Η διαδικασία επισκευής περιλαμβάνει τα παρακάτω στάδια (Σπυράκος 2004; Τάσιος 1999):

- Υποστύλωση των δοκών που συντρέχουν στο συγκεκριμένο υποστυλώμα.
- Πλήρης καθαίρεση του αποδιοργανωμένου τμήματος του υποστυλώματος σε ύψος τουλάχιστον 30 cm.
- Έλεγχος και ενίσχυση του διαμήκους οπλισμού, όπου αυτό απαιτείται.
- Προσθήκη πυκνών συνδετήρων (min Φ8/5 στη θέση της βλάβης και min Φ8/10 στο υπόλοιπο ύψος) ή σπείρας.
- Τοποθέτηση ξυλότυπου.
- Διάστρωση έγχυτου σκυροδέματος ή έτοιμου κονιάματος.



Διάγραμμα 62: Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαμμένης περιοχής (Σπυράκος 2004)

Η συγκόλληση νέων οπλισμών πάνω σε παλιούς μπορεί να γίνει με καβίλιες ή με πρόσθετα τεμάχια («πάπιες»), ούτως ώστε, ανεξάρτητα από το αν το φορτίο μεταβιβάζεται από την παλιά στη νέα διατομή ή αντίστροφα, ένα σκέλος της «πάπιας» να εφελκύεται. Η διατομή της «πάπιας» πρέπει να είναι min Φ10 (Τάσιος 1999).



Διάγραμμα 63: Αποκατάσταση υποστυλώματος με πλήρη αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της βλαβείσας περιοχής (Δρίτσος 2005)



Διάγραμμα 64: Μερική και πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)

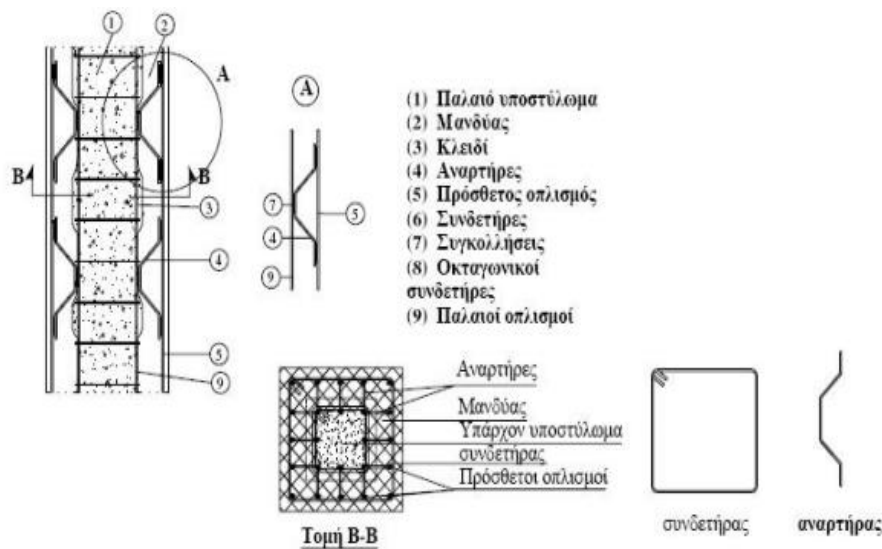
10.2.2 Ενίσχυση υποστλωμάτων

Η ενίσχυση ενός υποστλώματος αφορά την διαδικασία με την οποία αυξάνεται η φέρουσα ικανότητά του ή γενικότερα βελτιώνεται η συμπεριφορά του στην προσπάθεια παραλαβής φορτίων τα οποία υπερβαίνουν τη διαθέσιμη αντοχή τους.

Διακρίνονται δύο βασικές κατηγορίες τεχνικής ενίσχυσης των υποστλωμάτων, χωρίς αύξηση της διατομής του υποστλώματος, δηλαδή περίσφιξη και με αύξηση της διατομής του υποστλώματος.

10.2.2.1 Ενίσχυση υποστλωμάτων με αύξηση της διατομής του υποστλώματος

Η κατάλληλη μέθοδος ενίσχυσης των υποστλωμάτων που υπόκεινται σε ανεπάρκεια αντοχής, δυσκαμψίας καθώς και πλαστιμότητας είναι η χρήση μανδύων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, στη μέθοδο αυτή αυξάνεται η διατομή του υποστλώματος με νέες στρώσεις σκυροδέματος και νέους διαμήκεις και εγκάρσιους οπλισμούς, κατασκευάζοντας ένα μανδύα γύρω από το αρχικό υποστύλωμα. Έτσι, ο μανδύας περικλείει το υφιστάμενο στοιχείο και συμβάλλει στη μείωση της λυγηρότητας και στην αύξηση της δυσκαμψίας (Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 65: Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2005)

Η τεχνική επεμβάσεως μπορεί να εκτείνεται σε όλο το μήκος του υποστυλώματος και να αποτελεί ολικό μανδύα είτε σε ένα μόνο τμήμα του υποστυλώματος και να αποτελεί τοπικό μανδύα. Επιπρόσθετα, ο μανδύας μπορεί να περικλείει ολόκληρη τη διατομή και έτσι αποτελεί κλειστό μανδύα είτε να περικλείει τμήμα της διατομής και να αποτελεί ανοιχτό μανδύα, όπου αυτές οι περιπτώσεις επισυμβαίνουν σε περιπτώσεις υποστυλωμάτων ευρισκόμενα στα όρια με άλλη οικοδομή.

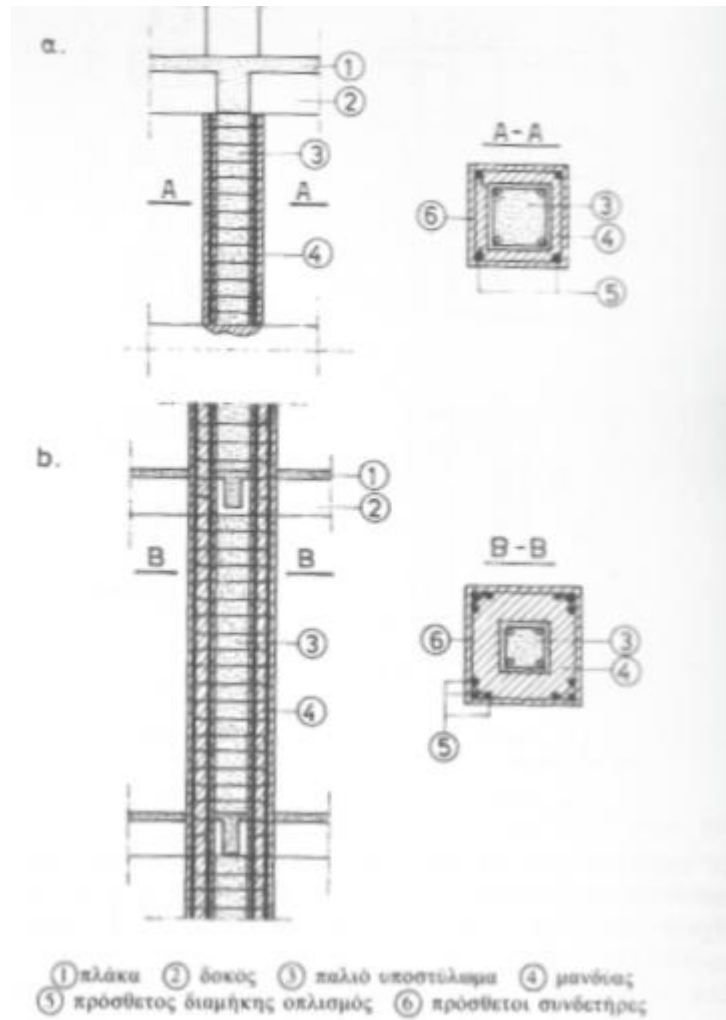


Διάγραμμα 66: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα σπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)



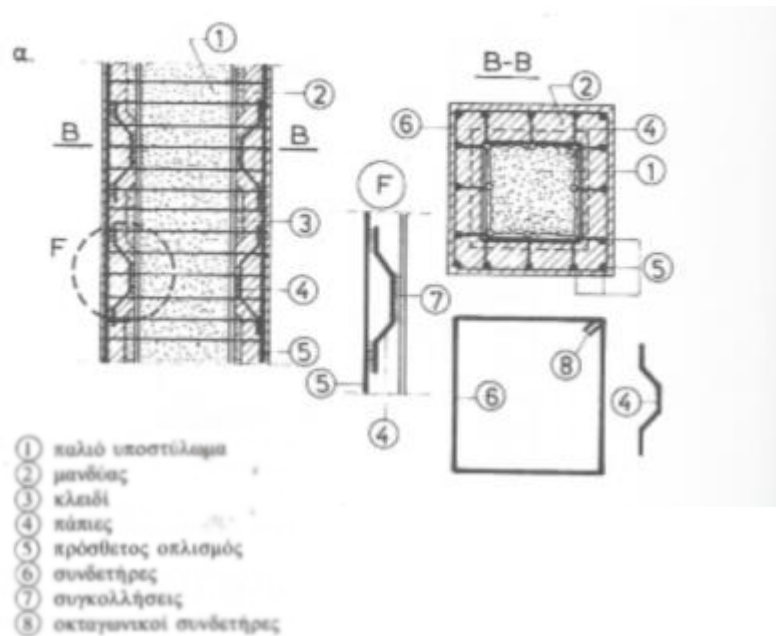
Διάγραμμα 67: Ενίσχυση υποστυλώματος με μανδύα από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Δρίτσος 2014)

Σε περίπτωση που ο μανδύας περιορίζεται στο ύψος του ορόφου, επιτυγχάνεται μεν αύξηση της αξονικής και διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος, όμως δεν αυξάνεται η καμπτική ικανότητά του στο ύψος των κόμβων. Σε αυτή την περίπτωση συνίσταται οι μανδύες να διαπερνούν την οροφή και το δάπεδο του ορόφου στον οποίο κατέστη αναγκαία η κατασκευή τους (Πενέλης & Κάππος 1999).



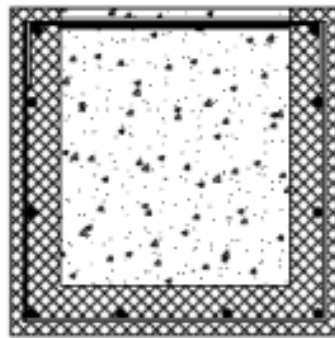
Διάγραμμα 68: Μανδύες υποστυλωμάτων: α) Μανδύας στο ύψος ενός ορόφου
β) Μανδύας επεκτεινόμενος στον επάνω και τον κάτω όροφο (Πενέλης & Κάππος 1999)

Στη συνηθέστερη περίπτωση της κατασκευής ολόπλευρου μανδύα, η συνεργασία του παλιού με το νέο σκυρόδεμα άλλοτε μεν αφήνεται μόνο στη φυσική συνάφεια των δύο υλικών, που ενισχύεται με αγρίεμα της παλιάς επιφάνειας, και άλλοτε ενισχύεται με συγκόλληση κεκαμένων οπλισμών (πάπιες) μεταξύ παλιών και νέων διαμήκων ράβδων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η συγκεκριμένη σύνδεση κρίνεται απαραίτητη όταν το υποστύλωμα έχει αποδιοργανωθεί πλήρως ή όταν η διάστασή του είναι πολύ μεγάλη, οπότε υπάρχει κίνδυνος λυγισμού των ενδιάμεσων οπλισμών (Πενέλης & Κάππος 1999).

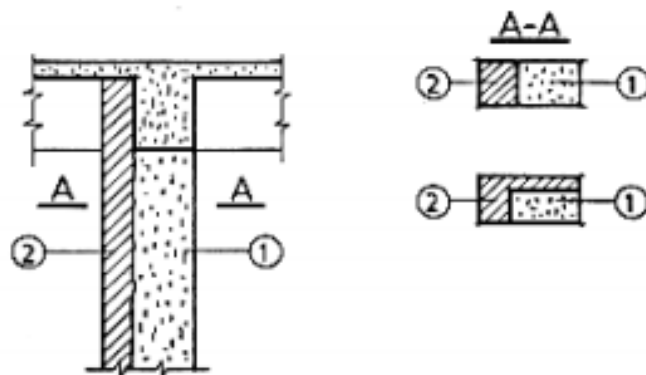


Διάγραμμα 69: Σύνδεση παλιών με νέους οπλισμούς σε μανδύα υποστυλώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)

Οι ανοιχτοί και κλειστοί μανδύες κατασκευάζονται ανάλογα με τη μορφολογία του υφιστάμενου στοιχείου. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο μανδύας δεν μπορεί να περιβάλλει ολόκληρη τη διατομή σε περίπτωση μεσοτοιχίας ή αρμού, επιλέγεται η τεχνική του ανοιχτού μανδύα. Σε αυτή την περίπτωση όπου ο μανδύας περιβάλλει τρεις πλευρές του υποστυλώματος, απαιτείται ιδιαίτερη φροντίδα για την προετοιμασία της διεπιφάνειας και τη συγκόλληση παλαιών και νέων οπλισμών. Σε περίπτωση που η μία πλευρά του υποστυλώματος βρίσκεται σε επαφή με γειτονικό όριο, απαιτούνται επιπλέον μέτρα για την προστασία των νέων συνδετήρων από τη διάβρωση επειδή οι ράβδοι δεν εγκιβωτίζονται σε σκυρόδεμα. Σε περίπτωση που ο μανδύας περιβάλλει μόνο μία ή δύο πλευρές του υποστυλώματος, τότε πρόκειται για επέκταση του υποστυλώματος (Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 70: Παράδειγμα ανοιχτού τύπου μανδύα (Σπυράκος 2004)



1. υπάρχον υποστυλώμα, 2.επέκταση υποστυλώματος

Διάγραμμα 71: Μονόπλευρη ή δίπλευρη επέκταση υποστυλώματος (Δρίτσος 2005)

Σε περίπτωση μονόπλευρου μανδύα απαιτείται επίσης ιδιαίτερη φροντίδα στη σύνδεση του παλιού με το νέο τμήμα της διατομής, το οποίο επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση πυκνών συνδετήρων στους παλιούς οπλισμούς (Πενέλης & Κάππος 1999).

10.2.2.2 Ενίσχυση υποστυλωμάτων με περίσφιξη

Στη μέθοδο αυτή δεν αυξάνεται η διατομή του υποστυλώματος και η ενίσχυση αυτή εφαρμόζεται κυρίως για την αύξηση της πλαστιμότητας και της διατμητικής αντοχής του υποστυλώματος. Επιπλέον, εφαρμόζεται όταν υπάρχει ο κίνδυνος αστοχίας της συνάφειας των κατακόρυφων οπλισμών του υποστυλώματος στην περιοχή της υπερκάλυψής τους, καθώς και όταν απαιτείται αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (Δρίτσος 2005).

Η ενίσχυση των υποστυλωμάτων με περίσφιξη επιτυγχάνεται (Δρίτσος 2005):

- Με τη χρήση επικολλητών κολλάρων ή λωρίδες από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP).
- Με τη χρήση προεντεταμένων κολλάρων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRP), τα οποία μπορεί να έχουν τη μορφή ταινιών «πακεταρίσματος».
- Με χρήση σπειροειδούς οπλισμού που μπορεί να είναι από μεταλλικό έλασμα ή από ινοπλισμένο πολυμερές (FRP).
- Με χρήση ολόσωμου μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή ή από φύλλα χάλυβα, επικολλητού επί των πλευρών του υποστυλώματος.
- Με χρήση της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού.

Επικολλητά γαλύβδινα κολλάρια

Τα επικολλητά κολλάρια είναι μεταλλικά ελάσματα τα οποία έχουν πάχος 1-2 mm και περικλείουν ολόκληρη τη διατομή του ενισχυόμενου υποστυλώματος. Επιπλέον, σημειώνεται ότι η αποδοτικότητα της περίσφιξης αυξάνει όταν τα μεταλλικά κολλάρια είναι προεντεταμένα (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 69: Περίσφιξη υποστρώματος με χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2014)



Διάγραμμα 70: Περίσφιξη υποστρώματος με ινοπλισμένα πολυμερή της μορφής ταινιών «πακεταρίσματος» (Δρίτσος 2014)

Σπειροειδής οπλισμός

Ο σπειροειδής οπλισμός αποτελείται από μεταλλικά ελάσματα και εφαρμόζεται κυρίως στα υποστρώματα κυκλικής διατομής. Πιο συγκεκριμένα, ο σπειροειδής οπλισμός τοποθετείται εξωτερικά του υποστρώματος και περιβάλλει ολόκληρο το στοιχείο.



Διάγραμμα 72: Περίσφιξη με σπειροειδή οπλισμό (Δρίτσος 2005)

Ολόσωμος μανδύας από ινοπλισμένα πολυμερή

Ο μανδύας από ινοπλισμένα πολυμερή αποτελεί ίσως τον πλέον εύχρηστο τρόπο επιβολής της περίσφιξης των υποστυλωμάτων. Τα φύλλα εφαρμόζονται με τις ίνες τους σε οριζόντια διεύθυνση και έτσι συμβάλλουν στον εγκιβωτισμό του στοιχείου καθώς και στην αύξηση της διατμητικής του αντοχής. Εάν παράλληλα επιδιώκεται και η αύξηση της καμπτικής αντοχής του στοιχείου, τότε χρησιμοποιούνται και φύλλα με κατακόρυφη διεύθυνση ινών (Δρίτσος 2005).

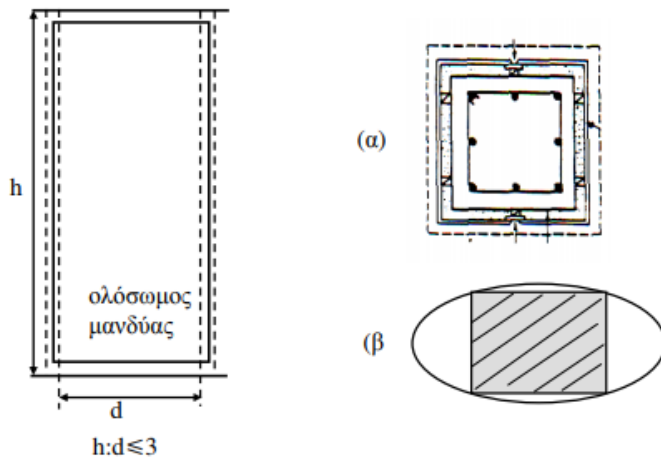


Διάγραμμα 73: Περίσφιξη υποστυλώματος με μανδύα από ινοπλισμένα πολυμερή (FRP's)
(Κκολός 2018)

Ολόσωμος μεταλλικός μανδύας

Ο ολόσωμος μεταλλικός μανδύας κατασκευάζεται πιο συχνά στα κυκλικής διατομής υποστυλώματα. Μεταξύ του μανδύα και του υφιστάμενου υποστυλώματος υπάρχει ένα δακτυλιοειδές κενό το οποίο πληρώνεται με τσιμεντένεμα. Σε περίπτωση υποστυλωμάτων ορθογωνικής διατομής χρησιμοποιείται μανδύας σε σχήμα έλλειψης. Επιπλέον, αυτή η συγκεκριμένη μέθοδος ενίσχυσης του υποστυλώματος συμβάλλει όχι μόνο στην αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, της καμπτικής και

διατμητικής αντοχής του υποστύλωματος αλλά και στην αύξηση της πλαστιμότητάς του (Σπυράκος 2004).



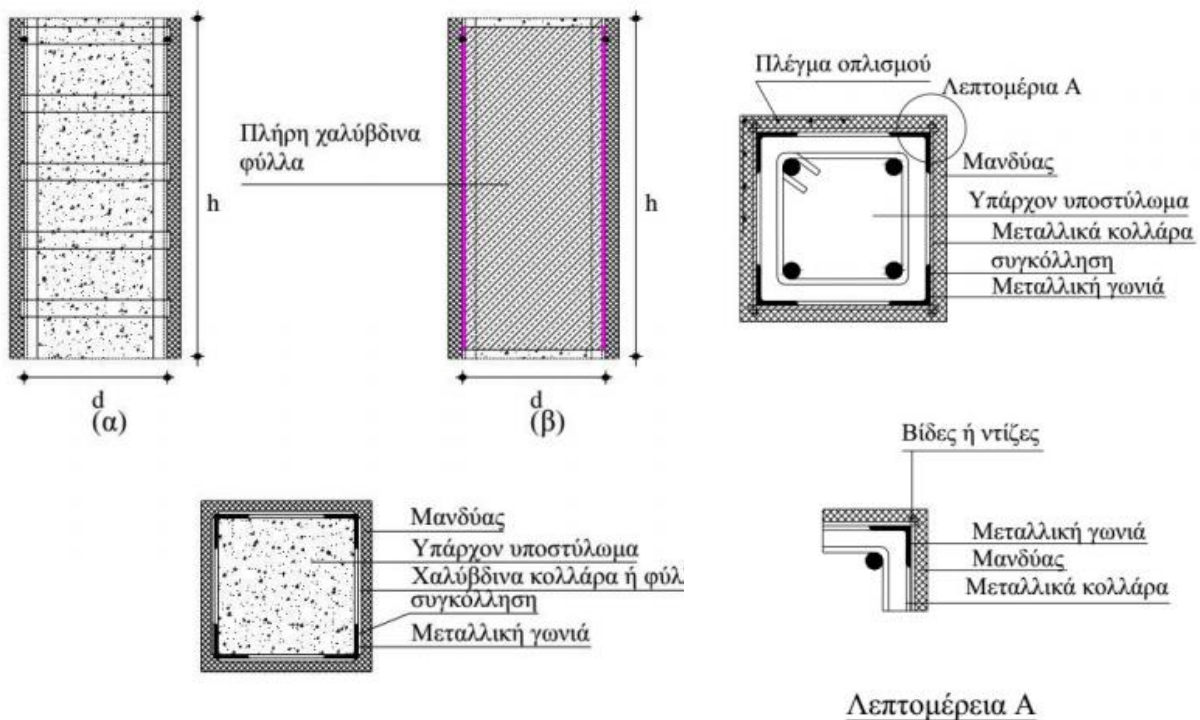
Διάγραμμα 74: Περίσφιξη με ολόσωμο μεταλλικό μανδύα:
α)ορθογωνική διατομή, β)ελλειψοειδής διατομή (Δρίτσος 2005)

Διάγραμμα 75: Ενίσχυση υποστύλωματος με μεταλλικό μανδύα (Σιδέρης χ.χ)

Μεταλλικός κλωβός

Η χρήση της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού είναι η πλέον διαδεδομένη τεχνική. Η συγκεκριμένη τεχνική μέθοδος είναι ένας προσωρινός τρόπος επιβολής της περίσφιξης ούτως ώστε να αναλαμβάνονται άμεσα τα κατακόρυφα φορτία σε περιπτώσεις βλαβών υποστύλωματων που αδυνατούν να μεταφέρουν τα αξονικά τους φορτία. Συνίσταται από τέσσερα κατακόρυφα μεταλλικά γωνιακά ελάσματα στις κορυφές του βλαμμένου υποστύλωματος, τα οποία συσφίγγονται με ειδικά κλειδιά, για να επιβληθεί με αυτό τον τρόπο περίσφιξη στο υποστύλωμα. Τα γωνιακά συνδέονται με το υποστύλωμα είτε με συγκόληση είτε κοχλιωτά με χρήση κατάλληλων χημικώς πακτωμένων αγκυρίων. Πάνω στα γωνιακά ελάσματα συγκολλούνται οριζόντια μεταλλικά ελάσματα. Ένας άλλος τρόπος αντί της σύσφιξης των γωνιακών ελασμάτων, είναι η προθέρμανση των οριζόντιων ελασμάτων σε θερμοκρασία 200-400°C, η οποία έχει ως αποτέλεσμα, μέσω της απόψυξής τους, να δημιουργείται περίσφιξη λόγω συστολής.

Τα κενά που δημιουργούνται στην επαφή του μεταλλικού κλωβού και του σκυροδέματος, καλύπτονται με ένα μη συρρικνούμενο κονίαμα ή εποξειδική κόλλα. Η τελική επιφάνεια διαμορφώνεται με ισχυρή τσιμεντοκονία οπλισμένη με ελαφρύ δομικό πλέγμα, ενώ δεν είναι απαραίτητη η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος. Εάν το ύψος του υποστύλωματος είναι σχετικά μικρό ($h/d \leq 3$), αντί για μεταλλικά ελάσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαλύβδινα φύλλα (cited in Αγγελή & Σταματοπούλου 2011; Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 76: Ενίσχυση υποστύλωματος με μεταλλικό κλωβό: α) μεταλλικά ελάσματα, β) πλήρη χαλυβδόφυλλα (Δρίτσος 2005)

Η διατομή των γωνιακών ελασμάτων πρέπει να είναι τουλάχιστον L50x5. Το πάχος των οριζόντιων μεταλλικών ελασμάτων είναι συνήθως ίσο με το πάχος των γωνιακών, ενώ το πλάτος τους κυμαίνεται μεταξύ 25 και 60 mm. Η απόσταση μεταξύ τους δεν πρέπει να υπερβαίνει τη μικρότερη τιμή από το ήμισυ της μικρότερης διάστασης της διατομής και τα 15 cm (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 77: Ενίσχυση υποστυλώματος με μεταλλικό κλωβό (Δρίτσος 2014)

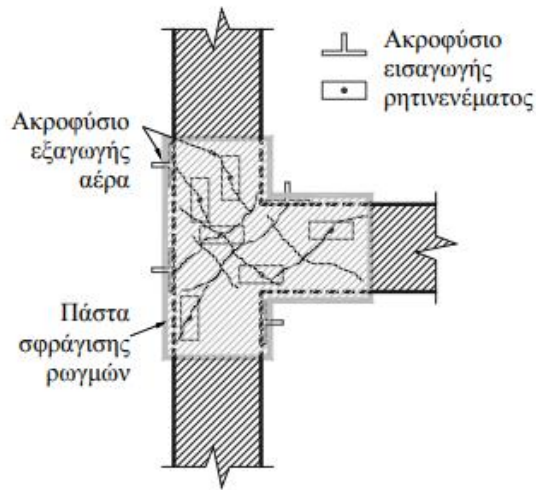
10.3 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

10.3.1 Επισκευή Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

Για την επισκευή των Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων, χρησιμοποιούνται οι ίδιες τεχνικές με αυτές που εφαρμόζονται και για άλλα δομικά στοιχεία. Δηλαδή, για ελαφρές ρηγματώσεις εφαρμόζεται η τεχνική των ρητινενέσεων (εποξειδικές ρητίνες), καθώς και η τεχνική των επισκευαστικών κονιαμάτων και για βαριές βλάβες η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής (Δρίτσος 2005).

10.3.1.1 Επισκευή Κόμβων με ρητινενέσεις

Με την εφαρμογή της τεχνικής των ρητινενέσεων για την επισκευή των κόμβων, αποκαθίσταται πλήρως η αντοχή των κόμβων και αποκαθίσταται σχεδόν πλήρως η δυσκαμψία. Επιπλέον, με την εφαρμογή των ρητινενέσεων αποκαθίσταται η ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και μπορεί ακόμα και να αυξηθεί (ΟΑΣΠ 2001).



Διάγραμμα 78: Επισκευή κόμβου με ρητινενέσεις (Καραγιάννης 2006)

10.3.1.2 Επισκευή κόμβων με αποκατάσταση ίσης διατομής

Η επισκευή των κόμβων με την τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής, συνήθως περιλαμβάνει και τη διόρθωση ελαττωμάτων στην όπλιση. Πιο συγκεκριμένα, συνήθως τοποθετούνται πυκνότεροι συνδετήρες και έτσι βελτιώνονται οι αγκυρώσεις των ράβδων (ηλεκτροσυγκολλώντας νέα τμήματα). Επιπρόσθετα, με την τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής, τα χαρακτηριστικά του κόμβου μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά (Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 79: Επισκευή κόμβου Δοκού-Υποστυλώματος (Δρίτσος 2014)

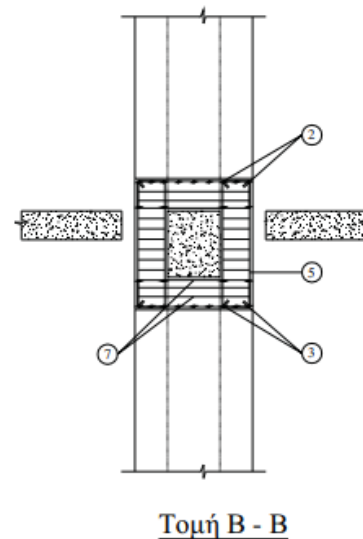
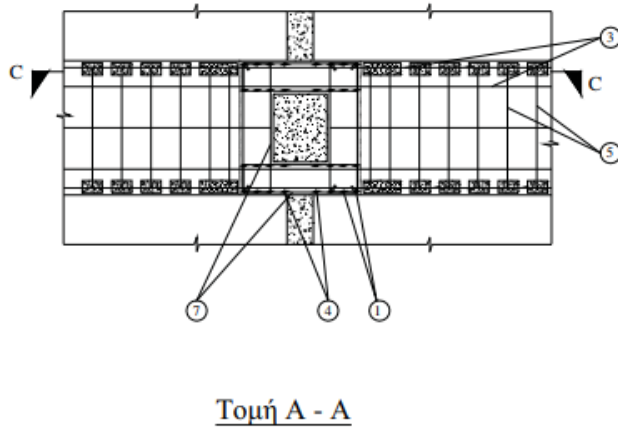
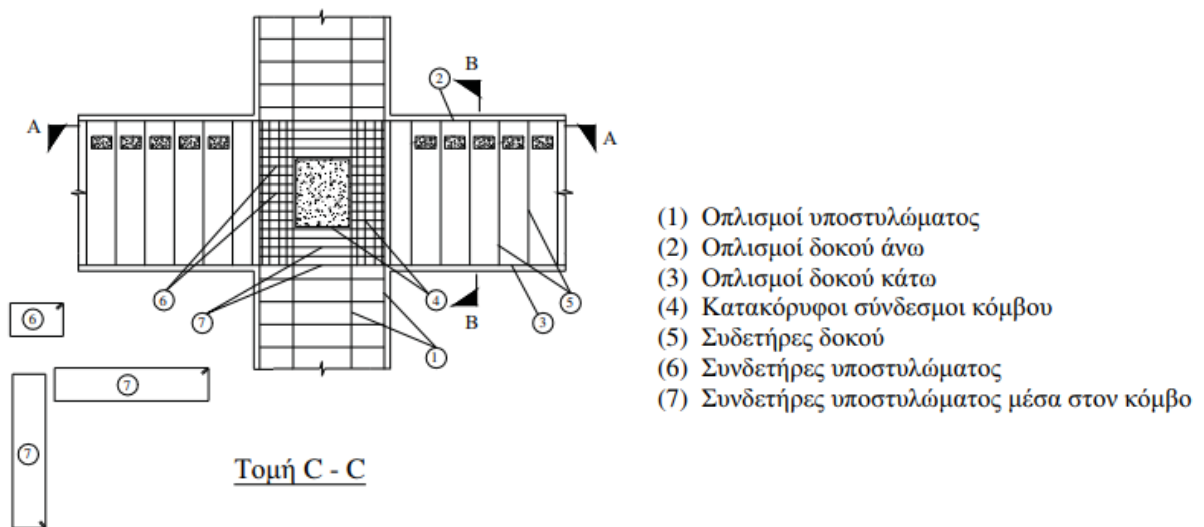
10.3.2 Ενίσχυση Κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων

Οι συχνότερες μέθοδοι ενίσχυσης της περιοχής των κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων που εφαρμόζονται είναι οι εξής (ΟΑΣΠ 2001):

- Εφαρμογή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Χρήση χιαστί κολλάρων
- Εφαρμογή επικολλητων φύλλων από χάλυβα ή ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)

10.3.2.1 Μανδύας οπλισμένου σκυροδέματος

Η εφαρμογή μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι ο πλέον αποτελεσματικός τρόπος ενίσχυσης των κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων. Συνήθως ο μανδύας αυτός αποτελεί συνέχεια του μανδύα που έχει χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση του υποστυλώματος. Η συγκεκριμένη τεχνική μπορεί επίσης να εφαρμοστεί και τοπικά μόνο στην περιοχή των κόμβων (ΟΑΣΠ 2001).

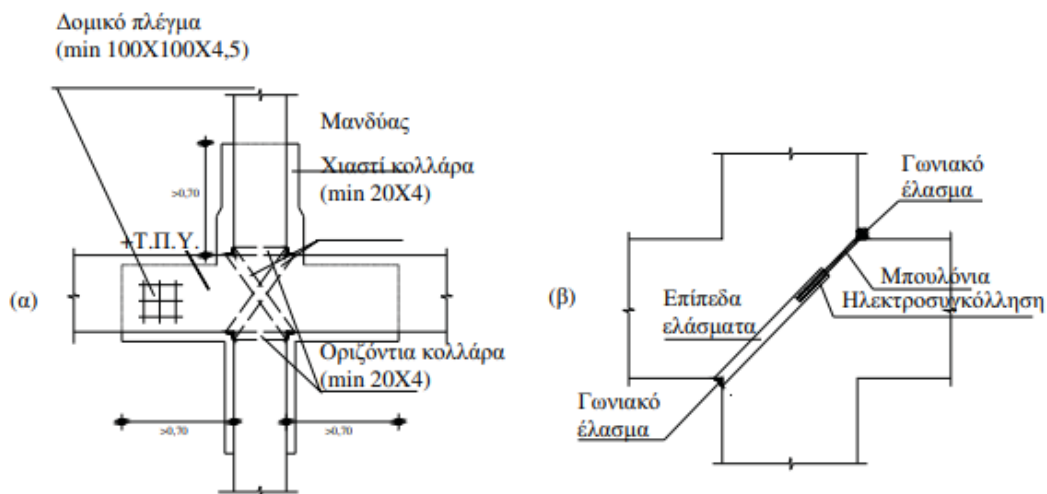


Διάγραμμα 80: Ενίσχυση κόμβου με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (ΟΑΣΠ 2001)

Στο πιο πάνω σχήμα ο μανδύας επεκτείνεται στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς. Όταν όμως ο σχεδιασμός της περιοχής στοχεύει σε ικανοποίηση ικανοτικών κριτηρίων, ο μανδύας μπορεί να μην επεκταθεί στην περιοχή της δοκού ή ακόμη μπορεί να επεκταθεί σε τόσο μήκος όσο είναι απαραίτητο. Σε αυτή την περίπτωση, η τεχνική προσφέρει το πλεονέκτημα να μπορεί να τροποποιήσει τον μηχανισμό αστοχίας του φορέα μεταθέτοντας τις βλάβες από τις κρίσιμες περιοχές των υποστυλωμάτων σε αυτές των δοκών (ΟΑΣΠ 2001).

10.3.2.2 Χρήση χιαστί κολλάρων

Ένας άλλος τρόπος ενίσχυσης των κόμβων Δοκών-Υποστυλωμάτων είναι με την εφαρμογή χιαστί κολλάρων. Στην τεχνική αυτή τα χιαστί κολλάρια τοποθετούνται και εντείνονται με μηχανικό τρόπο, περισφίγγοντας με αυτό τον τρόπο την περιοχή του κόμβου. Επιπλέον, τοποθετούνται δύο οριζόντια κολλάρια στις διατομές παρειάς των υποστυλωμάτων τα οποία συγκολλούνται πάνω στα χιαστί κολλάρια, σταθεροποιώντας έτσι το σύστημα περισφίγξης. Συνήθως ολόκληρη η περιοχή των κόμβων καλύπτεται με έναν μανδύα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, οπλισμένο με ένα ελαφρύ ανοξείδωτο πλέγμα. Κάποιες άλλες φορές η συγκεκριμένη τεχνική συνδυάζεται με την τεχνική του μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός μπορεί να επιφέρει έναν ιδιαίτερα υψηλό βαθμό ενίσχυσης του κόμβου (ΟΑΣΠ 2001).



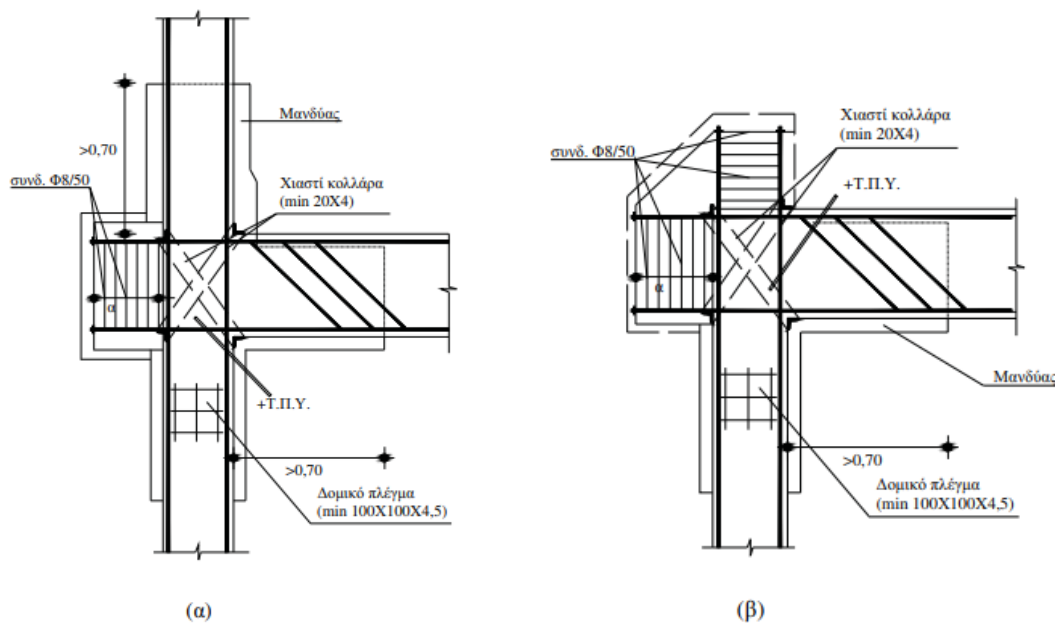
Διάγραμμα 81: Ενίσχυση με χιαστί κολλάρια: α) Γενική διάταξη β) Λεπτομέρεια εφαρμογής (ΟΑΣΠ 2001)

Ένα προβληματικό σημείο της συγκεκριμένης τεχνικής είναι στην περίπτωση όπου στον κόμβο συντρέχουν τέσσερις δοκοί, επειδή η διέλευση των χιαστί διαγωνίων θα πρέπει να γίνει με διάτρηση των εγκαρσίων δοκών και η διατομή των κολλάρων να μετατραπεί σε κυκλικές ράβδους. Γι' αυτό τον λόγο σε αυτές τις περιπτώσεις η τεχνική δεν εφαρμόζεται (Δρίτσος 2005).

10.3.2.3 Τεχνική της «καμπούρας»

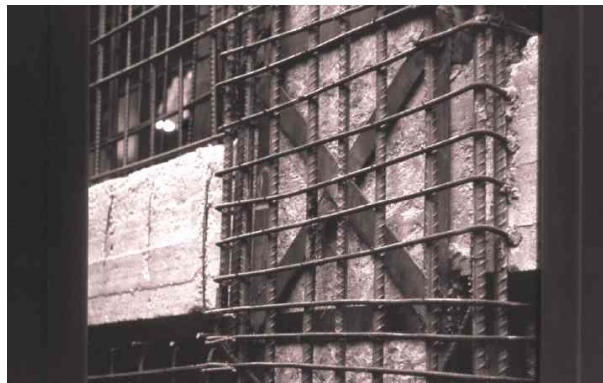
Στην περίπτωση εξωτερικών κόμβων, επειδή δεν είναι εύκολη και σίγουρη η διάγνωση των λεπτομερών αιτίων βλάβης, συνίσταται η χρήση της τεχνικής της «καμπούρας». Πιο συγκεκριμένα, στη συγκεκριμένη τεχνική γίνεται επέκταση της δοκού ή στην περίπτωση ανωτάτου ορόφου γίνεται επέκταση της δοκού και του υποστυλώματος. Τα άκρα των διαμήκων οπλισμών της δοκού ή/και του υποστυλώματος αποκαλύπτονται και ηλεκτροσυγκολλούνται πάνω σε αυτά νέα τμήματα οπλισμών σε μήκος τουλάχιστον 200mm πέραν από τις εξωτερικές παρειές του κόμβου. Έπειτα, τοποθετούνται πυκνοί συνδετήρες S500 της τάξεως Φ8/50 (Τάσιος 1999; Δρίτσος 2005).

Η συγκεκριμένη τεχνική ονομάζεται έτσι λόγω του σχήματος που δημιουργείται. Στη συνέχεια, ακολουθεί η κατασκευή μανδύα από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα κατά τα προηγούμενα, στον οποίο μπορεί να ενσωματωθεί η «καμπούρα». Επιπλέον, η επέκταση της δοκού ή και του υποστυλώματος που πραγματοποιείται, εκτός από το ότι εξυπηρετεί την σταθεροποίηση των κολλάρων σε θέση, βελτιώνει την αγκύρωση των ράβδων των δοκών και των υποστυλωμάτων που συντρέχουν στον κόμβο (Τάσιος 1999; Δρίτσος 2005).



Διάγραμμα 82: Εφαρμογή χιαστί κολλάρων σε εξωτερικούς κόμβους

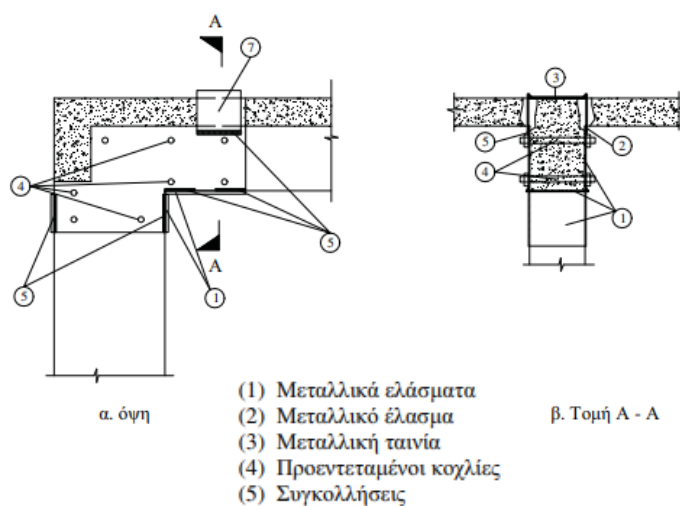
- A) Με υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο
- B) Χωρίς υποστύλωμα στον ανώτερο όροφο



Διάγραμμα 83: Ενίσχυση κόμβου με χιαστί κολάρα (Δρίτσος 2014)

10.3.2.4 Εφαρμογή επικολλητών φύλλων από χάλυβα

Η εφαρμογή της τεχνικής των επικολλητών φύλλων από χάλυβα προσφέρει σημαντικά στην ενίσχυση του κόμβου. Πρόκειται για τεχνική που επιτρέπει ενίσχυση του κόμβου χωρίς αλλοίωση στις διαστάσεις του. Στη συγκεκριμένη τεχνική τα χαλύβδινα ελάσματα προεκτείνονται εκατέρωθεν του κόμβου, στις συντρέχουσες δοκούς και τα υποστρώματα, σε μήκος τουλάχιστον ίσο με το αντίστοιχο πλάτος του κόμβου (ΟΑΣΠ 2001; Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 84: Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα (ΟΑΣΠ 2001)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η σύνδεση των ελασμάτων με τον υπάρχοντα φορέα επαφίεται στην κόλληση μέσω κόλλας, αλλά χρησιμοποιούνται επιπλέον και βίδες ή ντίζες που συσφίγγουν τα ελάσματα των απέναντι παρειών. Το πάχος των ελασμάτων που εφαρμόζονται προβλέπεται τουλάχιστον 4.0 mm, κάτι που δεν δημιουργεί πρόβλημα στην επικόλληση αφού αυτή ενισχύεται με βίδες ή ντίζες (ΟΑΣΠ 2001; Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 85: Ενίσχυση κόμβου με επικολλητά χαλύβδινα ελάσματα (Δρίτσος 2014)

10.3.2.5 Συνθετικά υλικά από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)

Η εφαρμογή επικολλητών φύλλων από ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs) για την ενίσχυση των κόμβων, έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης ευκολίας της τοποθέτησης των φύλλων στην δύσκολη περιοχή του κόμβου. Στη συγκεκριμένη τεχνική, τα φύλλα επικολλώνται με κόλλα όχι μόνο στον κόμβο αλλά και στα συντρέχοντα υποστυλώματα και δοκούς, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω για την αντίστοιχη περίπτωση εφαρμογής με χαλύβδινα ελάσματα (ΟΑΣΠ 2001).



Διάγραμμα 86: Ενίσχυση κόμβου με ινοπλισμένα πολυμερή (Δρίτσος 2014)

10.4 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης τοιχωμάτων

10.4.1 Επισκευή τοιχωμάτων

Για την επισκευή των τοιχωμάτων εφαρμόζονται οι ίδιες τεχνικές που εφαρμόζονται και για τα υποστρώματα, δηλαδή για ελαφριές βλάβες χρησιμοποιούνται ρητινένες ή επισκευαστικά κονιάματα και για βαριές βλάβες χρησιμοποιείται η τεχνική της αποκατάστασης ίσης διατομής, με τη χρήση μανδύων.

10.4.2 Ενίσχυση τοιχωμάτων

Όπως στα υποστρώματα, έτσι και στα τοιχώματα μπορεί να εφαρμοσθεί ενίσχυση είτε με αύξηση της διατομής τους με την κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, είτε με επιβολή εξωτερικής περίσφιξης. Σε κάθε περίπτωση όμως η μέθοδος που επιλέγεται πρέπει να τροποποιείται κατάλληλα έτσι ώστε να λαμβάνεται υπόψη τόσο η ιδιαίτερη συμπεριφορά των τοιχωμάτων έναντι σεισμικής δράσης όσο και οι περιορισμοί που επιβάλλονται λόγω της γεωμετρίας τους (Σπυράκος 2004).

10.4.2.1 Ενίσχυση τοιχωμάτων με αύξηση της διατομής τους (χρήση μανδύα ΟΣ)

Η μέθοδος της κατασκευής μανδύα από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί την πλέον συνηθισμένη και αποδοτική μέθοδο ενίσχυσης τοιχωμάτων. Σε αντίθεση με τα υποστρώματα, για τα οποία επιλέγεται συνήθως η λύση του κλειστού μανδύα, κατά κανόνα οι μανδύες για την ενίσχυση των τοιχωμάτων δεν είναι κλειστοί. Αυτό οφείλεται λόγω του μεγάλου μήκους της μιας διάστασης και ουσιαστικά πρόκειται για μονόπλευρη ή δίπλευρη αύξηση του πάχους του τοιχώματος με κατασκευή μανδύα ανοικτού τύπου που αποβλέπει κυρίως στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του τοιχώματος (Σπυράκος 2004).

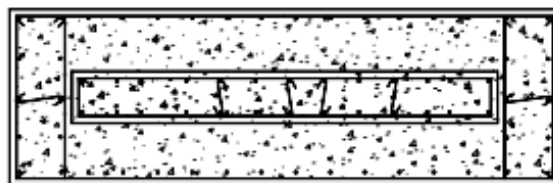


Διάγραμμα 87: Διατμητική ενίσχυση τοιχώματος
(Σπυράκος 2004)

Μια άλλη συνήθης πρακτική που εφαρμόζεται κυρίως για την καμπτική ενίσχυση των τοιχωμάτων είναι η κατασκευή δύο κρυφοϋποστρωμάτων. Ακόμη, μπορεί επίσης να κατασκευαστεί κλειστός μανδύας ο οποίος περιβάλλει ολόκληρο το υπάρχον τοίχωμα.

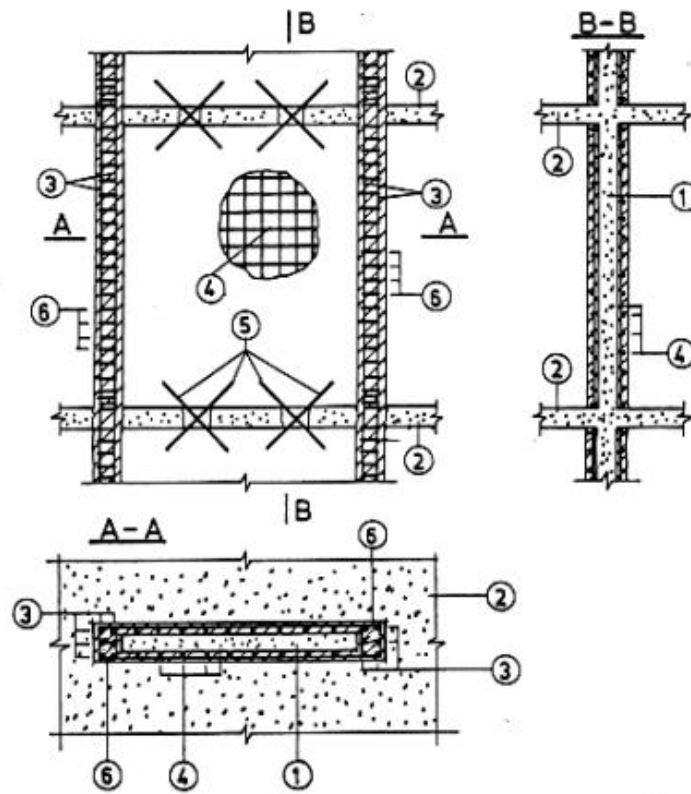


Διάγραμμα 89: Καμπτική ενίσχυση τοιχώματος
(Σπυράκος 2004)



Διάγραμμα 88: Διατμητική και καμπτική ενίσχυση τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Σπυράκος 2004)

Γενικά, σε όλες τις περιπτώσεις, η εφαρμογή της τεχνικής για την προετοιμασία της επιφάνειας και την τοποθέτηση των νέων οπλισμών είναι ακριβώς η ίδια όπως και για τα υποστρώματα που αναφέρθηκε προηγουμένως. Επιπλέον, το νέο σκυρόδεμα μπορεί να είναι είτε έγχυτο επί τόπου είτε εκτοξευόμενο (Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).



1. παλιό τοίχωμα, 2. παλαιά πλάκα, 3. πρόσθετος διαμήκης οπλισμός, 4. πρόσθετο πλέγμα, 5. διαγώνιοι σύνδεσμοι, 6. πρόσθετοι συνδετήρες.

Διάγραμμα 90: Γενική διάταξη ενίσχυσης τοιχώματος με κλειστό μανδύα (Δρίτσος 2005)



Διάγραμμα 91: Ενίσχυση τοιχώματος με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)

10.4.2.2 Ενίσχυση τοιχωμάτων με περίσφιξη

Η χρήση της εφαρμογής εξωτερικής περίσφιξης σε τοιχώματα είναι πολύ λιγότερο διαδεδομένη σε σύγκριση με την περίπτωση των υποστυλωμάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι η αποδοτικότητα της περίσφιξης μειώνεται σημαντικά λόγω του έντονα ορθογωνικού σχήματος των τοιχωμάτων, και γι' αυτό το λόγο η συγκεκριμένη τεχνική δεν συνίσταται. Απ' όλες τις εφικτές διαδικασίες της τεχνικής περίσφιξης μπορούν να βρουν εφαρμογή λόγω των πλεονεκτημάτων τους η τεχνική των μανδύων με ινοπλισμένα πολυμερή και η τεχνική του μεταλλικού κλωβού (Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).

Η τεχνική των μανδύων από ινοπλισμένα πολυμερή έχει το πλεονέκτημα της ευκολίας της εφαρμογής και της δυνατότητας ανάληψης της διατμητικής και της καμπτικής έντασης. Από την άλλη, τα κυριότερα από τα πλεονεκτήματα της τεχνικής του μεταλλικού κλωβού είναι η αυξημένη ικανότητα παραλαβής τέμνουσας, αλλά και η χρησιμότητά της ως προσωρινής λύσης για την ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων σε περίπτωση τοιχωμάτων που έχουν υποστεί σημαντικές βλάβες και ως εκ τούτου αδυνατούν να μεταφέρουν με ασφάλεια τα αξονικά τους φορτία (Δρίτσος 2005, Σπυράκος 2004).

Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η τεχνική του μεταλλικού κλωβού για την επιβολή περίσφιξης, αύξηση της απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί με χρήση διαμπερών συνδέσμων σχήματος Π ή Z σε αποστάσεις της τάξης των 30 cm μεταξύ τους, οι οποίοι ηλεκτροσυγκολλούνται στα αντιδιαμετρικά ελάσματα του κλωβού (Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 92: Ενίσχυση τοιχώματος με μεταλλικό κλωβό

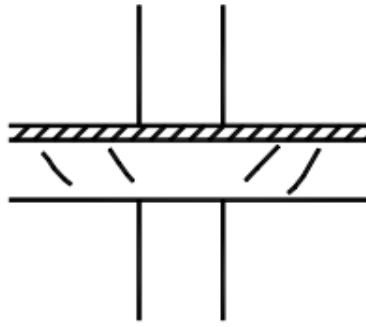
10.5 Τρόποι επισκευής και ενίσχυσης Δοκών/Πλακών

Η επέμβαση σε μια δοκό μπορεί να περιλαμβάνει μόνο την επισκευή των υφιστάμενων βλαβών ή ακόμα και την ενίσχυσή της δοκού, δηλαδή την περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων της. Στην περίπτωση σεισμικής δράσης οι βλάβες συνήθως συγκεντρώνονται στην περιοχή του κόμβου υποστυλώματος και δοκού. Έτσι, η επέμβαση σε μία δοκό αποτελεί συνήθως μέρος μιας συνολικής επέμβασης που κυρίως αφορά τα κατακόρυφα στοιχεία και τον κόμβο (Σπυράκος 2004).

Όπως και στα υποστυλώματα, έτσι και στις δοκούς ανάλογα με το βαθμό βλάβης εφαρμόζονται τεχνικές, όπως οι ρητινενέσεις, οι επικολλήσεις μεταλλικών ελασμάτων, η καθαίρεση – αποκατάσταση, καθώς και οι μανδύες. Επίσης, οι μέθοδοι επισκευής και ενίσχυσης των πλακών είναι οι ίδιες με αυτές που χρησιμοποιούνται και στις δοκούς (Πενέλης & Κάππος 1999).

10.5.1 Επισκευή Δοκών/Πλακών

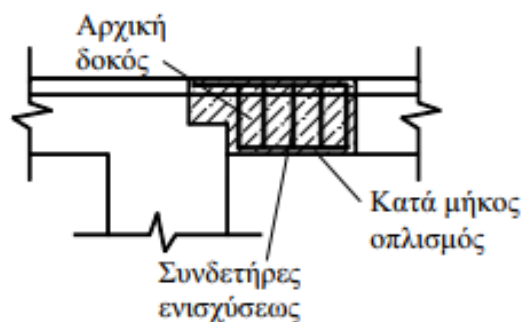
Με την επισκευή των δοκών αποκαθίστανται τα αρχικά χαρακτηριστικά της δοκού που έχουν υποστεί βλάβη ή φθορά. Η επισκευή των δοκών πραγματοποιείται ανάλογα με το βαθμό βλάβης της δοκού. Πιο συγκεκριμένα, σε περίπτωση ελαφρών βλαβών πραγματοποιείται συγκόλληση των ρωγμών με εποξειδική ρητίνη και σε περίπτωση που επιπλέον της ρηγμάτωσης παρατηρείται και επιφανειακή αποφλοίωση του σκυροδέματος χωρίς όμως αποδιοργάνωση του σκυροδέματος της διατομής του πυρήνα, ο φλοιός αποκαθίσταται με χρήση επισκευαστικού κονιάματος. Το κονίαμα που επιλέγεται έχει συνήθως ως βάση κάποιο είδος ρητίνης, εκτός εάν το βάθος της αποφλοίωσης είναι μεγαλύτερο, οπότε προτιμώνται μη συρρικνούμενα κονιάματα με βάση το τσιμέντο (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 93: Ρητινένεσεις για συγκόλληση ρωγμών σε δοκό (Σπυράκος 2004)

Σε περίπτωση που η δοκός έχει υποστεί τοπική αποδιοργάνωση του σκυροδέματος σε περιορισμένη έκταση, πραγματοποιείται η παρακάτω διαδικασία για την επισκευή της (Σπυράκος 2004; Κυριαζόπουλος 2015):

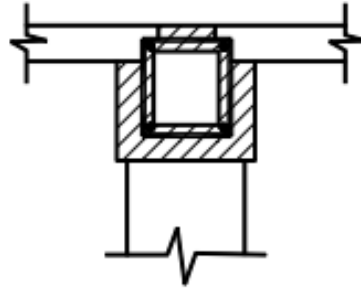
1. Γίνεται υποστύλωση της δοκού.
2. Πραγματοποιείται καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος.
3. Τοποθετείται στην εξωτερική παρειά της δοκού ελαφρύ δομικό πλέγμα.
4. Γίνεται διάστρωση εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος.



Διάγραμμα 94: Επισκευή δοκού με ελαφρύ δομικό πλέγμα (Σπυράκος 2004)

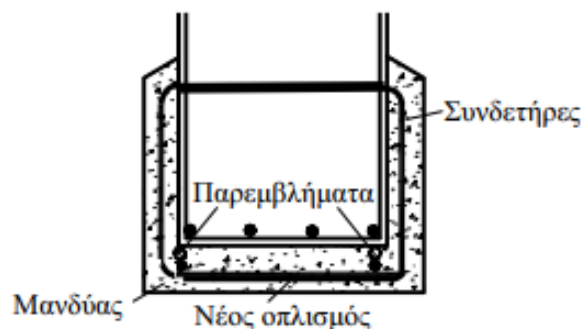
Συνήθως επιλέγεται η ταυτόχρονη ενίσχυση της δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος, αντί η τοποθέτηση πλέγματος για την επισκευή του βλαμμένου στοιχείου. Απαιτείται θραύση της πλάκας στην περιοχή που θα τοποθετηθεί ο μανδύας,

πριν την κατασκευή του, καθώς και εκτράχυνση της εξωτερικής επιφάνειας της δοκού που θα συνδεθεί με τον μανδύα. Έπειτα, τοποθετούνται κατά μήκος οπλισμοί και συνδετήρες και για την κατασκευή του μανδύα χρησιμοποιείται έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 95: Επισκευή δοκού με μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Σπυράκος 2004)

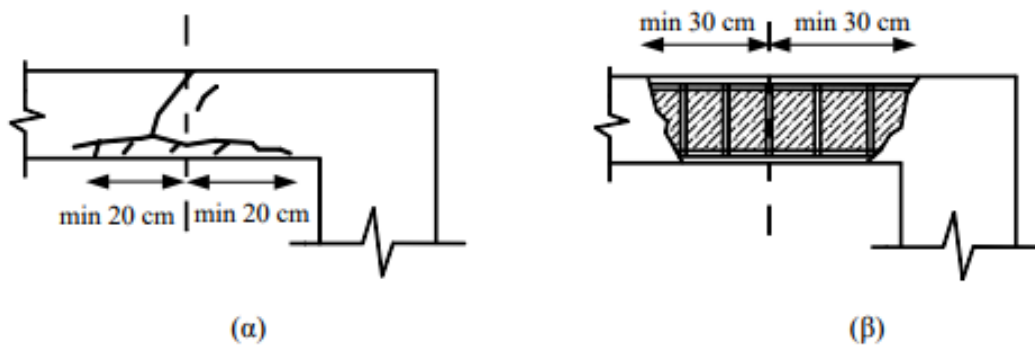
Σε περίπτωση που οι βλάβες της δοκού οφείλονται σε κάμψη, πραγματοποιείται αποκάλυψη του υπάρχοντος οπλισμού της δοκού σε ορισμένες θέσεις, καθώς και συγκόλληση νέου οπλισμού κάμψης πάνω στον παλιό μέσω παρεμβλημάτων, προτού γίνει η διάστρωση του σκυροδέματος για τη δημιουργία του μανδύα. Η σύνδεση του μανδύα με την υφιστάμενη διατομή από σκυρόδεμα μπορεί να γίνει είτε με συνδετήρες, οι οποίοι αγκυρώνονται σε οριζόντιες οπές που διανοίγονται στον κορμό της δοκού που ενισχύεται, είτε με χημικώς πακτωμένα βλήτρα. Στην περίπτωση που η ενίσχυση της δοκού συνοδεύεται από αύξηση του πάχους της υπερκείμενης πλάκας, οι συνδετήρες για τη σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου περικλείουν ολόκληρη την ενισχυόμενη δοκό (Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 96: Μανδύας για επισκευή δοκού σε κάμψη (Σπυράκος 2004)

Σε περίπτωση που εμφανίζεται πλήρης αποδιοργάνωση του σκυροδέματος τμήματος της δοκού η οποία συνοδεύεται από βλάβες του διαμήκους και του εγκάρσιου οπλισμού, πραγματοποιείται η εξής διαδικασία (Σπυράκος 2004):

1. Γίνεται υποστύλωση της δοκού.
2. Πραγματοποιείται καθαίρεση του αποδιοργανωμένου σκυροδέματος σε ολόκληρο το βλαμμένο τμήμα της δοκού, καθώς και προσεκτικός καθαρισμός της εναπομένουσας διατομής.
3. Πραγματοποιείται έλεγχος του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού και ενίσχυση αυτού εάν απαιτείται με ηλεκτροσυγκόλληση νέων ράβδων.
4. Γίνεται απομάκρυνση των διαρρηγμένων και τοποθετούνται νέοι πυκνοί συνδετήρες.
5. Διαμορφώνονται οι παρειές του παλαιού σκυροδέματος.
6. Τοποθετούνται ξυλότυποι.
7. Πραγματοποιείται σκυροδέτηση του καθαιρεθέντος τμήματος με έγχυτο σκυρόδεμα ή διάστρωση εγκιβωτισμένου σκυροδέματος.



Διάγραμμα 97: Επισκευή δοκού με καθαίρεση και αποκατάσταση ίσης διατομής: (α) Ρηγματωμένη διατομή (β) Προσθήκη νέου οπλισμού (Σπυράκος 2004)

10.5.2 Ενίσχυση Δοκών/πλακών

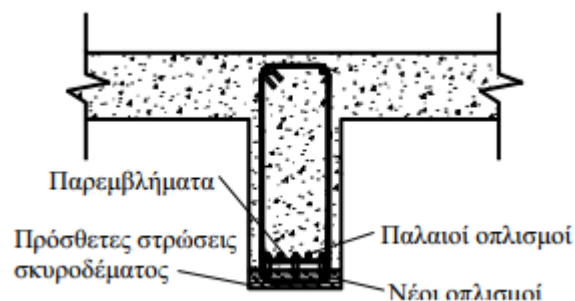
Οι τεχνικές ενίσχυσης των δοκών, ανάλογα με το ποια αντοχή θέλουμε να αυξήσουμε, διακρίνονται σε:

- Καμπτικού χαρακτήρα
- Διατμητικού χαρακτήρα
- Καμπτοδιατμητικού χαρακτήρα

10.5.2.1 Ενίσχυση Δοκών σε κάμψη

10.5.2.1.1 Καμπτική ενίσχυση με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος

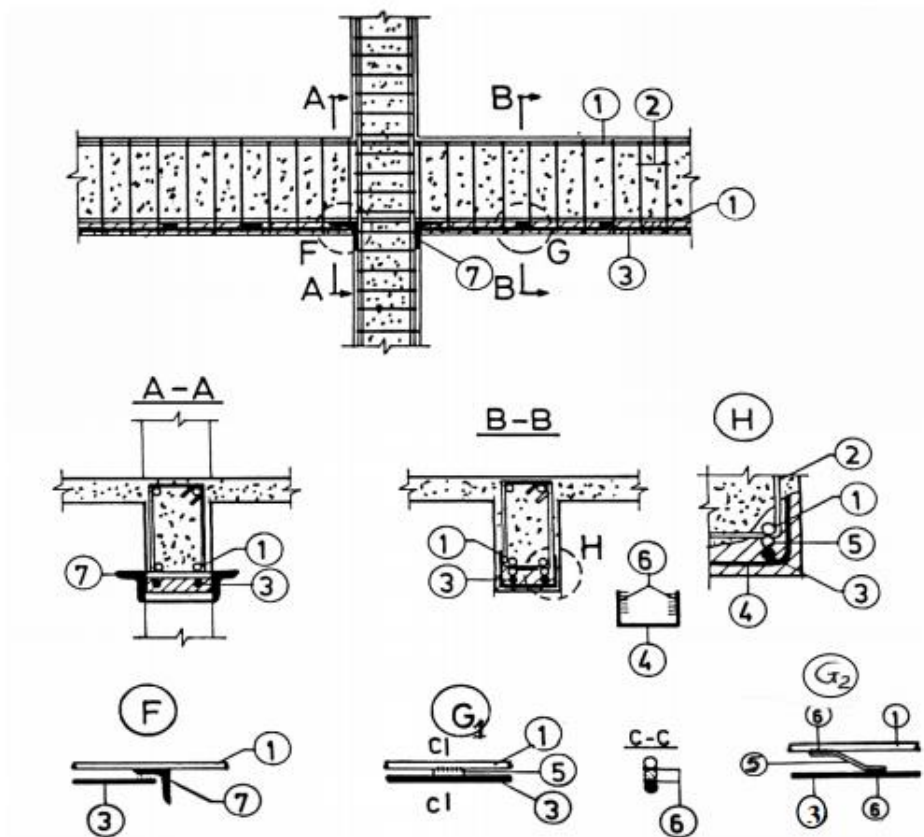
Η συγκεκριμένη τεχνική χρησιμοποιείται συνήθως για ισχυρές ενισχύσεις δοκών ή πλακών στο εφελκόμενο πέλμα, καθώς και κάποιες φορές για ενισχύσεις στο θλιβόμενο πέλμα. Το εφελκόμενο πέλμα ενισχύεται με νέους οπλισμούς που καλύπτονται από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με σύνηθες πάχος 50-100 mm σε όλο το πλάτος της δοκού. Το θλιβόμενο πέλμα ενισχύεται είτε με έγχυτο σκυρόδεμα είτε με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και η χρήση του πρόσθετου οπλισμού δεν είναι απαραίτητη. Επιπλέον, πριν την εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να πραγματοποιείται αποφόρτιση της ενισχυόμενης δοκού στο μέγιστο δυνατό βαθμό (Δρίτσος 2005; Σπυράκος 2004).



Διάγραμμα 98: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος (Σπυράκος 2004)

Η νέα στρώση σκυροδέματος και η δοκός συνεργάζονται με τη χρήση διατμητικών συνδέσμων οι οποίοι είναι συνήθως χαλύβδινα βλήτρα ή ηλεκτροσυγκολλήσεις νέων και παλαιών ράβδων οπλισμού μέσω παρεμβλημάτων. Ανάλογα με το πάχος της νέας στρώσης τα παρεμβλήματα μπορεί να είναι είτε απλές καβίλιες (λεπτομέρεια G1) είτε ράβδοι σε σχήμα Z (λεπτομέρεια G2) (Δρίτσος 2005).

Ωστόσο, η επιφάνεια του πέλματος που ενισχύεται πρέπει να έχει προηγουμένως εκτραχυνθεί έως ότου αποκαλυφθούν τα αδρανή. Η εκτράχυνση γίνεται με υδροβολή ή κατάλληλο μηχανικό εξοπλισμό. Η προσεκτική προετοιμασία της διεπιφάνειας για τη σύνδεση παλαιού και νέου στοιχείου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη προκειμένου να αποφευχθεί η αποκόλληση των πρόσθετων στρώσεων σκυροδέματος όταν η ενισχυόμενη δοκός κληθεί να παραλάβει τα επιπλέον φορτία (Σπυράκος 2004).

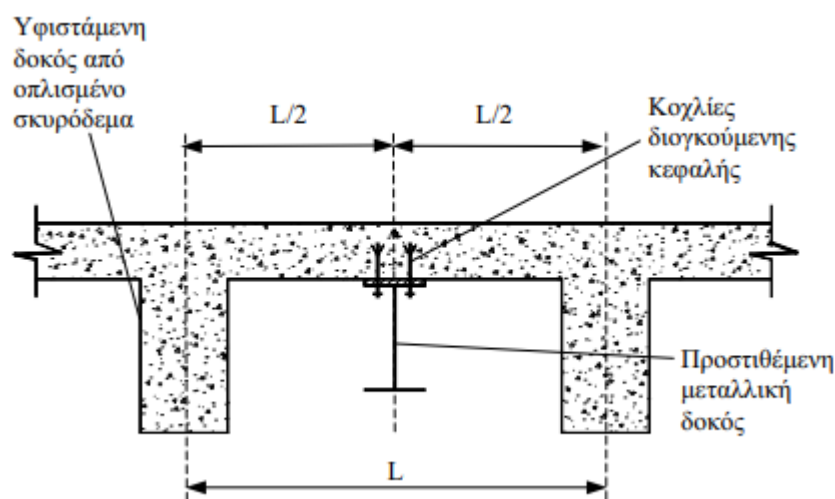


1. παλαιός οπλισμός, 2. παλαιοί συνδετήρες, 3. πρόσθετος διαμήκης, 4. πρόσθετοι συνδετήρες, 5. παρεμβλήματα (καβίλια ή σχήματος Z), 6. συγκόλληση, 7. κολάρο από γωνιακά.

Διάγραμμα 99: Ενίσχυση κάτω πέλματος δοκού (Δρίτσος 2005)

10.5.2.1.2 Ενίσχυση με προσθήκη νέων μεταλλικών μελών

Η ενίσχυση των δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα με την προσθήκη νέων μεταλλικών μελών αποτελεί μια οικονομική αλλά και αποδοτική μέθοδο ενίσχυσης. Ανάλογα με την αντοχή της υπερκείμενης πλάκας, τα πρόσθετα μέλη μπορούν να τοποθετηθούν είτε μεταξύ των υφιστάμενων δοκών είτε σε επαφή με τις πλευρικές παρειές τους. Το προφανές πλεονέκτημα της τοποθέτησης των μελών στο μεσοδιάστημα μεταξύ των δοκών είναι η μείωση του ανοίγματος της πλάκας στο μισό, οπότε αυτόματα αυξάνεται σημαντικά η φέρουσα ικανότητα τόσο της πλάκας όσο και του συστήματος των δοκών (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ).



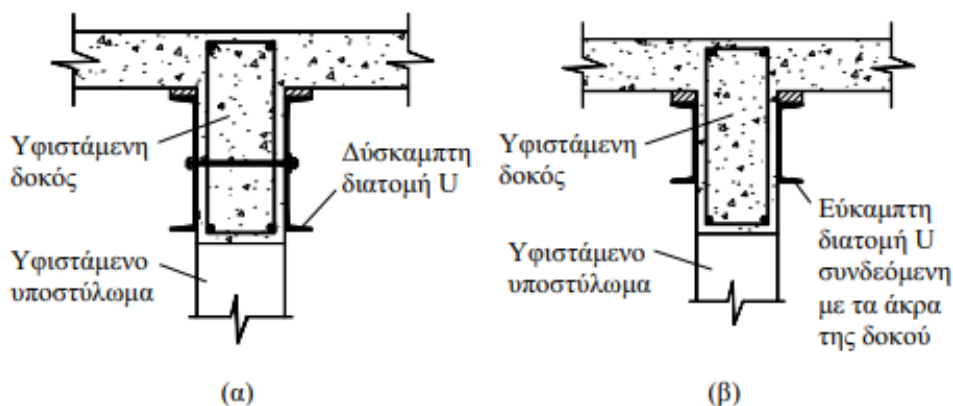
Διάγραμμα 100: Ενίσχυση με την προσθήκη μεταλλικών δοκών στο μέσο του ανοίγματος της πλάκας (Σπυράκος 2004)

Σε περίπτωση που οι νέες δοκοί τοποθετηθούν στις παρειές των υφιστάμενων και εξασφαλισθεί ότι θα λειτουργήσουν μαζί για την παραλαβή των φορτίων, αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας νέας σύνθετης διατομής με αυξημένη αντοχή σε σχέση με την αρχική. Έτσι, οι νέες δοκοί παραλαμβάνουν μόνο τα πρόσθετα φορτία ενώ η υπάρχουσα πλάκα και οι δοκοί εξακολουθούν να φέρουν το ίδιο βάρος τους. Ωστόσο, πριν την τοποθέτηση των νέων μελών, απαιτείται ανύψωση της πλάκας και των δοκών με γρύλους, ούτως ώστε να αναιρεθούν οι παραμορφώσεις που οφείλονται στα φορτία

βαρύτητας. Γενικά, η συγκεκριμένη διαδικασία είναι επίπονη κατά την εφαρμογή της και συχνά με μικρή ωφέλεια (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ).

Συνήθως είναι ευκολότερο και ταχύτερο τα πρόσθετα μέλη να είναι από δομικό χάλυβα αντί για σκυρόδεμα. Η χρήση νέων στοιχείων από δομικό χάλυβα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε αντίθεση με την κατασκευή νέων δοκών από σκυρόδεμα η οποία απαιτεί κατασκευή ξυλότυπου και υποστήλωση, ενώ η σκυροδέτησή τους είναι δύσκολη λόγω της ύπαρξης της υφιστάμενης πλάκας (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ).

Μια ακόμα πρακτική που μπορεί να εφαρμοσθεί για την ενίσχυση των δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι η προσθήκη μεταλλικών διατομών U σε κάθε πλευρά μιας υφιστάμενης δοκού.



Διάγραμμα 101: Προσθήκη νέων μεταλλικών μελών στις παρειές υφιστάμενης δοκού
(α) Δύσκαμπτες διατομές. (β) Εύκαμπτες διατομές (Σπυράκος 2004)

Όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα (Διάγραμμα 98(α)), οι τρεις δοκοί, για να συμμετέχουν εξίσου στην παραλαβή των φορτίων, συνιστάται να συνδέονται μεταξύ τους με αγκύρια που διαπερνούν το σώμα της δοκού από σκυρόδεμα και κοχλιώνονται στις ακραίες μεταλλικές δοκούς. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης πρακτικής, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εργασιών ενίσχυσης, η επιφάνεια της πλάκας πάνω από την υπόψη δοκό πρέπει να εκκενώνεται έτσι ώστε να απομακρύνονται τα κινητά φορτία από τη δοκό (Σπυράκος 2004).

Ακόμα, μια πανομοιότυπη πρακτική ενίσχυσης που μπορεί να εφαρμοσθεί είναι η τοποθέτηση εύκαμπτων μεταλλικών διατομών U οι οποίες τοποθετούνται στις δύο παρειές της δοκού που ενισχύεται, αλλά συνδέονται με αυτή μόνο στα άκρα τους. Με αυτό τον τρόπο προκαλείται ανακούφιση στην υφιστάμενη δοκό από τα φορτία που ασκούνται σε αυτή μέσω της επιβολής σε αυτή δυνάμεων με φορά προς τα πάνω. Αυτό επιτυγχάνεται είτε επιβάλλοντας προκαθορισμένη τιμή θετικής παραμόρφωσης στις δοκούς είτε τοποθετώντας σφήνες στο κενό μεταξύ της κάτω παρειάς της πλάκας και στις μεταλλικές διατομές (Σπυράκος 2004).

10.5.2.1.3 Ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της Δοκού

Μια άλλη πρακτική για ενίσχυση μιας δοκού σε κάμψη είναι η ενίσχυση με μείωση του ανοίγματος της δοκού. Η συγκεκριμένη πρακτική μπορεί να εφαρμοσθεί με την προϋπόθεση ότι η υπόψη δοκός βρίσκεται στο ισόγειο της κατασκευής. Αυτή η πρακτική επιτυγχάνεται με την κατασκευή νέων πρόσθετων υποστλωμάτων. Τα νέα υποστώματα που θα κατασκευαστούν απαιτούν θεμέλια η κατασκευή των οποίων καθιστά αναγκαία την απομάκρυνση τμήματος της πλάκας του δαπέδου (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ).

Μία άλλη εναλλακτική πρακτική για τη μείωση του ανοίγματος της δοκού, είναι η τοποθέτηση διαγώνιων συνδέσμων από τη βάση των υφιστάμενων υποστλωμάτων έως ένα ορισμένο σημείο της κάτω παρειάς της δοκού. Έτσι, οι διαγώνιοι σύνδεσμοι μεταφέρουν τα φορτία στη βάση των υποστλωμάτων όπου μπορούν να παραληφθούν εύκολα από την υποκείμενη πλάκα. Με την εφαρμογή αυτής της πρακτικής αποφεύγεται η κατασκευή των πρόσθετων θεμελίων (Σπυράκος 2004).

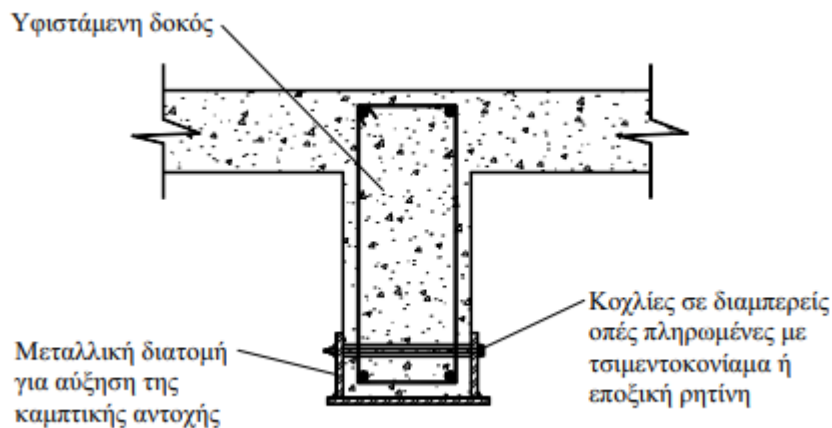


Διάγραμμα 102: Μείωση του ανοίγματος δοκού με χρήση μεταλλικού υποστυλώματος (Σπυράκος 2004)

Και στις δύο παραπάνω πρακτικές ενδείκνυται η χρήση στοιχείων από χάλυβα, αφού ο χάλυβας δεν παρουσιάζει συστολή ξηράνσεως και μπορεί να εγκατασταθεί γρήγορα και εύκολα. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ζεύγος χαλύβδινων αγκυρίων για την αγκύρωση των νέων μελών στα υφιστάμενα, αφού όλες οι θέσεις των συνδέσεων θα υπόκεινται σε θλίψη (Σπυράκος 2004).

10.5.2.1.4 Ενίσχυση με Προσθήκη Κοχλιωμένου Εφελκόμενου Οπλισμού

Όταν η καμπτική αντοχή της υφιστάμενης δοκού δεν επαρκεί, μπορεί να ενισχυθεί επιτόπου με την προσθήκη χαλύβδινων ελασμάτων ή ακόμα και συγκολλητών μεταλλικών διατομών που κοχλιώνονται στη δοκό. Σε περίπτωση που το εμβαδόν του απαιτούμενου πρόσθετου οπλισμού είναι σημαντικό, τότε χρησιμοποιείται η συγκολλητή διατομή σχήματος ανεστραμμένου Π που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Με βάση την παθητική προσέγγιση σχεδιασμού ο νέος χάλυβας παραμένει ανενεργός έως ότου το σκυρόδεμα αρχίσει να παραμορφώνεται λόγω του πρόσθετου φορτίου (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).



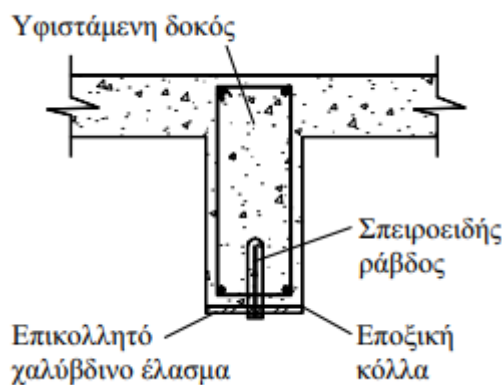
Διάγραμμα 103: Κοχλιωτή σύνδεση συγκολλητής μεταλλικής διατομής για αύξηση της καμπτικής αντοχής υφιστάμενης δοκού από σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004)

Το μέγεθος και η απόσταση μεταξύ των κοχλιών που χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση της νέας μεταλλικής διατομής με την υφιστάμενη δοκό εξαρτώνται από το μέγεθος των φορτίων σχεδιασμού που μεταβιβάζονται από τα μεταλλικά στοιχεία στο σκυρόδεμα στις θέσεις των συνδέσεων μέσω της εφελκυστικής και της διατμητικής αντοχής των κοχλιών. Στην περίπτωση που οι κοχλίες διαπερνούν πλήρως το σώμα της δοκού απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην επιλογή της θέσης που θα διανοιχτεί η οπή και γενικά συνιστάται η θέση της οπής να είναι σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη απόσταση από τον άξονα του διαμήκους οπλισμού της δοκού (Σπυράκος 2004).

Σε περίπτωση που η δοκός παρουσιάζει μεγάλη ανεπάρκεια όσον αφορά στην αντοχή της, μπορεί να εφαρμοσθεί μια εναλλακτική τεχνική κατά την οποία προστίθενται δύο ελάσματα, ένα στην πάνω και ένα στην κάτω παρειά της δοκού. Τα ελάσματα μπορούν να συνδέονται μεταξύ τους μέσω κοχλιών που διαπερνούν κάθετα όλο το ύψος της δοκού. Ωστόσο, η συγκεκριμένη τεχνική παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, η διαδικασία διάνοιξης των οπών καθ' ύψος της δοκού είναι εξαιρετικά δύσκολη, και επιπλέον απαιτείται ειδική επικάλυψη της επιφάνειας της πλάκας πάνω από την δοκό ώστε να καλυφθεί το άνω έλασμα και τα αγκύριά του (Σπυράκος 2004).

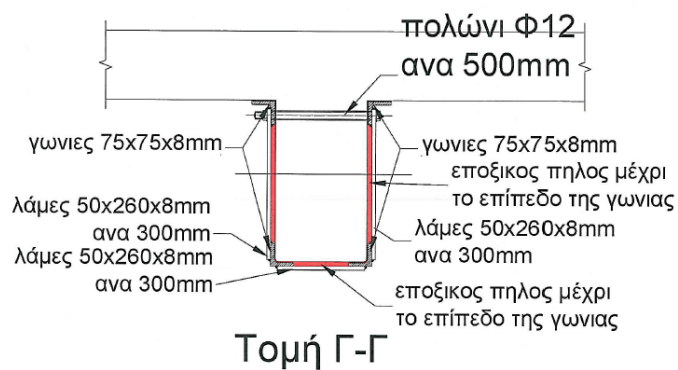
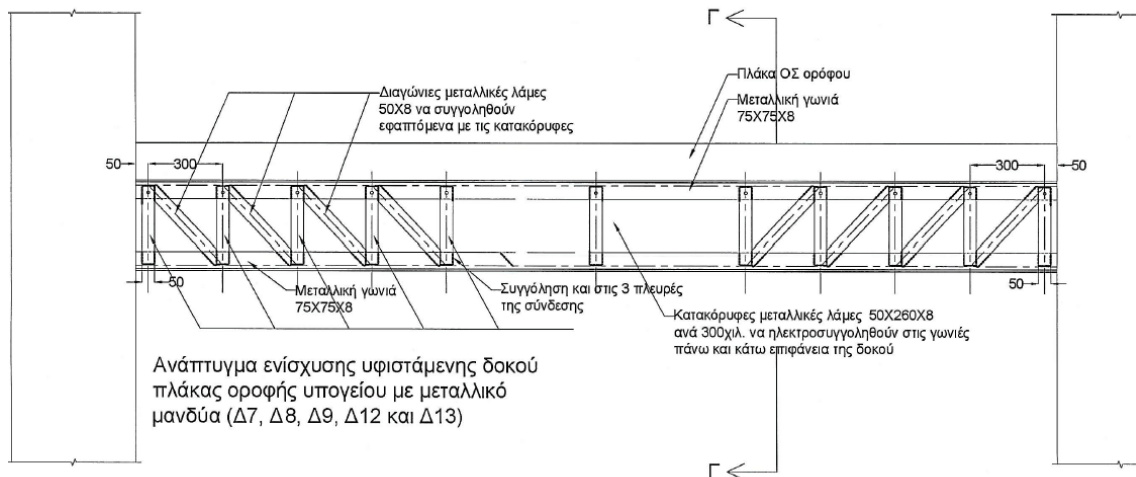
10.5.2.1.5 Ενίσχυση με Προσθήκη Επικολητών Χαλύβδινων Ελασμάτων ή ινοπλισμένων πολυμερών

Αντί να συνδέονται με κοχλίες, τα χαλύβδινα ελάσματα μπορούν να επικοληθούν στην επιφάνεια του σκυροδέματος με χρήση εποξειδικής κόλλας (ρητίνης) προκειμένου να αυξήσουν την καμπτική αντοχή της δοκού. Η επικόλληση των ελασμάτων είναι σαφώς ευκολότερη από τη διάνοιξη οπών και την κοχλίωσή τους στο σκυρόδεμα. Επίσης, με τον ίδιο τρόπο με τα ελάσματα μπορούν να επικοληθούν και τα ινοπλισμένα πολυμερή. Με τη συγκεκριμένη τεχνική, πέρα από την αύξηση της καμπτικής αντοχής επιτυγχάνεται και αξιοσημείωτη αύξηση της καμπτικής δυσκαμψίας, περιορισμός των παραμορφώσεων και της ρηγμάτωσης, καθώς και μείωση της πλαστιμότητας (Σπυράκος 2004; Δρίτσος 2005; Σταθόπουλος χ.χ.).



Διάγραμμα 104: Ενίσχυση καμπτικής αντοχής δοκού με επικολητά χαλύβδινα ελάσματα (Σπυράκος 2004)

Η εποξική κόλλα μπορεί να τοποθετηθεί είτε με ρητινένηση είτε με επάλειψη της κόλλας και στις δύο επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν. Η σύνδεση της δοκού με το χαλυβδόφυλλο συνήθως απαιτεί την άσκηση πίεσης, ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη αντοχή της κόλλας. Για την ανάρτηση του ελάσματος αλλά και την παροχή πρόσθετης διατμητικής αντοχής στη διεπιφάνεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σπειροειδείς ράβδοι που αγκυρώνονται σε κατακόρυφες οπές πληρωμένες με τσιμεντένεμα (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).



Διάγραμμα 106: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκού με μεταλλικές λάμες (Κκολός 2018)

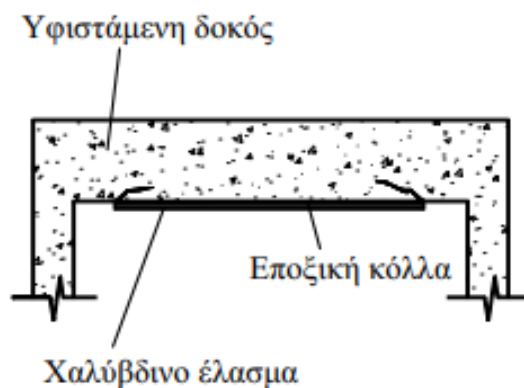


Διάγραμμα 105: Ενίσχυση δοκού με μεταλλικές λάμες (Κκολός 2018)

Οι τρεις πιο καθοριστικοί παράγοντες για την επιτυχή εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου είναι οι παρακάτω (Σπυράκος 2004):

1. Προετοιμασία της επιφάνειας του σκυροδέματος στην οποία θα επικολληθεί το χαλύβδινο έλασμα. Απαιτείται εκτράχυνση και απομάκρυνση της επιφανειακής ασθενούς στρώσης σκυροδέματος ιδιαίτερα εάν παρουσιάζει ίχνη ενανθράκωσης.
2. Η αντοχή συνάφειας της εποξειδικής κόλλας πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με αυτή του σκυροδέματος. Επίσης η κόλλα πρέπει να είναι η κατάλληλη για τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στη θέση του έργου.
3. Το χαλύβδινο έλασμα πρέπει να έχει επαρκές μήκος και πλάτος έτσι ώστε να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία του συστήματος ενίσχυσης με αποκόλληση του ελάσματος από τη δοκό.

Το κυριότερο μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι οι υψηλές συγκεντρωμένες τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων των ελασμάτων. Αυτές οι τάσεις στα άκρα μπορούν να οδηγήσουν σε απόσχιση στη γειτονική προς το έλασμα περιοχή σκυροδέματος.



Διάγραμμα 107: Αστοχία στην περιοχή αγκύρωσης των άκρων ελάσματος (Σπυράκος 2004)

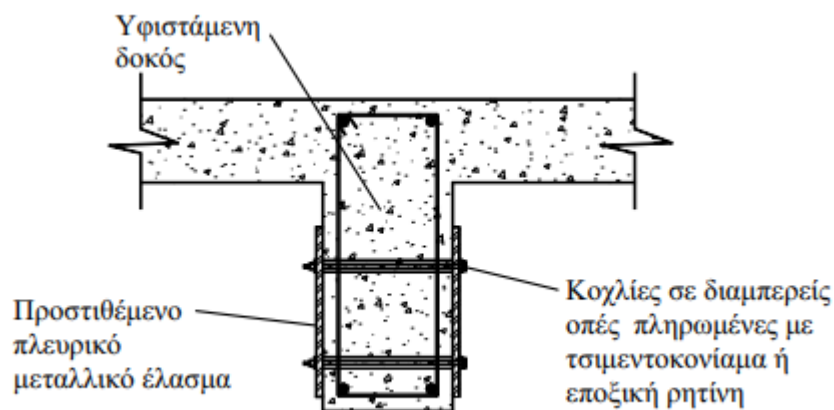
Για την αποφυγή της συγκεκριμένης αστοχίας, πρέπει το μήκος αγκύρωσης του ελάσματος να είναι επαρκές, εκτός από τη περιοχή που απαιτείται καμπτική ενίσχυση. Επιπλέον, πρέπει να γίνεται έλεγχος της συγκέντρωσης καμπτικών και διατμητικών τάσεων στην περιοχή των άκρων, λόγω της ασυνέχειας του επικολλητού ελάσματος. Μία συνήθης πρακτική για τον περιορισμό των συγκεντρωμένων τάσεων είναι η προοδευτική μείωση του πάχους των ελασμάτων στα άκρα τους (Κ. Σπυράκος 2004). Ένα άλλο μειονέκτημα του συστήματος ενίσχυσης δοκών με επικολλητά φύλλα από χάλυβα είναι ο κίνδυνος διάβρωσης του χάλυβα στην περιοχή της διεπιφάνειας με το σκυρόδεμα. Η επικάλυψη του ελάσματος με ειδική αντιδιαβρωτική βαφή δεν αποτελεί την καλύτερη λύση λόγω της πιθανής αλληλεπίδρασης της με την εποξειδική κόλλα. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η προσθήκη εξωτερικού οπλισμού με μορφή ελασμάτων δεν πρέπει να αποτελεί μακροπρόθεσμη λύση στην περίπτωση που η κατασκευή αντιμετωπίζει πρόβλημα διάβρωσης (Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ.).



Διάγραμμα 108: Ενίσχυση δοκού με χαλύβδινα
ελάσματα (Δρίτσος 2014)

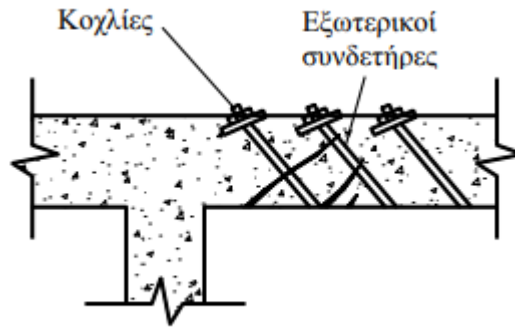
10.5.2.2 Ενίσχυση Δοκών σε Διάτμηση

Για την ενίσχυση των δοκών σε διάτμηση μπορούν να εφαρμοσθούν παρόμοιες τεχνικές με αυτές για ενίσχυση σε κάμψη. Πιο συγκεκριμένα, για να αυξηθεί η διατμητική αντοχή της δοκού, μπορούν να τοποθετηθούν δύο μεταλλικά ελάσματα στις πλευρικές παρειές της δοκού και να συνδεθούν με αυτή μέσω κοχλιών που διαπερνούν εγκάρσια το σώμα της δοκού σε δύο τουλάχιστον θέσεις.



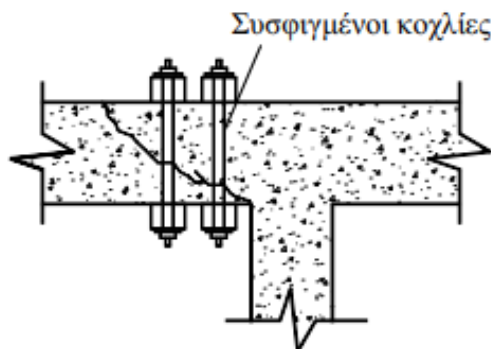
Διάγραμμα 109: Προσθήκη πλευρικών μεταλλικών ελασμάτων για αύξηση της διατμητικής αντοχής δοκού (Σπυράκος 2004)

Μια άλλη τεχνική για την αύξηση της διατμητικής αντοχής της δοκού είναι η προσθήκη εξωτερικών συνδετήρων (κολλάρα) που περισφίγγουν εξωτερικά τη δοκό. Οι συνδετήρες που υπολογίζονται με επιτρεπόμενες τάσεις ίσες με το 50% των κανονικών επιτρεπόμενων τάσεων, μπορούν να διαταχθούν κατακόρυφως ή υπό γωνία 45° . Ωστόσο, η διάταξη κατακόρυφων συνδετήρων είναι ευκολότερη και χρησιμοποιείται περισσότερο. Επιπλέον, οι συνδετήρες μπορούν να μείνουν ακάλυπτοι αφού ελαιοβαφούν, όμως είναι προτιμότερο να επικαλυφθούν με μία στρώση εκτοξευόμενου σκυροδέματος ή με πατητή τσιμεντοκονία πάχους 20 mm περίπου (Τάσιος 1999; Σπυράκος 2004; Σταθόπουλος χ.χ).



Διάγραμμα 110: Διατμητική ενίσχυση δοκού με διαγώνιους εξωτερικούς συνδετήρες (Σπυράκος 2004)

Σε περίπτωση σοβαρών διατμητικών βλαβών η προσθήκη είτε πλευρικών ελασμάτων είτε εξωτερικών συνδετήρων δεν επαρκεί για την επισκευή και ενίσχυση της δοκού, αλλά επιπλέον απαιτείται η σύσφιγξη των στοιχείων ενίσχυσης μέχρι αρνήσεως. Έτσι, τοποθετούνται ζεύγη κοχλιών σε κάθε πλευρά της ρηγματωμένης δοκού και εντείνονται αποτρέποντας τη διάρρηξη του σκυροδέματος κατά μήκος της ρωγμής.



Διάγραμμα 111: Αύξηση διατμητικής αντοχής δοκού με σοβαρές διατμητικές βλάβες μέσω συσφιγμένων κοχλιών (Σπυράκος 2004)

10.5.2.3 *Ενίσχυση δοκών σε διάτμηση με σύνθετα υλικά*

Στην περίπτωση χρήσης ινοπλισμένου πολυμερούς για την ενίσχυση των δοκών σε διάτμηση, μπορούν να χρησιμοποιηθούν φύλλα ή (συνηθέστερα) υφάσματα με την μορφή λωρίδων.



Διάγραμμα 112: Διατμητική ενίσχυση δοκού με ινοπλισμένα πολυμερή (Παναγόπουλος χ.χ)

10.5.2.4 *Ενίσχυση σε κάμψη και Διάτμηση*

10.5.2.4.1 *Ενίσχυση Δοκών με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος*

Η ενίσχυση των δοκών με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος εφαρμόζεται για την αύξηση της αντοχής της δοκού τόσο σε κάμψη όσο και σε διάτμηση. Πριν τη σκυροδέτηση του μανδύα τοποθετούνται νέοι διαμήκεις οπλισμοί στην εφελκόμενη παρειά και νέοι συνδετήρες περιμετρικά του στοιχείου. Για τη δημιουργία του μανδύα μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε έγχυτο είτε εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, αν και συνήθως προτιμάται η χρήση εκτοξευόμενου σκυροδέματος για λόγους ευκολίας κατά την κατασκευή (Σπυράκος 2004; Δρίτσος 2005; Σταθόπουλος χ.χ).

Η συγκεκριμένη τεχνική εφαρμόζεται κυρίως όταν υπάρχει ανάγκη διατμητικής ενίσχυσης της δοκού, επειδή όταν απαιτείται μόνο αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού επιλέγεται η απλούστερη τεχνική της ενίσχυσης με πρόσθετες στρώσεις σκυροδέματος (Δρίτσος 2005).

Στην περίπτωση που δεν μπορεί να κατασκευαστεί κλειστός μανδύας λόγω του ότι δεν είναι δυνατή η θραύση της πλάκας στην περιοχή πάνω από τη θλιβόμενη παρειά της δοκού, κατασκευάζεται ανοικτός μανδύας και για την κατασκευή του χρησιμοποιείται εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (Σπυράκος 2004).



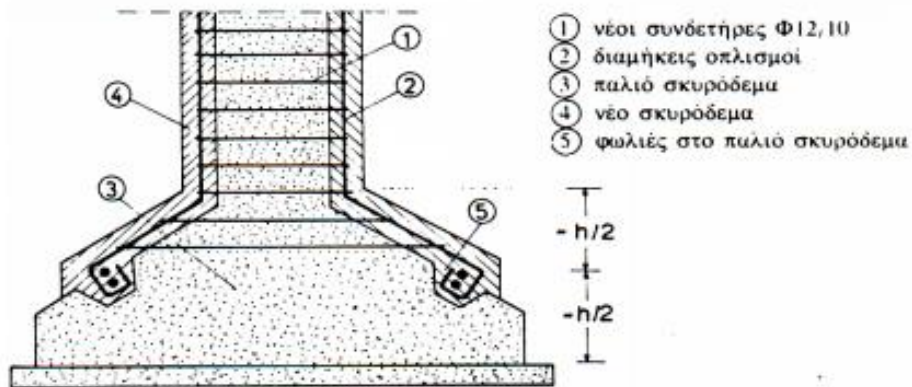
Διάγραμμα 113: Ενίσχυση δοκού και υποστύλωματος με κατασκευή μανδύα οπλισμένου σκυροδέματος (Δρίτσος 2014)

10.6 Ενίσχυση θεμελίωσης

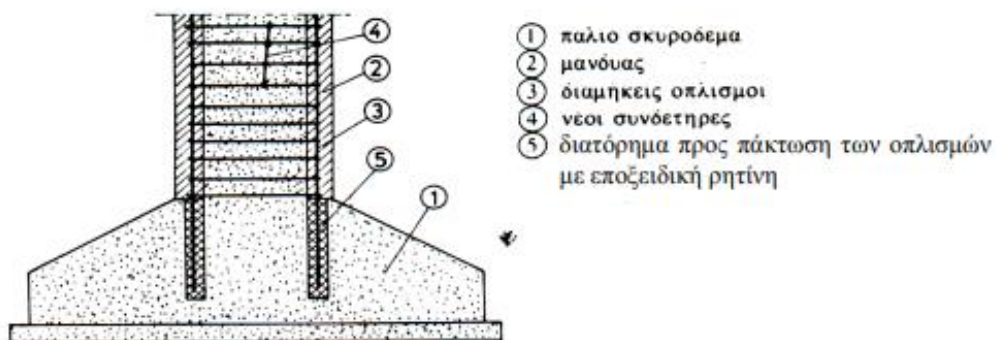
Οι μέθοδοι επισκευής η ενισχύσεως της θεμελίωσης είναι συσχετισμένες τις πιο πολλές φορές με επεμβάσεις που βρίσκονται στο κέντρο του γνωστικού αντικείμενου της εδαφομηχανικής. Όταν προκύπτουν βλάβες που είναι συσχετισμένες με τη θεμελίωση, τις περισσότερες φορές η λύση ενίσχυσης περιλαμβάνει επεμβάσεις στο έδαφος θεμελίωσης, όπως για παράδειγμα ενίσχυση του εδάφους με τσιμεντενέσεις, κατασκευή ριζοπασσάλων κ.λ.π. Ωστόσο, υπάρχουν δύο συνήθεις τεχνικές ενίσχυσης της θεμελίωσης, δηλαδή η τεχνική αγκυρώσεως του μανδύα του υποστύλωματος στο πέδιλο καθώς και η τυχόν ενίσχυση των πεδίων (Πενέλης & Κάππος 1999).

10.6.1 Σύνδεση μανδύα υποστυλώματος με πέδιλο

Η κρίσιμη περιοχή από πλευράς ροπών σε ένα υποστύλωμα βρίσκεται στην κεφαλή ή τη βάση του. Γι' αυτό το λόγο, ο μανδύας ενός υποστυλώματος πρέπει να συνεχίζεται πέραν του σημείου συνδέσεως του υποστυλώματος με το πέδιλο, ούτως ώστε οι οπλισμοί να έχουν το απαιτούμενο μήκος αγκυρώσεως (Πενέλης & Κάππος 1999).



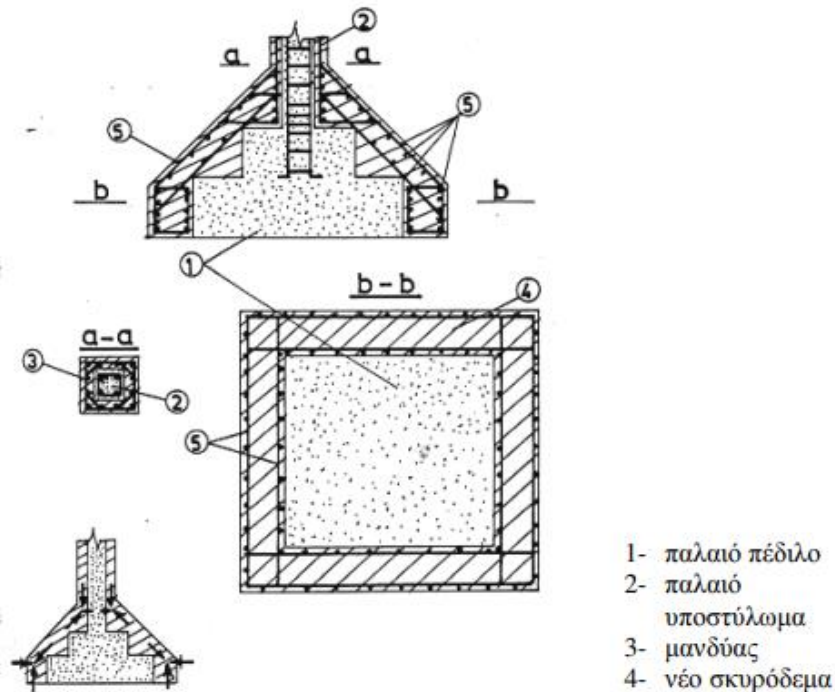
Διάγραμμα 114: Πέρασ μανδύα στο πέδιλο (Πενέλης & Κάππος 1999)



Διάγραμμα 115: Αγκύρωση οπλισμών μανδύα υποστυλώματος στο πέδιλο (Πενέλης & Κάππος 1999)

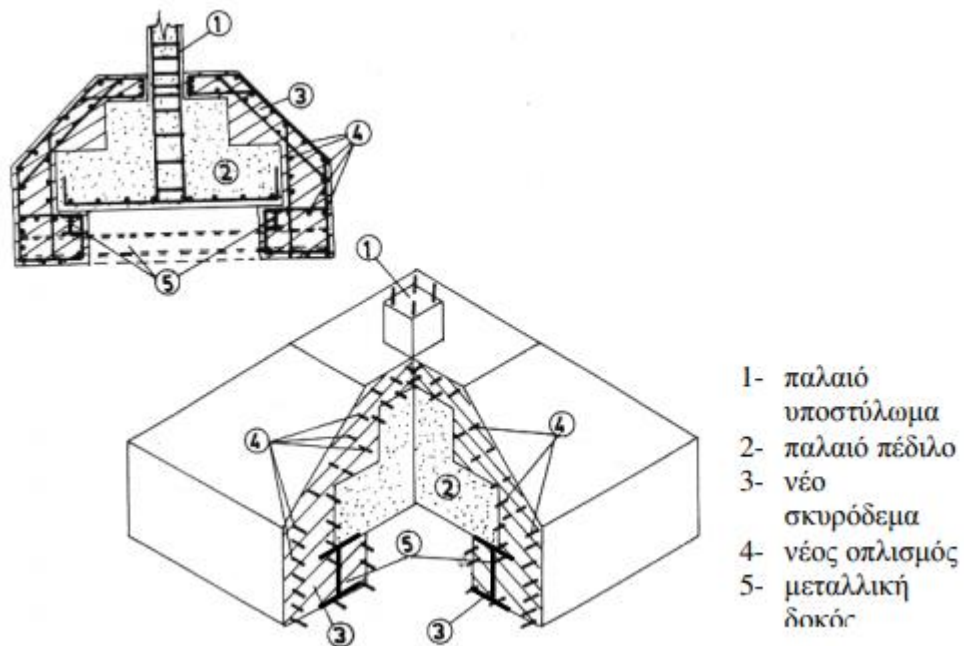
10.6.2 Ενίσχυση πεδίου

Η επαύξηση της βάσης του πεδίου αποφασίζεται είτε για λόγους ανεπάρκειας οφειλόμενης σε κακή αρχική εκτίμηση της επιτρεπόμενης τάσης είτε για λόγους μεταφοράς μεγαλύτερης αξονικής δύναμης οφειλόμενης στη διάταξη νέων φερόντων στοιχείων. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η αύξηση της βάσης του πεδίου γίνεται σύμφωνα με τις παρακάτω διατάξεις (Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 116: Ενίσχυση πεδίου – υποστυλώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)

Η παραπάνω διάταξη εφαρμόζεται όταν η ενίσχυση του πεδίου συνεχίζεται με μανδύα στο υποστύλωμα. Σε αυτή την περίπτωση για παραλαβή των απαιτούμενων δυνάμεων εκτροπής και μεταφοράτων εδαφικών πιέσεων στο μανδύα του υποστυλώματος, απαιτείται η τοποθέτηση κλειστών ορθογωνικών δακτυλίων από οπλισμούς οι οποίοι διαμορφώνονται με μεγάλου μήκους υπερκαλύψεις ή με συγκολλήσεις (Πενέλης & Κάππος 1999).



Διάγραμμα 117: Ενίσχυση πεδίλου χωρίς ενίσχυση του υποστυλώματος (Πενέλης & Κάππος 1999)

Η πιο πάνω διάταξη είναι πιο δύσκολη από την προηγούμενη διάταξη για το λόγο ότι απαιτείται εκσκαφή περιμετρικά κάτω από το υφιστάμενο πέδιλο και εφαρμόζεται στην περίπτωση που η ενίσχυση του πεδίλου δεν συνεχίζεται με μανδύα στο υποστύλωμα. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή τις περισσότερες φορές απαιτείται προσωρινή υποστύλωση και κατασκευή κάθε φορά ενός μόνο πεδίλου (Πενέλης & Κάππος 1999).

Μέρος Β

Το δεύτερο μέρος της παρούσας πτυχιακής αποτελείται από την εφαρμογή του προγράμματος 3DR.STRAD και την εξέταση μιας υφιστάμενης διώροφης κατοικίας. Συγκεκριμένα, αυτό το μέρος χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα αφορά τον στατικό έλεγχο της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό και έπειτα προχώρηση σε κατάλληλες ενισχύσεις στην κατασκευή. Το δεύτερο μέρος αφορά την προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο, στατική ανάλυση αυτού και έπειτα αντίστοιχος έλεγχος και ενίσχυση του υφιστάμενου όπου χρειάζεται.

Τα στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής που χρησιμοποιήθηκαν σχετικά με το πρόγραμμα είναι τα εξής:

Περιοχή υφιστάμενης κατασκευής: Λεμεσός

Τύπος εδάφους : B Type 1

Σπουδαιότητα κτιρίου II

Μόνιμα φορτία πλακών στάθμης 2 = 3500 N/ m²

Μόνιμα φορτία πλακών στάθμης 3 = 2500 N/ m²

Μεταβλητά φορτία πλακών = 2000 N/ m²

Μόνιμα φορτία προβόλων = 1500 N/m²

Μεταβλητά φορτία προβόλων = 5000 N/m²

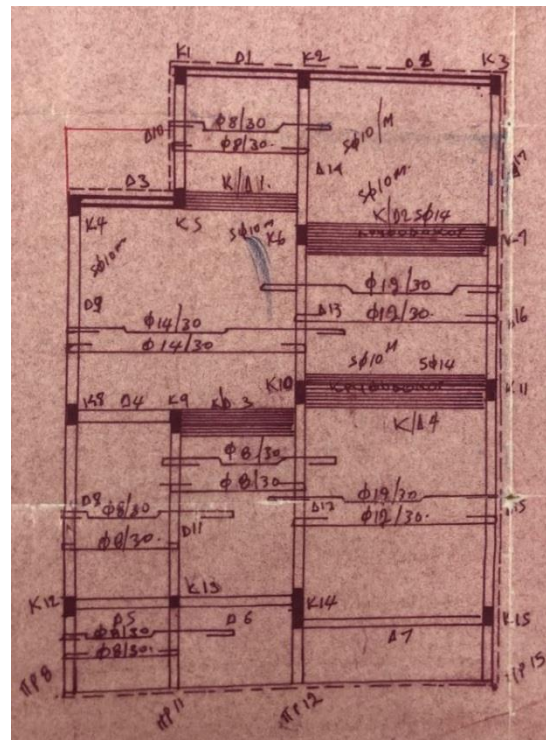
Μπετόν: $f_{ck} = 20 \text{ Mpa}$

Χάλυβας: $f_{yk} = 400 \text{ Mpa}$

Πιο κάτω φαίνονται τα στατικά στοιχεία της υφιστάμενης κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται το στατικό σχέδιο με τους οπλισμούς των πλακών και πίνακες οπλισμών των δοκών και των υποστυλωμάτων.

ΠΙΝΑΞ ΔΟΚΩΝ:

Α/Α:	ΔΙΑΤΟΜΗ:	ΣΤΑ. ΑΚΣ	ΣΦ. ΚΑΤΕ	ΚΕΚΑΜ.:	ΑΥΧΑΒ. ΠΡΑΞ
1	50x20	2 Φ10	3 Φ10	1 Φ10	Φ6/15
2	"	"	3 Φ12	1 Φ12	"
3	"	"	3 Φ10	1 Φ10	"
4	"	"	3 Φ12	1 Φ12	"
5	"	"	"	"	"
6	"	"	"	"	"
7	"	"	"	"	"
8	"	"	4 Φ12	2 Φ12	"
ΠΡΒ	"	2 Φ12 ΑΠΟ Δ11 + 2 Φ12	2 Φ12 ΑΠΟ Δ8	"	"
9	"	2 Φ10	5 Φ10	2 Φ10	"
10	"	"	4 Φ12	2 Φ12	"
11	"	"	"	"	"
ΠΡΠ	"	2 Φ12 ΑΠΟ Δ11 + 2 Φ12	2 Φ12 ΑΠΟ Δ11	"	Φ8/15
12	"	2 Φ10	5 Φ10	2 Φ10	Φ6/15
ΠΡΠ2	"	2 Φ10 ΑΠΟ Δ12 + 2 Φ10	2 Φ10 ΑΠΟ Δ12	"	Φ8/15
13	"	2 Φ10	4 Φ10	2 Φ10	Φ6/15
14	"	"	2 Φ14	2 Φ14	"
15	"	"	6 Φ10	3 Φ10	"
16	"	"	5 Φ12	2 Φ12	"
17	"	"	"	"	"
Κ11	60x15	3 Φ10	3 Φ12	"	"
Κ12	"	4 Φ8	5 Φ14	"	"
Κ13	"	3 Φ10	5 Φ12	"	"
Κ14	"	4 Φ12	5 Φ14	"	"



Διάγραμμα 119: Κατάλογος οπλισμών δοκών

Διάγραμμα 118: Οπλισμοί πλακών ισόγειου και Α' ορόφου

ΠΙΝΑΞ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Α/Α:	ΔΙΑΤΟΜΗ:	ΣΙΔΕΡ.:	ΕΥΧΑΒΩΣΕΙΣ:
1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 13, 15:	30x20	4 Φ14	Φ6/15
6, 10:	35x20	6 Φ14	"
Κ14	75x20	6 Φ14	"

Διάγραμμα 120: Κατάλογος οπλισμών υποστυλωμάτων

Η διαδικασία η οποία ακολουθήθηκε στο πρόγραμμα 3DR.STRAD για την υλοποίηση της ολοκληρωμένης ανάλυσης της υφιστάμενης κατασκευής, συμπεριλαμβανομένου και της ενίσχυσής της είναι η εξής:

1. Εισαγωγή της κάτοψης της υφιστάμενης κατασκευής από το αρχείο AutoCAD στο πρόγραμμα 3DR.STRAD
2. Προσομοίωση και περιγραφή φορέα (ορισμός δοκών, κολώνων, πλακών)
3. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος (ενημέρωση του συστήματος για τα στοιχεία που έχουν οριστεί και έλεγχος των στοιχείων αυτών)
4. Καθορισμός των υπαρχόντων οπλισμών
5. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
6. Ορισμός στοιχείων αντισεισμικού κανονισμού (Σπουδαιότητα κατασκευής, τύπος εδάφους, σεισμική ζώνη κατασκευής κτλ.)
7. Καθορισμός των γενικών παραμέτρων
8. Ενημέρωση όλων & Λογικός έλεγχος
9. Χωρικό μοντέλο (ώστε να υπολογιστούν τα αδρανειακά χαρακτηριστικά, τα φορτία και η συνδεσμολογία των στοιχείων του φορέα)
10. Επίλυση (για επίλυση του χωρικού μοντέλου)
11. Προκαταρκτική ανάλυση (Δεδομένου ότι ενημερώθηκαν τα στοιχεία του αντισεισμικού κανονισμού καθώς και οι συντελεστές ασφαλείας για προκαταρκτική ανάλυση), ούτως ώστε να ελεγχθεί η επάρκεια των στοιχείων μας και να αποφασιστεί η ανάλυση που θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια
12. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της προκαταρκτικής ανάλυσης έγινε εφαρμογή της ανάλυσης που αποφασίστηκε, δεδομένου ότι ενημερώσαμε τα στοιχεία του αντισεισμικού κανονισμού καθώς και τους συντελεστές ασφαλείας για την συγκεκριμένη ανάλυση. Με την εφαρμογή της ανάλυσης, το πρόγραμμα υπέδειξε ποια στοιχεία παρουσιάζουν ανεπάρκεια και χρειάζονται ενίσχυση.
13. Εφαρμογή της εντολής 'Σχεδιασμός' ώστε να ελέγξουμε ξανά σε περισσότερη λεπτομέρεια αυτή την φορά την επάρκεια της κατασκευής.
14. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, αποφασίσαμε τι ενισχύσεις θα εφαρμόσουμε και σε ποιά μέλη.
15. Εφαρμογή των ενισχύσεων στα δομικά στοιχεία

16. Επανάληψη των βημάτων 5-14 ούτως ώστε να ελέγξουμε αν οι ενισχύσεις που εφαρμόσαμε ήταν ικανοποιητικές ή χρειάζονταν κάποιες αλλαγές/διορθώσεις ή επιπρόσθετες ενισχύσεις.
17. Δεδομένου ότι οι ενισχύσεις μας ήταν ικανοποιητικές, προχωρήσαμε με την δημιουργία σχεδίων ενίσχυσης μέσω των εντολών ‘STRADPLOT’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης υποστυλωμάτων’, ‘Σχέδιο ενίσχυσης δοκών’. Σε περίπτωση όπου οι προτεινόμενες ενισχύσεις μας δεν ήταν ικανοποιητικές έπρεπε να κάνουμε τις ανάλογες τροποποιήσεις στα στοιχεία ενίσχυσης και ακολούθως να ξανά επαναλάβουμε τα βήματα 5 έως 13 και ούτω καθεξής.

Στην περίπτωση που έγινε επέκταση του κτιρίου καθ’ ύψος, αρχικά έγινε κανονική ανάλυση του επιπρόσθετου ορόφου ως νέο με την διαδικασία που πραγματοποιείται για ένα νέο κτίριο. Έπειτα, έγινε ανάλυση του υφιστάμενου κτιρίου με την επιπρόσθετη καταπόνηση από τον νέο όροφο, ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω. Για την ανάλυση του νέου ορόφου ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

1. Αντιγραφή προηγούμενης στάθμης
2. Προσομοίωση και περιγραφή φορέα
3. Ενημέρωση όλων και Λογικός έλεγχος
4. Επίλυση πλακών
5. Σχεδιασμός πλακών και εμφάνιση οπλισμών
6. Ενημέρωση όλων και Λογικός έλεγχος
7. Χωρικό μοντέλο
8. Επίλυση
9. Σχεδιασμός για την εμφάνιση των μηνυμάτων των ελεγχων επάρκειας
10. Εμφάνιση των κατασκευαστικών σχεδίων μέσω της εντολής ‘STRADPLOT’, εφόσον τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά

1 Στατικός έλεγχος της υφιστάμενης κατασκευής με σεισμό

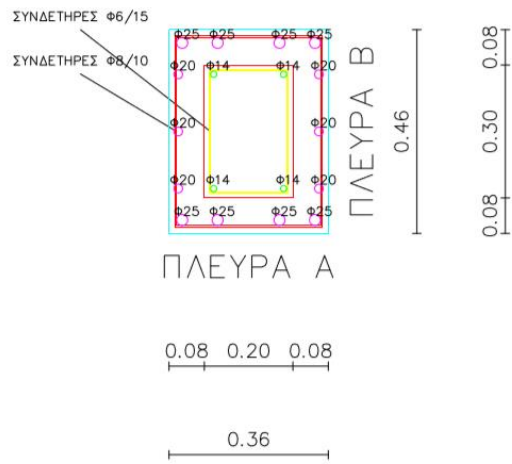
Αρχικά, έγινε στατικός έλεγχος της κατασκευής με σεισμό Λεμεσού, όπου εμφάνισε ότι η κατασκευή μας χρειαζόταν ενίσχυση. Το πρόγραμμα μετά από την διεξαγωγή της προκαταρκτικής ανάλυσης, μας παρουσίασε ότι οι συντελεστές επάρκειας των στοιχείων μας ήταν μεγαλύτεροι από το επιτρεπτό όριο που είναι το 2.5 γι' αυτό και θα έπρεπε να γίνει ανελαστική ανάλυση (Push Over), όπως και έγινε. Από την ανάλυση προέκυψε ότι όλα τα στοιχεία του κτιρίου μας, υποστυλώματα, δοκοί και πλάκες παρουσίαζαν ανεπάρκεια και χρειαζόνταν ενίσχυση (κυρίως λόγω διάτμησης και κάμψης). Έτσι, για ενίσχυση των δομικών στοιχείων επιλέγηκε η περιμετρική ενίσχυση των υποστυλωμάτων με μανδύες οπλισμένου σκυροδέματος 8cm με συνδετήρες Y8/10εκ., η ενίσχυση των δοκαριών με ελάσματα και ανθρακονήματα, καθώς και των πλακών με ανθρακονήματα.

Η επιλογή των συγκεκριμένων ενισχύσεων έγινε για τους παρακάτω λόγους:

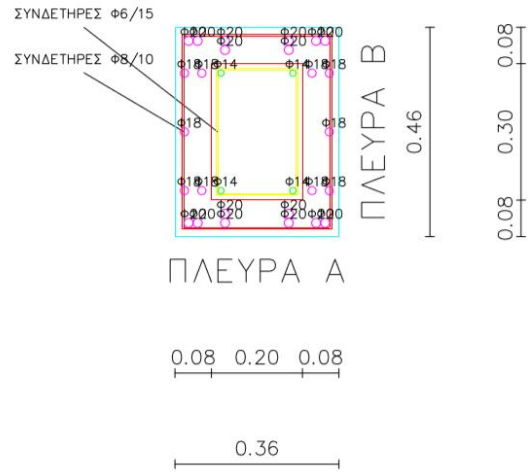
- Τα ανθρακονήματα τα οποία τοποθετήθηκαν στις πλάκες ήταν η μοναδική επιλογή. Παρ' όλα αυτά είναι μια πολύ καλή ενίσχυση λόγω του ότι δεν επιβαρύνει σημαντικά την κατασκευή λόγω του μικρού βάρους των ανθρακονημάτων. Επιπρόσθετα, τα ανθρακονήματα τοποθετούνται εύκολα και επιπλέον δεν αλλοιώνουν την αρχιτεκτονική του κτιρίου. Τα ανθρακονήματα εφαρμόστηκαν σε όλες τις πλάκες της κατασκευής (και στις δύο στάθμες).
- Για τις δοκούς χρησιμοποιήθηκαν για ενίσχυση ανθρακονήματα και ελάσματα. Επίσης, εφαρμόστηκε ενίσχυση σε όλες τις δοκούς.
- Για την ενίσχυση των υποστυλωμάτων επιλέγηκαν μανδύες από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και στις τέσσερις πλευρές των υποστυλωμάτων με μανδύες πάχους 8 εκ. και συνδετήρες Y8/10 εκ. Εφαρμόστηκαν μανδύες σε όλα τα υποστυλώματα.

Παρακάτω φαίνονται οι λεπτομέρειες ενίσχυσης ορισμένων υποστυλωμάτων και δοκών και των δύο σταθμών της κατασκευής.

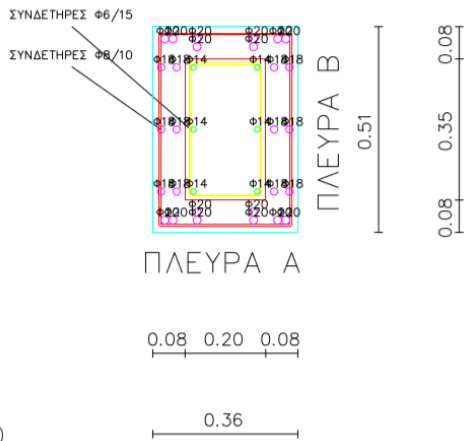
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 1



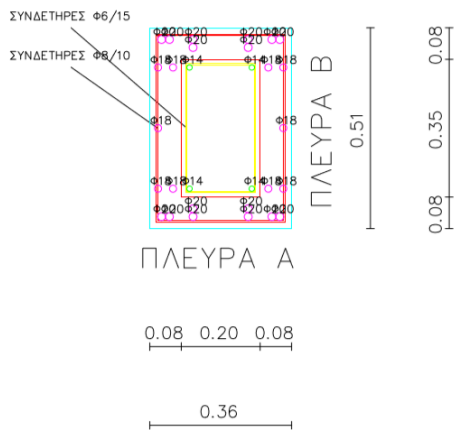
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 3



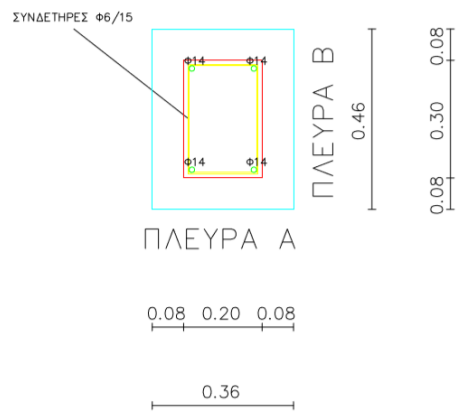
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 6



ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 10

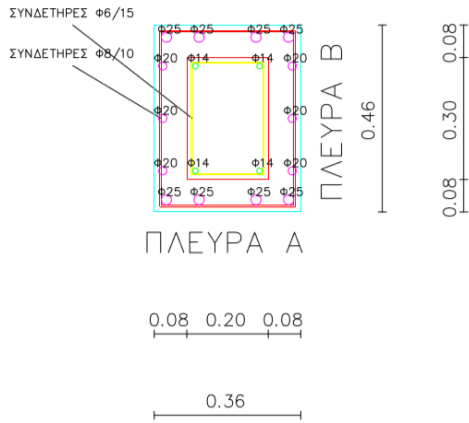


ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 15

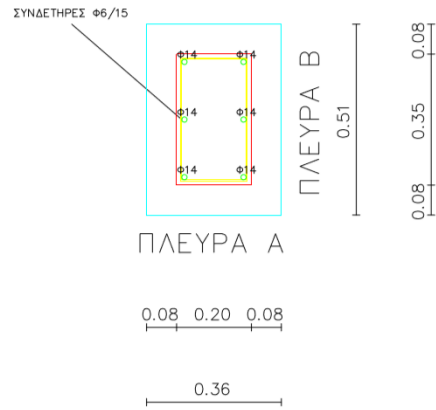


Διάγραμμα 121: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστηλωμάτων στάθμης 3 με μανδύες

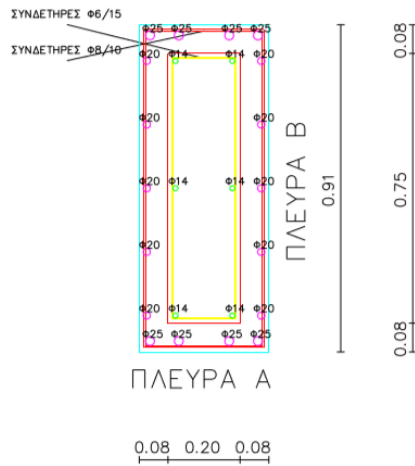
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 1



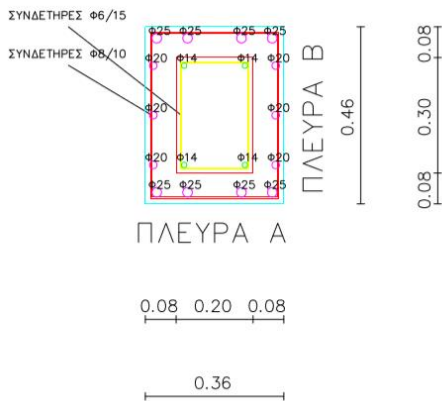
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 6



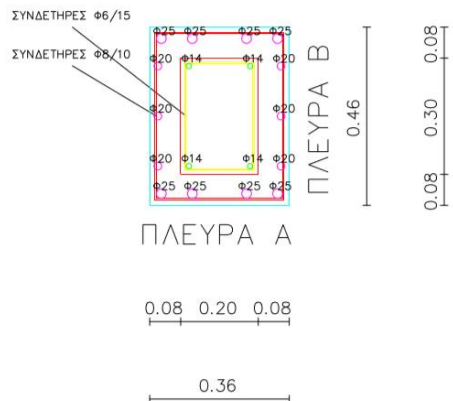
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 14



ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 11



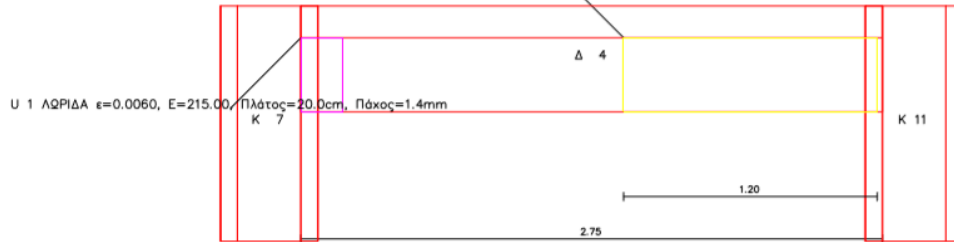
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 12



Διάγραμμα 122: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστυλωμάτων στάθμης 2 με μανδύες

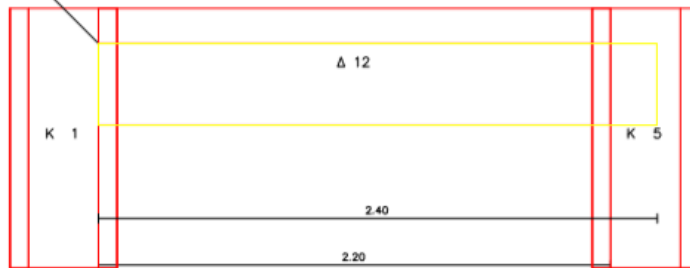
ΔΟΚΟΣ 4, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 799cm



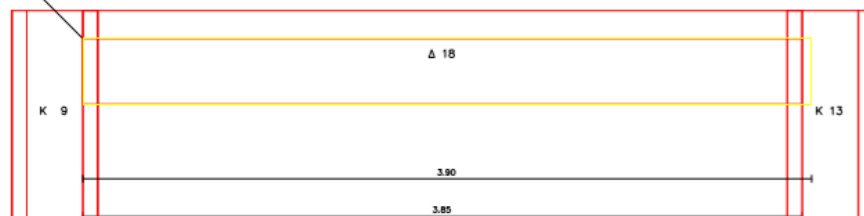
ΔΟΚΟΣ 12, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 90cm



ΔΟΚΟΣ 18, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

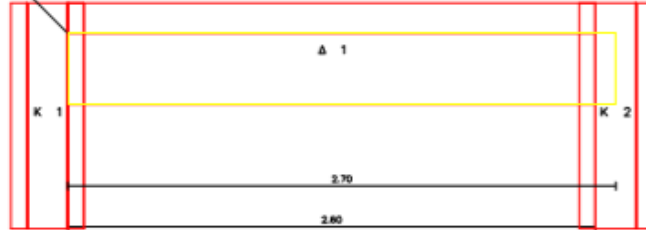
Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 69cm



Διάγραμμα 123: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 3

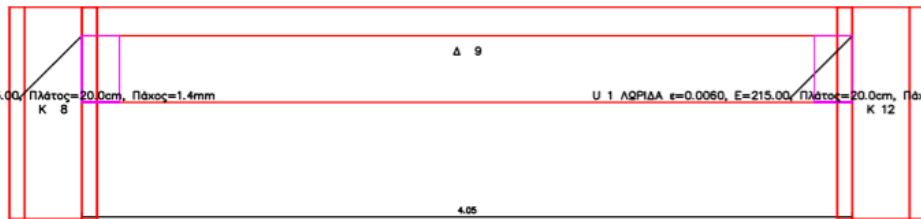
ΔΟΚΟΣ 1, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 79cm



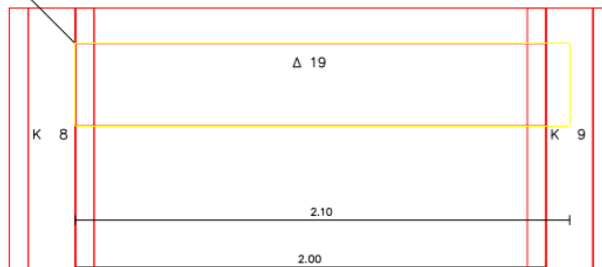
ΔΟΚΟΣ 9, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

U 1 ΛΩΡΙΔΑ $\epsilon=0.0060$, $E=215.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm



ΔΟΚΟΣ 19, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

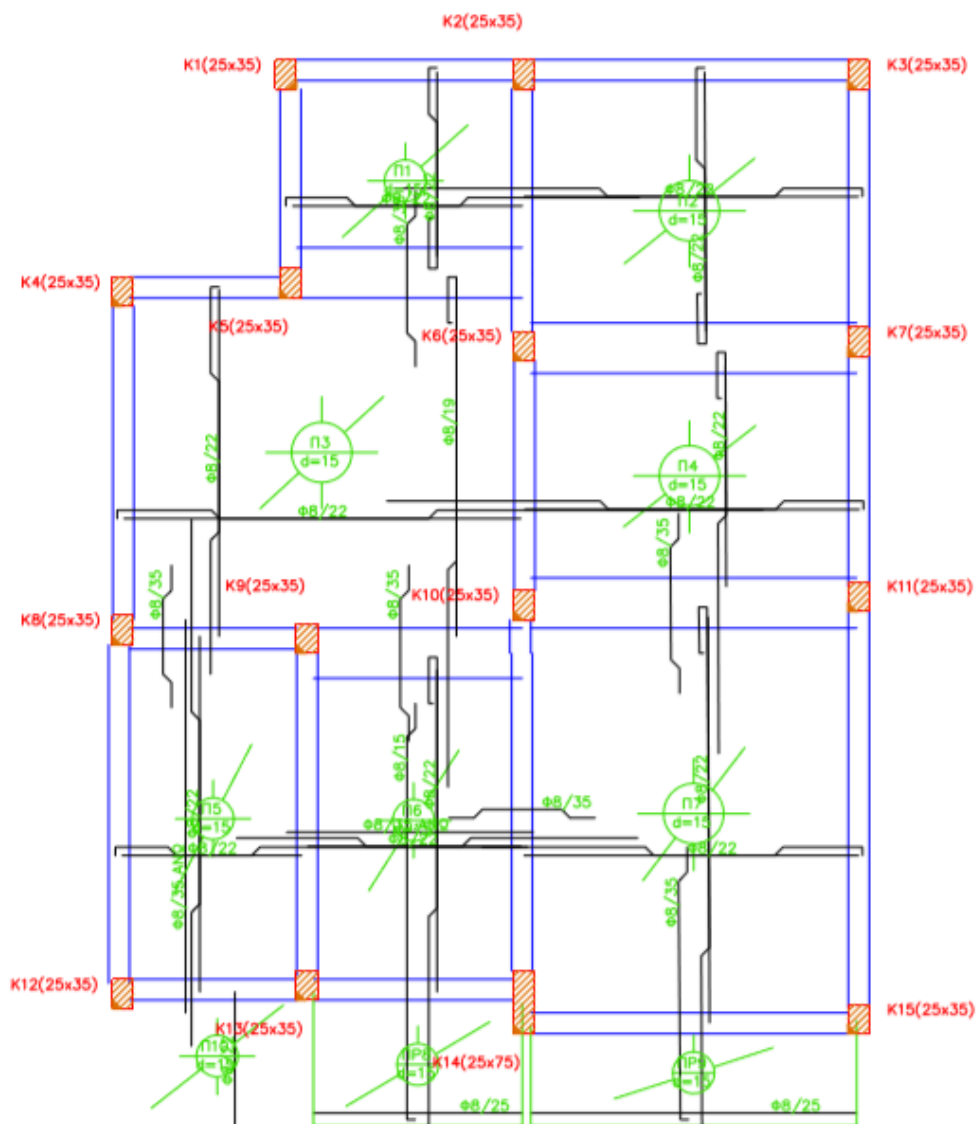
Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 51cm



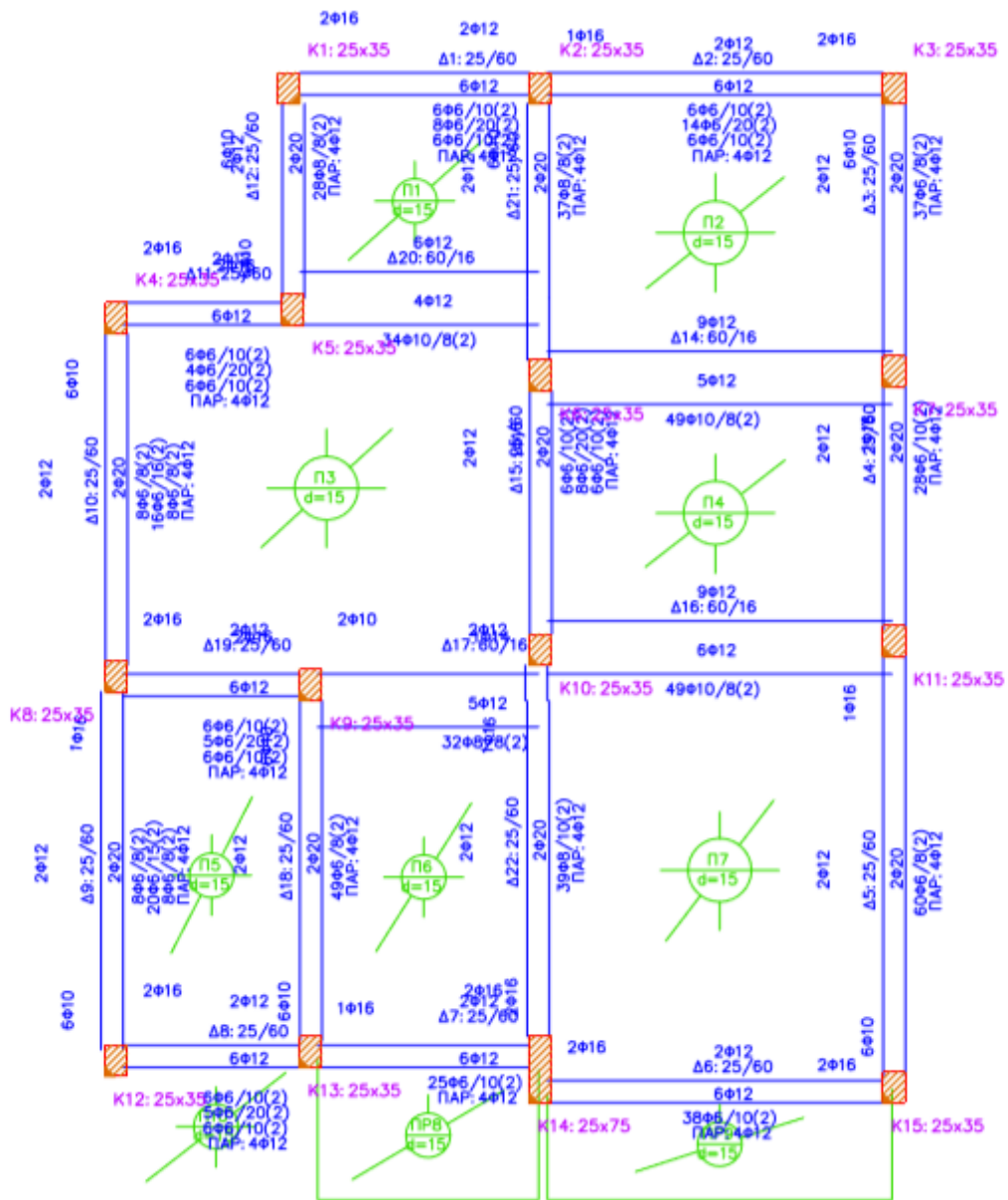
Διάγραμμα 124: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 2

2 Προσθήκη νέου ορόφου πάνω από τον υφιστάμενο, στατική ανάλυση νέου ορόφου και ενίσχυση υφιστάμενου

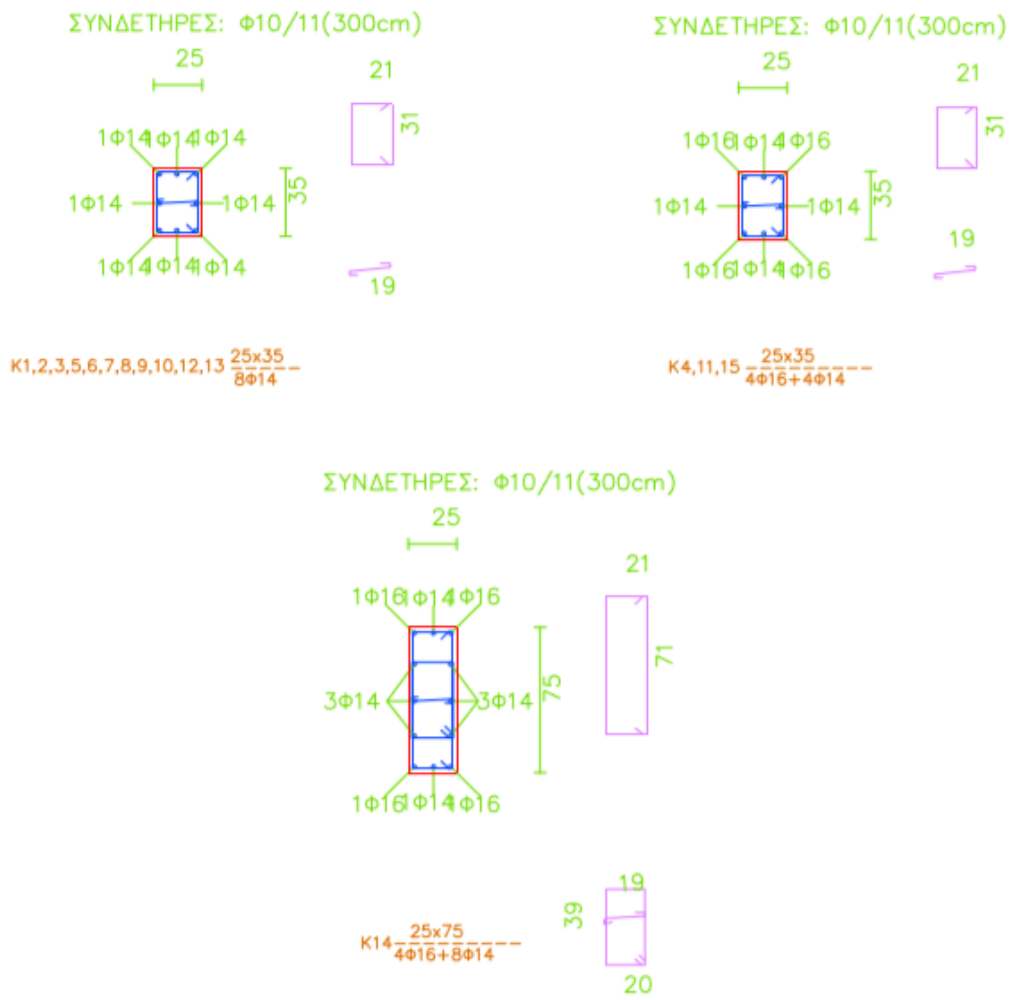
Σε αυτό το μέρος προστέθηκε όροφος ο οποίος θα ήταν ίδιος με τον πρώτο όροφο της κατοικίας. Οι διαστάσεις των υποστυλωμάτων και των δοκών διαφοροποιήθηκαν λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά δεδομένα. Στη συνέχεια έγινε στατική ανάλυση αυτού ούτως ώστε να βρεθούν οι σπλισμοί του ορόφου. Πιο κάτω φαίνονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης:



Διάγραμμα 125: Σχέδιο σπλισμών πλακών νέου ορόφου

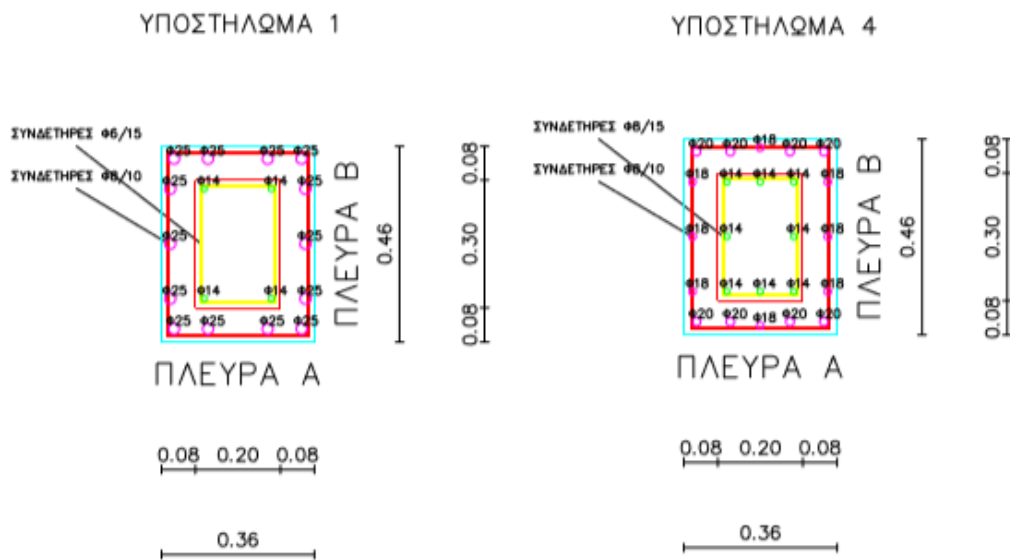


Διάγραμμα 126: Σχέδιο οπλισμών δοκών νέου ορόφου

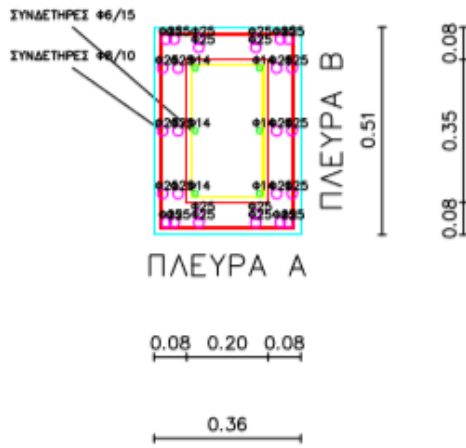


Διάγραμμα 127: Λεπτομέρεια υποστυλωμάτων νέου ορόφου

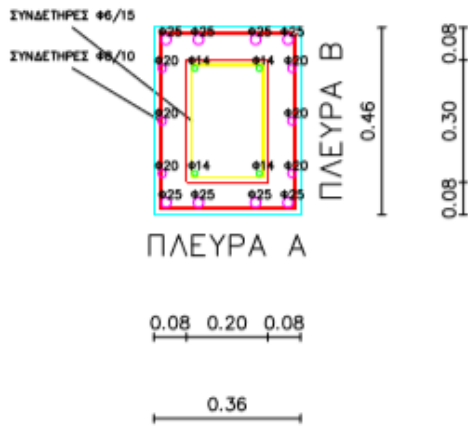
Στην συνέχεια, έγινε προκαταρκτική ανάλυση του υφιστάμενου ορόφου, στην οποία ανάλυση υποδείχθηκε ότι οι συντελεστές επάρκειας των στοιχείων στο υφιστάμενο κτίριο ήταν μεγαλύτεροι από το επιτρεπτό όριο δηλαδή το $\lambda=2.5$ γι' αυτό και έπρεπε να γίνει ανελαστική ανάλυση, η οποία και έγινε. Στην συνέχεια, από την ανελαστική ανάλυση υποδείχθηκε ότι τα στοιχεία μας χρειάζονταν ενίσχυση όπως και προηγουμένως. Έτσι, έγιναν επιπρόσθετες ενισχύσεις στις δοκούς και στα υποστυλώματα που παρουσίαζαν πρόβλημα. Στις δοκούς για ενίσχυση χρησιμοποιήθηκαν ανθρακονήματα και ελάσματα όπως και προηγουμένως. Τα υποστυλώματα ενισχύθηκαν με μανδύες πάχους 8 εκ. και συνδετήρες Y8/10 εκ. Επιπλέον, σε κάποια από τα υποστυλώματα χρειάστηκε να τοποθετηθούν επιπρόσθετες ράβδοι. Στη συνέχεια έγινε προκαταρκτική ανάλυση και μετά ξανά ανελαστική ανάλυση ($\lambda>2.5$) ούτως ώστε να δούμε αν οι ενισχύσεις μας ήταν επαρκές ή χρειάζονταν αλλαγές. Αφότου οι ενισχύσεις μας ήταν ικανοποιητικές προχωρήσαμε στην εμφάνιση των σχεδίων ενίσχυσης και λεπτομερειών των δοκών και υποστυλωμάτων, τα οποία σχέδια φαίνονται παρακάτω:



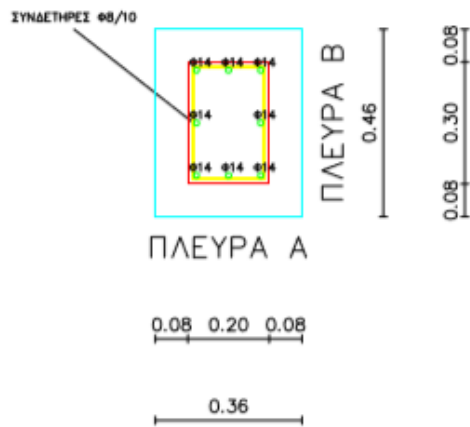
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 6



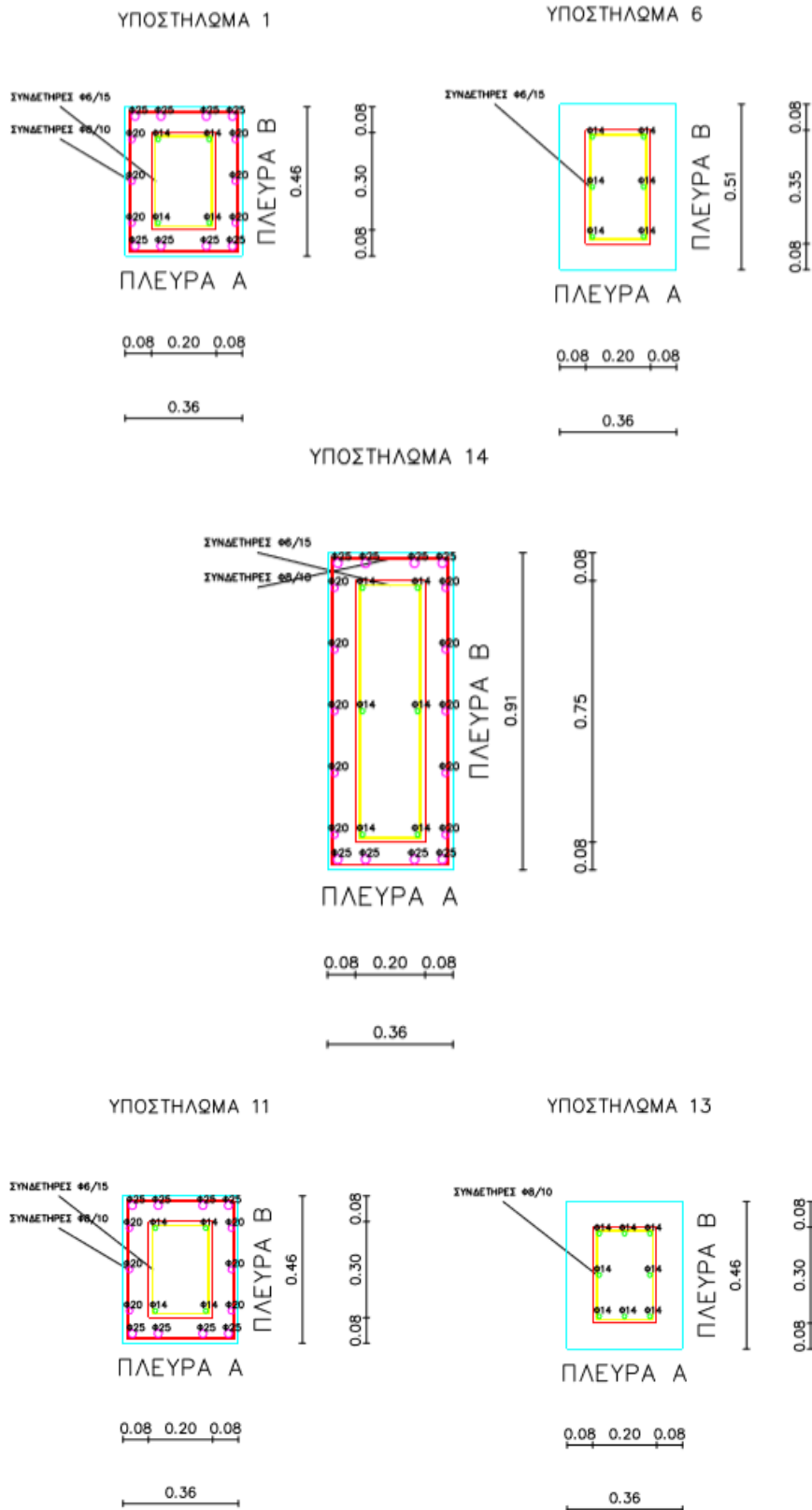
ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 8



ΥΠΟΣΤΗΛΩΜΑ 12



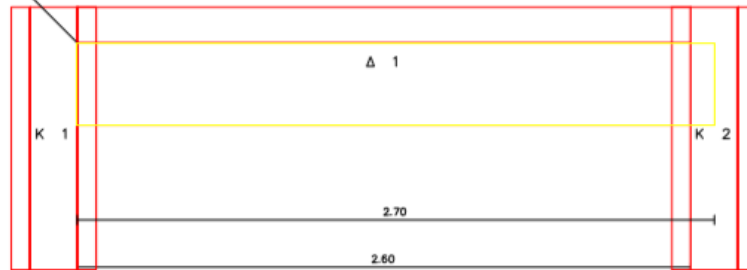
Διάγραμμα 128: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστηλωμάτων στάθμης 3



Διάγραμμα 129: Λεπτομέρεια ενίσχυσης υποστηλωμάτων στάθμης 2

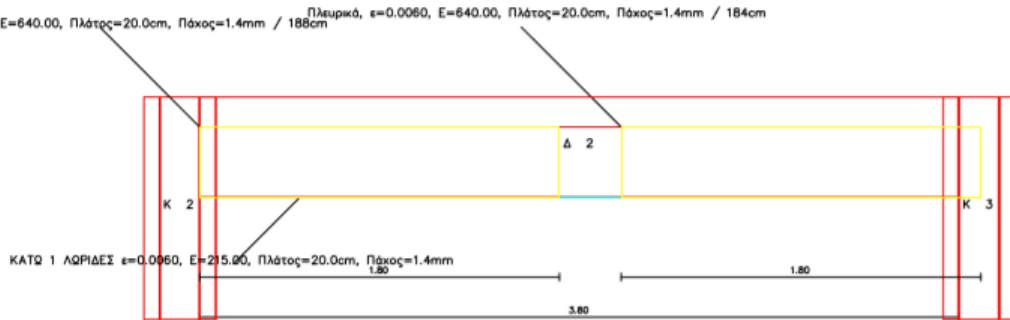
ΔΟΚΟΣ 1, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 153cm



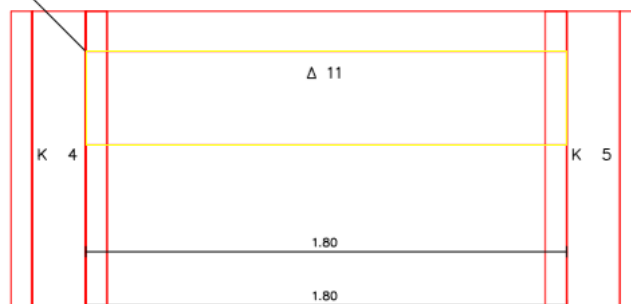
ΔΟΚΟΣ 2, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 186cm



ΔΟΚΟΣ 11, ΣΤΑΘΜΗ 3
ΟΨΗ

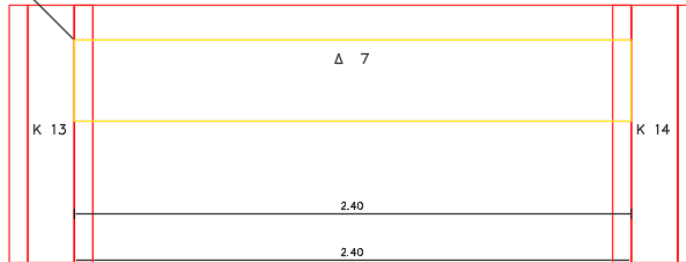
Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 145cm



Διάγραμμα 130: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 3

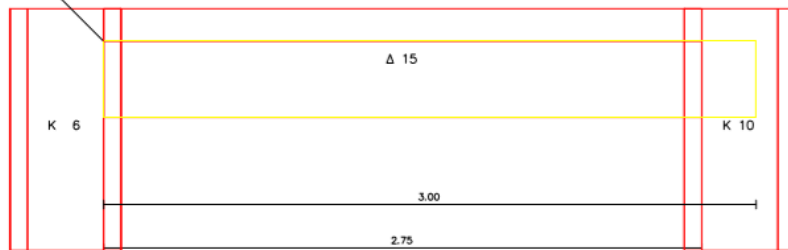
ΔΟΚΟΣ 7, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 195cm



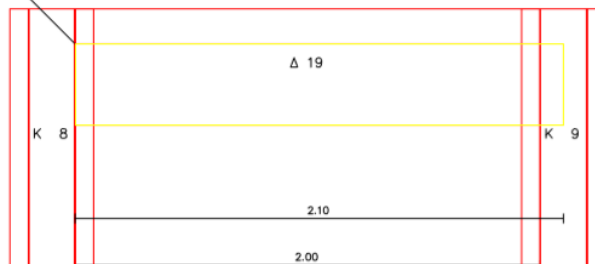
ΔΟΚΟΣ 15, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 68cm



ΔΟΚΟΣ 19, ΣΤΑΘΜΗ 2
ΟΨΗ

Πλευρικά, $\epsilon=0.0060$, $E=640.00$, Πλάτος=20.0cm, Πάχος=1.4mm / 94cm



Διάγραμμα 131: Λεπτομέρεια ενίσχυσης δοκών στάθμης 2

Συμπεράσματα

Συμπερασματικά, όπως είναι πλέον γνωστό, υπάρχουν πολλές αιτίες για τις οποίες μία κατασκευή μπορεί να χρειάζεται επέμβαση για τυχόν επισκευή ή και ενίσχυσή της, ούτως ώστε να αυξηθεί η αντοχή της και κατ' επέκταση η δομική της ακεραιότητα. Η επισκευή και ενίσχυση μιας κατασκευής είναι ένα δύσκολο ζήτημα, καθώς θα πρέπει να αναλυθούν ποικίλοι παράγοντες για να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Πιο συγκεκριμένα, θα πρέπει αρχικά να καταγραφούν οι βλάβες της υφιστάμενης κατασκευής, να εξετασθούν όλοι οι πιθανοί παράγοντες αστοχίας των δομικών στοιχείων με τη βοήθεια εξοπλισμού, να αποφασισθεί το σύστημα επέμβασης το οποίο θα ακολουθηθεί, δηλαδή αν θα πραγματοποιηθεί επισκευή ή/και ενίσχυση της κατασκευής. Στη συνέχεια πρέπει να αποφασισθούν τα κατάλληλα υλικά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την επισκευή ή/και ενίσχυση της κατασκευής, καθώς και η μέθοδος ανάλυσης η οποία θα χρησιμοποιηθεί, ούτως ώστε να επιτύχουμε το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα, λαμβάνοντας πάντα υπόψη την ασφάλεια, καθώς και τους τεχνοοικονομικούς παράγοντες.

Η επισκευή και ενίσχυση μιας κατασκευής απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή για το λόγο ότι εγκυμονούν ποικίλοι κίνδυνοι από τη λανθασμένη διάγνωση, καθώς και από τη λανθασμένη επισκευή ή/και ενίσχυση της κατασκευής. Αυτοί οι κίνδυνοι, μπορούν να προκαλέσουν αστοχία στην κατασκευή με κίνδυνο την μερική ή και ολική κατάρρευσή της και κατ' επέκταση την απώλεια της ανθρώπινης ζωής.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, πραγματοποιήθηκε έλεγχος και ανάλυση μιας υφιστάμενης κατασκευής σε δύο περιπτώσεις. Αρχικά, στην πρώτη περίπτωση, πραγματοποιήθηκε έλεγχος της επάρκειας της υφιστάμενης κατασκευής με την προσθήκη της παραμέτρου του σεισμού. Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν έδειχναν ότι ορισμένα δομικά στοιχεία της κατασκευής είχαν υψηλό συντελεστή ανεπάρκειας και γι' αυτό το λόγο ήταν απαραίτητη η ενίσχυσή τους. Στη συνέχεια, αφού εφαρμόστηκαν οι κατάλληλες ενισχύσεις στα δομικά μέλη, η κατασκευή απέκτησε την κατάλληλη αντοχή. Στην δεύτερη περίπτωση πραγματοποιήθηκε έλεγχος της επάρκειας της κατασκευής έπειτα από την προσθήκη επιπρόσθετου ορόφου, καθώς και με εφαρμογή της παραμέτρου του σεισμού. Τα αποτελέσματα ήταν ότι πάλι ορισμένα δομικά στοιχεία της κατασκευής είχαν υψηλό συντελεστή ανεπάρκειας και

χρειάζονταν ενίσχυση. Οι ενισχύσεις ήταν σχεδόν οι ίδιες με αυτές στην πρώτη περίπτωση, όμως σε αυτή την περίπτωση χρειάστηκε να τοποθετηθεί επιπλέον οπλισμός σε ορισμένα υποστυλώματα, αφού με την προσθήκη του επιπρόσθετου ορόφου, αυξήθηκε και η κατακόρυφη δύναμη η οποία ασκείται σε αυτά.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η επισκευή και ενίσχυση μιας κατασκευής είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα το οποίο πρέπει να πραγματοποιείται για την αντιμετώπιση των βλαβών που υπόκεινται τα δομικά στοιχεία των κατασκευών. Γι' αυτό το λόγο, ένας Πολιτικός Μηχανικός πρέπει να το γνωρίζει καλά και να δίνει ιδιαίτερη προσοχή κατά τη λήψη της απόφασης για επισκευή και ενίσχυση μιας κατασκευής, καθώς και κατά το στάδιο της επέμβασης στην κατασκευή, ούτως ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα.

Βιβλιογραφία

- Shehata, F. (1999) “Fibre-Reinforced polymer(FRP) for shear reinforcement in Concrete structures”.
- Costonline (2010). “Υπολογιστής κόστους κατασκευής”. < www.costonline.gr> (5 Απριλίου 2018).
- Αγγελή, Γ., και Σταματοπούλου, Α. (2011). ‘Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής υποστλωμάτων – σύγκριση μεθόδων.’ 51–60
- Αναστασιάδης, Γ. (2016). “Πρωτογενής Οπτικός Έλεγχος”. 9^ο Εθνικό Συνέδριο: “Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι”, Αθήνα.
- Αντωνιάδης, Π., Γκλαβίνας, Ι. και Χατζόγλου, Στ. 2013. “Έλεγχοι Υφιστάμενων Κατασκευών”. < <http://www.elykat.gr> > (Φεβρουαρίου 12, 2018).
- Αποστολόπουλου, Π. (2008). “Στρατηγικές επισκευής – ενίσχυσης κτιρίων Ο.Σ.”. 14^ο Φοιτητικό Συνέδριο: “Επισκευές Κατασκευών”, Πάτρα.
- Βότσης, Ρ, 2017, *Έλεγχος και παρακολούθηση των κατασκευών/υποδομών*, σημειώσεις μαθήματος, Έξυπνη Διαχείριση Έργων Υποδομής με Αισθητήρες ΠΟΜ 328 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, delivered 30 Ιανουαρίου 2017.
- Δρίτσος, Σ. (2005). Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, Πάτρα.
- Δημοσθένους, Μ. Α., Τεχνικής, Ι., και Κατασκευών, Α. (2009). ‘Μέθοδοι και υλικά αποκατάστασης και ενίσχυσης διατηρητέων κτιρίων από φέρουσα τοιχοποιία.’
- Δημάδη Κ. και Κατσένιου Γ. (2007). “Διάβρωση Χάλυβα Οπλισμένου Σκυροδέματος & Τρόποι Αποκατάστασης.”
- Δρίτσος, Σ. (2007). “Στρατηγικές και Σχεδιασμός Αντισεισμικής Ενίσχυσης Κτιρίων”. Αθήνα.
- Ζώσιμα, Ε., και Στρατήγη, Β. (2007). ‘Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με ffr (ινοπλισμένα πολυμερή).
- Καϊάφας, Ν., και Τσαμόπουλος, Ν. (2006). ‘Αντισεισμικές ενισχύσεις κτιρίων με σύνθετα υλικά.’ Πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Καϊρης, Σ., και Χατζηβασιλειάδης, Α. (2008). ‘Ενίσχυση Υποστλωμάτων με Μανδύες Οπλισμένου Σκυροδέματος.’ 14^ο Φοιτητικό Συνέδριο: «Επισκευές Κατασκευών», Πάτρα.

- Καλαντζής, Σ., και Χριστόπουλος, Α. (2006). ‘Αντισεισμική ενίσχυση κτιρίων με ινοπλισμένα πολυμερή.’ Πτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Κκολός, Α, 2018, *Αποκατάσταση συντήρηση και ενίσχυση παραδοσιακών κατασκευών*, σημειώσεις μαθήματος, Οικοδομική ΙΙ ΠΟΜ 453 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, delivered 7 Μαρτίου 2018.
- Καραγιάννης, Χ.Γ. (2006) “Επισκευές - Ενισχύσεις στοιχείων από ωπλισμένο σκυρόδεμα Έμφαση σε ακραίους κόμβους δοκού - υποστυλωμάτων”. 15ο Συνέδριο Σκυροδέματος, ΤΕΕ, ΕΤΕΚ, Αλεξανδρούπολη.
- Κάππος, Α. (2009). “Ανάλυση κτιρίου πριν και μετά την επέμβαση”. Σεμινάριο: “Κανονισμός Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ)”, Αθήνα.
- Κυριαζόπουλος, Α 2015, *Επισκευή, Ενίσχυση στοιχείων από Ο. Σ.*, σημειώσεις μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών ΡΕΥ155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, 24 Νοεμβρίου 2015.
- Κυριαζόπουλος, Α 2015, *Μέθοδοι Διάγνωσης Βλαβών Φέροντος Οργανισμού*, σημειώσεις μαθήματος, Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών ΡΕΥ155 ΤΕΙ Αθήνας, delivered, Νοεμβρίου 2016.
- Μοσχοβού, Π. (2017). “Αποτίμηση και Ενίσχυση Πενταώροφης Οικοδομής με ΚΑΝ.ΕΠΕ.” Πτυχιακή εργασία, Θεσσαλία.
- Μπάρος, Γ. και Μπαρούνη, Ε. (2007). “Ενίσχυση Κόμβου Δοκού –Υποστυλώματος με φύλλα Ινοπλισμένων Πολυμερών (Fgp) σε σύγκριση με την τεχνική Ενίσχυσης με μανδύα Οπλισμένου Σκυροδέματος”. 13ο Φοιτητικό Συνέδριο: “Επισκευές Κατασκευών”. Πάτρα.
- ΟΑΣΠ. 2001. “Συστάσεις για προσεισμικές και μετασεισμικές επεμβάσεις σε κτίρια”. Αθήνα.
- Πενέλης, Γ. και Κάππος, Α. (1999). “ Αντισεισμικές Κατασκευές από Σκυρόδεμα”. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Σπυράκος, Κ. (2004). Ενίσχυση κατασκευών για σεισμικά φορτία, Αθήνα.
- Σιδέρης, Κ. Α. (χ.χ.). ‘Ενισχύσεις κατασκευών.’ < <http://sideris-konstantinos.blogspot.com.cy>> (Δεκεμβρίου 20, 2017).
- Σταθάς, Ν. και Καλλιανώτης, Φ. (2009). ‘Αίτια και μέθοδοι επισκευής ρωγμών στο οπλισμένο σκυρόδεμα.’ 15ο Φοιτητικό Συνέδριο: “Επισκευές Κατασκευών”, Πάτρα.

- Π. Σταυρόπουλος, Φ. (2007). ‘Σεισμική Ενίσχυση μέσω περίσφιγξης υποστρωμάτων οπλισμένου σκυροδέματος με πλέγματα συνεχών ινών σε ανόργανη μήτρα.’ Μεταπτυχιακή εργασία, Πάτρα.
- Σταθόπουλος, Θ. (χ.χ.). ‘Αντισεισμικές Ενισχύσεις με σύνθετα Υλικά.’
- Τάσιος, Θ.Π. και Αλιγιζάκη, Κ. (1993). “Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος”. Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα.
- Ταντελέ, Ε, 2018, *Καινούργια κατασκευαστικά υλικά-Πολυμερή ενισχυμένα με ίνες*, σημειώσεις μαθήματος, Αντοχή στο Χρόνο και Διαχείριση Επικινδυνότητας Έργων Υποδομής ΠΟΜ 422 Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, delivered 28 Μαρτίου 2018.
- ΤΕΕ. 2007. “Ενίσχυση κτιρίων με σύγχρονα υλικά.” Αθήνα.
- Τάσιος, Θ. Π. (1999). “Κατασκευές και Θεμελιώσεις από Οπλισμένο Σκυρόδεμα”. Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα.
- ΤΟΛ. (2001). “Τεχνικός Οίκος Λογισμικού”. < www.tol.com.gr > (Μαρτίου 10, 2018).
- Π. Τσίκας και Χ. Παπασυριδάκος. χ.χ. “Ανθεκτικότητα Οπλισμένου σκυροδέματος σε διάρκεια.”
- Χιώτης, Δ, Δ. (2012). ‘Ενίσχυση δομικών μελών από οπλισμένο σκυρόδεμα και φέρουσα τοιχοποιία με ινοπλισμένα πολυμερή.’ Μεταπτυχιακή εργασία, Αθήνα.
- Χαραλάμπους, Α. (2016). “Αποτίμηση της κατάστασης και Σεισμική Ενίσχυση Κτιρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος.” Πτυχιακή εργασία, Λεμεσός.
- Χρ. Σπανός, Μ. Σπιθάκης και Κ. Τρέζος, Αθήνα 2001, Τ.Ε.Ε. Αντισεισμική θωράκιση υφιστάμενων κατασκευών, ομάδα εργασίας Π-3: Πρακτικά – Διδακτικά Εγχειρίδια. Μεθόδοι για την επιτόπου αποτίμηση των Χαρακτηριστικών των υλικών.